

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«Ανάπτυξη ενός Ολοκληρωμένου Μαθηματικού Μοντέλου Προσομοίωσης της Λειτουργίας Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων με Απομάκρυνση Θρεπτικών»

Γκόβα Ελένη

Αθήνα, Νοέμβριος 2017

Επιβλέπων: Κ. Νουτσόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«Ανάπτυξη ενός Ολοκληρωμένου Μαθηματικού Μοντέλου Προσομοίωσης της Λειτουργίας Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων με Απομάκρυνση Θρεπτικών»

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

Γκόβα Ελένη

Αθήνα, Νοέμβριος 2017

Επιβλέπων: Κ. Νουτσόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής

Αφιερώνεται στο παιδάκι μου...

Αντί Προλόγου

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ένα όνειρο ετών γίνεται πραγματικότητα, με μεγάλη προσπάθεια, μέσα από δυσκολίες, αλλά και από ανέμελες στιγμές, γεμίζοντάς με πολύτιμες γνώσεις και εμπειρίες και έχοντας κερδίσει ανθρώπινες σχέσεις που θα με συντροφεύουν ολόκληρη τη ζωή μου.

Αρχικά νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου τη συγκεκριμένη εργασία, καθώς και για την πλήρη στήριξη, την ουσιαστική καθοδήγηση, βοήθεια και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της.

Ιδιαίτερα ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς τον κ. Δανιήλ Μαμάη, Καθηγητή, και την κα Διονυσία Παναγούλια, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, για τη συνεργασία τους και τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Θερμά ευχαριστώ την Υποψήφια Δρ. Έλενα Κουμάκη για την παροχή του προγράμματος πάνω στο οποίο βασίστηκε η εργασία μου, την εκμάθηση του και την προθυμία της να βρίσκεται δίπλα μου να με ενισχύει και να με βοηθάει σε όλα τα στάδια αυτής της μελέτης.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω το γιο μου, τον πολυτιμότερο άνθρωπο στη ζωή μου και να του ζητήσω να με συγχωρέσει για όλες τις μοναδικές στιγμές που, ενδεχομένως του στέρησα του μαμά του, όντας απασχολημένη με τις σπουδές μου.

Δεν υπάρχουν λόγια αρκετά για να ευχαριστήσω το σύζυγο και καλύτερό μου φίλο, Νίκο Μυρωνάκη, που βάδισε μαζί μου όλο το δρόμο αυτής της σχολής, με στήριξε σε δύσκολες στιγμές με την υπομονή του και με όποιο τρόπο μπορούσε και μου εμφύσησε την αισιοδοξία να συνεχίσω να αγωνίζομαι μέχρι το τέλος.

Ευχαριστώ και τα κοριτσάκια μου, τις συναδέλφους μου, Θεοδότη Βέργου και Αλεξάνδρα Βυρίνη, που μαζί πορευτήκαμε απ' την αρχή, και που βρίσκονται έμπρακτα δίπλα μου σε όλη την πορεία.

Ευχαριστώ και όλους τους φίλους και συγγενείς που ανέχτηκαν τη μόνιμη απουσία μου.

Θα κλείσω με τους γονείς μου και θα πω μόνο ότι σε εκείνους οφείλω τα πάντα και τους ευχαριστώ για όλα, τα παλιά, τα τωρινά και αυτά που θα έρθουν. Μακάρι να γίνω και εγώ τέτοιος γονιός για το παιδί μου.

Ελένη Γκόβα Αθήνα, Νοέμβριος 2017

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων με απομάκρυνση θρεπτικών. Η πολυπλοκότητα της δομής και λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, η οποία αποτελείται από πολλές υπομονάδες και συστήματα που αλληλεπιδρούν, και η ανάγκη ανάπτυξης καινοτόμων στρατηγικών ελέγχου και εκτίμησης της επίδρασής τους στην απόδοση των συστημάτων αυτών, καθιστά τα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης απαραίτητα εργαλεία για το σχεδιασμό εγκαταστάσεων που επιτελούν πολλαπλούς σκοπούς.

Το νέο ολοκληρωμένο μοντέλο βασίζεται σε προηγούμενο που είχε αναπτυχθεί στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και το οποίο τροποποιήθηκε με την προσθήκη του μοντέλου ASM2 για την προσομοίωση των διεργασιών του βιοαντιδραστήρα και ενός νέου μοντέλου, το οποίο βασίζεται στο ADM1, για την προσομοίωση των διεργασιών του αναερόβιου χωνευτή. Επιπλέον, περιλαμβάνει μοντέλο μονοδιάστατης καθίζησης για την προσομοίωση της δευτεροβάθμιας καθίζησης, ισοζύγια μαζών για την προσομοίωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης και της γραμμής ιλύος εξισώσεις προσομοίωσης επεξεργασίας της και της λειτουργίας του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας, και των δεικτών εκτίμησης απόδοσης.

Την ανάπτυξη του μοντέλου ακολούθησε σειρά προσομοιώσεων, για τη διερεύνηση της επίδρασης ενδεχόμενων μεταβολών των στοιχειομετρικών και λειτουργικών παραμέτρων και κινητικών στη λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων που στοχεύει στην απομάκρυνση θρεπτικών. Συγκεκριμένα, ελέγχθηκε η επίδραση: του συντελεστή απόδοσης ετεροτροφικής βιομάζας, του συντελεστή απόδοσης αυτοτροφικής βιομάζας, του συντελεστή απόδοσης πολυφωσφορικής βιομάζας, του συντελεστή απαιτούμενου ΡΗΑ για αποθήκευση ΡΡ, της σταθεράς ρυθμού υδρόλυσης, του συντελεστή κορεσμού σωματιδιακού COD, του μέγιστου ειδικού ρυθμού ζύμωσης, του συντελεστή κορεσμού ζύμωσης, της σταθεράς αποθήκευσης ΡΗΑ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια, της σταθεράς αποθήκευσης PP από τα πολυφωσφορικά βακτήρια, του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης πολυφωσφορικής βιομάζας, του συντελεστή κορεσμού αμμωνιακού αζώτου των πολύφωσφορικών βακτηρίων, του συντελεστή κορεσμού Ρ για την αποθήκευση ΡΡ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια, του συντελεστή κορεσμού Ρ για την ανάπτυξη των τριών ειδών βιομάζας και του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικής βιομάζας. Οι λειτουργικές παράμετροι που ελέγχθηκαν ήταν: ο χρόνος παραμονής στερεών Θς, ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής και ο όγκος της 2^{ης} ανοξικής δεξαμενής.

Το μοντέλο εξάγει αριθμητικά στοιχεία που αφορούν στην ποιότητα εκροής της εγκατάστασης, στην ποσότητα και τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ιλύος και των στραγγιδίων, στην απαίτηση οξυγόνου του βιοαντιδραστήρα, στην ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου, στην παραγόμενη θερμική ενέργεια και στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των επιμέρους μονάδων και αποτιμά τη συνολική απόδοση της εγκατάστασης.

Abstract

The purpose of the thesis is to create and apply a simulation program for a waste water treatment plant (WWTP) with nutrient removal systems. The complexity of the structure and the operation of a waste water treatment, which contains many units that interact with its other, and the need for developing innovative strategies for controlling and assessing their effects at the performance of these systems, makes the mathematical models necessary tools for designing WWTP which fulfill many purposes.

The new integrated model is based in a previous one that has been developed in the framework of a research program of the Laboratory of Sanitary Technology of National Technical University of Athens, which was modified with the add of the model ASM2 for the simulation of the processes in a bioreactor and a new model, which is based on ADM1, for the simulation of the processes in a anaerobic digester. Furthermore for the secondary clarifier one-dimensional model is used which is based on the general flux theory for zone settling, mass balances for the simulation of the primary sedimentation and the treatment of activated sludge. Moreover it contains simulation equations for the operation of the electro-mechanical equipment, energy consumption and performance indicators calculations.

After the model development, a number of simulations were made investigating the effect of the changing stoichiometric and functional parameters and the kinetics of the operation of a waste water treatment plant with nutrient removal systems. Specifically, the effect of the following was tested: yield coefficient of heterotrophic organisms, yield coefficient of nitrifying organisms, yield coefficient of PAOs, rate constant for storage of PP, hydrolysis rate constant, saturation coefficient for particulate COD, maximum rate for fermentation, saturation coefficient for storage of PHA, rate constant for storage of PP, maximum growth rate of PAOs, saturation coefficient for ammonium, saturation coefficient for phosphorus in PP storage, saturation coefficient for phosphorus of heterotrophic, PAOs and nitrifiers organisms and the maximum growth rate.

The operating parameters that are studied are the sludge retention time (SRT), the removal efficiency of TSS of the Primary Treatment, hydraulic retention time (HRT) of the anaerobic volume and the volume of the 2nd anoxic tank.

The model outputs that concern the effluent of a waste water treatment plant, the mass and the characteristics of the produced sludge and leachate, the oxygen demand of the bioreactor, the quantity of the produced biogas, the produced thermal energy and the consumption of electricity for each unit of the WWTP as well as assessing the total efficiency of the WWTP.

Περιεχόμενα

Αντί Προλόγου .	i
Περίληψη	iii
Abstract	v
Περιεχόμενα	vii
Ευρετήριο πινάι	κωνχνii
Ευρετήριο σχημ	άτων xxix
Κεφάλαιο 1:	Εισαγωγή1
Κεφάλαιο 2: (Ε.Ε.Λ.)	Συστήματα προσομοίωσης λειτουργίας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων 2
2.1 Μοντέ	λα Ενεργού Ιλύος (Active Sludge Models – ASM)2
2.1.1 Eu	σαγωγή2
2.1.2 M	οντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 1 (ASM1)3
2.1.2.1	Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο3
2.1.2.2	Μεταβλητές μοντέλου3
2.1.2.3	Διεργασίες μοντέλου4
2.1.2.4	Στοιχειομετρία και κινητικές μοντέλου5
2.1.2.5	Υποθέσεις και περιορισμοί μοντέλου5
2.1.3 M	οντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2 (ASM2)8
2.1.3.1	Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο8
2.1.3.2	Μεταβλητές μοντέλου8
2.1.3.3	Διεργασίες μοντέλου10
2.1.3.4	Στοιχειομετρία μοντέλου12
2.1.3.5	Υποθέσεις και περιορισμοί μοντέλου16
2.1.4 M	οντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2d (ASM2d)18
2.1.4.1	Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο18
2.1.4.2	Μεταβλητές μοντέλου18
2.1.4.3	Διεργασίες μοντέλου19
2.1.4.4	Στοιχειομετρία μοντέλου20
2.1.4.5	Υποθέσεις και περιορισμοί μοντέλου21
2.1.5 M	οντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 3 (ASM3)25
2.1.5.1	Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο25
2.1.5.2	Σύγκριση των μοντέλων ASM1 και ASM325

	2.1.5.3	Μετ	αβλητές μοντέλου	26
	2.1.5.4	Διερ	ργασίες μοντέλου	26
	2.1.5.5	Στοι	χειομετρία μοντέλου	27
	2.1.5.6	Υπο	θέσεις και περιορισμοί μοντέλου	27
2.2	Μοντα 31	έλα Ολ	οκληρωμένης Προσομοίωσης ΕΕΛ (Benchmark Simulation Μα	odels – BSM)
2	.2.1 E	ισαγωγ	ή	31
2	.2.2 N	Ιοντέλα	ο Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης Νο. 1 (BSM1)	31
	2.2.2.1	Εισα	αγωγή – Γενικά για το μοντέλο	31
	2.2.2.2	Πρα	σομοιούμενο σύστημα	32
	2.2.2.	2.1 M	οντέλο βιολογικών διεργασιών	32
	2.2.2.	2.2 Bi	ολογικός αντιδραστήρας	32
	2.2.2.	2.3 Δε	εξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)	33
	2.2.2.3	Δια	δικασία προσομοίωσης	36
	2.2.2.4	Εκτί	μηση απόδοσης	37
	2.2.2.	4.1 Δε	είκτης ποιότητας εκροής (Effluent Quality Index – EQI)	37
	2.2.2.	4.2 П	αραβιάσεις ορίων εκροής	38
	2.2.2.	4.3 O	λικό λειτουργικό κόστος (Overall Cost Index – OCI)	38
2	.2.3 N	Ιοντέλα	ο Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης Νο. 1_LT (BSM1_LT)	38
	2.2.3.1	Εισα	αγωγή – Γενικά για το μοντέλο	38
	2.2.3.2	Δια	φορές BSM1 και BSM1_LT	38
2	.2.4 N	Ιοντέλα	ο Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης Νο. 2 (BSM2)	39
	2.2.4.1	Εισα	ιγωγή – Γενικά για το μοντέλο	39
	2.2.4.2	Προ	σομοιούμενο σύστημα	41
	2.2.4.	2.1 M	οντέλο βιολογικών διεργασιών	41
	2.2.4.	2.2 Δa	εξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)	41
	2.2.4.	2.3 Bi	ολογικός αντιδραστήρας	41
	2.2.4.	2.4 Δa	εξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)	41
	2.2.4.	2.5 П	άχυνση βαρύτητας	42
	2.2.4.	2.6 Av	ναερόβια χώνευση	42
	2.2.4.	2.7 A	φυδάτωση	46
	2.2.4.	2.8 Δε	εξαμενή αποθήκευσης	46
	2.2.4.3	Δια	δικασία προσομοίωσης	46
	2.2.4.4	Εκτί	μηση απόδοσης	47

	2.2.4	4.4.1	Δείκτης ποιότητας εκροής (Effluent Quality Index – EQI)	.47
	2.2.4	4.4.2	Παραβιάσεις ορίων εκροής	.47
	2.2.4	4.4.3	Ολικό λειτουργικό κόστος (Overall Cost Index – OCI)	.47
Κεφάλα (Ε.Ε.Λ.)	ιιο 3: με απ	ι τομάκ	Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτ φυνση θρεπτικών	ωv .48
3.1	Εισα	xγωγŕ	η – Γενικά για το μοντέλο	.48
3.2	Μετ	αβλη	τές μοντέλου	.51
3.3	Πρω	υτοβά	θμια Επεξεργασία	.55
3.3	.1	Εισαν	γωγή	.55
3.3	.2	Προσ	σομοίωση Δεξαμενής Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ)	.55
3	8.3.2.1	1 (Θέση 1 – Είσοδος Προεπεξεργασμένων Λυμάτων	.55
3	8.3.2.2	2 (Θέση 3 – Έξοδος Πρωτοβάθμιας Ιλύος	.56
3	8.3.2.3	3 (Θέση 2 – Έξοδος Πρωτοβάθμιων Επεξεργασμένων Λυμάτων	.56
3.4	Βιολ	ι ογικά	ός αντιδραστήρας	.57
3.4	.1	Εισαν	γωγή	.57
3.4	.2	Διεργ	γασίες μοντέλου	.57
3.4	.3	Συντε	ελεστές και παράμετροι του μοντέλου	.58
3.4	.4	Εξισά	ώσεις ρυθμού των διεργασιών	.61
3	8.4.4.1	1 I	Ρυθμός αερόβιας υδρόλυσης	.61
3	8.4.4.2	2 1	Ρυθμός ανοξικής υδρόλυσης	.61
3	8.4.4.3	3 I	Ρυθμός αναερόβιας υδρόλυσης	.61
З к	8.4.4.4 αταν	4 Ι άλωσ	Ρυθμός αερόβιας ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ _Η) α η διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S⊧)	πό .62
З к	8.4.4.5 αταν	5 Ι άλωσ	Ρυθμός αερόβιας ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ _Η) α η διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S _A)	πό .62
3 κ α	8.4.4.6 ατανα απονιτ	5 Ι άλωσ τροπα	Ρυθμός ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ _Η) α η διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S _F) οίησης	πό .63
3 κ α	8.4.4.7 ατανα απονιτ	7 Ι άλωσ τροπο	Ρυθμός ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ _Η) α η διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S _A) »ίησης	.πό .63
3	8.4.4.8	3 I	Ρυθμός ζύμωσης	.64
3	8.4.4.9	9 1	Ρυθμός λύσης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X _H)	.64
3	8.4.4.1	10 I	Ρυθμός αποθήκευσης Χ _{ΡΗΑ}	.64
3	8.4.4.1	11 I	Ρυθμός αποθήκευσης πολυ-φωσφορικών (Χ _{ΡΡ})	.64

3.4.4.	12	Ρυθμός ανάπτυξης των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO)	65
3.4.4.	13	Ρυθμός λύσης των πολύ-φωσφορικών βακτηρίων (Χ _{ΡΑΟ})	65
3.4.4.	14	Ρυθμός λύσης των Χ _{ΡΡ}	66
3.4.4.	15	Ρυθμός λύσης των Χ _{ΡΗΑ}	66
3.4.4.	16	Ρυθμός ανάπτυξης αυτοτροφικών μικροοργανισμών (Χ _{ΑUT})	66
3.4.4.	17	Ρυθμός λύσης αυτοτροφικών μικροοργανισμών	67
3.4.4.	18	Ρυθμός κατακρήμνισης ορθο-φωσφορικών (S _{PO4})	67
3.4.4.	19	Ρυθμός επαναδιάλυσης ορθο-φωσφορικών (S _{PO4})	67
3.4.5	Δια	φορικές εξισώσεις μεταβολής συγκεντρώσεων	67
3.4.5.	1	Διαλυμένο Οξυγόνο (S ₀₂)	67
3.4.5.	2	Διαλυτή Ζυμώσιμη Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (S _F)	68
3.4.5.	3	Διαλυτά Βιοδιασπάσιμα Προϊόντα Αναερόβιας Ζύμωσης (S _A)	68
3.4.5.	4	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο (S _{NH4})	68
3.4.5.	5	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο (S _{NO3})	69
3.4.5.	6	Ανόργανος Διαλυτός Φώσφορος (S _{PO4})	69
3.4.5.	7	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη (S _I)	70
3.4.5.	8	Αλκαλικότητα (S _{ALK})	70
3.4.5.	9	Διαλυμένο Αέριο Άζωτο (S _{N2})	70
3.4.5.	10	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη (Χι)	70
3.4.5.	11	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (Xs)	70
3.4.5.	12	Ετεροτροφική Βιομάζα (Χ _Η)	71
3.4.5.	13	Πολυφωσφορικοί Μικροοργανισμοί (Χ _{ΡΑΟ})	71
3.4.5. Μικρα	14 Σοργα	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φω ανισμών – Πολυ-φωσφορικά (Χ _{ΡΡ})	οσφορικών 71
3.4.5.	15	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φω	σφορικών
Μικρα	οργο	ανισμών - Πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκά (Χ _{ΡΗΑ})	71
3.4.5.	16	Αυτοτροφική Βιομάζα (Χ _{Αυτ})	72
3.4.5.	17	Αιωρούμενα Στερεά (X _{TSS})	72
3.4.5.	18	Υδροξείδια Μετάλλου (Χ _{ΜεΟΗ})	72
3.4.5.	19	Φωσφορικά Μέταλλα (Χ _{ΜεΡ})	72
3.4.5.	20	Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (Χ _{Νν})	72
3.4.6	Συγ	κέντρωσεις μεταβλητών σε χρονικό βήμα dt	72
3.4.7	Στοι	ιχειομετρικοί πίνακες μοντέλου	73
3.4.8	Ζήτι	ηση οξυγόνου – Σύστημα αερισμού	73

3.5	Δεξα	μενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)	77
3.5.	1 6	Εισαγωγή	77
3.5.	2 /	Δείκτες καθιζησιμότητας ιλύος	78
3	.5.2.1	Δείκτης Sludge Volume Index (SVI)	78
3	.5.2.2	Ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (Zone Settling Velocity)	79
3.5.	3 E	Εμπειρικές εξισώσεις ταχύτητας καθίζησης	79
3.5.	4 I	Μοντέλο καθίζησης	80
3	.5.4.1	Θέση 1 – Είσοδος ανάμικτου υγρού	81
3	.5.4.2	Θέση 2 – Έξοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασμένης εκροής	81
3	.5.4.3	Θέση 3 – Επιφανειακό στρώμα ΔΤΚ	81
3	.5.4.4	Θέση 4 – Στρώμα τροφοδοσίας ΔΤΚ	82
3	.5.4.5	Θέσεις 5-9 – Ενδιάμεσα στρώματα, κατάντη στρώματος τροφοδοσίας ΔΤ	ТК .82
3	.5.4.6	Θέση 10 – Στρώμα πυθμένα ΔΤΚ	82
3	.5.4.7	Θέση 11 – Εξωτερική ανακυκλοφορία ιλύος	82
3	.5.4.8	Θέση 12 – Απομάκρυνση περίσσειας ιλύος	82
3.5.	5 X	Συγκέντρωσεις μεταβλητών σε χρονικό βήμα dt	83
3.6	Move	άδα Πάχυνσης Ιλύος	83
3.6.	1 6	Εισαγωγή	83
3.6.	2 I	Προσομοίωση πάχυνσης ιλύος	83
3 ^	.6.2.1 υμάτο	Θέση 1 – Είσοδος Πρωτοβάθμιων ή Δευτεροβάθμιων Επεξεργασμ ων 84	.ένων
3	.6.2.2	Θέση 2 – Έξοδος Παχυμένης Ιλύος	84
3	.6.2.3	Θέση 3 – Έξοδος Στραγγιδίων	85
3.6.	3 /	Απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη για τη μηχανική πάχυνση	86
3.7	Move	άδα Αναερόβιας Χώνευσης - Σταθεροποίησης Ιλύος	86
3.7.	1 6	Εισαγωγή	86
3.7.	2 [Προσομοίωση αναερόβιας χώνευσης ιλύος	86
3	.7.2.1	Θέση 1 – Είσοδος Πρωτοβάθμιας Παχυμένης Ιλύος	87
3	.7.2.2	Θέση 2 – Είσοδος Δευτεροβάθμιας Παχυμένης Ιλύος	87
3 Ιλ	.7.2.3 ιύος	Θέση 3 – Είσοδος Μίγματος Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Παχυμ 87	ιένης
3	.7.2.4	Θέση 4 – Έξοδος Σταθεροποιημένης Ιλύος	88
	3.7.2	2.4.1 Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για 14d ≤ HRT ≤ 19d	89
	3.7.2	2.4.2 Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για 19d ≤ HRT ≤ 25d	90

	3.7.	2.4.3	Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για 25d ≤ HRT ≤ 30d	91
	3.7.	2.4.4	Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για 30d ≤ HRT ≤ 35d	92
	3.7.	2.4.5	Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για HRT > 35d	93
3.7	7.3	Αξιο	ποίηση βιοαερίου	94
3.7	7.4	Απαι	τήσεις θέρμανσης και θερμικές απώλειες χωνευτή	95
3.8	Мо	νάδα	Αφυδάτωσης Ιλύος	96
3.8	3.1	Εισα	γωγή	96
3.8	3.2	Προσ	σομοίωση αφυδάτωσης ιλύος	96
	3.8.2.	1	Θέση 1 – Είσοδος Σταθεροποιημένης Ιλύος	97
	3.8.2.	2	Θέση 2 – Έξοδος Αφυδατωμένης Ιλύος	97
	3.8.2.	3	Θέση 3 – Έξοδος Στραγγιδίων	97
3.9	Στρ	αγγίδι	ια ιλύος	98
3.9	9.1	Κλάς	σμα COD	98
3.9	9.2	Κλάς	τμα TSS	98
3.9	9.3	Κλάς	σμα ολικού αζώτου (TN)	98
3.9	9.4	Κλάς	σμα ολικού φωσφόρου (TP)	99
3.9	9.5	Κλάς	σμα αμμωνιακού αζώτου (S _{NH4})	99
3.9	9.6	Κλάς	σμα φωσφορικών (S _{PO4})	99
3.10	Κατ	ανάλι	ωση ενέργειας	99
3.1	L0.1	Συστ	ήματα προεπεξεργασίας	99
3.1	L0.2	Δεξα	μενές πρωτοβάθμιας και τελικής καθίζησης	99
3.1	L0.3	Βιολ	ογικός αντιδραστήρας	100
	3.10.3	8.1	Σύστημα ανάμιξης	. 100
	3.10.3	3.2	Σύστημα αερισμού	100
3.1	L0.4	Μον	άδες πάχυνσης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος	101
3.1	L0.5	Μον	άδα αναερόβιας χώνευσης	101
3.1	L0.6	Μον	άδα αφυδάτωσης ιλύος	102
3.1	L0.7	Ενέρ	γεια άντλησης	. 102
3.1	L0.8	Δείκτ	τες κατανάλωσης ενέργειας	103
	3.10.8	8.1	Απαιτούμενη ενέργεια προς παροχή εισόδου	103
	3.10.8	3.2	Απαιτούμενη ενέργεια προς COD που απομακρύνεται	. 103
	3.10.8	3.3	Απαιτούμενη ενέργεια προς άζωτο που απομακρύνεται	. 103
	3.10.8	8.4	Απαιτούμενη ενέργεια προς φώσφορο που απομακρύνεται	103

3.11	Εκτί	μηση απόδοσης
3.:	11.1	Δείκτης ποιότητας εκροής
3.:	11.2	Παραβιάσεις ορίων εκροής104
Κεφάλ	αιο 4:	Ανάλυση ευαισθησίας και εφαρμογές μοντέλου προσομοίωσης
4.1	Προ	σομοιούμενο σύστημα
4.2	Ανά	λυση ευαισθησίας
4.3	Απο	τελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας110
4.3 απ	3.1 τόδοσr	Σενάριο 1: Επίδραση του συντελεστή απόδοσης ετεροτροφικής βιομάζας στην η της εγκατάστασης
	4.3.1.1	110 Δεδομένα προσομοίωσης
	4.3.1.2	2 Στόχος σεναρίου
	4.3.1.3	β Αποτελέσματα προσομοίωσης111
4.3 απ	3.2 τόδοσr	Σενάριο 2: Επίδραση του συντελεστή απόδοσης αυτοτροφικής βιομάζας στην η της εγκατάστασης
	4.3.2.1	118 Δεδομένα προσομοίωσης
	4.3.2.2	2 Στόχος σεναρίου
	4.3.2.3	β Αποτελέσματα προσομοίωσης119
4.3 ατ	3.3 τόδοσr	Σενάριο 3: Επίδραση του συντελεστή απόδοσης πολυφωσφορικής βιομάζας στην η της εγκατάστασης
	4.3.3.1	123 Δεδομένα προσομοίωσης
	4.3.3.2	2 Στόχος σεναρίου
	4.3.3.3	β Αποτελέσματα προσομοίωσης124
4.3 απ	3.4 τόδοσr	Σενάριο 4: Επίδραση του συντελεστή απαιτούμενου ΡΗΑ για αποθήκευση ΡΡ στην η της εγκατάστασης
	4.3.4.1	130 Δεδομένα προσομοίωσης
	4.3.4.2	? Στόχος σεναρίου
	4.3.4.3	β Αποτελέσματα προσομοίωσης131
4.: εγ	3.5 κατάσ	Σενάριο 5: Επίδραση της σταθεράς ρυθμού υδρόλυσης στην απόδοση της τασης
	4.3.5.1	135 Δεδομένα προσομοίωσης
	4.3.5.1	136 Στόχος σεναρίου
	4.3.5.2	? Αποτελέσματα προσομοίωσης136
4.3 τη	3.6 ς εγκα	Σενάριο 6: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού σωματιδιακού COD στην απόδοση τάστασης
	4.3.6.1	

4.3.6.1	Στόχος σεναρίου	. 141
4.3.6.2	Αποτελέσματα προσομοίωσης	. 141
4.3.7 Σεν	άριο 7: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ζύμωσης στην απόδοσι	η της
εγκατάστασι	ገና	. 145
4.3.7.1	Δεδομένα προσομοίωσης	. 145
4.3.7.1	Στόχος σεναρίου	. 146
4.3.7.2	Αποτελέσματα προσομοίωσης	. 146
4.3.8 Σεν εγκατάστασι	άριο 8: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού ζύμωσης στην απόδοση ης	ι της . 150
4.3.8.1	Δεδομένα προσομοίωσης	. 150
4.3.8.1	Στόχος σεναρίου	. 151
4.3.8.2	Αποτελέσματα προσομοίωσης	. 151
4.3.9 Σεν βακτήρια στι	άριο 9: Επίδραση της σταθεράς αποθήκευσης ΡΗΑ από τα πολυφωσφο ην απόδοση της εγκατάστασης	ορικά . 155
4.3.9.1	Δεδομένα προσομοίωσης	. 155
4.3.9.2	Στόχος σεναρίου	. 156
4.3.9.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	. 156
4.3.10 Σεν βακτήρια στι	άριο 10: Επίδραση της σταθεράς αποθήκευσης ΡΡ από τα πολυφωσφο ην απόδοση της εγκατάστασης	ορικά . 162
4.3.10.1	Δεδομένα προσομοίωσης	. 162
4.3.10.1	Στόχος σεναρίου	. 163
4.3.10.2	Αποτελέσματα προσομοίωσης	. 163
4.3.11 Σεν βιομάζας στι	άριο 11: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης πολυφωσφογ ην απόδοση της εγκατάστασης	οικής . 167
4.3.11.1	Δεδομένα προσομοίωσης	. 167
4.3.11.2	Στόχος σεναρίου	. 168
4.3.11.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	. 168
4.3.12 Σεν πολυφωσφο	άριο 12: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού αμμωνιακού αζώτου ρικών βακτηρίων στην απόδοση της εγκατάστασης	των . 173
4.3.12.1	Δεδομένα προσομοίωσης	. 173
4.3.12.2	Στόχος σεναρίου	. 174
4.3.12.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	. 174
4.3.13 Σεν πολυφωσφο	άριο 13: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού Ρ για την αποθήκευση ΡΡ ατ ρικά βακτήρια στην απόδοση της εγκατάστασης	τό τα . 177
4.3.13.1	Δεδομένα προσομοίωσης	. 177

4.3.13.2	Στόχος σεναρίου	178
4.3.13.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	178
4.3.14 Σεν ειδών βιομά	νάριο 14: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού Ρ για την ανάπτυξη των ιζας στην απόδοση της εγκατάστασης	ν τριών 181
4.3.14.1	Δεδομένα προσομοίωσης	181
4.3.14.2	Στόχος σεναρίου	182
4.3.14.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	182
4.3.15 Σεν βιομάζας στ	αριο 15: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτρ ην απόδοση της εγκατάστασης	οφικής 188
4.3.15.1	Δεδομένα προσομοίωσης	188
4.3.15.2	Στόχος σεναρίου	189
4.3.15.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	189
4.4 Επίδρας	ση λειτουργικών παραμέτρων στην απόδοση της ΕΕΛ	193
4.4.1 Σεν εγκατάστασι	νάριο 1: Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών στην απόδοα ης	ση της 194
4.4.1.1	Δεδομένα προσομοίωσης	194
4.4.1.2	Στόχος σεναρίου	194
4.4.1.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	194
4.4.2 Σεν πρωτοβάθμι	αριο 2: Επίδραση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών της δεξα ιας καθίζησης στην απόδοση της εγκατάστασης	αμενής 205
4.4.2.1	Δεδομένα προσομοίωσης	205
4.4.2.2	Στόχος σεναρίου	205
4.4.2.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	205
4.4.3 Σεν δεξαμενής σ	νάριο 3: Επίδραση του υδραυλικού χρόνου παραμονής της αναε στην απόδοση της εγκατάστασης	ρόβιας 212
4.4.3.1	Δεδομένα προσομοίωσης	212
4.4.3.2	Στόχος σεναρίου	212
4.4.3.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	212
4.4.4 Σεν εγκατάστασι	νάριο 4: Επίδραση του όγκου της ανοξικής 2 δεξαμενής στην απόδο ης	ση της 218
4.4.4.1	Δεδομένα προσομοίωσης	218
4.4.4.2	Στόχος σεναρίου	218
4.4.4.3	Αποτελέσματα προσομοίωσης	218
Κεφάλαιο 5: Σ	υμπεράσματα	224
Ελληνικές ανα	φορές	230

όγλωσσες αναφορές

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 2.1 Μεταβλητές μοντέλου ASM1. (Πηγή: Mogens et al., 2000)
Πίνακας 2.2 Διεργασίες, κινητικές και στοιχειομετρία μοντέλου ASM1. (Πηγή: Mogens et al., 2000)7
Πίνακας 2.3 Μεταβλητές μοντέλου ASM2. (Πηγή: Mogens et al., 2000)
Πίνακας 2.4 Στοιχειομετρία διαλυτών συστατικών μοντέλου ASM2. (Πηγή: Mogens et al., 2000) 13
Πίνακας 2.5 Στοιχειομετρία σωματιδιακών συστατικών μοντέλου ASM2. (Πηγή: Mogens et al., 2000)14
Πίνακας 2.6 Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM2. (Πηγή: Mogens et al., 2000)15
Πίνακας 2.7 Μεταβλητές μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000)
Πίνακας 2.8 Στοιχειομετρία διαλυτών συστατικών μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000) 22
Πίνακας 2.9 Στοιχειομετρία σωματιδιακών συστατικών μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000)23
Πίνακας 2.10 Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000)24
Πίνακας 2.11 Μεταβλητές μοντέλου ASM3. (Πηγή: Mogens et al., 2000)
Πίνακας 2.12 Στοιχειομετρία μοντέλου ASM3. (Πηγή: Mogens et al., 2000)
Πίνακας 2.13 Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM3. (Πηγή: Mogens et al., 2000)30
Πίνακας 2.14 Παράμετροι διπλής εκθετικής εξίσωσης που υπολογίζει την ταχύτητα καθίζησης. (Alex et al., 2008)
Πίνακας 2.15 Όρια επεξεργασμένης εκροής μοντέλου BSM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)38
Πίνακας 2.16 Στοιχειομετρία και ρυθμοί διεργασιών διαλυτών συστατικών ADM1. (Πηγή: Batstone et al., 2002 και Κολλινιάτης, 2013)44
Πίνακας 2.17 Στοιχειομετρία και ρυθμοί διεργασιών σωματιδιακών συστατικών ADM1. (Πηγή: Batstone et al., 2002 και Κολλινιάτης, 2013)45
Πίνακας 3.1 Μεταβλητές του μοντέλου προσομοίωσης54
Πίνακας 3.2 Ερμηνεία και τιμές συντελεστών μετατροπής του ASM2 (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)
Πίνακας 3.3 Συντελεστές μετατροπής i _{ci} για τις εξισώσεις συνέχειας του μοντέλου (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)59
Πίνακας 3.4 Ερμηνεία και τιμές στοιχειομετρικών σταθερών του ASM2 (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)

Πίνακας 3.5 Ερμηνεία και τιμές στοιχειομετρικών σταθερών και κινητικών του ASM2 (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)......60 Πίνακας 3.6 Στοιχειομετρικός πίνακας διαλυτών συστατικών μοντέλου προσομοίωσης......74 Πίνακας 3.7 Στοιχειομετρικός πίνακας σωματιδιακών συστατικών μοντέλου προσομοίωσης..75 Πίνακας 3.9 Τιμές των σταθερών V₀ και n, συναρτήσει των δεικτών SVI, DSVI και SSVI (Πηγή: Μπούκας, 2008, Σαραντόπουλος, 2015)80 Πίνακας 3.10 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις για απορρίψεις από ΕΕΛ (Πηγή: Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά προεπεξεργασμένων λυμάτων που εισέρχονται πριν τη δεξαμενή Πίνακας 4.2: Αρχικές συγκεντρώσεις συστατικών στις θέσεις του συστήματος ενεργού ιλύος. Πίνακας 4.5: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό Πίνακας 4.6: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού Πίνακας 4.7: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής Πίνακας 4.9: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της Πίνακας 4.11: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της Πίνακας 4.12: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της Πίνακας 4.13: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Πίνακας 4.15: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό Πίνακας 4.16: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού

Πίνακας 4.17: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{Αυτ}
Πίνακας 4.18: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{Αυτ} 120
Πίνακας 4.19: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{Αυτ}
Πίνακας 4.20: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{Αυτ}
Πίνακας 4.21: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Y _{AUT}
Πίνακας 4.22: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου YAUT
Πίνακας 4.23: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{Αυτ} 122
Πίνακας 4.24: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 3 ανάλυσης ευαισθησίας
Πίνακας 4.25: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ} 124
Πίνακας 4.26: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ} 125
Πίνακας 4.27: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ}
Πίνακας 4.28: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ} 125
Πίνακας 4.30: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου ΥΡΑΟ 127
Πίνακας 4.31: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ}
Πίνακας 4.32: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ}
Πίνακας 4.33: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ} 128
Πίνακας 4.34: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 4 ανάλυσης ευαισθησίας
Πίνακας 4.38: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου
Πίνακας 4.39: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΗΑ}
Πίνακας 4.40: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου ΥΡΗΑ
Πίνακας 4.41: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{PHA}

Πίνακας 4.42: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου YPHA
Πίνακας 4.43: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου YPHA
Πίνακας 4.46: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Kh
Πίνακας 4.47: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K _h
Πίνακας 4.49: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου
Πίνακας 4.50: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου K _h
Πίνακας 4.51: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου K _h
Πίνακας 4.52: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K _h
Πίνακας 4.53: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K _h 139
Πίνακας 4.54: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 6 ανάλυσης ευαισθησίας
Πίνακας 4.55: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Κ _X
Πίνακας 4.56: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ _X
Πίνακας 4.57: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ _x
Πίνακας 4.58: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Κ _X
Πίνακας 4.59: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ _x
Πίνακας 4.60: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Κ _x
Πίνακας 4.61: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου K _x
Πίνακας 4.62: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ _x
Πίνακας 4.63: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ _Χ 144
Πίνακας 4.65: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}

Πίνακας 4.66: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.67: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.68: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.69: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.70: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.71: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.72: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.73: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q _{fe}
Πίνακας 4.74: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 8 ανάλυσης ευαισθησίας
Πίνακας 4.75: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe}
Πίνακας 4.76: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe}
Πίνακας 4.77: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe}
Πίνακας 4.78: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής
συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe} 152
συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe}
συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe}
συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe}
συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{fe}
συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{fe}
συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{fe} . 152 Πίνακας 4.79: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe} . 152 Πίνακας 4.80: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe} . 153 Πίνακας 4.81: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe} . 153 Πίνακας 4.81: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe} . 153 Πίνακας 4.82: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe} . 154 Πίνακας 4.83: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K _{fe} . 154 Πίνακας 4.84: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 9 ανάλυσης ευαισθησίας. 155

Πίνακας 4.87: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA}
Πίνακας 4.88: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA} 159
Πίνακας 4.89: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA}
Πίνακας 4.90: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA}
Πίνακας 4.91: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA}
Πίνακας 4.92: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA}
Πίνακας 4.93: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA} 161
Πίνακας 4.95: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου q _{PP} 163
Πίνακας 4.96: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου qpp
Πίνακας 4.97: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου qPP
Πίνακας 4.98: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου qPP
Πίνακας 4.99: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q _{PP}
Πίνακας 4.100: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου q _{PP}
Πίνακας 4.101: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου q _{PP}
Πίνακας 4.102: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου qpp
Πίνακας 4.103: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q _{PP} 166
Πίνακας 4.104: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 11 ανάλυσης ευαισθησίας
Πίνακας 4.105: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου μ _{ΡΑΟ}
Πίνακας 4.106: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου μ _{ΡΑΟ}
Πίνακας 4.108: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου μ _{PAO}

Πίνακας 4.109: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ _{PAO}
Πίνακας 4.110: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου μ _{ΡΑΟ}
Πίνακας 4.111: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου μ _{PAO}
Πίνακας 4.112: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μ _{PAO}
Πίνακας 4.113: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μΡΑΟ
Πίνακας 4.114: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 12 ανάλυσης ευαισθησίας
Πίνακας 4.115: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao} 174
Πίνακας 4.116: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao} 174
Πίνακας 4.117: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πίνακας 4.118: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao} 175
Πίνακας 4.119: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου KNH4_pao
Πίνακας 4.120: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πινακας 4.121: Συνεισφορά στραγγιοιών στα προεπεξεργασμένα λυματά συναρτησεί της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πινακας 4.121: Συνεισφορα στραγγιοιών στα προεπεξεργασμένα Λυματά συναρτησει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πινακας 4.121: Συνεισφορα στραγγιοιών στα προεπεξεργασμενα Λυματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πινακας 4.121: Συνεισφορα στραγγιοιων στα προεπεξεργασμενα Λυματα συναρτησει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πινακας 4.121: Συνεισφορα στραγγιοιών στα προεπεξεργασμενα Λυματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πίνακας 4.121: Συνείσφορα στραγγιοιών στα προεπεξεργασμενα λυματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{NH4_pao}
Πίνακας 4.121: Συνείσφορα στραγγιοίων στα προεπεξεργασμενα λυματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ _{ΝΗ4_pao}

Πίνακας 4.129: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K _{PS}
Πίνακας 4.130: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου K _{PS} 179
Πίνακας 4.131: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου K _{PS}
Πίνακας 4.132: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K _{PS}
Πίνακας 4.133: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K _{PS}
Πίνακας 4.134: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 14 ανάλυσης ευαισθησίας
Πίνακας 4.125: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Κ₀
Πίνακας 4.126: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ₀
Πίνακας 4.127: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Πίνακας 4.128: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Κ _Ρ
Πίνακας 4.129: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Πίνακας 4.130: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Πίνακας 4.131: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Πίνακας 4.132: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Πίνακας 4.133: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Πίνακας 4.135: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.136: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.137: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.138: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.139: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}

Πίνακας 4.140: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.141: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.142: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.143: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Πίνακας 4.144: Έλεγχος λειτουργικών παραμέτρων
Πίνακας 4.144: Τιμές λειτουργικών παραμέτρων σεναρίου 1
Πίνακας 4.145: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.146: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.147: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.148: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Θς
Πίνακας 4.149: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.150: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.151: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.152: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.153: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.154: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Θ _c
Πίνακας 4.155: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου Θc
Πίνακας 4.156: Τιμές λειτουργικών παραμέτρων σεναρίου 2
Πίνακας 4.157: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.158: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.159: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου s_r

Πίνακας 4.160: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.161: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.162: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.163: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.164: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.165: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.166: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.167: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου s_r
Πίνακας 4.169: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.170: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.171: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.172: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.173: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.174: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.175: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.176: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.177: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.178: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.179: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer
Πίνακας 4.180: Τιμές λειτουργικών παραμέτρων σεναρίου 4

Πίνακας 4.181: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.182: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.183: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.184: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.185: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.186: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.187: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.188: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.189: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.190: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου V(25)
Πίνακας 4.191: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου V(25)

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 2.1 Ροή COD στα ASM1 και ASM3 (Πηγή: Mogens et al., 2000)25
Σχήμα 2.2 Γενική διάταξη της ΕΕΛ του BSM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)32
Σχήμα 2.3 Σχηματοποίηση διεργασιών ASM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)
Σχήμα 2.4 Στρωματοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης (Πηγή: Takacs et al., 1991)34
Σχήμα 2.5 Διάγραμμα ταχύτητας καθίζησης – συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών (Πηγή: Takacs et al., 1991)
Σχήμα 2.6 Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης και εξισώσεις υπολογισμού της ροής στερεών (Πηγή: Takacs et al., 1991)
Σχήμα 2.7 Δομή εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων μοντέλου BSM2 (Πηγή Nopens et al., 2010)40
Σχήμα 2.8 Οι βιοχημικές διεργασίες του αναερόβιου μοντέλου: (1) οξεοπαραγωγή από σάκχαρα, (2) οξεοπαραγωγή από αμινοξέα, (3) οξεοπαραγωγή από λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας, (4) ακετοπαραγωγή από προπιονικό οξύ, (5) ακετοπαραγωγή από βουτυρικό οξύ και βαλερικό οξύ, (6) μεθανοπαραγωγή. (Batstone et al., 2002)
Σχήμα 2.9 Τυπική δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης (q = παροχή σε m3.d-1, V = όγκος σε m3, S = συγκέντρωση διαλυτών συστατικών σε kg COD.m-3, X = συγκέντρωση σωματιδιακών συστατικών σε kg COD.m-3). (Batstone et al., 2002)43
Σχήμα 3.1 Διάταξη εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων και θέσεις υπολογισμού των μεταβλητών του μοντέλου (Πηγή: Koumaki et al., 2017)50
Σχήμα 3.2 Θέσεις εισόδου και εξόδου, λυμάτων και ιλύος δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)55
Σχήμα 3.3 Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)
Σχήμα 3.4 Θέσεις εισόδου και εξόδου, ιλύος και στραγγιδίων μονάδας πάχυνσης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)84
Σχήμα 3.5 Θέσεις εισόδου και εξόδου της ιλύος στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)87
Σχήμα 3.6 Θέσεις εισόδου και εξόδου, ιλύος και στραγγιδίων μονάδας αφυδάτωσης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)96
Σχήμα 4.1: Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Υ _Η 111
Σχήμα 4.2: Συγκέντρωση περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ _Η
Σχήμα 4.3: BOD εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ _Η 113
Σχήμα 4.4: Συγκέντρωση θρεπτικών στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου Υ _Η
Σχήμα 4.5: Δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Υ _H

Σχήμα 4.6: Θερμική ενέργεια εγκατάστασης συναρτήσει της παραμέτρου Υ _Η
Σχήμα 4.7: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{Αυτ} 120
Σχήμα 4.8: Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ} 126
Σχήμα 4.9: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών ανάμικτου υγρού συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ}
Σχήμα 4.10: Συγκέντρωση στερεών στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΑΟ} . 127
Σχήμα 4.11: Ολικό άζωτο εξόδου και ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ _{ΡΗΑ} 133
Σχήμα 4.12: Ολικό άζωτο και ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου K _h 137
Σχήμα 4.13: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό, συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA} 156
Σχήμα 4.14: Συγκέντρωση στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου αρμα 157
Σχήμα 4.15: Δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει της παραμέτρου q _{PHA}
Σχήμα 4.15: Ολικό άζωτο και ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου 158
Σχήμα 4.16: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου μ _{ΡΑΟ}
Σχήμα 4.17: Συγκέντρωση στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ _{ΡΑΟ} 169
Σχήμα 4.18: Συγκέντρωση ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου μ _{ΡΑΟ}
Σχήμα 4.19: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Σχήμα 4.20: Συγκέντρωση στερεών της περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P 182
Σχήμα 4.21: Απαίτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες, ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ _Ρ
Σχήμα 4.22: Δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Σχήμα 4.23: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου Κ _Ρ . 185
Σχήμα 4.24: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου Κ _P
Σχήμα 4.25: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ _Ρ 186
Σχήμα 4.26: Αμμωνιακό άζωτο στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου μ _{Αυτ}
Σχήμα 4.27: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Θc
Σχήμα 4.28: Απαίτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες στο βιοαντιδραστήρα συναρτήσει της παραμέτρου Θc
Σχήμα 4.29: Παροχή περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου ΘcΘ
Σχήμα 4.30: Συγκέντρωση και μάζα περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Θc 197
--
Σχήμα 4.31: COD και αμμωνιακό άζωτο εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Θc
Σχήμα 4.32: Ολικό άζωτο και ολικός φώσφορος στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου Θc198
Σχήμα 4.33: Ενεργειακή κατανάλωση στις μονάδες της ΕΕΛ συναρτήσει της παραμέτρου Θς.
Σχήμα 4.34: Παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος και συγκέντρωση ολικών στερεών συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ
Σχήμα 4.35: Ενέργεια βιοαερίου συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στην ΔΠΚ.
Σχήμα 4.36: Ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει του υδραυλικού χρόνου παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής
Σχήμα 4.35: Οργανικά και ολικά αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού συναρτήσει του όγκου της ανοξικής δεξαμενής
Σχήμα 4.36: Ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει του όγκου της ανοξικής 2 δεξαμενής 220

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Σύμφωνα με την IWA (International Water Association) οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν μεγάλα μη-γραμμικά συστήματα που υπόκεινται σε μεγάλες διαταραχές των παροχών και των φορτίων που δέχονται, καθώς και σε αβεβαιότητες σχετικά με τη σύσταση των εισερχόμενων λυμάτων. Παρόλα αυτά οι εγκαταστάσεις πρέπει να λειτουργούν διαρκώς, ανταποκρινόμενες στους ολοένα και πιο αυστηρούς περιορισμούς που θέτει η νομοθεσία.

Η ανάγκη σχεδιασμού εγκαταστάσεων που επιτελούν πολλαπλούς σκοπούς και, ταυτόχρονα, η ανάπτυξη καινοτόμων στρατηγικών ελέγχου και η εκτίμηση της επίδρασής τους στην απόδοση των συστημάτων αυτών, οδήγησε στη δημιουργία και εξέλιξη μαθηματικών μοντέλων για την προσομοίωση της λειτουργίας τους.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο μαθηματικής προσομοίωσης της λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων με απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών. Η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο κεφάλαιο 2 αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκε η ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα μοντέλα ενεργού ιλύος, μοντέλα ολοκληρωμένης προσομοίωσης εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, μοντέλα καθίζησης και μοντέλα αναερόβιας χώνευσης.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται λεπτομερώς το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας της εγκατάστασης. Για κάθε μονάδα περιγράφεται ο ρόλος της μέσα στο σύστημα επεξεργασίας, οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα και οι μαθηματικές εξισώσεις με τις οποίες προσομοιώνονται, για τον υπολογισμό των μεταβλητών του μοντέλου για κάθε χρονική στιγμή, σε κάθε θέση ενδιαφέροντος. Επιπλέον παρατίθενται οι μαθηματικές σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται η απαίτηση οξυγόνου, το παραγόμενο βιοαέριο και η κατανάλωση ενέργειας. Στο τέλος του κεφαλαίου αναλύονται οι δείκτες εκτίμησης της απόδοσης της εγκατάστασης.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας του συστήματος και των εφαρμογών ελέγχου των λειτουργικών παραμέτρων της εγκατάστασης. Αρχικά παρατίθεται το σενάριο αναφοράς, με το οποίο συγκρίνονται τα αποτελέσματα όλων των προσομοιώσεων και εκτιμάται η επίδραση της μεταβολής των στοιχειομετρικών και λειτουργικών παραμέτρων.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω εφαρμογών, διατυπώνονται τα συμπεράσματα και προτείνονται βελτιώσεις του υπάρχοντος μοντέλου.

Κεφάλαιο 2: Συστήματα προσομοίωσης λειτουργίας ΕγκατάστασηςΕπεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.)

2.1 Μοντέλα Ενεργού Ιλύος (Active Sludge Models – ASM)

2.1.1 Εισαγωγή

Η μαθηματική προσομοίωση των διεργασιών ενός συστήματος ενεργού ιλύος αποτελεί σήμερα συνήθη διαδικασία κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.

Όταν το 1982 η Διεθνής Ένωση για την Έρευνα και τον Έλεγχο της Ρύπανσης των Υδάτων (International Association on Water Pollution Research and Control - IAWPRC) συγκρότησε Ομάδα Εργασίας σχετικά με τη 'Μαθηματική Προσομοίωση στο Σχεδιασμό και τη Λειτουργία Συστημάτων Ενεργού Ιλύος', η εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων στις διεργασίες της ενεργού ιλύος δεν είχε επεκταθεί λόγω της μειωμένης εμπιστοσύνης στα υπάρχοντα μοντέλα, τα οποία ήταν πολύπλοκα, και της περιορισμένης υπολογιστικής ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Αρχικός στόχος της Ομάδας Εργασίας υπήρξε η ανάπτυξη ενός κοινού κώδικα, ο οποίος έπρεπε να είναι απλός, ώστε να αποτελέσει τη βάση για τη μελλοντική ανάπτυξη των μοντέλων απομάκρυνσης αζώτου. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία του Μοντέλου Ενεργού Ιλύος Νο. 1 (ASM1) που δημοσιεύτηκε το 1987 στην τελική του μορφή και περιλάμβανε, εκτός του μοντέλου, οδηγίες για το χαρακτηρισμό των λυμάτων, την ανάπτυξη κώδικα για τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων που η εφαρμογή τους έχει αποδείξει ότι οδηγούν σε ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Η ολοένα αυξανόμενη εφαρμογή της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου στη δεκαετία που ακολούθησε, σε συνδυασμό με τη βαθύτερη κατανόηση των φαινομένων που διέπουν τη συγκεκριμένη διεργασία, οδήγησε το 1995 στη δημοσίευση του Μοντέλου Ενεργού Ιλύος Νο. 2 (ASM2) απ' τη Διεθνή Ένωση για την Ποιότητα των Υδάτων (International Association on Water Quality – IAWQ). Στη συνέχεια, το 1999 το ASM2 επεκτάθηκε με τη δημοσίευση του Μοντέλου Ενεργού Ιλύος Νο. 2d (ASM2d) το οποίο λάμβανε υπόψη του το ρόλο της απονιτροποίησης κατά τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου.

Τέλος, το 1998 η Ομάδα Εργασίας αποφάσισε να δημιουργήσει το εργαλείο για την ανάπτυξη των συστημάτων ενεργού ιλύος της επόμενης γενιάς. Έτσι αναπτύχθηκε το Μοντέλο Ενεργού ΙλύοςΝο. 3 (ASM3) το οποίο βασίστηκε σε νεότερες γνώσεις σχετικά με τη λειτουργία των συστημάτων αυτών, όπως για παράδειγμα το ρόλο που παίζουν στο μεταβολισμό της βιομάζας οι αποθηκευμένες σε αυτήν χημικές ενώσεις.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα τέσσερα (4) Μοντέλα Ενεργού Ιλύος.

2.1.2 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 1 (ASM1)

2.1.2.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Παρόλο που το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 1 έχει επεκταθεί από το 1987 που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά, ενσωματώνοντας περισσότερα κλάσματα του COD, αξιοποιώντας νέες πειραματικές παρατηρήσεις, περιγράφοντας την ανάπτυξη και τη δυναμική του πληθυσμού των βακτηρίων και συμπεριλαμβάνοντας νέες διεργασίες για την περιγραφή της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου, εντούτοις το αρχικό μοντέλο είναι ενδεχομένως το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο για την περιγραφή των διεργασιών των ΕΕΛ παγκοσμίως.

Στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι τα περισσότερα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων παρουσιάζουν μικρές διαφορές στη συγκέντρωση της διαλυμένης βιοδιασπάσιμης τροφής στην εκροή, λόγω των μεγάλων χρόνων παραμονής στερεών και των χαμηλών ταχυτήτων ανάπτυξης που προβλέπει ο σχεδιασμός τους. Αντίθετα, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στη συγκέντρωση της ενεργού ιλύος και στην απαίτηση για αποδέκτη ηλεκτρονίων. Επομένως στο σχεδιασμό του μοντέλου δόθηκε πρωτεύουσα σημασία στην πρόβλεψη της συγκέντρωσης της ενεργού ιλύος κατά την επιλογή της στοιχειομετρίας των διεργασιών και στην εκτίμηση της απαίτησης για αποδέκτη ηλεκτρονίων κατά την ανάπτυξη των ρυθμών έκφρασης των διεργασιών. Συνολικά συμπεριλήφθηκαν μόνο οι σημαντικότερες διεργασίες και επιλέχθηκαν οι απλούστερες κινητικές για κάθε διεργασία.

Τέλος, η εξάρτηση των κινητικών από τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες οδήγησε στη χρησιμοποίηση της έννοιας των διακοπτόμενων λειτουργιών. Δηλαδή, οι διεργασίες ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται μέσω της χρήσης 'διακόπτη', που κυμαίνεται μεταξύ της τιμής μηδέν (0) και ένα (1).

2.1.2.2 Μεταβλητές μοντέλου

Οι μεταβλητές του ASM1 κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες συστατικών, τα διαλυτά ή εύκολα διασπάσιμα (S) και τα σωματιδιακά ή δύσκολα-αργά διασπάσιμα (X).

Επίσης, η οργανική ύλη υποδιαιρείται σε βιοδιασπάσιμο COD, μη βιοδιασπάσιμο COD και βιομάζα.

Το βιοδιασπάσιμο COD διαιρείται περαιτέρω σε εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s), η οποία αποτελείται από απλά διαλυτά μόρια που απορροφούν και μεταβολίζουν άμεσα οι οργανισμοί, και δύσκολα-αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_s), η οποία αποτελείται από σωματιδιακά-κολλοειδή-σύνθετα οργανικά μόρια που απαιτούν διάσπαση μέσω ενζύμων πριν την απορρόφησή τους. Το μη βιοδιασπάσιμο COD διαιρείται επίσης σε διαλυτή (S_i) και σωματιδιακή οργανική ύλη (X_i) και οι δύο μορφές θεωρείται ότι παραμένουν ανεπηρέαστες από τις βιολογικές διεργασίες του συστήματος.

Η βιομάζα χωρίζεται σε ετεροτροφικούς (Χ_{BH}) και αυτοτροφικούς μικροοργανισμούς (X_{BA}), ενώ το μοντέλο αποτυπώνει και τα αδρανή προϊόντα που προκύπτουν απ' την αποσύνθεση της βιομάζας (X_p). Στο ASM1 δεν υπολογίζεται το διαλυτό μη βιοδιασπάσιμο τμήμα της αζωτούχας ύλης, καθώς είναι συχνά αμελητέο, ενώ το μη βιοδιασπάσιμο σωματιδιακό τμήμα σχετίζεται με το αντίστοιχο μη βιοδιασπάσιμο σωματιδιακό COD. Η βιοδιασπάσιμη αζωτούχα ύλη υποδιαιρείται σε αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}), διαλυμένο οργανικό άζωτο (S_{ND}) και σωματιδιακό οργανικό άζωτο (X_{ND}). Το σωματιδιακό οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακό μέσω της αμμωνιοποίησης και το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται σε νιτρικό (S_{NO}) μέσω της νιτροποίησης.

Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι μεταβλητές του μοντέλου.

α/α	Συστατικά i	Ερμηνεία							
1	Si	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη							
2	Ss	Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη							
3	Xi	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη							
4	Xs	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη							
5	X _{BH}	Ετεροτροφική Βιομάζα							
6	X _{BA}	Αυτοτροφική Βιομάζα							
7	Xp	Σωματιδιακά Αδρανή Προϊόντα Αποσύνθεσης Βιομάζας							
8	So	Διαλυμένο Οξυγόνο							
9	S _{NO}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο							
10	S _{NH}	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο							
11	S _{ND}	Διαλυμένο Οργανικό Άζωτο							
12	X _{ND}	Σωματιδιακό Βιοδιασπάσιμο Οργανικό Άζωτο							
		Αλκαλικότητα							

Πίνακας 2.1 Μεταβλητές μοντέλου ASM1. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

2.1.2.3 Διεργασίες μοντέλου

Το μοντέλο περιγράφει τέσσερις (4) βασικές διεργασίες: την ανάπτυξη και την αποσύνθεση της βιομάζας, την αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου και την υδρόλυση των σωματιδιακών οργανικών που παγιδεύονται στη βιοκροκίδα. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή όλων των διεργασιών του μοντέλου.

- Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικής βιομάζας: καταναλώνεται εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s) και παράγεται ετεροτροφική βιομάζα (X_{BH}). Οι συγκεντρώσεις του S_s και του διαλυμένου οξυγόνου (S_o) καθορίζουν την ταχύτητα των κινητικών.
- 2. Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικής βιομάζας: καταναλώνεται εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s) και νιτρικό άζωτο (S_{NO}) και παράγεται ετεροτροφική βιομάζα (X_{BH}). Οι συγκεντρώσεις των S_s και S_{NO} καθορίζουν την ταχύτητα των κινητικών και η παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου (S_O) αναστέλλει τη διεργασία.
- Αερόβια ανάπτυξη αυτοτροφικής βιομάζας: καταναλώνεται αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}) και παράγεται αυτοτροφική βιομάζα (X_{BH}) Οι συγκεντρώσεις του S_{NH} και του διαλυμένου

οξυγόνου (S₀) καθορίζουν την ταχύτητα των κινητικών και το pH των λυμάτων επηρεάζει τη διεργασία.

- Αποσύνθεση ετεροτροφικής βιομάζας: η φθορά των ετερότροφων μικροοργανισμών (Χ_{BH}) οδηγεί στην παραγωγή βιοδιασπάσιμων (X_s) και αδρανών (X_i) σωματιδιακών προϊόντων.
- Αποσύνθεση αυτοτροφικής βιομάζας: η φθορά των αυτότροφων μικροοργανισμών οδηγεί στην παραγωγή βιοδιασπάσιμων (X_s) και αδρανών (X_i) και αδρανών σωματιδιακών προϊόντων.
- 6. Αμμωνιοποίηση διαλυμένου οργανικού αζώτου (S_{ND}): συντελείται παράλληλα με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αποσύνθεση της βιομάζας.
- 7. Υδρόλυση αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης: μετατροπή της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (X_s) σε εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_s) η οποία προσλαμβάνεται απ' τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξή τους.
- 8. Υδρόλυση παγιδευμένου οργανικού αζώτου: μετατροπή σωματιδιακού οργανικού αζώτου (X_{ND}) σε αμμωνιακό άζωτο (S_{NH}).

2.1.2.4 Στοιχειομετρία και κινητικές μοντέλου

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι διεργασίες, οι κινητικές και η στοιχειομετρία του μοντέλου. Ο δείκτης i αποδίδεται σε κάθε συστατικό και ο δείκτης j σε κάθε μία διεργασία. Οι συντελεστές που εκφράζουν τους ρυθμούς των διεργασιών δηλώνονται με ρ_j και οι σχέσεις μαζών ανάμεσα στα συστατικά στις αντίστοιχες διεργασίες παρουσιάζονται με τους στοιχειομετρικούς συντελεστές ν_{ij}. Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει κατανάλωση και το θετικό πρόσημο παραγωγή.

Εφαρμόζεται η βασική εξίσωση ισορροπίας της μάζας:

Είσοδος – Έξοδος + Αντίδραση = Συγκέντρωση

Το μοντέλο υπολογίζει τον όρο της αντίδρασης r_i αθροίζοντας τα γινόμενα των στοιχειομετρικών συντελεστών v_{ij} και των εκφράσεων των ρυθμών των διεργασιών ρ_j για κάθε συστατικό i για το οποίο γράφεται η εξίσωση μάζας:

$$r_i = \sum V_{ij} \cdot \rho_j$$

2.1.2.5 Υποθέσεις και περιορισμοί μοντέλου

Σημειώνεται ότι για να επιτευχθεί η εφαρμογή του μοντέλου στην πράξη απαιτούνται μια σειρά απλοποιήσεων και υποθέσεων οι οποίες συνοψίζονται παρακάτω:

- Το σύστημα λειτουργεί υπό σταθερή θερμοκρασία, ενώ ενδεχόμενες παραλλαγές στη θερμοκρασία εισάγονται με την εφαρμογή εξίσωσης που ρυθμίζει τις παραμέτρους μέσα σε συγκεκριμένο εύρος τιμών.
- Το PH είναι σταθερό και σχεδόν ουδέτερο. Πιθανά προβλήματα στη ρύθμισή του ανιχνεύονται με την παρακολούθηση της μεταβλητής της αλκαλικότητας.

- Οι αλλαγές στη φύση της οργανικής ύλης δεν έχουν προβλεφθεί και συνεπώς οι συντελεστές στις εξισώσεις ρυθμού των διεργασιών έχουν σταθερές τιμές και τυχόν μεταβολές στα χαρακτηριστικά των λυμάτων δεν μπορούν να αποτυπωθούν στο μοντέλο.
- Δεν έχει ληφθεί υπόψιν η επίδραση του περιορισμού των θρεπτικών συστατικών στην απομάκρυνση της οργανικής ύλης και την κυτταρική σύνθεση και ως εκ τούτου πρέπει να ελέγχεται η παρουσία ικανής ποσότητα ανόργανων συστατικών για την επίτευξη της επιθυμητής ανάπτυξης.
- Οι διορθωτικοί συντελεστές της απονιτροποίησης είναι σταθεροί για δεδομένα χαρακτηριστικά λυμάτων.
- Οι συντελεστές της νιτροποίησης θεωρούνται σταθεροί και ενσωματώνουν οποιαδήποτε ανασταλτική επίδραση έχουν διάφορα χαρακτηριστικά των λυμάτων στη διαδικασία.
- Η ετεροτροφική βιομάζα είναι ομοιογενής και δεν υφίσταται μεταβολές με την πάροδο του χρόνου. Ως αποτέλεσμα της θεώρησης αυτής είναι οι κλίσεις συγκέντρωσης και η διαμόρφωση του αντιδραστήρα να μην λαμβάνονται υπόψιν στην καθιζησιμότητα της ιλύος.
- Η παγίδευση της σωματιδιακής οργανικής ύλης εντός της βιομάζας θεωρείται ότι πραγματοποιείται στιγμιαία.
- Η υδρόλυση της οργανικής ύλης και του οργανικού αζώτου συνδυάζονται και πραγματοποιούνται στιγμιαία με ίσους ρυθμούς.
- Το είδος του αποδέκτη ηλεκτρονίων δεν επηρεάζει την απώλεια ενεργούς βιομάζας από φθορά.

Μεταβλητές i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Διεργασίες j	Si	Ss	Xi	Xs	X _{BH}	X _{BA}	Xp	So	S _{NO}	S _{NH}	S_{ND}	X _{ND}	S _{ALK}	Ρυθμός Διεργασιών ρ _{ij}
1. Αερόβια Ανάπτυξη Ετεροτροφικών		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O}\right) X_{BH}$
2. Ανοξική Ανάπτυξη Ετεροτροφικών		$-\frac{1}{Y_H}$			1				$-\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$	$-i_{XB}$			$\frac{1 - Y_H}{14 \cdot 2,86 \cdot Y_H} - (i_{XB}/14)$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right) \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O}\right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) X_{BH} n_g$
3. Αερόβια Ανάπτυξη Αυτοτροφικών						1		$-\frac{4,57-Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB}-\frac{1}{Y_A}$				$\mu_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}}\right) \left(\frac{S_O}{K_{OA} + S_O}\right) X_{BA}$
4. Αποσύνθεση Ετεροτροφικών				1- <i>f</i> _p	-1		fp					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$b_H X_{BH}$
5. Αποσύνθεση Αυτοτροφικών				1– <i>f</i> _p		-1	<i>f</i> _p					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$b_A X_{BA}$
6. Αμμωνιοποίηση Διαλυμένου Οργανικού Αζώτου										1	-1		$\frac{1}{14}$	K _S S _{ND} X _{BH}
7. Υδρόλυση Παγιδευμένων Οργανικών		1		-1										$K_{h}\left(\frac{X_{S}/X_{BH}}{K_{X}+(X_{S}/X_{BH})}\right)\left[\left(\frac{S_{O}}{K_{OH}+S_{O}}\right)\right.\\\left.+n_{h}\left(\frac{K_{OH}}{K_{OH}+S_{O}}\right)\left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}}\right)\right]X_{BH}$
8. Υδρόλυση Παγιδευμένου Οργανικού Αζώτου											1	-1		$\rho_7(X_{ND}/X_S)$
Παρατηρούμενος Ρυθμός Αντίδρασης										$r_i =$	$\sum u$	V _{ij} ρj		

Πίνακας 2.2 Διεργασίες, κινητικές και στοιχειομετρία μοντέλου ASM1. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

2.1.3 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2 (ASM2)

2.1.3.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2 αποτελεί επέκταση του Μοντέλου Ενεργού Ιλύος Νο. 1 και χρησιμοποιεί τις έννοιες του ASM1 (Henze et al., 1987), αλλά είναι πολυπλοκότερο καθώς περιλαμβάνει περισσότερες μεταβλητές και βιολογικές διεργασίες για τον ταυτόχρονο υπολογισμό του COD και της βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου. Εκτός των βιολογικών διεργασιών, το ASM2 περιλαμβάνει και δύο (2) χημικές διεργασίες προκειμένου να περιγράφει τη χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου.

Η πλέον αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ των ASM1 και ASM2 είναι ότι το δεύτερο αποτυπώνει την εσωτερική δομή των κυττάρων της βιομάζας, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή της να μην περιγράφεται μόνο με μια μεταβλητή. Επιπλέον, ενώ το ASM1 είναι βασισμένο εξ' ολοκλήρου στο COD για τον υπολογισμό τόσο της σωματιδιακής οργανικής ύλης όσο και της συγκέντρωσης της βιομάζας, το ASM2 περιλαμβάνει τα πολυ-φωσφορικά, ένα κλάσμα της ενεργούς ιλύος το οποίο δεν μπορεί υπολογιστεί σε όρους COD και η ενσωμάτωσή του στο μοντέλο απαιτεί την εισαγωγή του όρου των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS).

Η χρήση των TSS επιτρέπει να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς τα ανόργανα στερεά που φτάνουν στην είσοδο της ΕΕΛ και δίνει τη δυνατότητα να υπολογιστεί η παραγωγή τους μέσω της χημικής κατακρήμνισης του φωσφόρου.

2.1.3.2 Μεταβλητές μοντέλου

Οι μεταβλητές του ASM2, όπως και στο ASM1, κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες συστατικών, τα διαλυτά ή εύκολα διασπάσιμα (S) και τα σωματιδιακά ή δύσκολα-αργά διασπάσιμα (X).

Η οργανική ύλη υποδιαιρείται σε βιοδιασπάσιμο COD, μη βιοδιασπάσιμο COD και βιομάζα.

Το βιοδιασπάσιμο COD διαιρείται περαιτέρω στα διαλυτά προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης (S_A) και τη διαλυτή ζυμώσιμη οργανική ύλη (S_F), το άθροισμα των οποίων αντικαθιστά τη μεταβλητή της διαλυτής οργανικής ύλης (S_s) του προηγούμενου μοντέλου και στη δύσκολα-αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_s), η οποία απαιτεί διάσπαση μέσω ενζύμων πριν την απορρόφησή της απ' τους μικροοργανισμούς.

Το μη βιοδιασπάσιμο COD διαιρείται σε διαλυτή (S_i) και σωματιδιακή οργανική ύλη (X_i).

Η βιομάζα χωρίζεται σε ετεροτροφικούς (X_H), αυτοτροφικούς (X_{AUT}) μικροοργανισμούς και πολυφωσφορικά βακτήρια (X_{PAO}). Τα τελευταία έχουν εσωτερική αποθηκευτική ικανότητα που αποτυπώνεται σε δύο νέες μεταβλητές, τα πολύ-υδροξυ-αλκανοϊκά (X_{PHA}) που υπολογίζονται σε όρους COD και τα πολυ-φωσφορικά (X_{PP}) που υπολογίζονται σε όρους φωσφόρου.

Στο ASM2, σε αντίθεση με το ASM1, δεν υφίσταται ως μεταβλητή το σωματιδιακό βιοδιασπάσιμο οργανικό άζωτο αλλά θεωρείται ότι το X_s και το S_F περιλαμβάνουν σταθερά

κλάσματα αζώτου και φωσφόρου. Η βιοδιασπάσιμη αζωτούχα ύλη υποδιαιρείται σε αμμωνιακό άζωτο (S_{NH4}), διαλυμένο νιτρικό άζωτο (S_{NO3}) και διαλυμένο αέριο άζωτο (X_{N2}).

Για τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου έχει ενσωματωθεί η μεταβλητή του ανόργανου διαλυτού φωσφόρου (S_{PO4}) που υπολογίζει τα ορθο-φωσφορικά και για τη χημική κατακρήμνιση του συγκεκριμένου θρεπτικού συστατικού ενσωματώνονται δύο (2) νέες μεταβλητές που υπολογίζουν το υδροξείδιο μετάλλου (X_{MeOH}) που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση και το φωσφορικό μέταλλο (X_{MeP}) που είναι προϊόν της αντίδρασης.

Στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι μεταβλητές του μοντέλου.

α/α	Συστατικά ί	Ερμηνεία
1	S _{O2}	Διαλυμένο Οξυγόνο
2	S _F	Διαλυτή Ζυμώσιμη Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
3	S _A	Διαλυτά Βιοδιασπάσιμα Προϊόντα Αναερόβιας Ζύμωσης (Οξικό Άλας)
4	S _{NH4}	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο
5	S _{N03}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο
6	S _{PO4}	Ανόργανος Διαλυτός Φώσφορος (Ορθοφωσφορικά)
7	Sı	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
8	S _{ALK}	Αλκαλικότητα
9	S _{N2}	Διαλυμένο Αέριο Άζωτο
10	Xı	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη
11	Xs	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
12	Хн	Ετεροτροφική Βιομάζα
13	X _{PAO}	Πολυ-φωσφορικοί Μικροοργανισμοί
14	Хрр	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολυ- φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυ-φωσφορικά)
15	Хрна	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολυ- φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυ-υδροξυ- αλκανοϊκά)

Πίνακας 2.3 Μεταβλητές μοντέλου ASM2. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

16	X _{AUT}	Αυτοτροφική Βιομάζα (Νιτροποιητές)
17	X _{TSS}	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά
18	Х _{меОН}	Υδροξείδιο Μετάλλου
19	Х _{МеР}	Φωσφορικό Μέταλλο

2.1.3.3 Διεργασίες μοντέλου

Το μοντέλο ASM2 περιγράφει δεκαεννέα (19) διεργασίες που χωρίζονται σε πέντε (5) κατηγορίες:

- Διεργασίες υδρόλυσης: η υδρόλυση, μέσω της δράσης ενζύμων στο εξωτερικό του κυττάρου, καθιστά τη μεγάλου μοριακού βάρους, κολλοειδή ή σωματιδιακή οργανική ύλη (S_F) διαθέσιμη προς κατανάλωση από τους μικροοργανισμούς. Απαιτούνται τρείς (3) εξισώσεις για να περιγράψουν τη συγκεκριμένη διεργασία σε διαφορετικές συνθήκες, καθώς εξαρτάται από τον εκάστοτε αποδέκτη ηλεκτρονίων.
 - Διεργασία 1 αερόβια υδρόλυση: πραγματοποιείται σε αερόβιες συνθήκες (S₀₂>0).
 - Διεργασία 2 ανοξική υδρόλυση: πραγματοποιείται σε ανοξικές συνθήκες (S₀₂≈0, S_{NO3}>0) και η ταχύτητά της είναι μικρότερη από την ταχύτητα της αερόβιας υδρόλυσης.
 - Διεργασία 3 αναερόβια υδρόλυση: πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες (S₀₂≈0, S_{NO3}≈0) και η ταχύτητά της πιθανόν να είναι μικρότερη από την ταχύτητα της αερόβιας υδρόλυσης.

Κατά την υδρόλυση, η αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_S) διασπάται σε διαλυτή βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_F) και ένα μικρό κλάσμα (f_{si}) αδρανούς διαλυτής οργανικής ύλης (S_i) απελευθερώνεται. Οι στοιχειομετρικοί συντελεστές για το αμμωνιακό άζωτο (S_{NH4}), το φωσφορικό (S_{PO4}) και την αλκαλικότητα (S_{ALK}) υπολογίζονται από την εξίσωση συνέχειας.

- 2. Διεργασίες ετεροτροφικών μικροοργανισμών:
 - Διεργασίες 4 & 5 αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) και διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S_F): πρόκειται για δύο (2) διεργασίες που γίνονται παράλληλα και απαιτούν οξυγόνο (S_{O2}) ως αποδέκτη ηλεκτρονίων, θρεπτικά συστατικά (S_{NH4}, S_{PO4}), ενδεχομένως αλκαλικότητα (S_{ALK}) και παράγουν αιωρούμενα στερεά (X_{TSS}).
 - Διεργασίες 6 & 7 ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) και διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S_F)· απονιτροποίηση: πρόκειται για δύο (2) διεργασίες που προσομοιάζουν με τις αντίστοιχες αερόβιες αλλά απαιτούν νιτρικά (S_{NO3}) ως αποδέκτη ηλεκτρονίων, τα οποία

απονιτροποιούνται σε αέριο άζωτο (S_{N2}) και απελευθερώνεται αλκαλικότητα (S_{ALK}). Η διεργασία αναστέλλεται παρουσία οξυγόνου.

- Διεργασία 8 ζύμωση: πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες, απουσία οξυγόνου και νιτρικών (So2≈0, SNO3≈0), όπου συντελείται η μετατροπή της διαλυτής ζυμώσιμης βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (SF) σε διαλυτά βιοδιασπάσιμα προϊόντα (SA).
- Διεργασία 9 λύση ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H): παρουσιάζεται όπως και στο ASM1, με ρυθμό ανεξάρτητο των περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Διεργασίες πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO): το μοντέλο στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι συγκεκριμένο μικροοργανισμοί δεν απονιτροποιούν και μπορούν να αναπτυχθούν μόνο από την οργανική ύλη που αποθηκεύουν στο εσωτερικό του κυττάρου τους (Χ_{PHA}).
 - Διεργασία 10 αποθήκευση Χ_{PHA}: τα PAO απελευθερώνουν φωσφορικά (S_{PO4}) από πολυ-φωσφορικά (X_{PP}) που έχουν αποθηκευμένα εντός του κυττάρου τους και αξιοποιούν την ενέργεια από την υδρόλυση των Χ_{PP} για την αποθήκευση των διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) σε μορφή Χ_{PHA}.
 - Διεργασία 11 αποθήκευση πολυ-φωσφορικών (Χ_{PP}): η αποθήκευση των ορθοφωσφορικών (S_{PO4}) στη μορφή των πολύ-φωσφορικών (X_{PP}) εντός του κυττάρου απαιτεί απ' τους PAO ενέργεια που μπορεί να αποκτηθεί απ' την κατανάλωση των Χ_{PHA}. Η αναγέννηση των πολύ-φωσφορικών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των PAO, καθώς η οργανική ύλη S_A αποθηκεύεται μόνο κατά την απελευθέρωση πολύ-φωσφορικών. Η αποθήκευση των Χ_{PP} εντός των PAO αναστέλλεται όταν αυξηθεί πολύ η συγκέντρωση φωσφόρου στο εσωτερικό των κυττάρων του.
 - Διεργασία 12 ανάπτυξη των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO): πραγματοποιείται μόνο εις βάρος του εσωτερικά αποθηκευμένου Χ_{PHA}. Καθώς ο φώσφορος απελευθερώνεται συνεχώς από τη λύση των πολύ-φωσφορικών (X_{PP}), οι PAO καταναλώνουν ορθο-φωσφορικά (S_{PO4}) ως θρεπτικό συστατικό για την παραγωγή βιομάζας. Η διεργασία, κατά το ASM2, λαμβάνει χώρα υποχρεωτικά σε αερόβιες συνθήκες.
 - Διεργασίες 13, 14 & 15 λύση των πολύ-φωσφορικών βακτηρίων (Χ_{PAO}) και των προϊόντων αποθήκευσής τους (Χ_{PHA}, Χ_{PP}): ο θάνατος και η ενδογενής αναπνοή έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια ή φθορά όλων των κλασμάτων των PAO. Καθώς τα Χ_{PHA} και Χ_{PP} υπολογίζονται ξεχωριστά απ' τους Χ_{PAO}, πρέπει να υπόκεινται και σε ξεχωριστές διεργασίες φθοράς.
- Διεργασίες νιτροποίησης: πρόκειται για τη μετατροπή του αμμωνιακού αζώτου (S_{NH4}) σε νιτρικό άζωτο (S_{NO3}) και, για τις ανάγκες του μοντέλου, πραγματοποιείται σε ένα (1) στάδιο.
 - Διεργασία 16 ανάπτυξη αυτοτροφικών μικροοργανισμών (Χ_{AUT}): πραγματοποιείται σε αερόβιες συνθήκες όπου οι νιτροποιητές καταναλώνουν αμμωνιακό άζωτο (S_{NH4}) ως θρεπτικό συστατικό και παράγουν νιτρικά (S_{NO3}). Η διαφορά απ' το ASM1 είναι η πρόσληψη φωσφόρου απ' τη βιομάζα.
 - Διεργασία 17 λύση αυτοτροφικών μικροοργανισμών: προσομοιώνεται αναλογικά με το ASM1 και τη λύση των ετεροτροφικών μικροοργανισμών. Καθώς

τα προϊόντα της λύσης (X_S το οποίο υδρολύεται σε S_F) αποτελούν τροφή μόνο για τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς, η ενδογενής αναπνοή των αυτοτροφικών αυξάνει την ανάπτυξη και την κατανάλωση οξυγόνου των ετεροτροφικών.

- 5. Διεργασίες χημικής κατακρήμνισης φωσφόρου: η παρουσία μετάλλων στα λύματα σε συνδυασμό με την υψηλή συγκέντρωση διαλυτών ορθο-φωσφορικών (S_{PO4}) οδηγεί στη χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου. Επιπλέον, η προσθήκη άλατος σιδήρου ενισχύει τη διεργασία και σε συνδυασμό με τη βιολογική απομάκρυνση οδηγεί σε παραγωγή αιωρούμενων στερεών (X_{TSS}) και μειώνει την αλκαλικότητα.
 - Διεργασίες 18 & 19 κατακρήμνιση και επαναδιάλυση ορθο-φωσφορικών (S_{PO4}): το μοντέλο της κατακρήμνισης βασίζεται στη θεώρηση ότι πρόκειται για δύο (2) αντίστροφες διεργασίες που σε σταθερές συνθήκες βρίσκονται σε ισορροπία. Για το ASM2 τα X_{MEOH} και X_{MEP} αποτελούν το υδροξείδιο του σιδήρου (Fe(OH)₃) και ο φωσφορικός σίδηρος (FePO₄) αντίστοιχα.

2.1.3.4 Στοιχειομετρία μοντέλου

Στους Πίνακες 2.4, 2.5 και 2.6 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά η στοιχειομετρία του μοντέλου για τα διαλυτά και τα σωματιδιακά συστατικά και οι ρυθμοί των διεργασιών του μοντέλου αντίστοιχα. Ο δείκτης i αποδίδεται σε κάθε συστατικό και ο δείκτης j σε κάθε μία διεργασία. Οι συντελεστές που εκφράζουν τους ρυθμούς των διεργασιών δηλώνονται με ρ_j και οι σχέσεις μαζών ανάμεσα στα συστατικά στις αντίστοιχες διεργασίες παρουσιάζονται με τους στοιχειομετρικούς συντελεστές ν_{ij}. Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει κατανάλωση και το θετικό πρόσημο παραγωγή.

Εφαρμόζεται η βασική εξίσωση ισορροπίας της μάζας:

Το μοντέλο υπολογίζει τον όρο της αντίδρασης r_i αθροίζοντας τα γινόμενα των στοιχειομετρικών συντελεστών v_{ij} και των εκφράσεων των ρυθμών των διεργασιών ρ_j για κάθε συστατικό i για το οποίο γράφεται η εξίσωση μάζας:

$$r_i = \sum V_{ij} \cdot \rho_j$$

		Στοιχει	ομετρικός πίν	νακας για δια	λυτά συστατ	ικά			
Μεταβλητές i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Διεργασίες j	S _{O2}	S _F	S _A	S _{NH4}	S _{N03}	S _{PO4}	Sı	S _{ALK}	S _{N2}
Υδρόλυση									
1. Αερόβια υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{1,NH_4}		v_{1,PO_4}	f_{S_I}	$v_{1,ALK}$	
2. Ανοξική υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{2,NH_4}		v_{2,PO_4}	f_{S_I}	$v_{2,ALK}$	
3. Αναερόβια υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{3,NH_4}		v_{3,PO_4}	f_{S_I}	$v_{3,ALK}$	
Ετεροτροφικοί μικροοργανισ	μοί: Χ _Η	1	1					1	I
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		$-\frac{1}{Y_H}$			$-\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$				$\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$
7. Ανοξική ανάπτυξη με S _A - απονιτροποίηση			$-\frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$				$\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$
8. Αναερόβια ζύμωση		-1	1						
9. Λύση									
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (PAO): X _{PAO}								
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}			-1			Y_{PO_4}			
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}	$-Y_{PHA}$					-1			
12. Αερόβια ανάπτυξη	$1 - \frac{1}{Y_{PAO}}$					— <i>і_{РВМ}</i>			
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}						V _{13,P04}			
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}						1			
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}			1						
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί	οργανισμοί):	X _{AUT}	1				•		
16. Αερόβια ανάπτυξη	$-\frac{4,57-Y_A}{Y_A}$			$-i_{NBM} - \frac{1}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	— <i>і_{РВМ}</i>			
17. Λύση				v_{17,NH_4}		v_{17,PO_4}			
Χημική κατακρήμνιση φωσφό	ρου με υδρο	ξείδιο του σι	δήρου (Fe(O	H) ₃):			•	•	
18. Κατακρήμνιση						-1		ν _{18,ALK}	
19. Επαναδιάλυση						1		ν _{19,ALK}	

Πίνακας	2.4	Στοιχειομετρία	διαλυτών	συστατικών	μοντέλου	ASM2.	(Πηγή:	Mogens	et	al.,	2000)

		Στοι	χειομετρικός	πίνακας για	σωματιδιακό	ι συστατικά				
Μεταβλητές i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Διεργασίες j	Xı	Xs	Х _н	X _{PAO}	X _{PP}	X _{PHA}	X _{AUT}	X _{TSS}	Х _{меОН}	X _{MeP}
Υδρόλυση										
1. Αερόβια υδρόλυση		-1						$v_{1,TSS}$		
2. Ανοξική υδρόλυση		-1						$v_{2,TSS}$		
3. Αναερόβια υδρόλυση		-1						$v_{3,TSS}$		
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμα	οί: Χ _Η									
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. Αναερόβια ζύμωση			1							
9. Λύση	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$	-1							
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (Ρ	40): X _{PAO}									
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}					$-Y_{PO_4}$	1				
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}					1	$-Y_{PHA}$				
12. Αερόβια ανάπτυξη				1		$-\frac{1}{Y_H}$				
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$		-1						
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}					-1					
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}						-1				
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί ορ	ογανισμοί): X	AUT								
16. Αερόβια ανάπτυξη							1			
17. Λύση	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$					-1			
Χημική κατακρήμνιση φωσφόρ	ου με υδροξι	είδιο του σιδι	ήρου (Fe(OH)	3):						
18. Κατακρήμνιση								1,42	-3,45	4,87
19. Επαναδιάλυση								-1,42	3,45	-4,87

Πίνακας 2.5 Στοιχειομετρία σωματιδιακών συστατικών μοντέλου ASM2. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

Πινακάς 2.0 Εςιόωο	
Διεργασίες j	Εξίσωση ρυθμού ρ
Υδρόλυση	
1. Αερόβια υδρόλυση	$K_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S / X_H}{K_X + X_S / X_H} \cdot X_H$
2. Ανοξική υδρόλυση	$K_{h} \cdot n_{NO_{3}} \cdot \frac{K_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{X_{S}/X_{H}}{K_{X} + X_{S}/X_{H}} \cdot X_{H}$
3. Αναερόβια υδρόλυση	$K_{h} \cdot n_{fe} \cdot \frac{K_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{K_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{X_{S}/X_{H}}{K_{X} + X_{S}/X_{H}} \cdot X_{H}$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμ	οί: Χ _H
4. Αερόβια ανάπτυξη με S _F	$\mu_{H} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{F}}{K_{F} + S_{F}} \cdot \frac{S_{F}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$
5. Αερόβια ανάπτυξη με S _A	$\mu_{H} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$
6. Ανοξική ανάπτυξη με S _F - απονιτροποίηση	$\mu_{H} \cdot n_{NO_{3}} \cdot \frac{K_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{F}}{K_{F} + S_{F}} \cdot \frac{S_{F}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{F} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H}$
7. Ανοξική ανάπτυξη με S _A - απονιτροποίηση	$\mu_{H} \cdot n_{NO_{3}} \cdot \frac{K_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{F} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H}$
8. Αναερόβια 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	$b_H \cdot X_H$
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (Ρ	AO): X _{PAO}
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}	$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}	$\mathbf{q}_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{IPP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
12. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}	$\mathbf{b}_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}	$\mathbf{b}_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}	$\mathbf{b}_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί ο	ργανισμοί): Χ _{Αυτ}
16. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
17. Λύση	$\mathbf{b}_{AUT} \cdot X_{AUT}$
Χημική κατακρήμνιση φωσφόρ	ρου με υδροξείδιο του σιδήρου (Fe(OH) ₃):
18. Κατακρήμνιση	$k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$
19. Επαναδιάλυση	$k_{RED} \cdot X_{MeP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$

Πίνακας 2.6 Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM2. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

2.1.3.5 Υποθέσεις και περιορισμοί μοντέλου

Οι υποθέσεις και οι περιορισμοί που σχετίζονται με το ASM1 εφαρμόζονται και στο ASM2 με κυριότερες εκείνες που αφορούν στις σταθερές τιμές του pH, των συντελεστών στις εξισώσεις ρυθμού και τη στοιχειομετρία.

Κάποιες υποθέσεις του ASM1 έχουν επεκταθεί έτσι ώστε να εφαρμόζονται και στη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου:

- Οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί και τα πολυ-φωσφορικά βακτήρια είναι ομοιογενείς πληθυσμοί και δεν επιδέχονται μεταβολές με το χρόνο, υπόθεση εγγενής στην παραδοχή των σταθερών παραμέτρων στις κινητικές τους.
- Η υδρόλυση της οργανικής ύλης, του οργανικού αζώτου και του οργανικού φωσφόρου αποτελούν διεργασίες που συνδυάζονται και πραγματοποιούνται στιγμιαία.

Οι υποθέσεις που αφορούν στα πολυ-φωσφορικά βακτήρια (PAO) είναι οι ακόλουθες:

- Τα διαλυτά προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης (S_A), όπως το οξικό άλας, θεωρούνται ως η μόνη οργανική ύλη που προσλαμβάνουν οι PAO, κατά τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου, ενώ οι άλλοι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί θεωρείται ότι χρησιμοποιούν τόσο ζυμώσιμη οργανική ύλη (S_F) όσο και διαλυτά προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης (S_A).
- Οι ΡΑΟ αναπτύσσονται σε αερόβιες συνθήκες χρησιμοποιώντας τα αποθηκευμένα PHA αποκλειστικά και όχι απευθείας τα S_A, παρά το γεγονός ότι προσλαμβάνουν S_A σε αερόβιες συνθήκες απελευθερώνοντας φωσφορικά, αλλά δεν τα χρησιμοποιούν για την ανάπτυξή τους. Συνεπώς στις αερόβιες συνθήκες υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των PAO και των άλλων ετεροτροφικών ως προς την κατανάλωση S_A, που στο παρόν μοντέλο καταλήγει προς όφελος των ετεροτροφικών λόγω υψηλότερου ρυθμού ανάπτυξης.
- Οι ΡΑΟ δεν απονιτροποιούν, γεγονός που επηρεάζει τις διεργασίες τόσο στην αναερόβια όσο και στις ανοξικές δεξαμενές ως εξής:
 - Αναερόβια δεξαμενή: υπάρχουν τρείς (3) μηχανισμοί με τους οποίους η είσοδος νιτρικού αζώτου (NO₃-N) μειώνει την ικανότητα απομάκρυνσης φωσφόρου:
 - Ο ανταγωνισμός μεταξύ των PAO και των ετεροτροφικών μικροοργανισμών που απονιτροποιούν, για κατανάλωση S_A έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη αποθήκευση του ως PHA απ' τους PAO.
 - 2. Οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί που απονιτροποιούν δεν πραγματοποιούν ζύμωση των S_F σε S_A με αποτέλεσμα η μειωμένη διαθεσιμότητα των τελευταίων να οδηγεί σε μειωμένη πρόσληψη τους απ' τους PAO και αποθήκευση τους ως PHA.
 - Αφού ένα κλάσμα των ΡΑΟ απονιτροποιεί σε πραγματικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα νιτρικών τους στερεί την ανάγκη να καταναλώσουν πολυφωσφορικά για την παραγωγή ενέργειας. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός δεν λαμβάνεται υπόψη στο ASM2.
 - Ανοξική δεξαμενή: η υπόθεση ότι οι ΡΑΟ δεν απονιτροποιούν σημαίνει ότι η ανοξική δεξαμενή είναι αναερόβια για τους ΡΑΟ και ως εκ τούτου απελευθερώνουν φώσφορο.

- Καθώς τα πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκά (PHA) αποτελούν τη μορφή της οργανικής ύλης που αποθηκεύουν οι PAO στα κύτταρά τους, η ενέργεια που απαιτείται για τη σύνθεσή των PHA σε αναερόβιες συνθήκες κατά τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου είναι μειωμένη κατά τους Mino et al. (1987) και Satoh et al. (1992), σε σύγκριση με άλλες μορφές οργανικής ύλης.
- Το μοντέλο δεν περιλαμβάνει ξεχωριστό κλάσμα βιομάζας που αποθηκεύει PHA χωρίς απελευθέρωση φωσφορικών.
- Οι ετεροτροφικοί που προσδιορίζει το ASM2 θεωρείται ότι αναπτύσσονται σε αερόβιες συνθήκες, απονιτροποιούν σε ανοξικές συνθήκες και κάνουν ζύμωση σε αναερόβιες συνθήκες, χαρακτηριστικά που δεν είναι τυπικά από μικροβιολογικής άποψης.

Οι περιορισμοί που δημιουργεί η δομή του μοντέλου είναι οι ακόλουθοι:

- Επειδή η ανάπτυξη της βιομάζας ακολουθεί την κινητική Monod και δεν είναι γνωστοί οι ακριβείς μηχανισμοί περιορισμού την ανάπτυξης σε συνθήκες στέρησης θρεπτικών συστατικών, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για τη συνεχή παρουσία επαρκούς ποσότητας ανόργανων θρεπτικών συστατικών ώστε να επιτρέπεται η ισορροπημένη ανάπτυξη των μικροοργανισμών.
- Τα κλάσματα της οργανικής ύλης S_A, S_F και X_S θεωρούνται ομογενή και η φύση τους δεν μεταβάλλεται, γεγονός που δεν επιτρέπει τον υπολογισμό διεργασιών που λαμβάνουν χώρα όταν στην εγκατάσταση εισέρχονται μη τυπικά αστικά λύματα.
- Δεν συνυπολογίζεται η επίδραση της μειωμένης συγκέντρωσης καλίου (K) και μαγνησίου (Mg) στη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου.
- Δεν λαμβάνεται υπόψη η ανασταλτική επίδραση της παρουσίας του μονοξειδίου του αζώτου (NO) και των νιτρωδών (NO₂⁻) στη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου.

Τέλος, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί χωρίς τους οποίους οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων:

- Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των αστικών οικιακών λυμάτων και δεν εφαρμόζεται σε λύματα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων.
- Το ASM2 προσομοιώνει τις βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην εγκατάσταση και όχι το διαχωρισμό στερεών που πραγματοποιείται στις δεξαμενές καθίζησης.
- Το pH των λυμάτων πρέπει να είναι σχεδόν ουδέτερο, με την τιμή του να κυμαίνεται μεταξύ 6.3 και 7.8.
- Η θερμοκρασία των λυμάτων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 10 και 25°C καθώς η συμπεριφορά των πολυφωσφορικών βακτηρίων δεν είναι πλήρως κατανοητή και το μοντέλο ενδέχεται να μην δώσει λογικά αποτελέσματα εκτός του εύρους αυτού.

2.1.4 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2d (ASM2d)

2.1.4.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2d αποτελεί επέκταση του Μοντέλου Ενεργού Ιλύος Νο. 2 (Henze et al., 1995) και του Μοντέλου Ενεργού Ιλύος Νο. 1 (Henze et al., 1987) και ενσωματώνει όλες τις έννοιες που περιλαμβάνουν τα εν λόγω μοντέλα.

Από τη δημοσίευση του ASM2 είχε ήδη αποδειχθεί (Mino et al., 1995, Meinhold et al., 1999, Kerrn-Jespersen and Henze, 1993) ότι οι PAO αποτελούνται από δύο κλάσματα, ένα εκ των οποίων μπορεί να απονιτροποιήσει, γεγονός που οδήγησε στην ανάγκη να επεκταθεί το ASM2 και να παρουσιαστεί το ASM2d.

To ASM2d περιλαμβάνει δύο (2) επιπρόσθετες διεργασίες για να προσομοιωθεί η δυνατότητα των PAO να χρησιμοποιούν εσωκυτταρικά προϊόντα αποθήκευσης για να απονιτροποιούν. Έτσι, ενώ το ASM2 θεωρεί ότι οι PAO αναπτύσσονται μόνο σε αερόβιες συνθήκες, το ASM2d περιλαμβάνει και τους PAO που απονιτροποιούν.

Πέραν της διαφοράς στα χαρακτηριστικά των PAO, το ASM2d περιλαμβάνει τις ίδιες μεταβλητές και τις ίδιες διεργασίες με το προηγούμενο μοντέλο και ισχύουν οι ίδιοι περιορισμοί.

2.1.4.2 Μεταβλητές μοντέλου

Στον Πίνακα 2.7 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβλητές του ASM2d.

α/α	Συστατικά i	Ερμηνεία
1	S ₀₂	Διαλυμένο Οξυγόνο
2	S _F	Διαλυτά Βιοδιασπάσιμα Προϊόντα Αναερόβιας Ζύμωσης
3	S _A	Διαλυτή Ζυμώσιμη Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (Οξικό Άλας)
4	S _{NH4}	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο
5	S _{N03}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο
6	SpO4	Ανόργανος Διαλυτός Φώσφορος (Ορθοφωσφορικά)
7	Si	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
8	Salk	Αλκαλικότητα

Πίνακας 2.7 Μεταβλητές μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

α/α	Συστατικά i	Ερμηνεία
9	S _{N2}	Διαλυμένο Αέριο Άζωτο
10	Xı	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη
11	Xs	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
12	Хн	Ετεροτροφική Βιομάζα
13	Χραο	Πολυ-φωσφορικοί Μικροοργανισμοί
14	Хрр	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολυ- φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυ-φωσφορικά)
15	Хрна	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολυ- φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυ-υδροξυ- αλκανοϊκά)
16	X _{AUT}	Αυτοτροφική Βιομάζα (Νιτροποιητές)
17	X _{TSS}	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά
18	Х _{МеОН}	Υδροξείδια Μετάλλων
19	X _{MeP}	Φωσφορικά Μέταλλα

2.1.4.3 Διεργασίες μοντέλου

Το μοντέλο ASM2d περιγράφει είκοσι μία (21) διεργασίες, εκ των οποίων οι δεκαεννέα (19) είναι ίδιες με τις διεργασίες του ASM2, και χωρίζονται σε πέντε (5) κατηγορίες:

- 1. Διεργασίες υδρόλυσης:
 - Διεργασία 1 αερόβια υδρόλυση.
 - Διεργασία 2 ανοξική υδρόλυση.
 - Διεργασία 3 αναερόβια υδρόλυση.
- 2. Διεργασίες ετεροτροφικών μικροοργανισμών:
 - Διεργασίες 4 & 5 αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H).
 - Διεργασίες 6 & 7 ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H).
 - Διεργασία 8 ζύμωση.
 - Διεργασία 9 λύση ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H).
- Διεργασίες πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO): το μοντέλο καταρρίπτει την υπόθεση ότι οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί δεν απονιτροποιούν και θεωρεί ότι οι PAO αναπτύσσονται τόσο σε αερόβιες ((S₀₂>0) όσο και σε ανοξικές συνθήκες (S₀₂≈0, S_{NO3}>0)

αλλά μόνο από την οργανική ύλη που αποθηκεύουν στο εσωτερικό του κυττάρου τους (Χ_{ΡΗΑ}).

- Διεργασία 10 αποθήκευση Χ_{PHA}: τα PAO απελευθερώνουν φωσφορικά (S_{PO4}) από πολυ-φωσφορικά (X_{PP}) που έχουν αποθηκευμένα εντός του κυττάρου τους και αξιοποιούν την ενέργεια από την υδρόλυση των Χ_{PP} για την αποθήκευση των διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) σε μορφή Χ_{PHA}, διεργασία που λαμβάνει χώρα κυρίως σε αναερόβιες συνθήκες αλλά δεν αναστέλλεται σε αερόβιες και ανοξικές συνθήκες.
- Διεργασίες 11 & 12 αερόβια και ανοξική αποθήκευση πολυ-φωσφορικών (Χ_{PP}): η αποθήκευση των ορθο-φωσφορικών (S_{PO4}) στη μορφή των πολύ-φωσφορικών (X_{PP}) εντός του κυττάρου απαιτεί απ' τους PAO ενέργεια που μπορεί να αποκτηθεί απ' την κατανάλωση των Χ_{PHA}. Η αναγέννηση των πολύ-φωσφορικών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των PAO, καθώς η οργανική ύλη S_A αποθηκεύεται μόνο κατά την απελευθέρωση πολύ-φωσφορικών. Η αποθήκευση των Χ_{PP} εντός των PAO αναστέλλεται όταν αυξηθεί πολύ η συγκέντρωση φωσφόρου στο εσωτερικό των κυττάρων του. Σε ανοξικές συνθήκες ο ρυθμός της διεργασίας μειώνεται καθώς δεν απονιτροποιούν όλοι οι PAO αλλά και η ταχύτητα απονιτροποίησης είναι μικρότερη. Η διεργασία 12 δεν υφίσταται στο ASM2.
- Διεργασίες 13 & 14 αερόβια και ανοξική ανάπτυξη των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO): πραγματοποιείται μόνο εις βάρος του εσωτερικά αποθηκευμένου Χ_{PHA}. Καθώς ο φώσφορος απελευθερώνεται συνεχώς από τη λύση των πολύ-φωσφορικών (X_{PP}), οι PAO καταναλώνουν ορθο-φωσφορικά (S_{PO4}) ως θρεπτικό συστατικό για την παραγωγή βιομάζας. Σε ανοξικές συνθήκες ο ρυθμός της διεργασίας μειώνεται καθώς δεν απονιτροποιούν όλοι οι PAO αλλά και η ταχύτητα απονιτροποίησης είναι μικρότερη. Η διεργασία 14 δεν υφίσταται στο ASM2.
- Διεργασίες 15, 16 & 17 λύση των πολύ-φωσφορικών βακτηρίων (Χ_{ΡΑΟ}) και των προϊόντων αποθήκευσής τους (Χ_{ΡΗΑ}, Χ_{ΡΡ}).
- 4. Διεργασίες νιτροποίησης:
 - Διεργασία 18 ανάπτυξη αυτοτροφικών μικροοργανισμών (X_{AUT}).
 - Διεργασία 19 λύση αυτοτροφικών μικροοργανισμών.
- 5. Διεργασίες χημικής κατακρήμνισης φωσφόρου:
 - Διεργασίες 20 & 21 κατακρήμνιση και επαναδιάλυση ορθο-φωσφορικών (SPO4).

2.1.4.4 Στοιχειομετρία μοντέλου

Στους Πίνακες 2.8, 2.9 και 2.10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά η στοιχειομετρία του μοντέλου για τα διαλυτά και τα σωματιδιακά συστατικά και οι ρυθμοί των διεργασιών του μοντέλου αντίστοιχα. Ο δείκτης i αποδίδεται σε κάθε συστατικό και ο δείκτης j σε κάθε μία διεργασία. Οι συντελεστές που εκφράζουν τους ρυθμούς των διεργασιών δηλώνονται με ρ_j και οι σχέσεις μαζών ανάμεσα στα συστατικά στις αντίστοιχες διεργασίες παρουσιάζονται με τους στοιχειομετρικούς συντελεστές ν_{ij}. Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει κατανάλωση και το θετικό πρόσημο παραγωγή. Εφαρμόζεται η βασική εξίσωση ισορροπίας της μάζας:

Είσοδος – Έξοδος + Αντίδραση = Συγκέντρωση

Το μοντέλο υπολογίζει τον όρο της αντίδρασης r_i αθροίζοντας τα γινόμενα των στοιχειομετρικών συντελεστών v_{ij} και των εκφράσεων των ρυθμών των διεργασιών ρ_j για κάθε συστατικό i για το οποίο γράφεται η εξίσωση μάζας:

$$r_i = \sum V_{ij} \cdot \rho_j$$

2.1.4.5 Υποθέσεις και περιορισμοί μοντέλου

Οι σημαντικότεροι περιορισμοί του μοντέλου είναι οι ακόλουθοι:

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

		Στοιχει	ομετρικός πίν	νακας για δια	λυτά συστατ	ικά			
Μεταβλητές i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Διεργασίες j	S _{O2}	S _F	S _A	S _{NH4}	S _{N03}	S _{PO4}	S ₁	S _{ALK}	S _{N2}
Υδρόλυση									
1. Αερόβια υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{1,NH_4}		v_{1,PO_4}	f _{s_I}	$v_{1,ALK}$	
2. Ανοξική υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{2,NH_4}		v_{2,PO_4}	f _{s1}	$v_{2,ALK}$	
3. Αναερόβια υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{3,NH_4}		v _{3,P04}	f _{si}	ν _{3,ALK}	
Ετεροτροφικοί μικροοργανισ	μοί: Χ _Η	1	1	1			1		1
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 - απογιτροποίηση		$-\frac{1}{Y_H}$			$-\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$				$\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$
7. Ανοξική ανάπτυξη με S _A - απονιτροποίηση			$-\frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$				$\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$
8. Αναερόβια ζύμωση		-1	1						
9. Λύση									
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (PAO): X _{PAO}	1	1				1		1
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}			-1			Y_{PO_4}			
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}	$-Y_{PHA}$					-1			
12. Αερόβια ανάπτυξη	$1 - \frac{1}{Y_{PAO}}$					- <i>i_{PBM}</i>			
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}						v _{13,P04}			
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}						1			
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}			1						
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί	οργανισμοί):	X _{AUT}							
16. Αερόβια ανάπτυξη	$-\frac{4,57-Y_A}{Y_A}$			$-i_{NBM} - \frac{1}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	— <i>і_{РВМ}</i>			
17. Λύση				v_{17,NH_4}		v_{17,PO_4}			
Χημική κατακρήμνιση φωσφό	όρου με υδρο	ξείδιο του σι	δήρου (Fe(O	H) ₃):					
18. Κατακρήμνιση						-1		$v_{18,ALK}$	
19. Επαναδιάλυση						1		ν _{19,ALK}	

Πίνακας 2.8 Στοιχειομετρία διαλυτών συστατικών μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

Στοιχειομετρικός πίνακας για σωματιδιακά συστατικά										
Μεταβλητές i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Διεργασίες j	Xı	Xs	Х _н	X _{PAO}	X _{PP}	X _{PHA}	X _{AUT}	X _{TSS}	Х _{меОН}	X _{MeP}
Υδρόλυση										
1. Αερόβια υδρόλυση		-1						$v_{1,TSS}$		
2. Ανοξική υδρόλυση		-1						$v_{2,TSS}$		
3. Αναερόβια υδρόλυση		-1						$v_{3,TSS}$		
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: Χ _Η										
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. Αναερόβια ζύμωση			1							
9. Λύση	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$	-1							
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (PAO): Χ _{ΡΑΟ}										
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}					$-Y_{PO_{4}}$	1				
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}					1	$-Y_{PHA}$				
12. Αερόβια ανάπτυξη				1		$-\frac{1}{Y_{PAO}}$				
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$		-1						
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}					-1					
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}						-1				
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί οργανισμοί): Χ _{Αυτ}										
16. Αερόβια ανάπτυξη							1			
17. Λύση	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$					-1			
Χημική κατακρήμνιση φωσφόρου με υδροξείδιο του σιδήρου (Fe(OH)₃):										
18. Κατακρήμνιση								1,42	-3,45	4,87
19. Επαναδιάλυση								-1,42	3,45	-4,87

Πίνακας 2.9 Στοιχειομετρία σωματιδιακών συστατικών μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

Διεργασίες j	Εξίσωση ρυθμού ρ						
Υδρόλυση							
1. Αερόβια υδρόλυση	$\mathbf{K}_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S / X_H}{K_X + X_S / X_H} \cdot X_H$						
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	$\mathbf{K}_{h} \cdot n_{fe} \cdot \frac{K_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{K_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{X_{S}/X_{H}}{K_{X} + X_{S}/X_{H}} \cdot X_{H}$						
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμα	ρί: Χ _Η						
4. Αερόβια ανάπτυξη με S _F	$\mu_{H} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{F}}{K_{F} + S_{F}} \cdot \frac{S_{F}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$						
5. Αερόβια ανάπτυξη με S _A	$\mu_{H} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$						
6. Ανοξική ανάπτυξη με S _F - απονιτροποίηση	$\mu_{H} \cdot n_{NO_{3}} \cdot \frac{K_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{K_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{F}}{K_{F} + S_{F}} \cdot \frac{S_{F}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{F} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$						
7. Ανοξική ανάπτυξη με S _A - απονιτροποίηση	$\mu_{H} \cdot n_{NO_{3}} \cdot \frac{K_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{K_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{F} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$						
8. Αναερόβια ζύμωση	$q_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_H$						
9. Λύση	$b_H \cdot X_H$						
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (PAO): Χ _{ΡΑΟ}							
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}	$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_A + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$						
11. Αερόβια αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}	$\mathbf{q}_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$						
12. Ανοξική αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}	$\rho_{12} = \rho_{11} \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$						
13. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$						
14. Ανοξική ανάπτυξη	$\rho_{14} = \rho_{13} \cdot n_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}}$						
15. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}	$b_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$						
16. Λύση των Χ _{ΡΡ}	$\mathbf{b}_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$						
17. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}	$\mathbf{b}_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$						
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί οργανισμοί): Χ _{Αυτ}							
18. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_P + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$						
19. Λύση	$b_{AUT} \cdot X_{AUT}$						
Χημική κατακρήμνιση φωσφόρ	ου με υδροξείδιο του σιδήρου (Fe(OH)₃):						
20. Κατακρήμνιση	$k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$						
21. Επαναδιάλυση	$k_{RED} \cdot X_{MeP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$						

Πίνακας 2.10 Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM2d. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

2.1.5 Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 3 (ASM3)

2.1.5.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 3 (ASM3) παρουσιάστηκε το 1999 απ' τους Gujer et al. ως απάντηση στα μειονεκτήματα που παρουσίαζε το ASM1, τα οποία είχαν παρατηρηθεί ύστερα από δέκα χρόνια εφαρμογής του.

Το νεότερο μοντέλο στηρίζεται στα ίδια κυρίαρχα φαινόμενα με το ASM1, δηλαδή την κατανάλωση οξυγόνου, την παραγωγή ιλύος, τη νιτροποίηση και την απονιτροποίηση, αξιοποιώντας όμως την επιστημονική γνώση που είχε έως το 1999 αποδειχθεί πειραματικά, σχετικά με την αποθήκευση της οργανικών συστατικών εντός των κυττάρων της βιομάζας.

Το ASM3 έχει σχεδιαστεί ώστε να αποτελέσει τη βάση πολλών διαφορετικών μοντέλων. Υποπρογράμματα για τον υπολογισμό της βιολογικής και χημικής απομάκρυνσης φωσφόρου, την ανάπτυξη νηματοειδών οργανισμών και τον υπολογισμό του pH μπορούν εύκολα να προστεθούν στο αρχικό μοντέλο.

2.1.5.2 Σύγκριση των μοντέλων ASM1 και ASM3

Στο ASM1 χρησιμοποιείται μία (1) διεργασία αποσύνθεσης (λύση) για να περιγράψει το άθροισμα όλων των διεργασιών αποσύνθεσης που λαμβάνουν χώρα σε οποιεσδήποτε περιβαλλοντικές συνθήκες, αερόβιες ή ανοξικές, ενώ στο ASM3 εισάγεται ένας πιο ρεαλιστικός υπολογισμός του φαινομένου, μέσω της ενδογενούς αναπνοής.



Σχήμα 2.1 Ροή COD στα ASM1 και ASM3 (Πηγή: Mogens et al., 2000)

Η ροή του COD στο ASM1 είναι σχετικά πολύπλοκη, καθώς ο κύκλος αποσύνθεσης-αναγέννησης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών και η διαδικασία αποσύνθεσης των νιτροποιητών συσχετίζονται. Αντίθετα, στο ASM3 όλες οι διεργασίες μετατροπής των μικροοργανισμών είναι ανεξάρτητες μεταξύ των διαφορετικών ειδών και οι διεργασίες φθοράς περιγράφονται με πανομοιότυπα μοντέλα. Τα προηγούμενα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1. Το ASM3, όπως ισχύει και στο ASM2, υπολογίζει συστατικά που αποθηκεύονται στο εσωτερικό των κυττάρων, δηλαδή προσομοιώνει και την εσωτερική δομή της βιομάζας. Αυτό σημαίνει πως οι διεργασίες φθοράς περιλαμβάνουν όλα τα κλάσματα της βιομάζας, γι' αυτό απαιτούνται συνολικά τέσσερις (4) διεργασίες αποσύνθεσης για να τις περιγράψουν, και οι κινητικές συσχετίζονται με την αναλογία μεταξύ των εσωτερικών προϊόντων και της βιομάζας.

2.1.5.3 Μεταβλητές μοντέλου

Στον Πίνακα 2.11 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβλητές του μοντέλου.

α/α	Συστατικά i	Ερμηνεία
1	S _{O2}	Διαλυμένο Οξυγόνο
2	SI	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
3	Ss	Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
4	S _{NH4}	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο
5	S _{N2}	Διαλυμένο Αέριο Άζωτο
6	S _{NOX}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο
7	S _{ALK}	Αλκαλικότητα
8	Xı	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη
9	Xs	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
10	X _H	Ετεροτροφική Βιομάζα
11	X _{STO}	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Ετεροτροφικών Μικροοργανισμών (Πολυ-υδροξυ- βουτυρικό)
12	X _A	Αυτοτροφική Βιομάζα (Νιτροποιητές)
13	X _{SS}	Αιωρούμενα Στερεά

Πίνακας 2.11 Μεταβλητές μοντέλου ASM3. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

2.1.5.4 Διεργασίες μοντέλου

Το μοντέλο ASM3 περιλαμβάνει εννέα (9) βασικές διεργασίες:

- Υδρόλυση: καθιστά διαθέσιμη στο σύστημα ενεργού ιλύος τη βιοδιασπάσιμη σωματιδιακή οργανική ύλη X_s και πραγματοποιείται ανεξάρτητα από τον δότη ηλεκτρονίων.
- Αερόβια αποθήκευση της άμεσα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (S_s): πρόκειται για τη διεργασία κατά την οποία η S_s αποθηκεύεται στο εσωτερικό του κυττάρου με τη μορφή πολύ-υδροξυ-βουτυρικού (X_{STO}). Απαιτείται ενέργεια που αποκτάται από την αερόβια αναπνοή.
- 3. Ανοξική αποθήκευση της άμεσα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης (S_s): αυτή η διεργασία είναι πανομοιότυπη με την αερόβια αποθήκευση, αλλά η απαιτούμενη ενέργεια αποκτάται μέσω της απονιτροποίησης. Μόνο ένα κλάσμα των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) είναι ικανό να απονιτροποιεί και κατά συνέπεια ο ρυθμός της διεργασίας αυτής είναι μικρότερος απ' της αντίστοιχης αερόβιας.
- 4. Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ_H): το υπόστρωμα για την ανάπτυξη των Χ_H θεωρείται ότι είναι μόνο το αποθηκευμένο Χ_{STO}.
- Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ_H): αυτή η διεργασία μοιάζει με την αερόβια ανάπτυξη αλλά η αναπνοή βασίζεται στην απονιτροποίηση, η οποία πραγματοποιείται μόνο από ένα κλάσμα της ετεροτροφικής βιομάζας.
- 6. Αερόβια ενδογενής αναπνοή: περιγράφει όλες τις μορφές απώλειας βιομάζας και τις ενεργειακές απαιτήσεις που δεν συνδέονται με την ανάπτυξη.
- Ανοξική ενδογενής αναπνοή: αυτή η διεργασία μοιάζει με την αντίστοιχη αερόβια αλλά πραγματοποιείται με μικρότερη ταχύτητα.
- Αερόβια αναπνοή των προϊόντων αποθήκευσης: είναι ανάλογη με την αερόβια ενδογενή αναπνοή, έτσι ώστε τα προϊόντα αποθήκευσης XS_{TO} να φθείρονται μαζί με τη βιομάζα.
- 9. Ανοξική αναπνοή των προϊόντων αποθήκευσης: είναι ανάλογη με την αερόβια διεργασία αλλά πραγματοποιείται σε ανοξικές συνθήκες.

2.1.5.5 Στοιχειομετρία μοντέλου

Στους Πίνακες 2.12 και 2.13 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά η στοιχειομετρία και οι ρυθμοί των διεργασιών του μοντέλου αντίστοιχα. Ο δείκτης i αποδίδεται σε κάθε συστατικό και ο δείκτης j σε κάθε μία διεργασία.

Οι συντελεστές που εκφράζουν τους ρυθμούς των διεργασιών δηλώνονται με ρ_j και οι σχέσεις μαζών ανάμεσα στα συστατικά στις αντίστοιχες διεργασίες παρουσιάζονται με τους στοιχειομετρικούς συντελεστές ν_{ij}.

Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει κατανάλωση και το θετικό πρόσημο παραγωγή.

Εφαρμόζεται η βασική εξίσωση ισορροπίας της μάζας:

Είσοδος – Έξοδος + Αντίδραση = Συγκέντρωση

2.1.5.6 Υποθέσεις και περιορισμοί μοντέλου

Οι σημαντικότεροι περιορισμοί του μοντέλου είναι οι ακόλουθοι:

- Το μοντέλο αναπτύχθηκε για την προσομοίωση αερόβιων και ανοξικών διεργασιών σε συστήματα ενεργού ιλύος που επεξεργάζονται αστικά λύματα.
- Η θερμοκρασία των λυμάτων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 8 και 23°C για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.
- Δεν προσομοιώνει διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αναερόβιο περιβάλλον.
- Το pH των λυμάτων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6.5 και 7.5.
- Δεν έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει σε υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών.
- Δεν έχει σχεδιαστεί να υπολογίζει συστήματα με υψηλές φορτίσεις ή μικρούς χρόνους παραμονής στερεών (< 1 ημέρα).

Μεταβλητή i →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
🕹 Διεργασία j	S _{O2}	Sı	Ss	S _{NH4}	S _{N2}	S _{NOX}	S _{ALK}	Xı	Xs	X _H	X _{STO}	X _A	X _{ss}
Εκφράζεται σε όρους →	02	COD	COD	N	N	N	Mole	COD	COD	COD	COD	COD	SS
1. Υδρόλυση		f_{S_I}	<i>x</i> ₁	<i>y</i> ₁			Z_1		-1				$-i_{x_s}$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί, αερόβια και απονιτ	οοποιητική δ	ραστηριότητ	α										
2. Αερόβια αποθήκευση του S_S	<i>x</i> ₂		-1	<i>y</i> ₂			<i>z</i> ₂				Y_{STO,O_2}		t_2
3. Ανοξική αποθήκευση του S _s			-1	<i>y</i> ₃	- <i>x</i> ₃	<i>x</i> ₃	<i>Z</i> ₃				Y _{STO,NOX}		t ₃
4. Αερόβια ανάπτυξη των Χ _Η	<i>x</i> ₄			<i>y</i> ₄			Z_4			1	$-1/Y_{H,0_2}$		t_4
5. Ανοξική ανάπτυξη (απονιτροποίηση)				<i>y</i> ₅	- <i>x</i> ₅	<i>x</i> ₅	Z_5			1	$-1/Y_{H,NOX}$		t_5
6. Αερόβια ενδογενής αναπνοή	<i>x</i> ₆			<i>y</i> ₆			z ₆	f_I		-1			t ₆
7. Ανοξική ενδογενής αναπνοή				y ₇	- <i>x</i> ₇	<i>x</i> ₇	Z ₇	f_I		-1			t ₇
8. Αερόβια αναπνοή των Χ _{sτo}	<i>x</i> ₈										-1		t_8
9. Ανοξική αναπνοή των Χ _{sτo}					- <i>x</i> ₉	<i>x</i> 9	Z9				-1		t9
Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί, νιτροποιητική δρασ	τηριότητα												
10. Αερόβια ανάπτυξη των Χ _Α	<i>x</i> ₁₀			y_{10}		$1/Y_A$	<i>z</i> ₁₀					1	t ₁₀
11. Αερόβια ενδογενής αναπνοή	<i>x</i> ₁₁			<i>y</i> ₁₁			<i>z</i> ₁₁	f_I				-1	<i>t</i> ₁₁
12. Ανοξική ενδογενής αναπνοή				<i>y</i> ₁₂	- <i>x</i> ₁₂	<i>x</i> ₁₂	<i>z</i> ₁₂	f_I				-1	t ₁₂
Στοιχειομετρικός πίνακας i _{κ,1}													
k Συντηρητικά													
1. ThOD g ThOD	-1	1	1		-1.71	-4.57		1	1	1	1	1	
2. Άζωτο g N		i _{N,SI}	i _{N,Ss}	1	1	1		i _{N,XI}	i _{N,Xs}	i _{N,BM}		i _{N,BM}	
3. Φορτίο ιόντων Mole +				1/14		-1/14	-1						
Παρατηρίσιμα													
4. SS g SS								i _{ss,XI}	i _{ss,Xs}	i _{SS,BM}	0.60	i _{SS,BM}	

1100000000000000000000000000000000000

j	Διεργασία	Εξίσωση ρυθμού διεργασίας ρ _i , με ρ _j ≥0					
1	Υδρόλυση	$\mathbf{k}_{\mathrm{H}} \cdot \frac{X_S / X_H}{K_X + X_S / X_H} \cdot X_H$					
Ετεροτρο	Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί, αερόβια και απονιτροποιητική δραστηριότητα						
2	Αερόβια αποθήκευση του S _s	$\mathbf{k}_{STO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$					
3	Ανοξική αποθήκευση του S _s	$\mathbf{k}_{STO} \cdot n_{NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot \frac{S_S}{K_S + S_S} \cdot X_H$					
4	Αερόβια ανάπτυξη των Χ _Η	$\mu_{\rm H} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{STO}/X_H}{K_{STO} + X_{STO}/X_H} \cdot X_H$					
5	Ανοξική ανάπτυξη (απονιτροποίηση)	$\mu_{\mathrm{H}} \cdot n_{NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{\mathrm{STO}}/X_H}{K_{STO} + X_{\mathrm{STO}}/X_H} \cdot X_H$					
6	Αερόβια ενδογενής αναπνοή	$\mathbf{b}_{\mathrm{H},\mathrm{O}_{2}} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2}} + S_{O_{2}}} \cdot X_{\mathrm{H}}$					
7	Ανοξική ενδογενής αναπνοή	$\mathbf{b}_{H,NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot X_H$					
8	Αερόβια αναπνοή των Χ _{sto}	$\mathbf{b}_{\mathrm{STO},\mathrm{O}_2} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot X_{STO}$					
9	Ανοξική αναπνοή των Χ _{sto}	$\mathbf{b}_{STO,NOX} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{NOX} + S_{NOX}} \cdot X_{STO}$					
Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί, νιτροποιητική δραστηριότητα							
10	10. Αερόβια ανάπτυξη των Χ _Α	$\mu_{A} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{A,NH_4} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{A,ALK} + S_{ALK}} \cdot X_A$					
11	11. Αερόβια ενδογενής αναπνοή	$\mathbf{b}_{\mathbf{A},\mathbf{O}_2} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot X_A$					
12	12. Ανοξική ενδογενής αναπνοή	$\mathbf{b}_{A,NOX} \cdot \frac{K_{A,O_2}}{K_{A,O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NOX}}{K_{A,NOX} + S_{NOX}} \cdot X_A$					

Πίνακας 2.13 Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου ASM3. (Πηγή: Mogens et al., 2000)

2.2 Μοντέλα Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης ΕΕΛ (Benchmark Simulation Models – BSM)

2.2.1 Εισαγωγή

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

Αυτή η απαίτηση δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξης καινοτόμων στρατηγικών ελέγχου, καθώς και της μεθοδολογίας που επιτρέπει την εκτίμηση της επίδρασης κάθε νέας στρατηγικής στην απόδοση της εγκατάστασης. Έτσι, απ' το 1998 έως το 2004 δημιουργήθηκαν ολοκληρωμένα εργαλεία, τα Μοντέλα Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης (BSM), για την εκτίμηση των στρατηγικών ελέγχου των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος.

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

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρία (3) Μοντέλα Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης, το BSM1, το BSM1_LT και το BSM2.

2.2.2 Μοντέλο Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης No. 1 (BSM1)

2.2.2.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Η διάταξη που προτείνει το BSM1 είναι σχετικά απλή καθώς περιλαμβάνει μόνο το βιολογικό αντιδραστήρα και τη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Το μοντέλο ελέγχεται με την εφαρμογή της εξής στρατηγικής: ο έλεγχος του διαλυμένου οξυγόνου στο τελικό διαμέρισμα της δεξαμενής αερισμού πραγματοποιείται με το χειρισμό του συντελεστή μεταφοράς οξυγόνου και ο έλεγχος του επιπέδου νιτρικών στην τελευταία ανοξική δεξαμενή πραγματοποιείται με το χειρισμό του συντελεστή μεταφοράς οξυγόνου και ο έλεγχος του επιπέδου νιτρικών στην τελευταία ανοξική δεξαμενή πραγματοποιείται με το χειρισμό του ρυθμού εσωτερικής ανακυκλοφορίας. Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει τη γενική διάταξη του BSM1.

Η εγκατάσταση είναι σχεδιασμένη για μέση παροχή εισερχόμενων λυμάτων 18.446 m³.d⁻¹ και μέση συγκέντρωση βιοδιασπώμενου COD στα εισερχόμενα λύματα 300 g.m⁻³. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, όπως υπολογίζεται για τη μέση παροχή λυμάτων και το συνολικό όγκο δεξαμενών βιολογικού αντιδραστήρα και τελικής καθίζησης, ανέρχεται στις 14.4 ώρες. Ο όγκος τόσο του βιολογικού αντιδραστήρα, όσο και της δεξαμενής καθίζησης είναι 6.000 m³. Η περίσσεια ιλύος που απομακρύνεται στις 9 ημέρες περίπου.



Σχήμα 2.2 Γενική διάταξη της ΕΕΛ του BSM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)

Η δυναμική λειτουργία του συστήματος ελέγχεται με την εισαγωγή δεδομένων για τα εισερχόμενα λύματα που προσομοιώνουν τρία διαφορετικά σενάρια: περίοδο ξηρασίας, συνδυασμό περιόδου ξηρασίας με μακρά περίοδο βροχόπτωσης και συνδυασμό περιόδου ξηρασίας.

2.2.2.2 Προσομοιούμενο σύστημα

2.2.2.2.1 Μοντέλο βιολογικών διεργασιών

Τα βιολογικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο BSM1 περιγράφονται σύμφωνα με το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος No. 1 (ASM1). Οι μεταβλητές και οι διεργασίες του ASM1, που έχουν παρουσιαστεί εκτενώς στην ενότητα 2.1.2.3, συνοψίζονται στο Σχήμα 2.3.

2.2.2.2.2 Βιολογικός αντιδραστήρας

Ο βιολογικός αντιδραστήρας αποτελείται από πέντε (5) διαμερίσματα που παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Διαμερίσματα 1-2: ανοξικά, πλήρους μίξης, όγκου 1000 m³, συνολικού όγκου 2000 m³.
- Διαμερίσματα 3-5: αερόβια, όγκου 1333 m³, συνολικού όγκου 3999 m³.
 - Διαμερίσματα 3-4: συνεχής εισροή οξυγόνου με σταθερό συντελεστή μεταφοράς, Κ_La =10 h⁻¹.
 - Διαμέρισμα 5: σταθερή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) 2g(COD).m⁻³.

Στο βιολογικό αντιδραστήρα εκτός των εισερχόμενων λυμάτων καταλήγουν και δύο (2) ανακυκλοφορίες:

- Εσωτερική ανακυκλοφορία νιτρικών που ξεκινάει από την 5ⁿ δεξαμενή και καταλήγει στην 1ⁿ, με παροχή 55338 m³/d.
- Εξωτερική ανακυκλοφορία ενεργού ιλύος που ξεκινάει από τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και καταλήγει στην είσοδο της εγκατάστασης, με παροχή 18446 m³/d.



Σχήμα 2.3 Σχηματοποίηση διεργασιών ASM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)

2.2.2.3 Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)

Η δεξαμενή τελικής καθίζησης είναι η μονάδα του συστήματος, στην οποία δεν λαμβάνουν χώρα βιολογικά φαινόμενα. Προσομοιώνεται ως μια δεξαμενή με εμβαδόν επιφανείας 1500 m², η οποία αποτελείται από δέκα (10) στρώματα ύψους 0.4 m το καθένα, δηλαδή έχει συνολικό ύψος 4 m. Επομένως ο όγκος της ΔΤΚ φτάνει τα 6000 m³.

Η τροφοδοσία της δεξαμενής με το ανάμικτο υγρό που προέρχεται βιολογικό αντιδραστήρα γίνεται στο μέσον του 6^{ου} στρώματος. Η ιλύς εξέρχεται απ' τον πυθμένα της δεξαμενής, ενώ το διαυγασμένο υγρό εξέρχεται απ' το ανώτατο στρώμα της. Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται η στρωματοποίηση της ΔΤΚ, το σημείο εισόδου του ανάμικτου υγρού και η έξοδος της ιλύος και του διαυγασμένου υγρού.

Η καθίζηση των στερεών ακουλουθεί το μοντέλο καθίζησης των Takacs et al. (1991). Το μοντέλο στηρίζεται στις εξής βασικές παραδοχές:

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


Σχήμα 2.4 Στρωματοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης (Πηγή: Takacs et al., 1991)

Η διπλή εκθετική εξίσωση που περιγράφει την ταχύτητα καθίζησης βασίζεται στη θεωρία της ροής στερεών. Ο Πίνακας 2.14 παρουσιάζει τις παραμέτρους της εξίσωσης.

$$v_{sj} = v_0 * e^{-r_h * X_j^*} - v_0 * e^{-r_p * X_j^*}$$
$$0 \le v_{sj} \le v_0'$$

Όπου, V_{sj} : ταχύτητα καθίζησης στο στρώμα j (m/d)

- X_j : συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο στρώμα j (g·m⁻³)
- X_j^* : συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο στρώμα j (g·m⁻³) με τον περιορισμό

$$X_j = X_j - X_{\min}$$

- X_{min} : ελάχιστη εφικτή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών (g·m⁻³) που υπολογίζεται απ' τον τύπο X_{min} = f_{ns} X_{in}
- X_{in} : συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών του ανάμικτου υγρού που εισέρχεται στη δεξαμενή καθίζησης
- f_{ns} : το κλάσμα αιωρούμενων στερεών που δεν καθιζάνει

Περιγραφή Παραμέτρου	Σύμβολο	Τιμή	Μονάδες
	Παραμέτρου		
Μέγιστη ταχύτητα καθίζησης	v_0'	250	m*day⁻¹
Μέγιστη κατά Vesilind ταχύτητα καθίζησης	v_0	474	m*day⁻¹
Παράμετρος ζωνικής καθίζησης	r_h	0,000576	m ³ *(gSS)⁻¹
Παράμετρος συσσωματούμενης καθίζησης	r _p	0,00286	m ³ *(gSS) ⁻¹
Συντελεστής μη καθιζόντων στερεών	f _{ns}	0,00228	αδιάστατος

Πίνακας 2.14 Παράμετροι διπλής εκθετικής εξίσωσης που υπολογίζει την ταχύτητα καθίζησης. (Alex et al., 2008)

Ο πρώτος όρος της εξίσωσης ($v_0 * e^{-r_h * X_j^*}$) υπολογίζει την ταχύτητα καθίζησης των μεγάλων, καλά κροκιδωμένων σωματιδίων, ενώ ο δεύτερος όρος ($v_0 * e^{-r_p * X_j^*}$) αποτελεί παράγοντα διόρθωσης της ταχύτητας λόγω των μικρότερων σωματιδίων που καθιζάνουν πιο αργά.

Σύμφωνα με τους Takacs et al (1991) κατά τον υπολογισμό της ταχύτητας καθίζησης παρατηρούνται τέσσερις (4) περιοχές ενδιαφέροντος (Σχήμα 2.5):



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα ταχύτητας καθίζησης – συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών (Πηγή: Takacs et al., 1991)

- Περιοχή Ι, X < X_{min} : η ταχύτητα καθίζησης ορίζεται ως μηδενική (0) όταν η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών φτάνει τη μικρότερη εφικτή τιμή της.
- Περιοχή ΙΙ, X_{min} < X < X_I : η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται κυρίως από τα σωματίδια που καθιζάνουν αργά και είναι περισσότερο ευαίσθητη στις μεταβολές της παραμέτρου r_p.
- Περιοχή ΙΙΙ, X_I < X < X_u: για συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών μεταξύ 200 2000 g/m³, η ταχύτητα καθίζησης είναι ανεξάρτητη της συγκέντρωσης και σταθερή στη μέγιστη τιμή της, καθώς οι κροκίδες έχουν αποκτήσει τη μέγιστη διάστασή τους.

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

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



Σχήμα 2.6 Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης και εξισώσεις υπολογισμού της ροής στερεών (Πηγή: Takacs et al., 1991)

2.2.2.3 Διαδικασία προσομοίωσης

Η ολοκληρωμένη προσομοίωση πραγματοποιείται σε δύο (2) στάδια. Το 1° στάδιο περιλαμβάνει την προσομοίωση της λειτουργίας σε σταθερές συνθήκες και ακολουθεί το 2° στάδιο κατά το οποίο ελέγχεται η δυναμική λειτουργία του συστήματος σε περιπτώσεις έκτακτων συνθηκών λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχονται τρεις (3) περιπτώσεις διαταραχών στα εισερχόμενα λύματα που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές καιρικές συνθήκες: ξηρό καιρό, ένα γεγονός καταιγίδας και ένα γεγονός βροχής. Τα δεδομένα της δυναμικής προσομοίωσης εισάγονται μέσω αρχείων που περιλαμβάνουν τις αρχικές συγκεντρώσεις στα εισερχόμενα λύματα των, υπό έλεγχο, μεταβλητών σε 15-λεπτα χρονικά διαστήματα, για συνολική χρονική διάρκεια 14 ημερών. Το πρώτο αρχείο, αντιστοιχεί στον ξηρό καιρό και, περιγράφει φυσιολογικές διακυμάνσεις της παροχής και του φορτίου COD. Το δεύτερο αρχείο αποτελεί μια παραλλαγή του πρώτου με την ενσωμάτωση δύο (2) γεγονότων καταιγίδας. Το πρώτο γεγονός χαρακτηρίζεται από υψηλή ένταση και μικρή διάρκεια και αναμένεται να κατακλύσει την αποχέτευση με σωματιδιακό υλικό. Η επαναιώρηση των σωματιδίων αυτών αντανακλάται στα δεδομένα μέσω σημαντικής αύξησης στα βιοδιασπάσιμα και αδρανή αιωρούμενα στερεά. Το δεύτερο γεγονός υποθέτει ότι οι αποχετεύσεις έχουν ξεπλυθεί από σωματιδιακό υλικό κατά την πρώτη καταιγίδα και μόνο μια μέτρια αύξηση στο φορτίο COD παρατηρείται κατά τη διάρκειά του. Το τρίτο αρχείο αντιπροσωπεύει ένα γεγονότων καταιγίδας, αλλά η αυξημένη παροχή διατηρείται για πολύ μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Αντίθετα με τα γεγονότα καταιγίδας, στο τρίτο σενάριο δεν παρατηρείται αύξηση στο φορτίο COD που δέχεται η εγκατάσταση.

Κάθε κύκλος προσομοίωσης ξεκινά με την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος με σταθερή εισροή λυμάτων για 100 ημέρες, ακολουθεί η δυναμική προσομοίωση με τα δεδομένα εισροής που αντιστοιχούν στη λειτουργία του συστήματος σε συνθήκες ξηρού καιρού για 14 ημέρες και ολοκληρώνεται με τη δυναμική προσομοίωση του συστήματος για άλλες 14 ημέρες με τα δεδομένα εισροής που αντιστοιχούν σε ένα απ' τα τρία σενάρια: ξηρού καιρού, γεγονότος καταιγίδας ή γεγονότος βροχής. Κατά συνέπεια, ύστερα από τις 100 ημέρες σταθερής κατάστασης ακολουθούν 28 ημέρες δυναμικής προσομοίωσης με τους εξής συνδυασμούς καιρικών συνθηκών: ξηρός-ξηρός, ξηρός-καταιγίδα και ξηρός-βροχή.

2.2.2.4 Εκτίμηση απόδοσης

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

2.2.2.4.1 Δείκτης ποιότητας εκροής (Effluent Quality Index – EQI)

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

$$EQI = \frac{1}{T * 1000} \int_{t=21 \text{ days}}^{t=28 \text{ days}} \left(2 * SS_e(t) + 1 * COD_e(t) + 30 * S_{Nkj,e}(t) \\ + 10 * S_{N0,e}(t) + 2 * BOD_e(t) \right) * Q_e(t) * dt$$

$$S_{Nkj,e} = S_{NH,e} + S_{ND,e} + X_{ND,e} + i_{XB} * (X_{B,H,e} + X_{B,A,e}) + i_{XP} * (X_{P.e} + X_{I.e})$$

$$SS_e = 0.75 * (X_{S.e} + X_{I.e} + X_{B,H,e} + X_{B,A,e} + X_{P,e})$$

$$BOD_{5,e} = 0.25 * (S_{S.e} + X_{S.e} + (1 - f_P) * (X_{B,H,e} + X_{B,A,e}))$$

$$COD_e = S_{S.e} + S_{I.e} + X_{S.e} + X_{I.e} + X_{B,H,e} + X_{B,A,e} + X_{P.e}$$

2.2.2.4.2 Παραβιάσεις ορίων εκροής

Για την εκτίμηση της απόδοσης αναφέρεται ο αριθμός των παραβιάσεων και το ποσοστό του χρόνου που η εγκατάσταση παραβιάζει τα όρια εκροής. Οι παραβιάσεις υπολογίζονται για την αμμωνία, το ολικό άζωτο, το BOD₅, το ολικό COD και τα αιωρούμενα στερεά. Τα όρια εκροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.15.

Πίνακας 2.15 Όρια επεξεργασμένης εκροής μοντέλου BSM1 (Πηγή: Alex et al., 2008)									
Μεταβλητή		Όρια	Μονάδες						
		Εκροής							
Αμμωνία	S _{NH,e}	4	gN m⁻³						
Ολικό Άζωτο	N _{tot,e}	18	gN m⁻³						
BOD₅	BODe	10	gBOD m ⁻³						
Ολικό COD	COD _e	100	gBOD m ⁻³						
Αιωρούμενα Στερεά	TSS _e	30	gSS m ⁻³						

2.2.2.4.3 Ολικό λειτουργικό κόστος (Overall Cost Index – OCI)

Το ολικό λειτουργικό κόστος υπολογίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα του κόστους της ενέργειας αερισμού (ΑΕ), της ενέργειας άντλησης (ΡΕ) για την εσωτερική και εξωτερική ανακυκλοφορία, της συνολικής παραγόμενης ιλύος (SP), της κατανάλωσης εξωτερικής πηγής άνθρακα (ΕC) και της ενέργειας ανάμιξης (ΜΕ).

OCI = *AE* + *PE* + 5 * *SP* + 3 * *EC* + *ME*

2.2.3 Μοντέλο Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης No. 1_LT (BSM1_LT)

2.2.3.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Μολονότι το BSM1 αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, η περίοδος αξιολόγησης που επιτρέπει περιορίζεται σε μία (1) εβδομάδα. Παρόλα αυτά, πολλές από τις δράσεις ελέγχου μιας εγκατάστασης απαιτούν περισσότερο χρόνο για να επιδράσουν στη διαδικασία, ενώ και η ρεαλιστική προσομοίωση του εξοπλισμού της απαιτεί τυπικά μεγαλύτερη χρονική κλίμακα. Ως απάντηση στους χρονικούς περιορισμούς που θέτει το BSM1 προτάθηκε το BSM1_LT.

2.2.3.2 Διαφορές BSM1 και BSM1_LT

To BSM1_LT αποτελεί επέκταση του BSM1 και οι διαφορές των δύο μοντέλων είναι οι ακόλουθες:

 Η περίοδος αξιολόγησης έχει σημαντικά επεκταθεί: είναι γνωστό ότι εποχικά γεγονότα και τυπικές βλάβες εξοπλισμού ή προβλήματα στις διεργασίες του συστήματος επηρεάζουν τη λειτουργία και απόδοση της εγκατάστασης, αλλά συμβαίνουν λίγες φορές ετησίως. Για να συμπεριληφθούν τέτοια φαινόμενα στην εκτίμηση μιας στρατηγικής επεκτάθηκε η περίοδος αξιολόγησης στο 1 έτος, με έναρξη και τερματισμό της περιόδου την αρχή Ιουλίου και το τέλος Ιουνίου αντίστοιχα, λόγω επιθυμητών καιρικών συνθηκών.

Τα δεδομένα εισόδου της εγκατάστασης περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία των λυμάτων:
 η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους αξιολόγησης με την υψηλότερη θερμοκρασία να σημειώνεται στις αρχές Αυγούστου και τη χαμηλότερη στις αρχές Φεβρουαρίου.

Σημειώνεται ότι τα δεδομένα εισόδου του BSM1_LT αναφέρονται στην είσοδο της εγκατάστασης, ενώ τα δεδομένα εισόδου του BSM1 στην είσοδο του βιολογικού αντιδραστήρα. Επομένως χρησιμοποιούνται τα δεδομένα εισόδου της εγκατάστασης του BSM2 τα οποία εισάγονται στην πρωτοβάθμια καθίζηση του ίδιου μοντέλου και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου του BSM1_LT.

- Οι παράμετροι των διεργασιών μεταβάλλονται χρονικά, λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας των λυμάτων: οι τιμές των παραμέτρων σε θερμοκρασία 15 °C συμπίπτουν με τις τιμές του BSM1 για την ίδια θερμοκρασία.
- Συμπεριλαμβάνονται σφάλματα αισθητήρων και προβλήματα διεργασιών: εφαρμόζονται αλγόριθμοί (Rosen et al., 2008) με τους οποίους εισάγονται σφάλματα στο σύστημα με τη θεώρηση τυχαίας χρονικής διάρκειας αποκατάστασης. Επίσης, λόγω της δυνατότητας χρονικής μεταβολής των παραμέτρων μπορούν να προσομοιωθούν σενάρια όπως η προσωρινή αναστολή της νιτροποίησης λόγω τοξικότητας και οι μεταβολές της καθίζησης και της σύστασης της ιλύος λόγω μεταβολών στη σύσταση των εισερχόμενων λυμάτων.
- Επιτρέπονται μακροπρόθεσμες στρατηγικές ελέγχου: ο χρόνος αξιολόγησης ενός έτους επιτρέπει την εφαρμογή μεθόδων όπως η χρήση δεξαμενών αποθήκευσης ιλύος, ο έλεγχος του ρυθμού απομάκρυνσης της περίσσειας ιλύος και η μεταβολή του υδραυλικού χρόνου παραμονής της ιλύος.
- Το BSM1_LT έχει επιπρόσθετη εφαρμογή στον έλεγχο και την παρακολούθηση της εγκατάστασης: η προσομοίωση της συμπεριφοράς των αισθητήρων απαιτεί δυναμικά δεδομένα (Rieger et al., 2003) μεταξύ των οποίων είναι τα επίπεδα θορύβου, η χρονική ανταπόκριση, η τάση, ο κορεσμός σήματος και ο χρόνος παύσης. Ο έλεγχος του συστήματος παρακολούθησης πρέπει να μπορεί να ανταποκριθεί σε περιόδους με μηδενικά ή μη αντιπροσωπευτικά δεδομένα κατά τη βαθμονόμηση των αισθητήρων.

2.2.4 Μοντέλο Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης No. 2 (BSM2)

2.2.4.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Η ανάγκη αντικειμενικής εκτίμησης της απόδοσης των στρατηγικών ελέγχου των συστημάτων ενεργού ιλύος, μέσω προσομοίωσής τους, οδήγησε στη δημιουργία του Μοντέλου Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης Νο. 1 (BSM1). Το BSM1 αποτέλεσε τη βάση για περαιτέρω εξέλιξη των μοντέλων, ώστε η προσομοίωση να μην σταματά στο επίπεδο του συστήματος

ενεργού ιλύος, αλλά να περιλαμβάνει και τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, καθώς και τον παχυντή, τη μονάδα αφυδάτωσης και τον αναερόβιο χωνευτή. Έτσι αναπτύχθηκε το Μοντέλο Ολοκληρωμένης Προσομοίωσης Νο. 2 (BSM2), το οποίο προσομοιώνει ολόκληρη τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, με τις δεξαμενές, τους αντιδραστήρες και τα υποσυστήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους, λειτουργούν και ελέγχονται όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο ως ξεχωριστές διεργασίες, αλλά και μέσω εποπτικών συστημάτων ελέγχου τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους όλες τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστημάτων (Jeppsson et al.). Το μοντέλο συμπεριλαμβάνει την προ-επεξεργασία λυμάτων και τη γραμμή επεξεργασίας της ιλύος.

Η περίοδος αξιολόγησης παρατάθηκε στον ένα (1) χρόνο, αντί της μίας (1) εβδομάδας αξιολόγησης του BSM1, προκειμένου να συμπεριλαμβάνει εποχικά γεγονότα, θερμοκρασιακές μεταβολές και μεταβολές της παροχής των εισερχόμενων λυμάτων και να ανταποκριθεί στην αργή δυναμική λειτουργίας του αναερόβιου χωνευτή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο σκοπός του BSM2 είναι η παροχή ενός εργαλείου για την εκτίμηση της απόδοσης προτεινόμενων στρατηγικών και όχι η προσομοίωση όλων των λεπτομερειών μιας υπάρχουσας ΕΕΛ και της λειτουργίας της. Κατά συνέπεια η εγκατάσταση που περιγράφει το μοντέλο δεν ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένα εθνικά πρότυπα ή κανόνες σχεδιασμού.

Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται η δομή της εγκατάστασης του BSM2 και οι συνδέσεις μεταξύ των δεξαμενών και των μηχανημάτων.



Σχήμα 2.7 Δομή εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων μοντέλου BSM2 (Πηγή Nopens et al., 2010)

2.2.4.2 Προσομοιούμενο σύστημα

2.2.4.2.1 Μοντέλο βιολογικών διεργασιών

To BSM2 χρησιμοποιεί το μοντέλο διεργασιών ASM1 των Henze et al. (1987) που χρησιμοποιείται και στο BSM1 (ενότητες 2.1.2.3 και 2.2.2.2.1).

2.2.4.2.2 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)

Η λειτουργία της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης βασίζεται στο μοντέλο των Otterpohl και Freund (1992) και Otterpohl et al. (1994). Εντός της δεξαμενής δεν πραγματοποιούνται βιολογικές διεργασίες και επιτυγχάνεται απομάκρυνση στερεών σε ποσοστό 50%. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη ΔΠΚ, σύμφωνα με τους Nopens et al. (2010) είναι 1h.

2.2.4.2.3 Βιολογικός αντιδραστήρας

Ο βιολογικός αντιδραστήρας βασίζεται στο σύστημα ενεργού ιλύος πέντε (5) διαμερισμάτων, που περιγράφεται από τους Henze et al. (1987) και χρησιμοποιείται στο μοντέλο BSM1, αλλά έχουν γίνει τροποποιήσεις στους όγκους των διαμερισμάτων και την παροχή της εσωτερικής ανακυκλοφορίας για να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της απόδοσης (Nopens et al., 2010). Τα τελικά χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

- Διαμερίσματα 1-2: ανοξικά, πλήρους μίξης, όγκου 1500 m³, συνολικού όγκου 3000 m³.
- Διαμερίσματα 3-5: αερόβια, όγκου 3000 m³, συνολικού όγκου 9000 m³.
 - Διαμερίσματα 3-4: συνεχής εισροή οξυγόνου με σταθερό συντελεστή μεταφοράς, Κ_La
 = 120 d⁻¹.
 - Διαμέρισμα 5: συνεχής εισροή οξυγόνου με σταθερό συντελεστή μεταφοράς, K_La = 60 d⁻¹.

Στο βιολογικό αντιδραστήρα εκτός των εισερχόμενων λυμάτων καταλήγουν και δύο (2) ανακυκλοφορίες:

- Εσωτερική ανακυκλοφορία νιτρικών που ξεκινάει από την 5ⁿ δεξαμενή και καταλήγει στην 1ⁿ, με παροχή τρείς (3) φορές τη μέση παροχή εισερχόμενων λυμάτων, δηλαδή 61944 m³/d.
- Εξωτερική ανακυκλοφορία ενεργού ιλύος που ξεκινάει από τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και καταλήγει στην είσοδο της εγκατάστασης, με παροχή 18446 m³/d.

2.2.4.2.4 Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)

Η λειτουργία της δεξαμενής τελικής καθίζησης βασίζεται στο μοντέλο καθίζησης των Takacs et al. (1991) που χρησιμοποιείται και στο BSM1 (ενότητα 2.2.2.2.3). Στη ΔΤΚ, όπως και στη ΔΠΚ, γίνεται η θεώρηση ότι δεν λαμβάνουν χώρα βιολογικές διεργασίες.

2.2.4.2.5 Πάχυνση βαρύτητας

Η πάχυνση βαρύτητας θεωρείται ότι αποτελεί ιδανική και συνεχή διαδικασία. Εντός της δεξαμενής δεν πραγματοποιούνται βιολογικές διεργασίες και επιτυγχάνεται απομάκρυνση στερεών σε ποσοστό 98%.

2.2.4.2.6 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση βασίζεται στο μοντέλο ADM1 των Batstone et al. (2002) σύμφωνα με τους οποίους το σύστημα αντίδρασης ενός αναερόβιου χωνευτή είναι σύνθετο και αποτελείται από σειρές διαδοχικών και παράλληλων αντιδράσεων που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Βιοχημικές αντιδράσεις: καταλύονται από ένζυμα και λαμβάνουν χώρα εντός ή εκτός κυττάρου. Το μοντέλο περιλαμβάνει συνολικά πέντε (5) βήματα, τα τρία (3) κυτταρικά βήματα, δηλαδή την οξεοπαραγωγή ή ζύμωση, την ακετοπαραγωγή ή αναερόβια οξείδωση των λιπαρών οξέων (VFA και LCFA) και τη μεθανοπαραγωγή, καθώς και ένα (1) εξωκυττάριο (μερικώς μη-βιολογικό) βήμα αποσύνθεσης και ένα (1) εξωκυττάριο βήμα υδρόλυσης (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8 Οι βιοχημικές διεργασίες του αναερόβιου μοντέλου: (1) οξεοπαραγωγή από σάκχαρα, (2) οξεοπαραγωγή από αμινοξέα, (3) οξεοπαραγωγή από λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας, (4) ακετοπαραγωγή από προπιονικό οξύ, (5) ακετοπαραγωγή από βουτυρικό οξύ και βαλερικό οξύ, (6) μεθανοπαραγωγή. (Batstone et al., 2002)

 Φυσικοχημικές αντιδράσεις: πρόκειται για τις διεργασίες στις οποίες δεν μεσολαβούν μικροοργανισμοί και χωρίζονται σε τρείς (3) κατηγορίες, τις αντιδράσεις υγρής φάσης, όπως γρήγορες αντιδράσεις οξέος-βάσης, τις ενδιάμεσης ταχύτητας αντιδράσεις μεταφοράς μάζας μεταξύ υγρής και αέριας φάσης και τις ενδιάμεσης ταχύτητας/αργές αντιδράσεις μετατροπής μεταξύ υγρής και στερεάς φάσης, όπως είναι η κατακρήμνιση και διαλυτοποίηση ιοντικών ενώσεων. Το ADM1 δεν περιλαμβάνει διεργασίες κατακρήμνισης.

Το φυσικοχημικό σύστημα προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα κατά την προσομοίωση αναερόβιων συστημάτων καθώς επιτρέπει την έκφραση βιολογικών ανασταλτικών παραγόντων όπως το pH, τα ελεύθερα οξέα και βάσεις, και οι συγκεντρώσεις διαλυμένων αερίων. Επιπλέον, η σωστή εκτίμηση των φυσικοχημικών μετατροπών επιτρέπει τον υπολογισμό σημαντικών μεταβλητών της απόδοσης, όπως είναι η παραγωγή αερίου και η αλκαλικότητα.

Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται ένα σύστημα συνεχούς ροής πλήρους μίξης. Η ισορροπία μάζας για κάθε συστατικό της υγρής φάσης παρουσιάζεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\frac{dS_{liq,i}}{dt} = \frac{q_{in} * S_{in,i}}{V_{liq}} - \frac{q_{out} * S_{liq,i}}{V_{liq}} + \sum_{j=1-19} \rho_{j*} v_{i,j}$$

όπου ο τελευταίος όρος είναι το άθροισμα των κινητικών ρυθμών για τη διεργασία j πολλαπλασιασμένη με την ταχύτητα ν_{i,j}. Για την αέρια φάση εφαρμόζεται η εξίσωση ισορροπίας μάζας χωρίς να υπάρχει ρεύμα εισόδου, αλλά μόνο ρεύμα εξόδου των παραγόμενων αερίων.



Σχήμα 2.9 Τυπική δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης (q = παροχή σε m3.d-1, V = όγκος σε m3, S = συγκέντρωση διαλυτών συστατικών σε kg COD.m-3, X = συγκέντρωση σωματιδιακών συστατικών σε kg COD.m-3). (Batstone et al., 2002).

Στους Πίνακες 2.16 και 2.17 που ακολουθούν από Batstone et al. (2002) και έχουν ανασκευαστεί από τον Κολλινιάτη (2013), παρουσιάζονται η στοιχειομετρία και οι ρυθμοί των διεργασιών του μοντέλου για τα διαλυτά και τα σωματιδιακά συστατικά αντίστοιχα.

Συστατικό →	I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ρυθμός
j	Διεργασία ↓	S _{su}	S _{aa}	S _{fa}	S _{va}	S _{bu}	S _{pro}	S _{ac}	S _{h2}	S _{ch4}	S _{IC}	S _{IN}	SI	$(\rho_j, g \text{COD} \cdot L^{\text{-1}} \cdot d^{\text{-1}})$
1	Αποσύνθεση												f _{sl, xc}	$k_{dis}X_{c}$
2	Υδρόλυση Υδατανθράκων	1												$k_{\rm hyd,ch} X_{\rm ch}$
3	Υδρόλυση Αμινοξέων		1											$k_{\rm hyd,pr} X_{\rm pr}$
4	Υδρόλυση Λιπιδίων	1-f _{fa,li}		f _{fa,li}										$k_{\rm hyd,li}X_{\rm h}$
5	Κατανάλωση Σακχάρων	-1				(1-Y _{su}) f _{bu,su}	(1-Y _{su}) f _{pro,su}	(1-Y _{su}) f _{ac,su}	(1-Y _{su}) f _{h2,su}		$-\sum_{i=1-9,11-24}C_iv_{i,5}$	-Y _{su} N _{bac}		$k_{m, su} \frac{S_{su}}{K_{s} + S_{su}} X_{su} I_{1}$
6	Κατανάλωση Αμινοξέων		-1		(1-Y _{aa}) f _{va,aa}	(1-Y _{aa}) f _{bu,aa}	(1-Y _{aa}) f _{pro,aa}	(1-Y _{aa}) f _{ac,aa}	(1-Y _{aa}) f _{h2,aa}		$-\sum_{i=1-9,11-24}C_iv_{i,5}$	N _{aa} - Y _{aa} N _{bac}		$k_{m,aa} \frac{S_{aa}}{K_s + S_{aa}} X_{aa} I_1$
7	Κατανάλωση LCFA			-1				(1-Y _{fa}) 0,7	(1-Y _{fa}) 0,3			-Y _{fa} N _{bac}		$k_{m,fa} \frac{S_{fa}}{K_s + S_{fa}} X_{fa} I_2$
8	Κατανάλωση Βαλερικού				-1		(1-Y _{c4}) 0,54	(1-Y _{c4}) 0,31	(1-Y _{c4}) 0,15			-Y _{c4} N _{bac}		$k_{m,c4} \frac{S_{va}}{K_s + S_{va}} X_{c4} \frac{1}{1 + S_{bu} / S_{va}} I_2$
9	Κατανάλωση Βουτυρικού					-1		(1-Y _{c4}) 0,8	(1-Y _{c4}) 0,2			-Y _{c4} N _{bac}		$\mathbf{k}_{\mathrm{m,c4}} \frac{\mathbf{S}_{\mathrm{bu}}}{\mathbf{K}_{\mathrm{s}} + \mathbf{S}_{\mathrm{bu}}} \mathbf{X}_{\mathrm{c4}} \frac{1}{1 + \mathbf{S}_{\mathrm{va}} / \mathbf{S}_{\mathrm{bu}}} \mathbf{I}_{2}$
10	Κατανάλωση Προπιονικού						-1	(1-Y _{pro}) 0,57	(1-Y _{pro}) 0,43		$-\sum_{i=1-9,11-24}\!$	-Y _{pro} N _{bac}		$k_{m,pro} \frac{S_{pro}}{K_s + S_{pro}} X_{pro} I_2$
11	Κατανάλωση Οξικού							-1		1-Y _{ac}	$-\sum_{i=1-9,11-24} C_i v_{i,5}$	-Y _{ac} N _{bac}		$k_{m,ac} \frac{S_{ac}}{K_s + S_{ac}} X_{ac} I_3$
12	Κατανάλωση Υδρογόνου								-1	1-Y _{h2}	$-\sum_{i=1-9,11-24}\!$	-Y _{h2} N _{bac}		$k_{m,h2} \frac{S_{h2}}{K_s + S_{h2}} X_{h2} I_1$
13	Φθορά Χ _{su}													$k_{\text{dec},\text{su}}X_{\text{su}}$
14	Φθορά Χ _{aa}													$\mathbf{k}_{dec,aa}\mathbf{X}_{aa}$
15	Φθορά Χ _{fa}													$k_{\rm dec,fa} X_{\rm fa}$
16	Φθορά Χ _{C4}													$k_{\text{dec},\text{c4}} X_{\text{c4}}$
17	Φθορά Χ _{ρro}													$k_{\rm dec,pro} X_{\rm pro}$
18	Φθορά Χ _{ac}													$k_{\text{dec,ac}} X_{\text{ac}}$
19	Φθορά Χ _{h2}													$k_{\text{dec},h2}X_{h2}$

Πίνακας 2.16 Στοιχειομετρία και ρυθμοί διεργασιών διαλυτών συστατικών ADM1. (Πηγή: Batstone et al., 2002 και Κολλινιάτης, 2013)

Συστατικό →	i	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Ρυθμός
j	Διεργασία ↓	X _c	X _{ch}	X _{pr}	X _{li}	X _{su}	X _{aa}	X _{fa}	X _{c4}	X _{pro}	X _{ac}	X _{h2}	Xı	$(\rho_j, gCOD \cdot L^{-1} \cdot d^{-1})$
1	Αποσύνθεση	-1	f _{ch, xc}	f _{pr, xc}	f _{li, xc}								f _{xl, xc}	$k_{dis}X_{c}$
2	Υδρόλυση Υδατανθράκων		-1											$k_{\rm hyd,ch} X_{\rm ch}$
3	Υδρόλυση Αμινοξέων			-1										$k_{\rm hyd, pr} X_{\rm pr}$
4	Υδρόλυση Λιπιδίων				-1									$k_{hyd,li}X_{li}$
5	Κατανάλωση Σακχάρων					Y _{su}								$k_{m, su} \frac{S_{su}}{K_{s} + S_{su}} X_{su} I_{1}$
6	Κατανάλωση Αμινοξέων						Y _{aa}							$k_{m, aa} \frac{S_{aa}}{K_{s} + S_{aa}} X_{aa} I_{1}$
7	Κατανάλωση LCFA							Y _{fa}						$\mathbf{k}_{\mathrm{m, fa}} \; \frac{\mathbf{S}_{\mathrm{fa}}}{\mathbf{K}_{\mathrm{s}} + \mathbf{S}_{\mathrm{fa}}} \mathbf{X}_{\mathrm{fa}} \mathbf{I}_{\mathrm{2}}$
8	Κατανάλωση Βαλερικού								Y _{c4}					$k_{m,c4} \frac{S_{va}}{K_s + S_{va}} X_{c4} \frac{1}{1 + S_{bu} / S_{va}} I_2$
9	Κατανάλωση Βουτυρικού								Y _{c4}					$k_{m,c4} \frac{S_{bu}}{K_s + S_{bu}} X_{c4} \frac{1}{1 + S_{va} / S_{bu}} I_2$
10	Κατανάλωση Προπιονικού									Y _{pro}				$k_{m, pro} \frac{S_{pro}}{K_{s} + S_{pro}} X_{pro} I_{2}$
11	Κατανάλωση Οξικού										Y_{ac}			$k_{m, ac} = \frac{S_{ac}}{K_{s} + S_{ac}} X_{ac} I_{3}$
12	Κατανάλωση Υδρογόνου											Y _{h2}		$k_{m, h2} \ \frac{S_{h2}}{K_{s} + S_{h2}} X_{h2} I_{1}$
13	Φθορά X _{su}	1				-1								$k_{\rm dec,su} X_{\rm su}$
14	Φθορά Χ _{aa}	1					-1							$k_{dec,aa}X_{aa}$
15	Φθορά Χ _{fa}	1						-1						$k_{\rm dec,fa} X_{\rm fa}$
16	Φθορά Χ _{C4}	1							-1					$k_{\rm dec,c4} X_{\rm c4}$
17	Φθορά Χ _{pro}	1								-1				$k_{dec,pro}X_{pro}$
18	Φθορά Χ _{ac}	1									-1			$k_{\text{dec},\text{ac}} X_{\text{ac}}$
19	Φθορά Χ _{h2}	1										-1		$k_{dec,h2}X_{h2}$

Πίνακας 2.17 Στοιχειομετρία και ρυθμοί διεργασιών σωματιδιακών συστατικών ADM1. (Πηγή: Batstone et al., 2002 και Κολλινιάτης, 2013)

Το αρχικό ADM1 μοντέλο έχει τροποποιηθεί ώστε να βελτιστοποιείται η απόδοση της προσομοίωσης με το BSM2. Συγκεκριμένα, έχουν εισαχθεί λειτουργίες συνεχούς αναχαίτισης του pH ώστε να αποτραπούν προβλήματα που σχετίζονται με ασυνέχειες και έχει γίνει μια προσπάθεια που σχετίζεται με την πορεία του αζώτου και του COD στο μοντέλο, έτσι ώστε να επαληθεύονται οι ισορροπίες μαζών. Επιπλέον, από τους Rosen et al. (2006) και Rosen and Jeppson (2006) έχει εισαχθεί αλγεβρική λύση για το υδρογόνο.

2.2.4.2.7 Αφυδάτωση

Η αφυδάτωση θεωρείται ότι αποτελεί ιδανική και συνεχή διαδικασία. Στο στάδιο αυτό δεν πραγματοποιούνται βιολογικές διεργασίες και επιτυγχάνεται απομάκρυνση στερεών σε ποσοστό 98%.

2.2.4.2.8 Δεξαμενή αποθήκευσης

Η αποθήκευση θεωρείται συνεχής διαδικασία και εντός της δεξαμενής δεν πραγματοποιούνται βιολογικές διεργασίες. Υπάρχει σύστημα που παρέχει τη δυνατότητα ελεγχόμενων αντλήσεων του περιεχομένου της δεξαμενής.

2.2.4.3 Διαδικασία προσομοίωσης

Παρόλο που το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εκτιμήσει διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου, μόνο συγκεκριμένοι αισθητήρες και σημεία ελέγχου μπορούν να προσομοιωθούν για να προσδιορίσουν ένα σύστημα ελέγχου. Η λειτουργία των αισθητήρων στο BSM2 προσομοιώνεται σύμφωνα με τις αρχές των Rieger et al. (2003) και, σύμφωνα με τους Jeppson et al., υπάρχουν πάνω από 60 σημεία ελέγχου, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Μικρότερες ή μεγαλύτερες παροχές:
 - Πρωτοβάθμια καθίζηση και/ή παράκαμψη συστήματος ενεργού ιλύος ή συνδυασμός των δύο.
 - Τροφοδότηση συστήματος βήμα βήμα.
 - Ανακύκλωση λυμάτων παχυντή και απόρριψη στραγγιδίων στην είσοδο της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης ή στην είσοδο του συστήματος ενεργού ιλύος ή συνδυασμός των δύο.
 - Απομάκρυνση περίσσειας ιλύος από το τελευταίο διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα.
 - Συνδυασμοί παροχών εσωτερικής ανακυκλοφορίας εντός του βιοαντιδραστήρα.
- Προσθήκη εξωτερικής πηγής άνθρακα σε οποιοδήποτε διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα.
- Οποιοσδήποτε συνδυασμός ανάμιξης και αερισμού εντός του βιοαντιδραστήρα.
- Έλεγχος της παροχής επανακυκλοφορίας των στραγγιδίων με τη χρήση δεξαμενής αποθήκευσης.

Η διαδικασία προσομοίωσης ξεκινά με την εισαγωγή προκαθορισμένων σταθερών δεδομένων για τα εισερχόμενα λύματα, χρονικής διάρκειας 200 ημερών, έτσι ώστε να σταθεροποιηθεί το σύστημα. Τα σταθερά δεδομένα αντιπροσωπεύουν τις μέσες τιμές των δυναμικών δεδομένων εισροής, χρονικής διάρκειας 609 ημερών. Οι τιμές σταθερής κατάστασης που προκύπτουν απ' την πρώτη εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιούνται ως αρχικές τιμές για τις προσομοιώσεις που επεξεργάζονται τα δυναμικά δεδομένα.

Από την έναρξη της εισροής δυναμικών δεδομένων και για χρονική διάρκεια 63 ημερών, που αντιστοιχούν σε 9 εβδομάδες, στόχος είναι η επίτευξη μιας οιονεί ή ψευδο-σταθερής κατάστασης μέσω της μεταβολής των σημείων ελέγχου του συστήματος.

Στη συνέχεια, ακολουθούν 182 ημέρες δυναμικής προσομοίωσης, που αντιστοιχούν σε 26 εβδομάδες, κατά τις οποίες το σύστημα προσαρμόζεται και γίνεται εκτίμηση των εσωτερικών παραμέτρων και των αλγορίθμων ελέγχου.

Στο τέλος, το BSN2 προσομοιώνεται για άλλες 364 ημέρες, που αντιστοιχούν σε 52 εβδομάδες, και τα δεδομένα εξόδου που παράγονται κατά την περίοδο αυτή αποθηκεύονται σε 15λεπτα διαστήματα και χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της απόδοσης της εγκατάστασης.

2.2.4.4 Εκτίμηση απόδοσης

Οι αρχικοί δείκτες εκτίμησης της απόδοσης τροποποιήθηκαν από τους Nopens et al. (2010) ως εξής:

2.2.4.4.1 Δείκτης ποιότητας εκροής (Effluent Quality Index – EQI)

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

$$EQI = \frac{1}{T * 1000} \int_{t=245 \text{ days}}^{t=609 \text{ days}} \left(\frac{2 * TSS_e(t) + 1 * COD_e(t) + 30 * S_{TNK,e}(t)}{+10 * S_{NO,e}(t) + 2 * BOD_e(t)} \right) * Q_e(t) * dt$$

2.2.4.4.2 Παραβιάσεις ορίων εκροής

Για την εκτίμηση της απόδοσης αναφέρεται ο αριθμός των παραβιάσεων και το ποσοστό του χρόνου που η εγκατάσταση παραβιάζει τα όρια εκροής. Οι παραβιάσεις υπολογίζονται για την αμμωνία, το ολικό άζωτο, το BOD₅, το ολικό COD και τα αιωρούμενα στερεά και τα όρια εκροής είναι αυτά που ισχύουν και για το BSM1 και έχουν παρουσιαστεί στον Πίνακα 2.15.

2.2.4.4.3 Ολικό λειτουργικό κόστος (Overall Cost Index – OCI)

Το ολικό λειτουργικό κόστος υπολογίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα του κόστους της ενέργειας αερισμού (ΑΕ), της ενέργειας άντλησης (ΡΕ) για την εσωτερική και εξωτερική ανακυκλοφορία, της συνολικής παραγόμενης ιλύος (SP), της κατανάλωσης εξωτερικής πηγής άνθρακα (EC), της ενέργειας ανάμιξης (ME), της καθαρής ενέργειας θέρμανσης της ιλύος στον αναερόβιο χωνευτή (HE^{net}), αφαιρώντας την ενέργεια του παραγόμενου μεθανίου (MP).

$$OCI = AE + PE + 3*SP + 3*EC + ME - 6*MP + HE^{net}$$

Κεφάλαιο 3: Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) με απομάκρυνση θρεπτικών

3.1 Εισαγωγή – Γενικά για το μοντέλο

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι μεγάλα μη-γραμμικά συστήματα, αποτελούμενα από μονάδες πρωτοβάθμιας/δευτεροβάθμιας καθίζησης, αντιδραστήρες ενεργού ιλύος, αναερόβιους χωνευτές, παχυντές, συστήματα αφυδάτωσης και άλλα υπο-συστήματα, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και επιτυγχάνουν επεξεργασία των λυμάτων και της ιλύος, απομάκρυνση ιλύος και επεξεργασμένων λυμάτων και διαχείριση των παραγόμενων στραγγιδίων. Κάθε σύστημα λειτουργεί και ελέγχεται τόσο σε τοπικό επίπεδο ως ξεχωριστή διαδικασία αλλά και μέσω εποπτικών συστημάτων που συγκεντρώνουν δεδομένα για όλες τις βιολογικές διεργασίες και τις φυσικοχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα εντός των δεξαμενών του συστήματος καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υπο-συστημάτων και των διαδικασιών τους.

Πέραν της δομικής και λειτουργικής πολυπλοκότητας τους, οι ΕΕΛ υπόκεινται σε μεγάλες διαταραχές των παροχών και των φορτίων που δέχονται, καθώς και σε αβεβαιότητες σχετικά με τη σύσταση των εισερχόμενων λυμάτων, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να λειτουργούν διαρκώς, ανταποκρινόμενες στους ολοένα και πιο αυστηρούς περιορισμούς που θέτει η νομοθεσία.

Η ανάγκη επίτευξης πολλών στόχων παράλληλα από την ΕΕΛ, όπως είναι η επεξεργασία των λυμάτων με την απομάκρυνση θρεπτικών ώστε να επιτυγχάνονται τα κριτήρια της κείμενης νομοθεσίας περί ποιότητας εκροής, η ελαχιστοποίηση της παραγόμενης ιλύος, η επεξεργασία της ιλύος και ταυτόχρονα η μείωση του λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης, καθιστά επιβεβλημένη την εφαρμογή ενός μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας της. Το μοντέλο επιτρέπει την εκτίμηση διαφορετικών στρατηγικών ελέγχου της εγκατάστασης και ελέγχει την ανταπόκριση κάθε υπο-συστήματος ξεχωριστά αλλά και της εγκατάστασης ως σύνολο στις μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των Σαραντόπουλου (2015) και Koumaki et al. (2017), το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους, για να προσομοιώσει τη λειτουργία μιας ΕΕΛ. Το αρχικό μοντέλο τροποποιήθηκε με την ενσωμάτωση κατάλληλων εξισώσεων για τον υπολογισμό της βιολογικής και χημικής απομάκρυνσης φωσφόρου. Για να μελετηθούν τα φαινόμενα που σχετίζονται με την απομάκρυνση θρεπτικών, η προσομοίωση των διεργασιών του βιοαντιδραστήρα πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή του μοντέλου ASM2, το οποίο αντικατέστησε το ASM1 του αρχικού μοντέλου. Επιπλέον, για την προσομοίωση των διεργασιών του αναερόβιου χωνευτή χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που ανέπτυξε ο Κόκκινος (2015), αντί του συμβατικού ADM1 μοντέλου.

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

Με τη συνδυασμένη εφαρμογή των παραπάνω μοντέλων και την επιλογή των κατάλληλων, κάθε φορά, παραμέτρων ελέγχεται η ποιότητα εκροής της εγκατάστασης, η ποσότητα και τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ιλύος, η ποσότητα και τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων, η απαίτηση οξυγόνου του βιοαντιδραστήρα, η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου, η παραγόμενη θερμική ενέργεια, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των επιμέρους μονάδων, και εκτιμάται συνολικά η απόδοση της ΕΕΛ.

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η δομή της ΕΕΛ που προσομοιώνει το μοντέλο.



Σχήμα 3.1 Διάταξη εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων και θέσεις υπολογισμού των μεταβλητών του μοντέλου (Πηγή: Koumaki et al., 2017)

3.2 Μεταβλητές μοντέλου

Σύμφωνα με την Ομάδα Εργασίας της Διεθνούς Ένωσης για το Νερό (IAWQ), οι μεταβλητές του μοντέλου ASM2, οι οποίες έχουν ήδη αναφερθεί στην ενότητα 2.1.3.2 συμβολίζονται είτε με S για τα διαλυτά συστατικά, είτε με X για τα σωματιδιακά συστατικά και αναλύονται παρακάτω:

- S_A [M(COD)L⁻³]: Τελικά προϊόντα της αναερόβιας ζύμωσης, τα οποία γίνεται η θεώρηση ότι έχουν τη μορφή του οξικού άλατος. Στην πραγματικότητα η διεργασία της ζύμωσης έχει ως παραγόμενο αποτέλεσμα ολόκληρη γκάμα διαφορετικών προϊόντων.
- S_{ALK} [mol(HCO₃⁻)L⁻³]: Αλκαλικότητα των λυμάτων. Η αλκαλικότητα χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει τη διατήρηση του ηλεκτρικού φορτίου στις βιολογικές αντιδράσεις. Αποτελεί ένδειξη ενδεχόμενων καταστάσεων χαμηλού pH που επιφέρουν αναστολή σε συγκεκριμένες διεργασίες. Για όλους τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς, το S_{ALK} θεωρείται ως διττανθρακικό ιόν, HCO₃⁻.
- S_F [M(COD)L⁻³]: Ζυμώσιμη, εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Πρόκειται για το κλάσμα του COD που είναι άμεσα διαμέσιμο για βιοαποδόμηση από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς. Το S_F αποτελεί υπόστρωμα για την αναερόβια ζύμωση και ως εκ τούτου δεν περιλαμβάνει τα προϊόντα της ζύμωσης.
- S₁ [M(COD)L⁻³]: Αδρανής διαλυτή οργανική ύλη. Το κύριο χαρακτηριστικό του S₁ είναι ότι πρόκειται για οργανικό υλικό το οποίο δεν μπορεί να αποδομηθεί περαιτέρω στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Αποτελεί συστατικό των εισερχόμενων λυμάτων και θεωρείται ότι παράγεται κατά την υδρόλυση της σωματιδιακής οργανικής ύλης X₅.
- S_{N2} [M(N)L⁻³]: Αέριο άζωτο, N₂. Το S_{N2} θεωρείται ότι είναι το μοναδικό προϊόν της απονιτροποίησης και μπορεί να υπόκειται σε ανταλλαγή αερίων, παράλληλα με το οξυγόνο, S₀₂.
- S_{NH4} [M(N)L⁻³]: Αμμώνιο και αμμωνιακό άζωτο. Για την ισορροπία των ηλεκτρικών φορτίων θεωρείται ότι το S_{NH4} στο σύστημα βρίσκεται μόνο στη μορφή NH₄⁺.
- S_{NO3} [M(N)L⁻³]: Νιτρικό και νιτρώδες άζωτο (NO₃⁻ + NO₂⁻-N). Το S_{NO3} περιλαμβάνει νιτρικό και νιτρώδες άζωτο, καθώς τα νιτρικά δεν αποτελούν ξεχωριστή μεταβλητή του μοντέλου. Για όλους τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς το S_{NO3} θεωρείται ότι βρίσκεται αποκλειστικά στη μορφή του NO₃⁻⁻N.
- S₀₂ [M(O)L⁻³]: Διαλυμένο οξυγόνο. Το διαλυμένο οξυγόνο μπορεί να συμμετέχει σε διαδικασίες ανταλλαγής αερίων.
- S_{PO4} [M(P)L⁻³]: Ανόργανος διαλυτός φώσφορος, κυρίως ορθο-φωσφορικά. Για την ισορροπία των ηλεκτρικών φορτίων, το S_{PO4} θεωρείται ότι αποτελείται κατά 50% από H₂PO₄⁻ και κατά 50% από HPO₄²⁻, ανεξάρτητα από το pH του συστήματος.

- Χ_{AUT} [M(COD)L⁻³]: Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί, νιτροποιητές. Είναι υπεύθυνοι για τη διεργασία της νιτροποίησης, είναι υποχρεωτικά αερόβιοι, χημικο-λιθο-αυτοτροφικοί. Πρόκειται για τους οργανισμούς που οξειδώνουν το αμμώνιο S_{NH4} απευθείας σε νιτρικά S_{NO3}, δηλαδή τις νιτροσομονάδες και τα νιτροβακτήρια.
- X_H [M(COD)L⁻³]: Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί. Πρόκειται για μικροοργανισμούς που διαβιούν και αναπτύσσονται αερόβια και ανοξικά, κάνοντας απονιτροποίηση, και αναερόβια, κάνοντας ζύμωση. Είναι υπεύθυνοι για την υδρόλυση της σωματιδιακής οργανικής ύλης X_s και καταναλώνουν όλες τις μορφές βιοαποδομήσιμης οργανικής ύλης, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσονται.
- X₁ [M(COD)L⁻³]: Αδρανής σωματιδιακή οργανική ύλη. Πρόκειται για υλικό που δεν βιοαποδομείται εντός του συστήματος ενδιαφέροντος, αλλά κροκιδώνεται στην ενεργό ιλύ. Το X₁ αποτελεί κλάσμα των εισερχόμενων λυμάτων και παράγεται κατά τη φθορά της βιομάζας.
- Χ_{MeOH} [M(TSS)L⁻³]: Υδροξείδια μετάλλων. Αποτελούν συστατικά με ικανότητα δέσμευσης του φωσφόρου τα οποία μπορούν να βρίσκονται στα εισερχόμενα λύματα ή να προστεθούν στο σύστημα προκαλώντας τη χημική κατακρήμνιση φωσφόρου. Για όλους τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς η μεταβλητή αυτή αντιπροσωπεύει το Fe(OH)₃. Υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης του συγκεκριμένου υδροξειδίου με άλλο αντιδραστήριο εφόσον γίνει προσαρμογή της στοιχειομετρίας και των κινητικών του μοντέλου.
- Χ_{MeP} [M(TSS)L⁻³]: Φωσφορικά μέταλλα, M_ePO₄. Αυτό το συστατικό προκύπτει ως παραγόμενο προϊόν της χημικής κατακρήμνισης του φωσφόρου από τα υδροξείδια μετάλλου. Για όλους τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς θεωρείται ότι η μεταβλητή αντιπροσωπεύει το F_ePO₄. Υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης του συγκεκριμένου συστατικού με διαφορετικό εφόσον προσαρμοστούν αναλόγως η στοιχειομετρία και οι κινητικές του μοντέλου.
- Χ_{PAO} [M(COD)L⁻³]: Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: PAO. Πρόκειται για μικροοργανισμούς που αντιπροσωπεύουν όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών που μπορούν να αποθηκεύσουν φώσφορο στα κύτταρά τους. Η συγκέντρωση των Χ_{PAO} δεν περιλαμβάνει τα αποθηκευμένα προϊόντα Χ_{PP} και Χ_{PHA}, αλλά μόνο την 'καθαρή' βιομάζα.
- Χ_{PHA} [M(COD)L⁻³]: Εσωκυτταρικά αποθηκευμένα προϊόντα των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων, PAO. Η μεταβλητή περιλαμβάνει πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκά, γλυκογόνο, κ.α. Εμφανίζονται μόνο σε σχέση με τα βακτήρια Χ_{PAO}, αλλά δεν συμπεριλαμβάνονται στη μάζα τους. Το Χ_{PHA} δεν μπορεί να συγκριθεί απευθείας με το αναλυτικά μετρήσιμο PHA ή τις συγκεντρώσεις γλυκογόνου αλλά είναι ένα λειτουργικό συστατικό που απαιτείται για την προσομοίωση και δεν μπορεί απευθείας να αναγνωριστεί χημικά. Παρόλα αυτά

μπορεί να προσδιοριστεί έμμεσα από την ανάλυση του COD, καθώς πρέπει να ικανοποιεί τις εξισώσεις συνέχειας. Για τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς το PHA θεωρείται ότι έχει τη χημική δομή του πολυ-υδροξυ-βουτυρικού (C₄H₆O₂)_n.

- X_{PP} [M(P)L⁻³]: Πολυ-φωσφορικά. Τα πολυ-φωσφορικά αποτελούν εσωκυτταρικά αποθηκευμένα ανόργανα προϊόντα των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων, PAO. Εμφανίζονται μόνο σε σχέση με τα βακτήρια X_{PAO}, αλλά δεν συμπεριλαμβάνονται στη μάζα τους. Αποτελούν μέρος του σωματιδιακού φωσφόρου και μπορούν να παρατηρηθούν αναλυτικά. Για τους στοιχειομετρικούς υπολογισμούς θεωρείται ότι τα πολυ-φωσφορικά έχουν τη χημική δομή (K_{0.33}Mg_{0.33}PO₃)_n.
- X_s [M(COD)L⁻³]: Αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Πρόκειται για αργά βιοαποδομήσιμη, κολλοειδής, μεγάλου μοριακού βάρους οργανική ύλη που υπόκειται σε εξωκυττάρια υδρόλυση πριν γίνει διαθέσιμη για βιοαποδόμηση. Τα προϊόντα της υδρόλυσης (S_F) θεωρείται ότι μπορούν να υποστούν ζύμωση.
- X_{TSS} [M(TSS)L-3]: Αιωρούμενα στερεά. Τα αιωρούμενα στερεά εισάγονται στο μοντέλο για να υπολογίζεται η συγκέντρωσή τους μέσω της στοιχειομετρίας. Καθώς η απομάκρυνση φωσφόρου και η χημική κατακρήμνιση δημιουργούν ανόργανα κλάσματα μέσα στην ενεργό ιλύ, η πρόβλεψη της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών είναι σημαντική.

XTSS = XI * Itssxi + XS * Itssxs + (XH + XAUT + XPAO) * Itssbm + XPHA * 0.60 + XPP * 3.23 + XMEOH + XMEP

Στο μοντέλο, εκτός των δεκαεννέα (19) συστατικών του ASM2 που προαναφέρθηκαν, υπολογίζονται μέσω της προσομοίωσης και οι ακόλουθες επτά (7) μεταβλητές:

- X_{NV} [M(TSS)L⁻³]: Σωματιδιακές ανόργανες ενώσεις, NV. Οι ανόργανες ενώσεις δεν συμμετέχουν σε καμία βιολογική διεργασία, συμπεριφέρονται όπως η αδρανής σωματιδιακή ύλη X_I και απομακρύνονται από το σύστημα μέσω της περίσσειας ιλύος. Η προσθήκη τους έχει ως σκοπό την προσομοίωση των ανόργανων ενώσεων που εισέρχονται στο σύστημα μέσω των ανεπεξέργαστων λυμάτων.
- X [M(COD)L⁻³]: Σωματιδιακή ύλη σε όρους COD. Πρόκειται για τα αιωρούμενα στερεά του συστήματος που εκφράζονται σε όρους COD και υπολογίζονται ως το άθροισμα όλων των σωματιδιακών μεταβλητών που εκφράζονται στους ίδιους όρους. Ακολουθεί η εξίσωση υπολογισμού του X:

$$X = X_I + X_S + X_H + X_{AUT} + X_{PAO} + X_{PHA}$$

 VSS [M(COD)L⁻³]: Πτητικά αιωρούμενα στερεά σε όρους COD. Πρόκειται για το άθροισμα των οργανικών στερεών και υπολογίζονται μέσω της στοιχειομετρίας από την ακόλουθη σχέση:

$$VSS = X_1 * i_{tssxi} + X_S * i_{tssxs} + (XH + XAUT + XPAO) * it_{ssbm} + X_{PHA} * 0.60$$

TSS [M(TSS)L-3]: Ολικά αιωρούμενα στερεά. Πρόκειται για το άθροισμα των XTSS και των XNV.

$$TSS = X_{TSS} + X_{NV}$$

• COD [M(COD)L⁻³]: Σωματιδιακό και διαλυτό COD. Υπολογίζεται από τη στοιχειομετρία:

$$COD = S_A + S_F + S_I + X_S + X_I + X_H + X_{AUT} + X_{PAO} + X_{PHA}$$

• ΤΝ [M(N)L⁻³]: Ολικό άζωτο. Υπολογίζεται από τη στοιχειομετρία:

$$TN = X_{I} * i_{nxi} + X_{S} * i_{nxs} + (X_{H} + X_{PAO} + X_{AUT}) * i_{nbm} + S_{NH4} + SF^{*}i_{nsf} + SI^{*}i_{nsi} + S_{NO3}$$

• TP [M(P)L⁻³]: Ολικός φώσφορος. Υπολογίζεται από τη στοιχειομετρία:

$$TP = 0.205 * X_{MeP} + X_{PP} + X_S * i_{pxs} + X_I * i_{pxi} + (X_H + X_{PAO} + X_{AUT}) * i_{pbm} + S_{PO4} + S_F * i_{psf} + S_I * i_{psi}$$

Ο Πίνακας 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζει όλες τις μεταβλητές του μοντέλου,

α/α	Συστατικά i	Ορισμός
1	S _{O2}	Διαλυμένο Οξυγόνο
2	S _F	Διαλυτή Ζυμώσιμη Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
3	S _A	Διαλυτά Βιοδιασπάσιμα Προϊόντα Αναερόβιας Ζύμωσης (Οξικό Άλας)
4	S _{NH4}	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο
5	S _{N03}	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο
6	S _{PO4}	Ανόργανος Διαλυτός Φώσφορος (Ορθοφωσφορικά)
7	SI	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη
8	S _{ALK}	Αλκαλικότητα
9	S _{N2}	Διαλυμένο Αέριο Άζωτο
10	Xı	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη
11	X _s	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη
12	X _H	Ετεροτροφική Βιομάζα
13	X _{PAO}	Πολυφωσφορικοί Μικροοργανισμοί
14	X _{PP}	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυφωσφορικά)
15	X _{PHA}	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκά)
16	X _{AUT}	Αυτοτροφική Βιομάζα (Νιτροποιητές)
17	X _{TSS}	Αιωρούμενα Στερεά (TSS)
18	X _{MeOH}	Υδροξείδια Μετάλλων
19	X _{MeP}	Φωσφορικά Μέταλλα
20	X _{NV}	Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη
21	х	Σωματιδιακή Ύλη (COD)
22	VSS	Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά
23	TSS	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)
24	COD	Ολική Οργανική Ύλη (COD)
25	TN	Ολικό Άζωτο
26	TP	Ολικός Φώσφορος

Πίνακας 3.1 Μεταβλητές του μοντέλου προσομοίωσης

3.3 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

3.3.1 Εισαγωγή

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι ο πρώτος σταθμός επεξεργασίας των λυμάτων μετά το στάδιο της προεπεξεργασίας. Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση ενός ποσοστού των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο του νερού αλλά λόγω της ροής των λυμάτων παραμένουν σε αιώρηση. Τα αιωρούμενα σωματίδια εάν δεν απομακρυνθούν κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία θα φορτίσουν τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας με ενδεχόμενη μείωση της ποιότητας της επεξεργασμένης εκροής και αύξηση της κατανάλωσης του βιοαντιδραστήρα.

Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τα προεπεξεργασμένα λύματα παραμένουν στις Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ) όπου επικρατούν συνθήκες σχετικής ηρεμίας και μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων καθιζάνει υπό την επίδραση της βαρύτητας και απομακρύνεται. Ταυτόχρονα απομακρύνεται και μέρος του οργανικού φορτίου των λυμάτων το οποίο βρίσκεται σε σωματιδιακή μορφή.

Στο τέλος της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας από τα προεπεξεργασμένα λύματα έχει καθιζάνει μέρος των αιωρούμενων οργανικών και ανόργανων στερεών, τα οποία απομακρύνονται υπό τη μορφή πρωτοβάθμιας ιλύος συγκέντρωσης 1,5-2%, και τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα υπερχειλίζουν από την ΔΠΚ και να εισέλθουν στο βιοαντιδραστήρα.

3.3.2 Προσομοίωση Δεξαμενής Πρωτοβάθμιας Καθίζησης (ΔΠΚ)

Η προσομοίωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της εξίσωσης ισορροπίας μάζας στη ΔΠΚ (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Θέσεις εισόδου και εξόδου, λυμάτων και ιλύος δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)

3.3.2.1 Θέση 1 – Είσοδος Προεπεξεργασμένων Λυμάτων

Από τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών και την παροχή των προεπεξεργασμένων λυμάτων υπολογίζεται η μάζα των αιωρούμενων στερεών που εισέρχεται στη ΔΠΚ.

$$M_TSS(1) = TSS(1) \cdot Q(1)$$
$$M_X(1) = X(1) \cdot Q(1)$$

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για όλες τις σωματιδιακές μεταβλητές του μοντέλου: Χ_I, Χ_S, Χ_H, Χ_{PAO}, Χ_{PP}, Χ_{PHA}, Χ_{AUT}, Χ_{TSS}, Χ_{MeOH}, Χ_{MeP} και Χ_{NV}.

3.3.2.2 Θέση 3 – Έξοδος Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Στη ΔΠΚ θεωρείται ότι επιτυγχάνεται ένας σταθερός βαθμός απομάκρυνσης στερεών μέσω της καθίζησης, *α* (%), που αποτελεί παράμετρο του συστήματος. Η μάζα της πρωτοβάθμιας ιλύος που απομακρύνεται από τον πυθμένα της δεξαμενής υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$M_TSS(3) = \frac{a \cdot M_TSS(1)}{100}$$

Θεωρώντας ότι η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στην πρωτοβάθμια ιλύ εκφράζεται ως C_prim, η παροχή της ιλύος υπολογίζεται ως εξής:

$$Q(3) = \frac{M_TSS(3)}{C_prim}$$

Κατ' αντιστοιχία υπολογίζονται η μάζα και η συγκέντρωση όλων των σωματιδιακών συστατικών:

$$M_X(3) = \frac{a \cdot M_X(1)}{100}$$
$$X(3) = \frac{M_X(3)}{0(3)}$$

Για την περίπτωση των διαλυτών συστατικών, οι συγκεντρώσεις τους στην ιλύ παραμένουν αμετάβλητες και είναι ίσες με τις συγκεντρώσεις που εισέρχονται με τα προεπεξεργασμένα λύματα. Η μάζα κάθε διαλυτού συστατικού που απομακρύνεται με την πρωτοβάθμια ιλύ υπολογίζεται βάσει της παροχής της ιλύος.

Οι παρακάτω εξισώσεις ισχύουν για όλα τα διαλυτά συστατικά: So2, Sf, Sa, SnH4, SnO3, SpO4, SI, Sn2, SALK, σημειώνοντας ότι για τη μεταβλητή της αλκαλικότητας δεν υπολογίζουμε μάζα αλλά μόνο τη συγκέντρωσή της.

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

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

3.3.2.3 Θέση 2 – Έξοδος Πρωτοβάθμιων Επεξεργασμένων Λυμάτων

Η παροχή των πρωτοβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων που υπερχειλίζει από τη ΔΠΚ υπολογίζεται ως εξής:

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

Για τη μάζα και τη συγκέντρωση των σωματιδιακών συστατικών ισχύουν οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$M_X(2) = M_X(1) - M_X(3)$$
$$X(2) = \frac{M_X(2)}{Q(2)}$$

Σχετικά με τα διαλυτά συστατικά, όπως και στην πρωτοβάθμια ιλύ, οι συγκεντρώσεις στα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα δεν μεταβάλλονται και κατά συνέπεια η συγκέντρωση και η μάζα τους υπολογίζονται με τις ίδιες εξισώσεις.

$$S(2) = S(1)$$
$$M_S(2) = S(2) \cdot Q(2)$$

3.4 Βιολογικός αντιδραστήρας

3.4.1 Εισαγωγή

Ο βιολογικός αντιδραστήρας αποτελεί το επόμενο στάδιο επεξεργασίας μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Για την προσομοίωση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο βιολογικό αντιδραστήρα εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών, το οποίο βασίζεται στο Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2 (ASM2).

Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί μια πρόταση για τη δυναμική προσομοίωση συνδυασμού βιολογικών διεργασιών και τον υπολογισμό του COD και της απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου. Σημειώνεται ότι, ειδικά για το φώσφορο, υπάρχει επιπροσθέτως η δυνατότητα χημικής απομάκρυνσής του, διεργασία που περιγράφεται με τις αντίστοιχες εξισώσεις και λειτουργεί επικουρικά στη βιολογική απομάκρυνση του θρεπτικού συστατικού.

3.4.2 Διεργασίες μοντέλου

Οι δεκαεννέα (19) διεργασίες του ASM2 περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 2.1.3.3. Για την πληρότητα της παρουσίασης του μοντέλου παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- 1. Διεργασίες υδρόλυσης:
 - Διεργασία 1 αερόβια υδρόλυση
 - Διεργασία 2 ανοξική υδρόλυση
 - Διεργασία 3 αναερόβια υδρόλυση
- 2. Διεργασίες ετεροτροφικών μικροοργανισμών:
 - Διεργασίες 4 & 5 αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) και διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S_F)
 - Διεργασίες 6 & 7 ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) και διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S_F)· απονιτροποίηση

- Διεργασία 8 ζύμωση
- Διεργασία 9 λύση ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H)
- 3. Διεργασίες πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO):
 - Διεργασία 10 αποθήκευση Χ_{ΡΗΑ}
 - Διεργασία 11 αποθήκευση πολυ-φωσφορικών (Χ_{PP})
 - Διεργασία 12 ανάπτυξη των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO)
 - Διεργασίες 13, 14 & 15 λύση των πολύ-φωσφορικών βακτηρίων (Χ_{ΡΑΟ}) και των προϊόντων αποθήκευσής τους (Χ_{ΡΗΑ}, Χ_{ΡΡ})
- 4. Διεργασίες νιτροποίησης
 - Διεργασία 16 ανάπτυξη αυτοτροφικών μικροοργανισμών (X_{AUT})
 - Διεργασία 17 λύση αυτοτροφικών μικροοργανισμών
- 5. Διεργασίες χημικής κατακρήμνισης φωσφόρου
 - Διεργασίες 18 & 19 κατακρήμνιση και επαναδιάλυση ορθο-φωσφορικών (S_{PO4})

3.4.3 Συντελεστές και παράμετροι του μοντέλου

Στους Πίνακες 3.2 και 3.3 παρατίθενται οι συντελεστές μετατροπής μεταξύ των διαφορετικών μονάδων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο, για την εφαρμογή των εξισώσεων συνέχειας. Οι απόλυτοι αριθμοί βασίζονται στη χημική σύσταση κάθε συστατικού, ενώ οι υπόλοιποι παράγοντες υπολογίζονται πειραματικά.

Οι Πίνακες 3.4 και 3.5 περιλαμβάνουν τις στοιχειομετρικές σταθερές και παραμέτρους του μοντέλου για θερμοκρασία λυμάτων 20°C. Σημειώνεται ότι το μοντέλο δεν περιλαμβάνει εξισώσεις για την προσομοίωση θερμοκρασιακών μεταβολών των λυμάτων.

	Τυπικοί συντελεστές μετατροπής για τις εξισώσεις συνέχειας								
Αζωτο									
Διαλυτό υ	λικό:								
i _{NSI}	Ν που περιέχεται στο αδρανές διαλυτό COD S _I	0,010	g N (g COD) ⁻¹						
i _{NSF}	Ν που περιέχεται στη διαλυτή οργανική ύλη S _F	0,030	g N (g COD) ⁻¹						
Σωματιδια	Σωματιδιακό υλικό:								
i _{NXI}	Ν που περιέχεται στο αδρανές σωματιδιακό COD Χ _ι	0,030	g N (g COD) ⁻¹						
i _{NXs}	Ν που περιέχεται στη σωματιδιακή οργανική ύλη Χ _s	0,040	g N (g COD) ⁻¹						
i _{NBM}	Ν που περιέχεται στη βιομάζα Χ _Η , Χ _{ΡΑΟ} , Χ _{ΑUT}	0,070	g N (g COD) ⁻¹						
Φώσφορος:	Φώσφορος:								
Διαλυτό υλικό:									
i _{PSI}	Ρ που περιέχεται στο αδρανές διαλυτό COD S	0,000	g P (g COD) ⁻¹						
i _{PXs}	Ρ που περιέχεται στη διαλυτή οργανική ύλη S _F	0,010	g P (g COD) ⁻¹						
Σωματιδια	χκό υλικό:								
i _{PXI}	Ρ που περιέχεται στο αδρανές σωματιδιακό COD Χι	0,010	g P (g COD) ⁻¹						
i _{PXs}	Ρ που περιέχεται στη σωματιδιακή οργανική ύλη Χ _s	0,010	g P (g COD) ⁻¹						
i _{PBM}	Ρ που περιέχεται στη βιομάζα Χ _Η , Χ _{ΡΑΟ} , Χ _{Αυτ}	0,020	g P (g COD) ⁻¹						
Ολικά αιωρούμενα στερεά:									
i _{TSSXI}	αναλογία TSS στα Χ _ι	0,750	g TSS (g COD) ⁻¹						
i _{TSSXs}	αναλογία TSS στα X _s	0,750	g TSS (g COD) ⁻¹						
i _{TSSBM}	αναλογία TSS στη βιομάζα Χ _Η . Χ _{ΡΑΟ} , Χ _{ΑυΤ}	0,900	g TSS (g COD) ⁻¹						

Πίνακας 3.2 Ερμηνεία και τιμές συντελεστών μετατροπής του ASM2 (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)

Εξίσωση συνέχειας για:		COD	N	Р	Φορτίο	Μάζα	
Συν/τής:			i _{cod,i}	i _{n,i}	i _{P,i}	i _{Charge,i}	i _{tss,i}
i	Συστατικό	Μονάδες	g COD	g N	g P	mole⁺	g TSS
1	S _{O2}	g O ₂	-1				
2	S _F	g COD	1	i _{NSF}	i _{PSF}		
3	S _A	g COD	1			-1/64	
4	S _{NH4}	g N		1		+1/14	
5	S _{N03}	g N	-64/14	1		-1/14	
6	S _{PO4}	g P			1	-1.5/31	
7	SI	g COD	1	i _{NSI}	i _{PSI}		
8	S _{ALK}	mol HCO3				-1	
9	S _{N2}	g N	-24/14	1			
10	Xı	g COD	1	i _{NXI}	i_{PX_I}		i _{TSSX1}
11	Xs	g COD	1	i _{NXs}	i _{PXs}		i _{TSSXs}
12	Х _н	g COD	1	i _{NBM}	i _{PBM}		і _{TSSBM}
13	X _{PAO}	g COD	1	i _{NBM}	i _{PBM}		i _{TSSBM}
14	X _{PP}	g P			1		3.23
15	X _{PHA}	g COD	1				0.60
16	X _{AUT}	g COD	1	i _{NBM}	i _{PBM}		i _{TSSBM}
17	X _{TSS}	g TSS					-1
18	X _{MeOH}	g TSS					1
19	X _{MeP}	g TSS			0.205		1

Πίνακας 3.3 Συντελεστές μετατροπής i_{ci} για τις εξισώσεις συνέχειας του μοντέλου (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)

Πίνακας 3.4 Ερμηνεία και τιμές στοιχειομετρικών σταθερών του ASM2 (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)

Τυπικές στοιχειομετρικές σταθερές									
Υδρόλυση:									
f_{S_I}	κλάσμα αδρανούς COD στη σωματιδιακή οργανική ύλη	0,000	g COD (g COD) ⁻¹						
Ετεροτροσ	Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: Χ _н								
Y_H	συντελεστής απόδοσης (βιομάζα/τροφή)	0,600	g COD (g COD) ⁻¹						
$f_{X_{I}-H}$	κλάσμα αδρανούς COD που δημιουργείται απ' τη λύση της βιομάζας	0,100	g COD (g COD) ⁻¹						
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: Χ _{ΡΑΟ}									
Y_{PAO}	συντελεστής απόδοσης (βιομάζα/ΡΗΑ)	0,630	g COD (g COD) ⁻¹						
Y_{PO_4}	απαίτηση PP (απελευθέρωση SPO $_4$) για αποθήκευση PHA	0,400	g P (g COD) ⁻¹						
Y _{PHA}	απαίτηση ΡΗΑ για αποθήκευση ΡΡ	0,200	g COD (g COD) ⁻¹						
$f_{X_{I}_PAO}$	κλάσμα αδρανούς COD που δημιουργείται απ' τη λύση της βιομάζας	0,100	g COD (g COD) ⁻¹						
Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: Χ _{Αυτ}									
Y_{AUT}	συντελεστής απόδοσης (βιομάζα/νιτρικά)	0,240	g COD (g N) ⁻¹						
$f_{X_{I}}AUT$	κλάσμα αδρανούς COD που δημιουργείται απ' τη λύση της βιομάζας	0,100	g COD (g COD) ⁻¹						

Υδράλωση: 3,000 d ⁴ ^R ho, hyd μεωατικός συντελεστής αναερόβιας υδρόλυσης 0,000 - ^R y, μ μεωατικός συντελεστής αναερόβιας υδρόλυσης 0,100 - ^R y, μ μεωατικός συντελεστής αναερόβιας υδρόλυσης 0,100 - ^R y, μ μεωατικός συντελεστής αναεροβίας να το συμματιδίακό CDD 0,500 g O, m ³ ^K wo, byd συντελεστής κορεσμού για το συμματιδίακό CDD 0,500 g CDD (g COD) ¹ ^R μ μέγιστος ρυθμός ζώμωσης 3,000 d ⁴ ^R νο, h μέγιστος ρυθμός ζώμωσης 3,000 g COD (g COD) ¹ d ¹ ^R νο, h μέγιστος ρυθμός ζώμωσης 3,000 g COD (g COD) ¹ d ¹ ^R νο, h συντελεστής κορεσμού για αντην αποι τροποίηση 1,000 - ^R ν συντελεστής κορεσμού για αντην αποτιζη πό 5, 4,000 g COD m ³ ^K ν συντελεστής κορεσμού για αντην αποτιχ 0,500 g N m ³ ^K ν συντελεστής κορεσμού για αντην αποτιχ 0,500 g N m ³ ^K ν συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,501 g N m ³ <th></th> <th colspan="9">Στοιχειομετρικές σταθερές και κινητικές</th>		Στοιχειομετρικές σταθερές και κινητικές								
^{An} σταθερά ρυβμού υδρόλυσης 3,000 d ⁻¹ ^{Ano} , hod μευτικός συντελεστής αναεφίζιας υδρόλυσης 0,500 - ^{Ano} , hod μευτικός συντελεστής αναερόβιας υδρόλυσης 0,100 - ^{Ko} , hod συντελεστής αναερόβιας υδρόλυσης 0,100 - ^{Ko} , hod συντελεστής κορεσμού/να αναλής για τα νίχυνά 0,500 g O m ³ ^{Ko} , hod συντελεστής κορεσμού για το σωματιδιακό COD 0,050 g COD (g COD) ¹ ^{Ere} μέγιστος ρυθμός ενάπτυξης από σργανική ύλη 6,000 d ¹ - ^{HI} μέγιστος ρυθμός ενώπτυξης από σργανική ύλη 6,000 g O (g COD) ¹ d ¹ ^{RI} σιντελεστής κορεσμού για αναονιτροποίηση 1,000 - ^{BI} σταθερά ρυθμού διόσης 6,220 d ¹ - ^{RI} σιντελεστής κορεσμού για αναιτικής από 5, 4,000 g COD m ³ ^K συντελεστής κορεσμού για το αμμωνακού άζωτο (δρεπικό συστατικό) 0,000 g COD m ³ ^K συντελεστής κορεσμού για το αμμωνακού άζωτο (δρεπικό συστατικό) 0,000 g COD m ³ ^K συντελεστής κορεσμού για το αμμωνακού άζωτο (δρεπικό συστατακό) <	Υδρόλυση:		-							
Πλο, ησ/ μεταυτκό συντελεστής κορεομού/αναστολής για το ούμγόνο 0,000 - ήre μεταυτκό συντελεστής κορεομού/αναστολής για το ούμγόνο 0,200 g CD (g CD) ³ Κομ, hyd συντελεστής κορεομού/αναστολής για το σύμγόνο 0,500 g CD (g CD) ³ Κνς συντελεστής κορεομού/αναστολής για το σύμγόνο 0,600 g ³ Κνς συντελεστής κορεομού/αναστολής για το σύμγάνο 0,600 g ³ Κνς συντελεστής κορεομού/αναστολής για το σύμγάνο 0,600 g ³ β ⁴ μέγιστος ρυθμός ζύψμοσης 0,620 g ³ β ⁴ σταθερά ρυθμού λύσης 0,620 g ³ κ ⁵ συντελεστής κορεσμού για το ζύμωσης των 5, 10,000 g CDD m ³ K _r συντελεστής κορεσμού για το ζύμωσης των 5, 10,000 g CDD m ³ K _r συντελεστής κορεσμού για το ζύμωσης των 5, 10,000 g CDD m ³ K _r συντελεστής κορεσμού για το ζύμωσης των 5, 10,000 g CDD m ³ K _r συντελεστής κορεσμού για το ζύμωσης των 5, 10,000 g CDD m ³ K _r συντελεστής κορεσμού για το ζώμοσης CP	K _h	σταθερά ρυθμού υδρόλυσης	3,000	d ⁻¹						
Π/μ μείωπκος συντελεστής κουερομοί/αν στολής για το σύμγόνο 0.100 Κ _{02,DVd} συντελεστής κορεσμού/αν στολής για το σύμγόνο 0.200 g C p m ³ Κ _{N02,DVd} συντελεστής κορεσμού/αν στο δυματιδιακό COD 0.050 g COD (g COD) ¹ Εττεροτροσμοτι μιροοργατισμού:	n _{NO3_} hyd	μειωτικός συντελεστής ανοξικής υδρόλυσης	0,600	-						
************************************	K	μειωτικός συντελεστης αναεροβίας υδρολυσης	0,100	-						
Αλλολογδ συντελεστής κορεσμού για το σωματιδιακό COD 0,500 g KOD (g COD) ¹ Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί:	K ₀₂ hyd	συντελεστης κορεσμου/αναστολης για το οξυγονο	0,200	g O ₂ m ⁻						
Λx συντελεστής κορεσμού για το σωματιδιακό COD 0.050 g COD (g COD) ¹ <i>H</i> H μέγιστος ρυθμός ζύμμοης 3.000 g COD (g COD) ¹ d ¹ <i>R</i> No_h μειμιτικός συντελεστής για την απονιτροποίηση 1,000 - <i>B</i> H σταθερά ρυθμού λύσης 0.620 d ¹ <i>K</i> _P συντελεστής κορεσμού/αναστολής για το οξυγόνο 0,200 g O, m ³ <i>K</i> r συντελεστής κορεσμού για ανάπτυξη από s _p 4,000 g COD m ³ <i>K</i> _P συντελεστής κορεσμού για το S _x 4,000 g COD m ³ <i>K</i> _P συντελεστής κορεσμού για το S _x 4,000 g COD m ³ <i>K</i> _N συντελεστής κορεσμού για το S _x 4,000 g COD m ³ <i>K</i> _N συντελεστής κορεσμού για το S _x 4,000 g COD m ³ <i>K</i> _N συντελεστής κορεσμού για το τημωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0.050 g N m ³ <i>K</i> _N συντελεστής κορεσμού για το ψώφορο (θρεπτικό συστατικό) 0.000 g PO (g PAO) ¹ d ¹ <i>μ</i> συτελεστής κορεσμού για το φιμομού αποθήκευσης PP 3,000 g PO (g PAO) ¹ d ¹ <i>θ</i> σταθερά ρυθμού αποθήκευσ	N _{NO3} hyd	συντελεστής κορεσμού/αναστολής για τα νιτρικά	0,500	g N m ⁻³						
Exponption Difference 0 0 ¹ Ψ ¹ H μέγιστος ρυθμός ζύμωσης 3,000 g COD (g COD) ¹ d ¹ ¹ Ro ₂ , h μείωπτος ουντελεστής καρεσμού για το ανοττροποίηση 1,000 - ¹ Bo σταθερά ρυθμού λύσης 0,620 g ² d ¹ ¹ Ko ₂ , h σταθερά ρυθμού λύσης 0,620 g ² m ³ ¹ Kr συντελεστής κορεσμού για το δεγ 4,000 g COD m ³ ¹ Kr συντελεστής κορεσμού για το δεγ 4,000 g COD m ³ ¹ Kr, a συντελεστής κορεσμού για το Δμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,050 g N m ³ ¹ Khu, h συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g COD m ³ ¹ Khu, h συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g P m ³ ¹ Khu, h συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g P M ³ ¹ Robu-φωσφορικά δακτήμα: 0,100 mole HCO ₃ m ³ Robu ¹ Robu-φωσφορικά δακτήμα: 0,200 d ¹ d ¹ ¹ Pro σταθερά ρυθμού άσποθήκευσης PHA (ατά X	<i>П</i> <u>Х</u>	συντελεστής κορεσμού για το σωματιδιακό COD	0,050	g COD (g COD) ¹						
Πενίζους μουμιζο ζύμωσης Β.,000 με ζΟΟΟ (g COD) ¹ d ¹ πκο ₂ ,h μειωτικός συντελεστής γμα την απονιτροποίηση 1,000 - bH σταθερά ρυθμού λόσης 0,520 d ¹ K _ρ ,h συντελεστής κορεσμού/γαναστολής για το σξυγόνο 0,520 g COD m ³ K _Γ συντελεστής κορεσμού για τάμωση των S, 10,000 g COD m ³ K _Γ συντελεστής κορεσμού για το χ 10,000 g COD m ³ K _{Λα,h} συντελεστής κορεσμού για το χ 10,000 g COD m ³ K _{Λα,h} συντελεστής κορεσμού για το χ 10,000 g COD m ³ K _{Λα,h} συντελεστής κορεσμού για το φμωσφαρο (θρεπτικό συστατικό) 0,010 g P m ³ K _{Λιτ,h} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορ (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ R _{Λιτ,h} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορ (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ R _{Λιτ,h} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορ (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P (θ PAO) ³ d ³ BP _Λ σταθερά ρυθμού λίσης X _{ρο} 3,000 g COD (g PAO) ³ d ³ BP _Λ σταθερά ρυθμού λίσης X _ρ	ειεροιροφικά μ _Η		C 000	d ⁻¹						
Πλο ₂ ,h μενισκός συνελεστής και την απονιτροποίηση 3,000 ε COUNG COUNG COUNG BH σταθερά ρυθμού λύσης 0,620 d ³ K _p ,h συντελεστής κορεσμού για ανάπτυξη από S _p 4,000 g CO m ³ K _F συντελεστής κορεσμού για ανάπτυξη από S _p 4,000 g CO m ³ K _F συντελεστής κορεσμού για το χ 10,000 g CO m ³ K _A ,h συντελεστής κορεσμού για το χ 10,000 g CO m ³ K _{ND} ,h συντελεστής κορεσμού για το χ 0,000 g CO m ³ K _{ND} ,h συντελεστής κορεσμού για το αμμωνικκό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g P M ³ K _{NL} ,h συντελεστής κορεσμού για το αμμωνικκό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g COD (g PAO) ¹ d ¹ <i>R</i> Ph A συντελεστής κορεσμού για το μάφορο (θρεπικό συστατικό) 0,000 mole HCO ³ m ³ <i>R</i> AL,h συντελεστής κορεσμού για το χριφισμο το συσταλεφό μου (θρεπικό συστατικό συστατικό) 0,000 g CDD (g PAO) ¹ d ¹ <i>θ</i> PP σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PP 3,000 g CDD (g PAO) ³ d ¹ <i>θ</i> PP σταθερά ρυθμού λύσης ζ _{PMA} 0,200 d ¹	q_{fe}	μεγιστος ρυθμος αναπτοζής από οργανική υπη	6,000	$u = cop (r cop)^{-1} d^{-1}$						
παιθερά ρυθμού λύσης 0.620 d ¹ K _P συντελεστής κορεσμού για ανάπτυξη από S _p 4,000 g COD m ³ K _F συντελεστής κορεσμού για ανάπτυξη από S _p 10,000 g COD m ³ K _F συντελεστής κορεσμού για ανάπτυξη από S _p 4,000 g COD m ³ K _R συντελεστής κορεσμού για τα S _A 4,000 g COD m ³ K _R συντελεστής κορεσμού για τα S _A 4,000 g COD m ³ K _{ND₂} , συντελεστής κορεσμού για τα σμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,050 g N m ³ K _{NL} , συντελεστής κορεσμού για τα φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ K _{ALK} , συντελεστής κορεσμού για τα φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ K _{ALK} , συντελεστής κορεσμού για τα φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ K _{ALK} , συντελεστής κορεσμού για τα φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ K _{ALK} , συντελεστής κορεσμού για τα φώσφορο 0,000 g COD (g PAO) ³ d ¹ ΦPHA σταθερά ρυθμού λισης X _{PhO} 3,000 g COD (g PAO) ³ d ¹ ΦPro σταθερ	$n_{NO_{n}h}$	μεγιστος ρυθμος ζυμωσης	3,000							
Ποιουτελεστής κορεσμού για το σύγόνο 0.200 g 0, m ³ K_{P} συντελεστής κορεσμού για τα νάπτυξη από S_{P} 4,000 g COD m ³ K_{F} συντελεστής κορεσμού για τα S_{A} 4,000 g COD m ³ $K_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για τα S_{A} 4,000 g COD m ³ $K_{No,h}$ συντελεστής κορεσμού για τα S_{A} 4,000 g COD m ³ $K_{No,h}$ συντελεστής κορεσμού για τα S_{A} 4,000 g COD m ³ $K_{No,h}$ συντελεστής κορεσμού για τα σμμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g N m ³ $K_{NL,h}$ συντελεστής κορεσμού για το ψμφοφο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g COD (g PAO) ¹ d ¹ $R^{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το ψμφοφοφο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g COD (g PAO) ¹ d ¹ $R^{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το γμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g COD (g PAO) ¹ d ¹ $R^{P,h}$ σταθερά ρυθμού άποθήκευσης PHA (από X_{PP}) 3,000 g COD (g PAO) ¹ d ¹ $R^{P,h}$ σταθερά ρυθμού λύσης X_{PAO} 0,200 d ¹ $R^{P,h}$ σταθερά ρυθμού λύσης X_{PAO} 0,200	b _H	αταθερά ομθμού λύσης	0.620	d ⁻¹						
	Kan	στασερά ροσμού πουης	0,020	α Ο ₋ m ⁻³						
Hyp Ουντελεστής κορεσμού για α'αιτιώς $q_{,000}$ g COD m ⁻³ K_{fe} συντελεστής κορεσμού για το S_p 10,000 g COD m ⁻³ $K_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για το S_p 0,000 g COD m ⁻³ $K_{Nh_{4,h}}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ⁻³ $K_{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορ (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ⁻³ $K_{ALK,h}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ₃ m ⁻³ $R_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ₃ m ⁻³ $R_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ₃ m ⁻³ $R_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ₃ m ⁻³ $R_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,200 d ⁻¹ P_{PHA} σταθερά ρυθμού άποθή κευσης PP 3,000 g COD (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹ P_{PAO} σταθερά ρυθμού λώσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ B_{PAO} σταθερά ρυθμού λώσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ <tr< td=""><td>K_E</td><td></td><td>4 000</td><td>g COD m⁻³</td></tr<>	K _E		4 000	g COD m ⁻³						
N _q Ουντελεστής κορεσμού για τα S _μ 10,000 g COD m ³ K_{NO_n} συντελεστής κορεσμού για τα S _μ 4,000 g COD m ³ K_{NO_n} συντελεστής κορεσμού για τα S _μ 4,000 g COD m ³ K_{NO_n} συντελεστής κορεσμού για τα αμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ $K_{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το μμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ $RA_{LK,h}$ συντελεστής κορεσμού για το μμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ $RA_{LK,h}$ συντελεστής κορεσμού για το μμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ $RA_{LK,h}$ συντελεστής κορεσμού για το μμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 g COD (g PAO) ¹ d ¹ q_{PHA} σταθερά μθμού αποθήκευσης PP 3,000 g COD (g PAO) ¹ d ¹ q_{PAO} σταθερά μθμού λύσης X _{PRO} 0,200 d ¹ b_{PAO} σταθερά μθμού λύσης X _{PRA} 0,200 d ¹ $K_{A,DaO}$ συντελεστής κορεσμού για το S _{D2} 0,200 g ⁰ m ³ $K_{A,DaO}$ συντελεστής κορεσμού για το σμμωνιακό άζωτο 0,0	K.		4,000	g COD m ⁻³						
$N_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για το S_h 4,000 g CDD m $K_{NO_{a,h}}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,050 g N m ⁻³ $K_{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ⁻³ $K_{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ⁻³ $R_{ALK,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 mole HCO' ₃ m ⁻³ $Rh_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 mole HCO' ₃ m ⁻³ $Rh_{A,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,000 mole HCO' ₃ m ⁻³ q_{PHA} σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PHA (από X _{pp}) 3,000 g CDD (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹ q_{PPAO} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ b_{PAO} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ b_{PAO} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ b_{PAO} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 g CD m ³ $K_{S,paO}$ συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m ³ K_{PAO} συντε	N _f e V	ουντελεότης κορεόμου για ζύμωση των S _F	10,000							
$K_{NO_2,h}$ ουντελεστής κορεσμού/αναστολής για τα ντρικά 0,500 g N m³ $K_{NL_h,h}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m³ $K_{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m³ $K_{ALK,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,100 mole HCO' ₃ m³ $Rhou-φωσφορικά βακτήρια:$ 9 3,000 g COD (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹ q_{PP} σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PP 3,000 g COD (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹ q_{PP} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ b_{PAO} μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,200 d ⁻¹ b_{PAO} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ b_{PAO} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ $K_{P,aO}$ συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m³ $K_{A,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το Δητιν αποθήκευση PP 0,200 g P m³ $K_{A,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το Ρ στην αποθήκευση PP 0,200 g P m³ $K_{P,pao}$ <	Λ _{A_h}	συντελεστής κορεσμού για τα S _A	4,000	g COD m						
$N_{H_{a},h}$ ουντελεστής κορεσμού για το αμμωνίακό άζισιο (θρεπτικό συστατικό) 0,050 g N m³ $K_{P,h}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m³ $K_{ALK,h}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO' ₃ m³ $Πολ-φωσορικά θακτήρια:$	$K_{NO_3_h}$	συντελεστής κορεσμού/αναστολής για τα νιτρικά	0,500	g N m ^{-s}						
$K_{P,h}$ ουντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό) 0,001 g P m ³ $K_{ALK,h}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO' ₃ m ³ Πολυ-φωσφορικά θακτήρια:	K _{NH4} h	συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο (θρεπτικό συστατικό)	0,050	g N m ⁻³						
$\Lambda_{ALK,h}$ ουντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO' ₃ m ⁻³ $RO_V-φωσφορικά θακτήρια: $	K_{P_h}	συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο (θρεπτικό συστατικό)	0,001	g P m ⁻³						
Πολυ-φωσφορικά δακτήρια: 3,000 g COD (g PA0) ⁻¹ d ⁻¹ <i>Q</i> PHA σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PHA (από X _{pp}) 3,000 g COD (g PA0) ⁻¹ d ⁻¹ <i>Q</i> PP σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PP 3,000 g COD (g PA0) ⁻¹ d ⁻¹ <i>μ</i> PAO μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 1,000 d ⁻¹ <i>D</i> PAO σταθερά ρυθμού λύση X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ <i>D</i> PA σταθερά ρυθμού λύση X _{PHA} 0,200 d ⁻¹ <i>K</i> O _{2.} pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g ⁰ <i>K</i> A _. pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g P m ³ <i>K</i> A _. pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g P m ³ <i>K</i> A _. pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀ g P m ³ <i>K</i> A _. pao συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ³ <i>K</i> A _. pao συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P P (g PAO) ⁻¹ <i>K</i> A _. pao συντελεστής κορεσμού για τη P 0,010 g P (g PAO) ⁻¹ <i>K</i> A _. Pao συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{pp} 0,020 g P (g PAO) ⁻¹ </td <td>K_{ALK_h}</td> <td>συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα</td> <td>0,100</td> <td>mole $HCO_3^{-3} m^{-3}$</td>	K _{ALK_h}	συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα	0,100	mole $HCO_3^{-3} m^{-3}$						
ΨPHA σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PHA (από X _{PP}) 3,000 g COD (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹ <i>ΨpP</i> σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PP 3,000 g PP (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹ <i>ΨpAO</i> μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 1,000 d ⁻¹ <i>bPAO</i> σταθερά ρυθμού λύσης X _{PPA} 0,200 d ⁻¹ <i>bPP</i> σταθερά ρυθμού λύσης X _{PPA} 0,200 d ⁻¹ <i>bPP</i> σταθερά ρυθμού λύσης X _{PHA} 0,200 d ⁻¹ <i>Ko2_pao</i> συντελεστής κορεσμού για το S _{O2} 0,200 g O2 m ⁻³ <i>KA_Lpao</i> συντελεστής κορεσμού για το S _{O2} 0,000 g COD m ⁻³ <i>KA_Lpao</i> συντελεστής κορεσμού για το σμμωνιακό άζωτο 0,050 g N m ⁻³ <i>KPS</i> συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ³ <i>KALK_pao</i> συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P M ³ <i>KALK_pao</i> συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση X _{PP} 0,010 g P (g PAO) ⁻¹ <i>KALK_pao</i> συντελεστής κορεσμού για το P 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ <i>KALK_pao</i> συντελεστής κορεσμού για το ποθήκευση X _{PP}	Πολυ-φωσφο	ρικά βακτήρια:	1							
Ψpp σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PP 3,000 g PP (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹ ΨpAO μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 1,000 d ⁻¹ bpAO σταθερά ρυθμού λύσης X _{PRO} 0,200 d ⁻¹ bpP σταθερά ρυθμού λύσης X _{PRO} 0,200 d ⁻¹ bPHA σταθερά ρυθμού λύσης X _{PRO} 0,200 d ⁻¹ Ko2_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g ⁰ d ⁻¹ KA_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g C D m ⁻³ KA_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g C D m ⁻³ KA_pao συντελεστής κορεσμού για το σαιν αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ KPp συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m ⁻³ KALK_pao συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,100 mole HCO' ₃ m ⁻³ KAμα συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g PP (g PAO) ⁻¹ KAμα συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση X _{PP} 0,000 g PP (g PAO) ⁻¹ KAμα συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 0,020 g PP	<i>q_{PHA}</i>	σταθερά ρυθμού αποθήκευσης ΡΗΑ (από Χ _{ΡΡ})	3,000	g COD (g PAO) ⁺ d ⁺						
μ_{PAO} μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 1,000 d ⁻¹ b_{PAO} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ b_{PP} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PPA} 0,200 d ⁻¹ b_{PHA} σταθερά ρυθμού λύσης X _{PHA} 0,200 d ⁻¹ $K_{O_2,PaO}$ συντελεστής κορεσμού για το S _{O2} 0,200 g O ₂ m ⁻³ $K_{A,paO}$ συντελεστής κορεσμού για το S _O 4,000 g COD m ⁻³ $K_{A,paO}$ συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m ⁻³ $K_{P,paO}$ συντελεστής κορεσμού για το στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ $K_{P,BaO}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m ⁻³ $K_{ALK,paO}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,000 mole HCO-3 m ⁻³ K_P συντελεστής κορεσμού για τα PP 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ K_MAX μέγιστος συντελεστής χ _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ K_MAX μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d ⁻¹ $MAUT$ μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d ⁻¹	q_{PP}	σταθερά ρυθμού αποθήκευσης ΡΡ	3,000	g PP (g PAO) ⁻¹ d ⁻¹						
bPAO σταθερά ρυθμού λύσης X _{PAO} 0,200 d ⁻¹ bPP σταθερά ρυθμού λύσης X _{PP} 0,200 d ⁻¹ bPHA σταθερά ρυθμού λύσης X _{PHA} 0,200 d ⁻¹ KO2_PAO συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g O ₂ m ⁻³ KA_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀ 4,000 g COD m ⁻³ KA_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀ 4,000 g COD m ⁻³ KP συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m ⁻³ KP συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ KP συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ KP συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ KPP συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ KMAX μέγιστος συντελεστής X _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ KHP συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ KPHA συντελεστής κορεσμού για το δίγνότο 0,680 d ⁻¹ <td>μ_{PAO}</td> <td>μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης</td> <td>1,000</td> <td>d⁻¹</td>	μ_{PAO}	μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης	1,000	d ⁻¹						
bpp σταθερά ρυθμού λύσης X _{PP} 0,200 d ⁻¹ bpHA σταθερά ρυθμού λύσης X _{PHA} 0,200 d ⁻¹ Ko2_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g O2 m ⁻³ KA_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g COD m ⁻³ KA_pao συντελεστής κορεσμού για το S ₀ 4,000 g COD m ⁻³ KnH4_pao συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m ⁻³ Kps συντελεστής κορεσμού για το Party αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ Kp_pao συντελεστής κορεσμού για το Party ανάπτυξη 0,010 g P m ⁻³ KALK_pao συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ Kpp συντελεστής κορεσμού για τα PP 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ KMAX μέγιστος συντελεστής Χ _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ KrPP συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PH (g PAO) ⁻¹ KrPHA συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PH (g PAO) ⁻¹ KrPA συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0	b _{PAO}	σταθερά ρυθμού λύσης Χ _{ΡΑΟ}	0,200	d-1						
bpHA σταθερά ρυθμού λύσης X _{PHA} 0,200 d ⁻¹ K _{02_Paa} συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g O ₂ m ⁻³ K _{A_paa} συντελεστής κορεσμού για το S ₀ 4,000 g COD m ⁻³ K _{A_paa} συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m ⁻³ K _{A_paa} συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ K _P paa συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ K _P paa συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,001 g P m ⁻³ K _{ALK_Paa} συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,010 mole HCO ⁻¹ ₃ m ⁻³ K _{PP} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ⁻¹ ₃ m ⁻³ K _{PP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{PAA} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,680 d ⁻¹ <	b _{PP}	σταθερά ρυθμού λύσης Χ _{ΡΡ}	0,200	d ⁻¹						
$K_{O_2.pao}$ συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂ 0,200 g COD m ⁻³ $K_{A.pao}$ συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m ⁻³ $K_{NH_4.pao}$ συντελεστής κορεσμού για το Aμμωνιακό άζωτο 0,050 g N m ⁻³ K_{PS} συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ $K_{P,S}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ $K_{P,Dao}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,001 g P m ⁻³ $K_{ALK.pao}$ συντελεστής κορεσμού για τα P στην αποθήκευση X _{PP} 0,010 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K_{PP} συντελεστής κορεσμού για τα PP 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{MAX} μέγιστος συντελεστής χ _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{MAX} μέγιστος συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{PHA} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{PHA} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PH (g PAO) ⁻¹ K_{PLA} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο <t< td=""><td>b_{PHA}</td><td>σταθερά ρυθμού λύσης Χ_{ΡΗΑ}</td><td>0,200</td><td>d⁻¹</td></t<>	b _{PHA}	σταθερά ρυθμού λύσης Χ _{ΡΗΑ}	0,200	d ⁻¹						
$K_{A,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το S _A 4,000 g COD m ⁻³ $K_{NH_4,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 0,050 g N m ⁻³ K_{PS} συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ $K_{P,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m ⁻³ $K_{P,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m ⁻³ $K_{ALK,pao}$ συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K_{PP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{MAX} μέγιστος συντελεστής χαρεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{IPA} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PH (g PAO) ⁻¹ K_{IPA} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,680 d ⁻¹ μ_{AUT} μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d ⁻¹ μ_{AUT} μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,500 g O_2 m ⁻³ $K_{O_2,aut}$ συντελεστής κορεσμού για το οξυγόν	K _{02_pao}	συντελεστής κορεσμού για το S ₀₂	0,200	g O ₂ m ⁻³						
$K_{NH_4,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 0,050 g N m ⁻³ K_{PS} συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ $K_{P,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m ⁻³ $K_{P,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m ⁻³ $K_{P,pao}$ συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,100 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K_{PP} συντελεστής κορεσμού για τα PP 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{MAX} μέγιστος συντελεστής X _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{IPA} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K_{IPA} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,680 d ⁻¹ $Autoropoφικοί μικροοργανισμοί: μ μ μ \muAUT μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d-1 h_{AUT} συθμός φορός 0,500 g O_2 m-3 $	K _{A_pao}	συντελεστής κορεσμού για το S _A	4,000	g COD m ⁻³						
K _{PS} συντελεστής κορεσμού για το P στην αποθήκευση PP 0,200 g P m ⁻³ K _{P.pao} συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m ⁻³ K _{ALK.pao} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO' ₃ m ⁻³ K _{PP} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{MAX} μέγιστος συντελεστής Χ _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής αναστολής για την αποθήκευση X _{PP} 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,010 g PHA (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{PHA} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,680 d ⁻¹ Autoτοροφικοί μικροοργανισμοί: μ μ μ μAUT μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d ⁻¹ δ _{AUT} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,500 g O ₂ m ⁻³ K _{NH4.aut} συντελε	K _{NH4} pao	συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο	0.050	g N m ⁻³						
K _{P.pao} συντελεστής κορεσμού για το P στην ανάπτυξη 0,001 g P m³ K _{ALK.pao} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO³ m³ K _{PP} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,010 g PP (g PAO)¹1 K _{MAX} μέγιστος συντελεστής X _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO)¹1 K _{MAX} μέγιστος συντελεστής xopεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO)¹1 K _{IPP} συντελεστής κopεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,010 g PH (g PAO)¹1 K _{IPP} συντελεστής κopεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO)¹1 K _{DHA} συντελεστής κopεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PH (g PAO)¹1 K _{DHA} συντελεστής κopεσμού για το το σύγ 0,680 d¹1 Δυτοτροφικό μικροοργανισμοί:	K _{PS}	συντελεστής κορεσμού για το Ρ στην αποθήκευση ΡΡ	0.200	g P m ⁻³						
K _{ALK_pao} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,100 mole HCO [*] ₃ m ⁻³ K _{PP} συντελεστής κορεσμού για τα PP 0,010 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{MAX} μέγιστος συντελεστής Χ _{PP} /X _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής αναστολής για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής κορεσμού για την αποθήκευση X _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής κορεσμού για PHA 0,010 g PHA (g PAO) ⁻¹ Autorpoφικοί μικροοργανισμοί:	K _{P_pao}	συντελεστής κορεσμού για το Ρ στην ανάπτυξη	0.001	g P m ⁻³						
K_{PP} συντελεστής κορεσμού για τα PP0,010g PP (g PAO)^{-1} K_{MAX} μέγιστος συντελεστής X_{PP}/X_{PAO} 0,340g PP (g PAO)^{-1} K_{IPP} συντελεστής αναστολής για την αποθήκευση X_{PP} 0,020g PP (g PAO)^{-1} K_{PHA} συντελεστής κορεσμού για PHA0,010g PHA (g PAO)^{-1} $Aυτοτροφικοί μικροοργανισμοί:$ μ_{AUT} μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης0,680d^{-1} b_{AUT} ρυθμός φθοράς0,120d^{-1} $K_{O_2.aut}$ συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο0,500g O_2 m^{-3} $K_{NH_4.aut}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο1,000g N m^{-3} K_{ALK_aut} συντελεστής κορεσμού για το αψωσφορο0,001g P m^{-3} K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο0,001g P m^{-3} $Kaτακρήμνιση:$ K_{PRE} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P1,000m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d^{-1} K_{RED} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης0,600d^{-1}	K _{ALK_pao}	συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα	0.100	mole HCO ⁻ ₄ m ⁻³						
Κ _{MAX} μέγιστος συντελεστής Χ _{PP} /Χ _{PAO} 0,340 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{IPP} συντελεστής αναστολής για την αποθήκευση Χ _{PP} 0,020 g PP (g PAO) ⁻¹ K _{PHA} συντελεστής κορεσμού για PHA 0,010 g PHA (g PAO) ⁻¹ Autorpoφικοί μικροοργανισμοί:	K _{PP}	συντελεστής κορεσμού για τα ΡΡ	0.010	g PP (g PAO) ⁻¹						
KIALμεγιστος συτελεστής αναστολής για την αποθήκευση X _{PP} 0,020g PP (g PAO)^{-1} K_{IPP} συντελεστής κορεσμού για PHA0,010g PPA (g PAO)^{-1}Aυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: μ_{AUT} μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης0,680 d^{-1} b_{AUT} ρυθμός φθοράς0,120 d^{-1} d^{-1} $K_{O_2.aut}$ συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο0,500g O ₂ m ⁻³ $K_{NH_4.aut}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο1,000g N m ⁻³ $K_{P.aut}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο0,001g P m ⁻³ $K_{P.aut}$ συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο0,001g P m ⁻³ K_{RED} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P1,000m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹	K _{MAX}		0 340	g PP (g PAO) ⁻¹						
K_{PHA} συντελεστής κορεσμού για PHA 0,010 g PHA (g PAO) ⁻¹ $Auτοτροφικοί μικροοργανισμοί: 0,680 d-1 \mu_{AUT} μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d-1 b_{AUT} ρυθμός φθοράς 0,120 d-1 K_{O_2.aut} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,500 g O2 m-3 K_{NH_4.aut} συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m-3 K_{ALK.aut} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO-3 m-3 K_{P.aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m-3 K_{RED} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m3 (gFe(OH)3)-1 d-1 $	KIPP		0.020	g PP (g PAO) ⁻¹						
Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: 0,010 g PRA (g PAO) μAUT μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d ⁻¹ bAUT ρυθμός φθοράς 0,120 d ⁻¹ K ₀₂ _aut συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,500 g O ₂ m ⁻³ K _{NH4} _aut συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m ⁻³ K _{ALK} _aut συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K _P _aut συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ Kaτακρήμνιση: 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ K _{RED} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹	Крил		0,020	$g D \downarrow A (g D A O)^{-1}$						
μAUT μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης 0,680 d ⁻¹ bAUT ρυθμός φθοράς 0,120 d ⁻¹ K _{O2_aut} συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,500 g O ₂ m ⁻³ K _{NH4_aut} συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m ⁻³ K _{ALK_aut} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K _{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ Kaτακρήμνιση: ταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ K _{RED} σταθερά επαγαδιάλυσης 0,600 d ⁻¹	Δυτοτορωικο	ουντελεότης κορεόμου για ΡΗΑ	0,010	g PHA (g PAO)						
b_{AUT} ρυθμός φθοράς 0,120 d ⁻¹ $K_{O_2_aut}$ συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,500 g O ₂ m ⁻³ $K_{NH_4_aut}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m ⁻³ K_{ALK_aut} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ K_{RED} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ K_{RED} σταθερά επαγαδιάλυσης 0,600 d ⁻¹	μ _{ΑUT}	μένματος ομθμός ανάπτυξης	0.680	d ⁻¹						
Κο2_aut συντελεστής κορεσμού για το οξυγόνο 0,500 g O2 m ⁻³ Κ _{02_aut} συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m ⁻³ Κ _{NH4_aut} συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m ⁻³ Κ _{ALK_aut} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ Κ _{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ Κατακρήμνιση: 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ Κ _{RED} σταθερά επαγαδιάλυσης 0,600 d ⁻¹	b _{AIIT}	ουθυός φθοράς	0 120	d ⁻¹						
$G_{2,uu}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m ⁻³ $K_{NH_4.aut}$ συντελεστής κορεσμού για το αμμωνιακό άζωτο 1,000 g N m ⁻³ K_{ALK_aut} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ K_{P_Re} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ K_{RED} σταθερά επαγαδιάλυσης 0,600 d ⁻¹	K _{Op} aut	αιντελεατός κορεσιού για το οξινόνο	0,120	α Ο ₋ m ⁻³						
K_{ALK_aut} συντελεστής κορεσμού για την αλκαλικότητα 0,500 mole HCO ⁻ ₃ m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ K_{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ K_{PRE} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ K_{RED} σταθερά επαγαδιάλυσης 0,600 d ⁻¹	KNU aut		1 000	g N m ⁻³						
K _{P_aut} συντελεστής κορεσμού για το φώσφορο 0,001 g P m ⁻³ Kατακρήμνιση: 1,000 m ³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ K _{RED} σταθερά επαγαδιάλυσης 0,600 d ⁻¹	KALK ant	συντελεστής κορεσμού για του αλκαλικάτοτα	1,000	$\frac{g}{m}$ mole HCO ⁻ m ⁻³						
Κατακρήμνιση: 1,000 m³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ Κ _{PRE} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹	K _p		0,300	$\sim D m^{-3}$						
K_{PRE} σταθερά ρυθμού κατακρήμνισης P 1,000 m³ (gFe(OH) ₃) ⁻¹ d ⁻¹ K_{RED} σταθερά επαγαδιάλυσης 0.600 d ⁻¹	Korovoćuvia	ουντελεστης κορεσμου για το φωσφορο n·	0,001	g r m						
K_{RED} σταθερά επαγαδιάλμαρς 0.600 d ⁻¹	K _{PRE}	αταθερά ομθυρύ κατακρόυνματο Ρ	1 000	m ³ (gFe(OH)) ⁻¹ d ⁻¹						
	K _{RED}	σταθορά επομοδιάλματο	1,000							
$\frac{1}{K_{41K}} = \frac{1}{1000} = $	KALV man	στασερα επαναστάστος	0,000	mole HCO ⁻ m ⁻³						

Πίνακας 3.5 Ερμηνεία και τιμές στοιχειομετρικών σταθερών και κινητικών του ASM2 (Πηγή: Mogens et al., Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IAWA, 2000)

3.4.4 Εξισώσεις ρυθμού των διεργασιών

3.4.4.1 Ρυθμός αερόβιας υδρόλυσης

Η αερόβια υδρόλυση πραγματοποιείται παρουσία O₂, που αποτελεί τον αποδέκτη ηλεκτρονίων της αντίδρασης. Στην εξίσωση ρυθμού της διεργασίας, ενσωματώνεται κατάλληλος 'διακόπτης' για το διαλυμένο οξυγόνο, που αυξάνει το ρυθμό της υδρόλυσης με την αύξηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου.

Καθώς θεωρείται ότι μόνο οι ετεροτροφικοί οργανισμοί καταλύουν την αντίδραση της υδρόλυσης, εισάγεται ο όρος X₅/X_H για να αποτυπώσει την πεπερασμένη επιφάνεια του κυττάρου των μικροοργανισμών που διατίθεται για την προσρόφηση της διαλυτής οργανική ύλης έως τον κορεσμό της.

Η εξίσωση του ρυθμού αερόβιας υδρόλυσης είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{1} = K_{h} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2}-hyd} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{X_{S}/X_{H}}{K_{X} + X_{S}/X_{H}} \cdot X_{H}$$

3.4.4.2 Ρυθμός ανοξικής υδρόλυσης

Η ανοξική υδρόλυση πραγματοποιείται παρουσία NO₃, που αποτελούν σε αυτή τη διαδικασία τον αποδέκτη ηλεκτρονιών, και απουσία O₂. Κατά συνέπεια, ενσωματώνονται στην εξίσωση ρυθμού της διεργασίας δύο (2) 'διακόπτες', για τα νιτρικά και το διαλυμένο οξυγόνο αντίστοιχα. Ο 'διακόπτης' των νιτρικών αυξάνει το ρυθμό της υδρόλυσης με την αύξηση της συγκέντρωσής τους, ενώ ο διακόπτης του οξυγόνου αναστέλλει την υδρόλυση με την αύξηση της συγκέντρωσης του.

Επίσης εισάγεται ο όρος X_S/X_H, όπως στην αερόβια υδρόλυση, προκειμένου να περιγράψει τη μείωση του ρυθμού της διεργασίας καθώς μειώνεται η επιφάνεια των κυττάρων των ετεροτροφικών οργανισμών που είναι διαθέσιμη για προσρόφηση της διαλυτής οργανικής ύλης.

Τέλος, χρησιμοποιείται ο συντελεστής n_{NO3} για να αποδώσει το μειωμένο ρυθμό της υδρόλυσης σε ανοξικές συνθήκες, συγκριτικά με τις αερόβιες.

Η εξίσωση του ρυθμού ανοξικής υδρόλυσης είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{2} = K_{h} \cdot n_{NO_{3}hyd} \cdot \frac{K_{O_{2}hyd}}{K_{O_{2}hyd} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}hyd} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{X_{S}/X_{H}}{K_{X} + X_{S}/X_{H}} \cdot X_{H}$$

3.4.4.3 Ρυθμός αναερόβιας υδρόλυσης

Η αναερόβια υδρόλυση πραγματοποιείται απουσία O₂ και NO₃, συνεπώς ενσωματώνονται στην εξίσωση ρυθμού της διεργασίας δύο (2) 'διακόπτες', για το διαλυμένο οξυγόνο και τα νιτρικά, οι οποίοι αναστέλλουν τη διεργασία με την αύξηση της συγκέντρωσης των συστατικών αυτών.

Επίσης εισάγεται ο όρος X_S/X_H, όπως στην αερόβια και ανοξική υδρόλυση, προκειμένου να περιγράψει τη μείωση του ρυθμού της διεργασίας με την αύξηση της διαλυτής οργανικής ύλης που έχει προσροφηθεί στην επιφάνεια των κυττάρων των ετεροτροφικών μικροοργανισμών.

Τέλος, χρησιμοποιείται ο συντελεστής n_{fe} για να αποτυπώσει το μειωμένο ρυθμό της υδρόλυσης σε αναερόβιες συνθήκες, συγκριτικά με τις αερόβιες και τις ανοξικές.

Η εξίσωση του ρυθμού αναερόβιας υδρόλυσης είναι η ακόλουθη:

$$\rho_3 = \mathbf{K}_h \cdot n_{fe} \cdot \frac{K_{O_2_hyd}}{K_{O_2_hyd} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3_hyd}}{K_{NO_3_hyd} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$$

3.4.4.4 Ρυθμός αερόβιας ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S_F)

Η αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών απαιτεί την παρουσία οξυγόνου, διαλυτής ζυμώσιμης οργανικής ύλης και θρεπτικών συστατικών με τη μορφή του αμμωνιακού αζώτου και των φωσφορικών. Για κάθε απαραίτητο συστατικό εισάγεται στην εξίσωση ρυθμού ο αντίστοιχος 'διακόπτης' που αυξάνει το ρυθμό της διεργασίας με την αύξηση της συγκέντρωσης του συστατικού.

Επιπλέον, ενσωματώνεται διακόπτης που αναστέλλει τη διεργασία όταν στο σύστημα η συγκέντρωση της βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης, S_F, είναι πολύ μικρότερη της συγκέντρωσης των διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης ,S_A. Στην περίπτωση αυτή ενεργοποιείται η επόμενη διεργασία.

Η εξίσωση του ρυθμού αερόβιας ανάπτυξης από διαλυτή βιοδιασπάσιμη ζυμώσιμη οργανική ύλη είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{4} = \mu_{H} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2},h} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{F}}{K_{F} + S_{F}} \cdot \frac{S_{F}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4},h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{2},h} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{2},h} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$$

3.4.4.5 Ρυθμός αερόβιας ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A)

Η αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης αποτελεί διεργασία που πραγματοποιείται παράλληλα με την προηγούμενη και απαιτεί τις ίδιες συνθήκες και θρεπτικά συστατικά, δηλαδή οξυγόνο, αμμωνιακό άζωτο και φωσφορικά. Η διαφορά των δύο διεργασιών έγκειται στο ότι η συγκεκριμένη επικρατεί όταν η συγκέντρωση των διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης, S_A, είναι πολύ μεγαλύτερη της συγκέντρωσης της βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης, S_F, οπότε η προηγούμενη αναστέλλεται.

Η εξίσωση του ρυθμού αερόβιας ανάπτυξης από διαλυτά βιοδιασπάσιμα προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{5} = \mu_{H} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2},h} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4},h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{2},h} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{2},h} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$$

3.4.4.6 Ρυθμός ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης (S_F) · απονιτροποίησης

Όπως στην αερόβια, στην ανοξική ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών από κατανάλωση διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης, S_F, εκτός των νιτρικών, απαιτείται η παρουσία αμμωνιακού αζώτου και φωσφορικών.

Τα νιτρικά αποτελούν τον τελικό αποδέκτη ηλεκτρονίων, καταναλώνονται και μετατρέπονται σε αέριο άζωτο, διαδικασία γνωστή ως απονιτροποίηση.

Ο ρυθμός της ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών είναι μειωμένος σε ανοξικές συνθήκες, συγκριτικά με τις αερόβιες, και εισάγεται στην εξίσωση ο κατάλληλος συντελεστής μείωσης, n_{NO3_h}.

Η εξίσωση του ρυθμού ανοξικής ανάπτυξης από διαλυτή βιοδιασπάσιμη ζυμώσιμη οργανική ύλη είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{6} = \mu_{H} \cdot n_{NO_{3}h} \cdot \frac{K_{O_{2}h}}{K_{O_{2}h} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{F}}{K_{F} + S_{F}} \cdot \frac{S_{F}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}h} + S_{NO_{3}}}$$
$$\cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{h}} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{h}} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H}$$

3.4.4.7 Ρυθμός ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (X_H) από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης (S_A) · απονιτροποίησης

Στην περίπτωση της ανοξικής ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ_Η) από κατανάλωση διαλυτών βιοδιασπάσιμων προϊόντων αναερόβιας ζύμωσης, ισχύουν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για την ανοξική ανάπτυξη από ζυμώσιμη οργανική ύλη. Η διαφορά των δύο διεργασιών είναι το υπόστρωμα ανάπτυξης.

Ο ρυθμός της ανάπτυξης και σε αυτή τη διεργασία, λόγω των ανοξικών συνθηκών, είναι μειωμένος συγκριτικά με τις αερόβιες συνθήκες και εκφράζεται με τον ίδιο συντελεστή, n_{NO3_h}.

Η εξίσωση του ρυθμού ανοξικής ανάπτυξης από διαλυτά βιοδιασπάσιμα προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{7} = \mu_{H} \cdot n_{NO_{3h}} \cdot \frac{K_{O_{2}h}}{K_{O_{2}h} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{h}} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{h}h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H}$$

3.4.4.8 Ρυθμός ζύμωσης

Η ζύμωση πραγματοποιείται σε αναερόβιες συνθήκες, απουσία οξυγόνου και νιτρικών, με υπόστρωμα της διεργασίας τη διαλυτή βιοδιασπάσιμη ζυμώσιμη οργανική ύλη. Η ζύμωση απελευθερώνει αρνητικά φορτισμένα προϊόντα, τα S_A, και κατά συνέπεια έχει απαίτηση για αλκαλικότητα.

Η εξίσωση του ρυθμού ζύμωσης είναι η ακόλουθη:

$$\rho_8 = q_{fe} \cdot \frac{K_{O_2_h}}{K_{O_2_h} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3_h}}{K_{NO_3_h} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_{fe} + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot X_H$$

3.4.4.9 Ρυθμός λύσης ετεροτροφικών μικροοργανισμών (Χ_H)

Ο ρυθμός της λύσης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών είναι ανεξάρτητος από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η εξίσωση του ρυθμού λύσης των Χ_Η είναι η ακόλουθη:

$$\rho_9 = b_H \cdot X_H$$

3.4.4.10 Ρυθμός αποθήκευσης Χ_{ΡΗΑ}

Η διαδικασία της αποθήκευσης PHA στο εσωτερικό του κυττάρου των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων πραγματοποιείται κυρίως σε αναερόβιες συνθήκες. Καθώς έχει παρατηρηθεί αποθήκευση PHA και σε αερόβιες ή ανοξικές συνθήκες η εξίσωση ρυθμού της διεργασίας δεν περιλαμβάνει 'διακόπτες' αναστολής της που να σχετίζονται με περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τα πολυ-φωσφορικά βακτήρια απελευθερώνουν φωσφορικά από τα κύτταρά τους για να αποθηκεύσουν PHA. Η διεργασία είναι ταχύτερη όσο περισσότερα φωσφορικά έχουν διαθέσιμα τα βακτήρια, εντός των κυττάρων τους, υπό μορφή πολυ-φωσφορικών. Αυτό το χαρακτηριστικό προσομοιώνεται με την εισαγωγή στην εξίσωση ρυθμού του όρου Χ_{PP}/Χ_{PAO}. Όσο ο όρος αυτός πλησιάζει τη μέγιστη δυνατή τιμή του, δηλαδή οι PAO έχουν διαθέσιμα πολυ-φωσφορικά, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αποθήκευσης των PHA.

Η εξίσωση του ρυθμού αποθήκευσης Χ_{ΡΗΑ} είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{10} = q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_{A_pao} + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pao} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$$

3.4.4.11 Ρυθμός αποθήκευσης πολυ-φωσφορικών (X_{PP})

Η διεργασία της αποθήκευσης πολυ-φωσφορικών από τα πολυ-φωσφορικά βακτήρια απαιτεί ενέργεια που αποκτούν οι μικροοργανισμοί από την κατανάλωση PHA. Επομένως, όσο

αυξάνεται η ποσότητα PHA που έχουν αποθηκευμένη τα βακτήρια στα κύτταρά τους, τόσο αυξάνεται ο ρυθμός με τον οποίο το καταναλώνουν για να αποθηκεύσουν PP.

Έχει παρατηρηθεί ότι η διεργασία αναστέλλεται όταν τα πολυ-φωσφορικά βακτήρια έχουν αποθηκεύσει μεγάλη ποσότητα φωσφόρου στα κύτταρά τους. Για την αποτύπωση αυτής της ιδιότητας ενσωματώθηκε στην εξίσωση διακόπτης με τον όρο Χ_{PP}/Χ_{PAO}. Όταν το κλάσμα Χ_{PP}/Χ_{PAO} τείνει στην τιμή K_{MAX} που είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει, τότε αναστέλλεται η διεργασία.

Η εξίσωση του ρυθμού αποθήκευσης Χ_{PP} είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{11} = q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2_pao} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pao} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{IPP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$$

3.4.4.12 Ρυθμός ανάπτυξης των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων (PAO)

Η ανάπτυξη των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων προσομοιώνεται ως μια υποχρεωτικά αερόβια διεργασία, και συνεπώς ενσωματώνεται ο κατάλληλος 'διακόπτης' συγκέντρωσης οξυγόνου στην εξίσωση.

Η διαδικασία απαιτεί παρουσία θρεπτικών συστατικών, αμμωνιακού αζώτου και φωσφορικών, αλλά χρησιμοποιεί μόνο το αποθηκευμένο ΡΗΑ ως πηγή άνθρακα. Έτσι χρησιμοποιείται το κλάσμα Χ_{ΡΗΑ}/Χ_{ΡΑΟ} για να προσομοιώσει την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των ΡΑΟ παράλληλα με την αύξηση του αποθηκευμένου ΡΗΑ στα κύτταρά τους.

Η εξίσωση του ρυθμού ανάπτυξης των Χ_{ΡΑΟ} είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{12} = \mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2_pao} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4pao} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{pao}} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{P_pao} + S_{PO_4}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$$

3.4.4.13 Ρυθμός λύσης των πολύ-φωσφορικών βακτηρίων (Χ_{ΡΑΟ})

Ο ρυθμός λύσης των πολυ-φωσφορικών βακτηρίων είναι ευθέως ανάλογος της συγκέντρωσής τους.

Η εξίσωση του ρυθμού λύσης των ΧρΑΟ είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{13} = \mathbf{b}_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pao} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$$

3.4.4.14 Ρυθμός λύσης των Χ_{ΡΡ}

Καθώς τα πολυ-φωσφορικά που βρίσκονται αποθηκευμένα μέσα στα κύτταρα των βακτηρίων προσομοιώνονται με διαφορετική μεταβλητή από τα βακτήρια, πρέπει να αποτυπωθεί με ξεχωριστή διεργασία η λύση τους.

Πειραματικά έχει παρατηρηθεί ότι η φθορά των PP είναι ταχύτερη από τη φθορά των PHA και των PAO, γεγονός που υπάρχει δυνατότητα να αποτυπωθεί με μεγαλύτερη σταθερά φθοράς για τη συγκεκριμένη διεργασία. Για τις ανάγκες του παρόντος μοντέλου γίνεται η θεώρηση ότι τα τρία κλάσματα των βακτηρίων, δηλαδή η βιομάζα, τα PHA και οι PAO φθείρονται με τον ίδιο ρυθμό.

Η εξίσωση του ρυθμού λύσης των Χ_{PP} είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{14} = \mathbf{b}_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pao} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$$

3.4.4.15 Ρυθμός λύσης των ΧρΗΑ

Καθώς τα PHA που βρίσκονται αποθηκευμένα μέσα στα κύτταρα των βακτηρίων προσομοιώνονται με διαφορετική μεταβλητή από τα βακτήρια, πρέπει να αποτυπωθεί με ξεχωριστή διεργασία η λύση τους.

Η εξίσωση του ρυθμού λύσης των ΧρηΑ είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{15} = \mathbf{b}_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK}pao + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$$

3.4.4.16 Ρυθμός ανάπτυξης αυτοτροφικών μικροοργανισμών (X_{AUT})

Η ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών λαμβάνει χώρα σε αερόβιες συνθήκες, με παρουσία θρεπτικών συστατικών, αμμωνιακού αζώτου και φωσφορικών. Για κάθε απαραίτητο συστατικό εισάγεται στην εξίσωση ρυθμού ο αντίστοιχος 'διακόπτης' που αυξάνει το ρυθμό της διεργασίας με την αύξηση της συγκέντρωσης του συστατικού.

Το αμμωνιακό άζωτο οξειδώνεται σε νιτρικό άζωτο, διεργασία που είναι γνωστή ως νιτροποίηση.

Η εξίσωση του ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικών μικροοργανισμών είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{16} = \mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2_aut} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4_aut} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{P_aut} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_aut} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$$

3.4.4.17 Ρυθμός λύσης αυτοτροφικών μικροοργανισμών

Η λύση των αυτοτροφικών μικροοργανισμών αντιμετωπίζεται ως ευθέως ανάλογη της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών στο σύστημα.

Η εξίσωση του ρυθμού λύσης αυτοτροφικών μικροοργανισμών είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{17} = \mathbf{b}_{AUT} \cdot X_{AUT}$$

3.4.4.18 Ρυθμός κατακρήμνισης ορθο-φωσφορικών (S_{PO4})

Η κατακρήμνιση των ορθο-φωσφορικών είναι διεργασία που, σε σταθερές συνθήκες, βρίσκεται σε ισορροπία με την επαναδιάλυσή τους. Ο ρυθμός της διαδικασίας είναι ευθέως ανάλογος της συγκέντρωσης των φωσφορικών και του προστιθέμενου Fe(OH)₃ στο σύστημα.

Η εξίσωση του ρυθμού κατακρήμνισης SPO4 είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{18} = k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$$

3.4.4.19 Ρυθμός επαναδιάλυσης ορθο-φωσφορικών (S_{PO4})

Ο ρυθμός της επαναδιάλυσης ορθο-φωσφορικών στο σύστημα είναι ευθέως ανάλογος της συγκέντρωσης του φωσφορικού μετάλλου που έχει παραχθεί από την κατακρήμνιση του φωσφόρου.

Η εξίσωση του ρυθμού επαναδιάλυσης Spo4 είναι η ακόλουθη:

$$\rho_{19} = k_{RED} \cdot X_{MeP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pre} + S_{ALK}}$$

3.4.5 Διαφορικές εξισώσεις μεταβολής συγκεντρώσεων

Στη συνέχεια περιγράφονται οι διαφορικές εξισώσεις με τις οποίες υπολογίζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των συστατικών λόγω των βιολογικών ή χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα εντός του βιοαντιδραστήρα.

Με Ι συμβολίζεται το διαμέρισμα του αντιδραστήρα που μελετάται και η μεταβολή της συγκέντρωση υπολογίζεται για χρονικό διάστημα dt.

3.4.5.1 Διαλυμένο Οξυγόνο (S₀₂)

Το διαλυμένο οξυγόνο στο σύστημα καταναλώνεται για την αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών και αυτοτροφικών μικροοργανισμών και των πολυφωσφορικών βακτηρίων σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση. Ο όρος 4.57 αντιστοιχεί στην απαίτηση οξυγόνου (σε g) για την οξείδωση 1g αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό άζωτο. Επιπλέον, κλάσμα του οξυγόνου καταναλώνεται κατά την οξείδωση των αποθηκευμένων PHA στο κύτταρο των PAO προκειμένου να αποκτήσουν την ενέργεια που απαιτείται για την αποθήκευση PP.

$$DS_{O_{2}}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot S_{O_{2}}(I-1) - Q(I) \cdot S_{O_{2}}(I) + \\ \left(1 - \frac{1}{Y_{H}} \right) \cdot \left(\rho_{4}(I) + \rho_{5}(I) \right) + \left(-Y_{PHA} \right) \cdot \rho_{11}(I) \\ + \left(1 - \frac{1}{Y_{PAO}} \right) \cdot \rho_{12}(I) + \left(-\frac{4.57 - Y_{AUT}}{Y_{AUT}} \right) \cdot \rho_{16}(I) \end{bmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot V(I)$$

3.4.5.2 Διαλυτή Ζυμώσιμη Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (S_F)

Η διαλυτή ζυμώσιμη εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη παράγεται από την υδρόλυση της σωματιδιακής βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης σε αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες, όπως αποτυπώνεται στην παρακάτω εξίσωση. Η μείωση της συγκέντρωσής της είναι αποτέλεσμα της αερόβιας και ανοξικής ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών και της ζύμωσης.

$$DS_{F}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot S_{F}(I-1) - Q(I) \cdot S_{F}(I) \\ (1-f_{S_{I}}) \cdot (\rho_{1}(I) + \rho_{2}(I) + \rho_{3}(I)) \\ + (-\frac{1}{Y_{H}}) \cdot (\rho_{4}(I) + \rho_{6}(I)) + (-\rho_{8}(I)) \end{bmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot V(I)$$

3.4.5.3 Διαλυτά Βιοδιασπάσιμα Προϊόντα Αναερόβιας Ζύμωσης (S_A)

Τα διαλυτά βιοδιασπάσιμα προϊόντα αναερόβιας ζύμωσης παράγονται κατά τη διεργασία της ζύμωσης της διαλυτής ζυμώσιμης εύκολα βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης και κατά τη λύση του PHA των πολυφωσφορικών βακτηρίων, ενώ καταναλώνονται κατά την αερόβια και ανοξική ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας. Κατά τη διεργασία της αποθήκευσης PHA εντός της πολυφωσφορικής βιομάζας αποτελούν το είδος οργανικής ύλης που καταναλώνεται όπως περιγράφεται στην ακόλουθη εξίσωση.

$$DS_{A}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot S_{A}(I-1) - Q(I) \cdot S_{A}(I) + \\ \left(-\frac{1}{Y_{H}} \right) \cdot \left(\rho_{5}(I) + \rho_{7}(I) \right) \\ + \rho_{8}(I) + \left(-\rho_{10}(I) \right) + \rho_{15}(I) \end{bmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.4 Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο (S_{NH4})

Η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου αυξάνεται λόγω της υδρόλυσης της σωματιδιακής βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης σε αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες και λόγω της αμμωνιοποίησης του οργανικού αζώτου που παράγεται από τη λύση της αυτοτροφικής βιομάζας.

Η μείωση της συγκέντρωσής του αμμωνιακού αζώτου οφείλεται στην αερόβια ανάπτυξη των αυτοτροφικών μικροοργανισμών οι οποίοι το μετατρέπουν σε νιτρικά για την παραγωγή ενέργειας και παράλληλα το χρησιμοποιούν ως θρεπτικό συστατικό για την παραγωγή βιομάζας.

Οι διεργασίες που μεταβάλλουν τη συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου περιγράφονται στην παρακάτω εξίσωση.

$$DS_{NH_4}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot S_{NH_4}(I-1) - Q(I) \cdot S_{NH_4}(I) + \\ \begin{cases} v_{1,NH_4} \cdot \rho_1(I) + v_{2,NH_4} \cdot \rho_2(I) + v_{3,NH_4} \cdot \rho_3(I) \\ + \left(-i_{NBM} - \frac{1}{Y_{AUT}}\right) \cdot \rho_{16}(I) + v_{17,NH_4} \cdot \rho_{17}(I) \end{bmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.5 Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο (S_{NO3})

Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου αυξάνεται κατά την νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου από τους αυτοτροφικούς μικροοργανισμούς και μειώνεται κατά την απονιτροποίηση.

Ο όρος 2.86 εκφράζει ο οξυγόνο που καταναλώνεται (σε g) για την παραγωγή 1 g νιτρικού αζώτου και ενσωματώνεται στην εξίσωση που ακολουθεί για τη συμβατότητα των μονάδων.

$$DS_{NO_{3}}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot S_{NO_{3}}(I-1) - Q(I) \cdot S_{NO_{3}}(I) + \\ \left\{ \begin{pmatrix} -\frac{1-Y_{H}}{2.86 \cdot Y_{H}} \end{pmatrix} \cdot \left(\rho_{6}(I) + \rho_{7}(I) \right) \\ + \frac{1}{Y_{AUT}} \cdot \rho_{16}(I) \end{pmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.6 Ανόργανος Διαλυτός Φώσφορος (S_{PO4})

Ο ανόργανος διαλυτός φώσφορος παράγεται κατά τη διεργασία της υδρόλυσης σε αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες και κατά τη λύση των αυτοτροφικών μικροοργανισμών.

Τα πολυ-φωσφορικά βακτήρια αποδεσμεύουν φωσφορικά για να αποθηκεύσουν PHA στα κύτταρά τους ενώ κατά τη λύση τους απελευθερώνεται η αποθηκευμένη συγκέντρωση φωσφορικών που βρίσκεται στη βιομάζα και στις αποθήκες των κυττάρων τους. Αντίθετα, η συγκέντρωση φωσφορικών μειώνεται κατά την αερόβια ανάπτυξη των PAO, καθώς χρησιμοποιούνται ως θρεπτικά συστατικά, και κατά την αποθήκευση PHA.

Ακολουθεί η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης ανόργανου διαλυτού φωσφόρου.

$$DS_{PO_{4}}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot S_{PO_{4}}(I-1) - Q(I) \cdot S_{PO_{4}}(I) + \\ v_{1,PO_{4}} \cdot \rho_{1}(I) + v_{2,PO_{4}} \cdot \rho_{2}(I) + v_{3,PO_{4}} \cdot \rho_{3}(I) + Y_{PO_{4}} \cdot \rho_{10}(I) \\ + (-\rho_{11}(I)) + (-i_{PBM}) \cdot (\rho_{12}(I) + \rho_{16}(I)) + v_{13,PO_{4}} \cdot \rho_{13}(I) \\ + \rho_{14}(I) + v_{17,PO_{4}} \cdot \rho_{17}(I) + (-\rho_{18}(I)) + \rho_{19}(I) \end{bmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$
3.4.5.7 Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη (S_I)

Η αδρανής διαλυμένη οργανική ύλη αποτελεί κλάσμα της σωματιδιακής βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης που υδρολύεται σε αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες, όπως περιγράφεται από την εξίσωση που ακολουθεί.

$$DS_{I}(I) = \left[Q(I-1) \cdot S_{I}(I-1) - Q(I) \cdot S_{I}(I) + \left\{ f_{S_{I}} \cdot (\rho_{1}(I) + \rho_{2}(I) + \rho_{3}(I)) \right\} \cdot V(I) \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.8 Αλκαλικότητα (S_{ALK})

Η αλκαλικότητα μεταβάλλεται κατά την αερόβια, ανοξική και αναερόβια υδρόλυση και κατά τις διεργασίες της χημικής κατακρήμνισης και επαναδιάλυσης φωσφόρου. Τα φαινόμενα αποτυπώνονται στη διαφορική εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσής της.

$$DS_{ALK}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot S_{ALK}(I-1) - Q(I) \cdot S_{ALK}(I) + \\ \{v_{1,ALK} \cdot \rho_1(I) + v_{2,ALK} \cdot \rho_2(I) + v_{3,ALK} \cdot \rho_3(I) \\ + v_{18,ALK} \cdot \rho_{18}(I) + v_{19,ALK} \cdot \rho_{19}(I) \end{bmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.9 Διαλυμένο Αέριο Άζωτο (S_{N2})

Αέριο άζωτο παράγεται κατά την απονιτροποίηση του νιτρικού αζώτου από την ετεροτροφική βιομάζα. Ο όρος 2.86 που εμφανίζεται στην εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εισάγεται για τη συνέπεια των μονάδων μέτρησης.

$$DS_{N_2}(I) = \left[Q(I-1) \cdot S_{N_2}(I-1) - Q(I) \cdot S_{N_2}(I) + \left\{ \frac{1-Y_H}{2.86 \cdot Y_H} \cdot \left(\rho_6(I) + \rho_7(I) \right) \right\} \cdot V(I) \right] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.10 Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη (Χι)

Η συγκέντρωση της αδρανούς σωματιδιακής ύλης αυξάνεται λόγω της λύσης της ετεροτροφικής, αυτοτροφικής και πολυφωσφορικής βιομάζας, όπως φαίνεται στην επόμενη εξίσωση.

$$DX_{I}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot X_{I}(I-1) - Q(I) \cdot X_{I}(I) + \\ \{f_{X_{I}-h} \cdot \rho_{9}(I) + f_{X_{I}-pao} \cdot \rho_{13}(I) + f_{X_{I}-aut} \cdot \rho_{17}(I) \} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.11 Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη (X_s)

Η συγκέντρωση της αργά βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης μειώνεται κατά την αερόβια, ανοξική και αναερόβια υδρόλυση και παράγεται κατά τη λύση ετεροτροφικής, αυτοτροφικής και πολυφωσφορικής βιομάζας. Η ακόλουθη εξίσωση περιγράφει τα σχετικά φαινόμενα.

$$DX_{S}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot X_{S}(I-1) - Q(I) \cdot X_{S}(I) + \\ \left\{ -(\rho_{1}(I) + \rho_{2}(I) + \rho_{3}(I)) + (1 - f_{X_{I}_h}) \cdot \rho_{9}(I) + \\ (1 - f_{X_{I}_pao}) \cdot \rho_{13}(I) + (1 - f_{X_{I}_aut}) \cdot \rho_{17}(I) \end{bmatrix} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.12 Ετεροτροφική Βιομάζα (X_H)

Η αύξηση της συγκέντρωσης της ετεροτροφική βιομάζας οφείλεται στην αερόβια και ανοξική ανάπτυξή της. Η μείωση της συγκέντρωσης είναι αποτέλεσμα της λύσης της βιομάζας, όπως φαίνεται στην επόμενη εξίσωση.

$$DX_{H}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot X_{H}(I-1) - Q(I) \cdot X_{H}(I) + \\ \{\rho_{4}(I) + \rho_{5}(I) + \rho_{6}(I) + \rho_{7}(I) + (-\rho_{9}(I))\} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.13 Πολυφωσφορικοί Μικροοργανισμοί (ΧΡΑΟ)

Οι πολυφωσφορικοί μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε αερόβιες συνθήκες και καταστρέφονται λόγω αποσύνθεσης. Η εξίσωση μεταβολής τους παρουσιάζεται παρακάτω.

$$DX_{PAO}(I) = [Q(I-1) \cdot X_{PAO}(I-1) - Q(I) \cdot X_{PAO}(I) + \{\rho_{12}(I) + (-\rho_{13}(I))\} \cdot V(I)] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.14 Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φωσφορικών Μικροοργανισμών – Πολυ-φωσφορικά (X_{PP})

Η συγκέντρωση των πολυ-φωσφορικών, που αποθηκεύονται στα κύτταρα των PAO, μειώνεται λόγω απελευθέρωσης των PP από τη βιομάζα για την πρόσληψη PHA και αυξάνεται κατά την αντίστροφη διεργασία. Η λύση των PAO, που οδηγεί και στη λύση των αποθηκευμένων συστατικών τους, προκαλεί περαιτέρω μείωση της εν λόγω συγκέντρωσης, όπως αποτυπώνεται στην ακόλουθη εξίσωση.

$$DX_{PP}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot X_{PP}(I-1) - Q(I) \cdot X_{PP}(I) + \\ \{(-Y_{PO_4}) \cdot \rho_{10}(I) + \rho_{11}(I) + (-\rho_{14}(I))\} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.15 Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φωσφορικών Μικροοργανισμών -Πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκά (Χ_{ΡΗΑ})

Η συγκέντρωση των ΡΗΑ, που βρίσκονται αποθηκευμένα στα κύτταρα των ΡΑΟ, αυξάνεται κατά την απελευθέρωση ΡΡ και μειώνεται με την αντίστροφη διεργασία. Περαιτέρω μείωση της συγκέντρωσης προκαλεί η ανάπτυξη των ΡΑΟ, καθώς χρησιμοποιούν αποκλειστικά τα αποθηκευμένα ΡΗΑ για την ανάπτυξή τους και η λύση της βιομάζας που έχει ως επακόλουθο τη λύση των αποθηκευμένων συστατικών της. Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης που ακολουθεί περιγράφει τα σχετικά φαινόμενα.

$$DX_{PHA}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot X_{PHA}(I-1) - Q(I) \cdot X_{PHA}(I) + \\ \left\{ \rho_{10}(I) + (-Y_{PHA}) \cdot \rho_{11}(I) + \left(-\frac{1}{Y_{PAO}}\right) \cdot \rho_{12}(I) + (-\rho_{15}(I)) \right\} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.16 Αυτοτροφική Βιομάζα (Χ_{Αυτ})

Η αυτοτροφική βιομάζα αναπτύσσεται σε αερόβιες συνθήκες και καταστρέφεται με τη διεργασία της αποσύνθεσης, όπως φαίνεται στην επόμενη εξίσωση.

$$DX_{AUT}(I) = [Q(I-1) \cdot X_{AUT}(I-1) - Q(I) \cdot X_{AUT}(I) + \{\rho_{16}(I) + (-\rho_{17}(I))\} \cdot V(I)] \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.17 Αιωρούμενα Στερεά (X_{TSS})

Τα αιωρούμενα στερεά υπολογίζονται από τη στοιχειομετρία του μοντέλου, αθροίζοντας τα κλάσματα των σωματιδιακών συστατικών σύμφωνα με την εξίσωση που ακολουθεί.

$$DX_{TSS}(I) = DX_I(I) \cdot i_{TSSX_I+} DX_S(I) \cdot i_{TSSX_S+} (DX_H(I) + DX_{AUT}(I) + DX_{PAO}(I)) \cdot i_{TSSBM} + DX_{PHA}(I) \cdot 0.60 + DX_{PP}(I) \cdot 3.23 + DX_{MeOH}(I) + DX_{MeP}(I)$$

3.4.5.18 Υδροξείδια Μετάλλου (Χ_{ΜeOH})

Η συγκέντρωση των υδροξειδίων μετάλλου αυξάνεται με την επαναδιάλυση των φωσφορικών μετάλλων που έχουν παραχθεί από τη χημική απομάκρυνση φωσφόρου. Η ζητούμενη μεταβολή συγκέντρωσης δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση.

$$DX_{MeOH}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot X_{MeOH}(I-1) - Q(I) \cdot X_{MeOH}(I) + \\ \{(-3.45) \cdot \rho_{18}(I) + 3.45 \cdot \rho_{19}(I)\} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.19 Φωσφορικά Μέταλλα (X_{MeP})

Η συγκέντρωση των φωσφορικών μετάλλων αυξάνεται με τη χημική απομάκρυνση φωσφόρου, καθώς είναι τα προϊόντα της αντίδρασης, ενώ με την επαναδιάλυσή τους μειώνεται η συγκέντρωση. Στη συνέχεια παρατίθεται η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης.

$$DX_{MeP}(I) = \begin{bmatrix} Q(I-1) \cdot X_{MeP}(I-1) - Q(I) \cdot X_{MeP}(I) + \\ \{4.87 \cdot \rho_{18}(I) + (-4.87) \cdot \rho_{19}(I)\} \cdot V(I) \end{bmatrix} \cdot \frac{dt}{V(I)}$$

3.4.5.20 Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη (Χ_{NV})

Η ανόργανη σωματιδιακή ύλη δεν συμμετέχει σε καμία βιολογική διεργασία και η μεταβολή της συγκέντρωσής της υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση.

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

3.4.6 Συγκέντρωσεις μεταβλητών σε χρονικό βήμα dt

Γνωρίζοντας τη μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε συστατικού μετά από χρόνο dt, υπολογίζεται η συγκέντρωσή τους σε κάθε χρονικό βήμα. Ακολουθούν οι εξισώσεις που αντιστοιχούν στον υπολογισμό της συγκέντρωσης των διαλυτών και σωματιδιακών μεταβλητών του μοντέλου.

$$S(t + dt, I) = S(t, I) + DS(I)$$
$$X(t + dt, I) = X(t, I) + DX(I)$$

3.4.7 Στοιχειομετρικοί πίνακες μοντέλου

Στους Πίνακες 3.6, 3.7 και 3.8 παρουσιάζεται η στοιχειομετρία για τα διαλυτά και τα σωματιδιακά συστατικά και οι εξισώσεις ρυθμού του μοντέλου.

3.4.8 Ζήτηση οξυγόνου – Σύστημα αερισμού

Πρέπει να σημειωθεί ότι, ο ακριβής υπολογισμός της απαίτησης οξυγόνου της εγκατάστασης και ο σχεδιασμός του κατάλληλου συστήματος αερισμού είναι σημαντικός για τη λειτουργία και απόδοσή της, καθώς αποτρέπει προβλήματα που μειώνουν την ποιότητα εκροής και αυξάνουν το κόστος λειτουργίας της. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η υπερβολική οξυγόνωση συνδέεται με προβλήματα αποκροκίδωσης λόγω έντονης μίξης και δεν φαίνεται να επιταχύνει τις βιολογικές διεργασίες.

Όπως προαναφέρθηκε, η κατανάλωση οξυγόνου στο σύστημα οφείλεται στην αερόβια ανάπτυξη των ετεροτροφικών και αυτοτροφικών μικροοργανισμών και των πολυφωσφορικών βακτηρίων, καθώς και κατά την οξείδωση των αποθηκευμένων PHA στο κύτταρο των PAO προκειμένου να αποκτήσουν την ενέργεια που απαιτείται για τη δέσμευση φωσφορικών σε μορφή PP. Μέσω της διαφορικής εξίσωσης που αναλύθηκε παραπάνω, προσδιορίζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου λόγω των διεργασιών, ανά χρονικό βήμα dt και υπολογίζεται σε ωριαία και ημερήσια κλίμακα η απαίτηση οξυγόνου.

Το απαιτούμενο οξυγόνο υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$OTR = \frac{dS_{O_2}}{dt} \cdot V(I)$$

Όπου, OTR : ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου (grO₂/step)

 $\frac{S_{O_2}}{dt}$: ρυθμός μεταβολής συγκέντρωσης οξυγόνου (grO₂/m³·step)

V(I) : όγκος δεξαμενής (m³)

Στοιχειομετρικός πίνακας για διαλυτά συστατικά									
Μεταβλητές i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Διεργασίες j	S _{O2}	S _F	S _A	S _{NH4}	S _{N03}	S _{PO4}	Sı	S _{ALK}	S _{N2}
Υδρόλυση				·					
1. Αερόβια υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{1,NH_4}		v_{1,PO_4}	f_{S_I}	$v_{1,ALK}$	
2. Ανοξική υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{2,NH_4}		v_{2,PO_4}	f_{S_I}	$v_{2,ALK}$	
3. Αναερόβια υδρόλυση		$1-f_{S_I}$		v_{3,NH_4}		ν _{3,P04}	f _{si}	ν _{3,ALK}	
Ετεροτροφικοί μικροοργανισ	μοί: Χ _Η	1	1	1	I	I		1	
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		$-\frac{1}{Y_H}$	1		$-\frac{1-Y_H}{2,86\cdot Y_H}$				$\frac{1 - Y_H}{2,86 \cdot Y_H}$
7. Ανοξική αναπτυξή με S _A - απονιτροποίηση			$-\frac{1}{Y_H}$		$-\frac{1}{2,86 \cdot Y_H}$				$\frac{1-T_H}{2,86 \cdot Y_H}$
8. Αναερόβια ζύμωση		-1	1						
9. Λύση									
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (PAO): X _{PAO}					-			
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}			-1			Y_{PO_4}			
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}	$-Y_{PHA}$					-1			
12. Αερόβια ανάπτυξη	$1 - \frac{1}{Y_{PAO}}$					— <i>і_{РВМ}</i>			
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}						v _{13,P04}			
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}						1			
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}			1						
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί α	οργανισμοί):	X _{AUT}							
16. Αερόβια ανάπτυξη	$-\frac{4,57-Y_A}{Y_A}$			$-i_{NBM}-\frac{1}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{PBM}$			
17. Λύση				v_{17,NH_4}		v_{17,PO_4}			
Χημική κατακρήμνιση φωσφό	ρου με υδρο	ξείδιο του σ	ιδήρου (Fe(O	0H) ₃):					
18. Κατακρήμνιση						-1		V _{18,ALK}	
19. Επαναδιάλυση						1		V _{19,ALK}	

	/	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •		
111VOKOC + 62TOIVEIOI	ιετοικός πινακάα	ΟΙΩΛΗΤών σι	ιστατικών ποντελού	ποοσομοιωσης
The analysis Elocation	cerptiles revalues	,	o catala por conoo	7.p000p01w01j5.

Στοιχειομετρικός πίνακας για σωματιδιακά συστατικά											
Μεταβλητές i	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Διεργασίες j	x,	Xs	Х _н	X _{PAO}	X _{pp}	X _{PHA}	X _{AUT}	X _{TSS}	Х _{меОН}	X _{MeP}	X _{NV}
Υδρόλυση	•	•	•	•	•		•	•		•	
1. Αερόβια υδρόλυση		-1									
2. Ανοξική υδρόλυση		-1									
3. Αναερόβια υδρόλυση		-1									
Ετεροτροφικοί μικροοργανια	σμοί: Χ _Η										
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. Αναερόβια ζύμωση			1								
9. Λύση	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$	-1								
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	(PAO): X _{PAO}										
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}					$-Y_{PO_{4}}$	1					
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}					1	$-Y_{PHA}$					
12. Αερόβια ανάπτυξη				1		$-\frac{1}{Y_{PAO}}$					
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$		-1							
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}					-1						
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}						-1					
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί οργανισμοί): Χ _{Αυτ}											
16. Αερόβια ανάπτυξη							1				
17. Λύση	f_{X_I}	$1-f_{X_I}$					-1				
18. Κατακρήμνιση									-3,45	4,87	
19. Επαναδιάλυση									3,45	-4,87	

Πίνακας 3.7 Στοιχειομετρικός πίνακας σωματιδιακών συστατικών μοντέλου προσομοίωσης.

Διεργασίες j	Εξίσωση ρυθμού ρ
Υδρόλυση	
1. Αερόβια υδρόλυση	$K_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2,hyd} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$
2. Ανοξική υδρόλυση	$K_{h} \cdot n_{NO_{3},hyd} \cdot \frac{K_{O_{2},hyd}}{K_{O_{2},hyd} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3},hyd} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{X_{S}/X_{H}}{K_{X} + X_{S}/X_{H}} \cdot X_{H}$
3. Αναερόβια υδρόλυση	$K_{h} \cdot n_{fe} \cdot \frac{K_{O_{2},hyd}}{K_{O_{2},hyd} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{K_{NO_{3},hyd}}{K_{NO_{3},hyd} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{X_{S}/X_{H}}{K_{X} + X_{S}/X_{H}} \cdot X_{H}$
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμ	oí: X _H
4. Αερόβια ανάπτυξη με S _F	$\mu_{H} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2,h} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_F}{K_F + S_F} \cdot \frac{S_F}{S_F + S_A} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4,h} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{Ph} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALKh} + S_{ALK}} \cdot X_H$
5. Αερόβια ανάπτυξη με S _A	$\mu_{H} \cdot \frac{S_{O_{2}}}{K_{O_{2},h} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4},h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{-}h} + S_{PO_{4}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{-}h} + S_{ALK}} \cdot X_{H}$
6. Ανοξική ανάπτυξη με S _F - απονιτροποίηση	$\mu_{H} \cdot n_{NO_{3_}h} \cdot \frac{K_{O_{2_}h}}{K_{O_{2_}h} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{F}}{K_{F} + S_{F}} \cdot \frac{S_{F}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4_}h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3_}h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4_}h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3_}h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4_}h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3_}h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4_}h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3_}h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{NO_{4}}}{K_{P_h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{NO_{4}}}{K_{P_h} + S_{NO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{ALK_h} + S_{NO_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{4}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{NO_{4}}}{K_{NO_{3}} + S_{NO_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{4}}}{K_{NO_{4}} + S_{NO_{4}}} \cdot S_{NO_$
7. Ανοξική ανάπτυξη με S _A - απονιτροποίηση	$\mu_{H} \cdot n_{NO_{3h}} \cdot \frac{K_{O_{2}-h}}{K_{O_{2}-h} + S_{O_{2}}} \cdot \frac{S_{A}}{K_{A} + S_{A}} \cdot \frac{S_{A}}{S_{F} + S_{A}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}-h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}-h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{-}h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{-}h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}-h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}-h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{-}h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{-}h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}-h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}-h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{-}h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{-}h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}-h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NO_{3}}}{K_{NO_{3}-h} + S_{NO_{3}}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{-}h} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_{4}}}{K_{P_{-}h} + S_{PO_{4}}} \cdot X_{H_{4}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{NH_{4}-h} + S_{NH_{4}}} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K_{2}-h} \cdot \frac{S_{NH_{4}}}{K$
8. Αναερόβια ζύμωση	$q_{fe} \cdot \frac{K_{O_2_h}}{K_{O_2_h} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3_h}}{K_{NO_3_h} + S_{NO_3}} \cdot \frac{S_F}{K_{fe} + S_F} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_h} + S_{ALK}} \cdot X_H$
9. Λύση	$b_H \cdot X_H$
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια (Ρ	AO): X _{PAO}
10. Αποθήκευση των Χ _{ΡΗΑ}	$q_{PHA} \cdot \frac{S_A}{K_{A_pao} + S_A} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pao} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PP}/X_{PAO}}{K_{PP} + X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
11. Αποθήκευση των Χ _{ΡΡ}	$q_{PP} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2,pao} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{PS} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK,pao} + S_{ALK}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot \frac{K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}}{K_{IPP} + K_{MAX} - X_{PP}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
12. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{PAO} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2_PaO} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4_{paO}} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_{paO}} + S_{ALK}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{P_PaO} + S_{PO_4}} \cdot \frac{X_{PHA}/X_{PAO}}{K_{PHA} + X_{PHA}/X_{PAO}} \cdot X_{PAO}$
13. Λύση των Χ _{ΡΑΟ}	$\mathbf{b}_{PAO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK,pao} + S_{ALK}} \cdot X_{PAO}$
14. Λύση των Χ _{ΡΡ}	$\mathbf{b}_{PP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pao} + S_{ALK}} \cdot X_{PP}$
15. Λύση των Χ _{ΡΗΑ}	$\mathbf{b}_{PHA} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK}pao + S_{ALK}} \cdot X_{PHA}$
Νιτροποιητές (αυτοτροφικοί ο	ργανισμοί): Χ _{Αυτ}
16. Αερόβια ανάπτυξη	$\mu_{AUT} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2_aut} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4_aut} + S_{NH_4}} \cdot \frac{S_{PO_4}}{K_{P_aut} + S_{PO_4}} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_aut} + S_{ALK}} \cdot X_{AUT}$
17. Λύση	$\mathbf{b}_{AUT} \cdot X_{AUT}$
Χημική κατακρήμνιση φωσφόρ	ρου με υδροξείδιο του σιδήρου (Fe(OH) ₃):
18. Κατακρήμνιση	$k_{PRE} \cdot S_{PO_4} \cdot X_{MeOH}$
19. Επαναδιάλυση	$k_{RED} \cdot X_{MeP} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK_pre} + S_{ALK}}$

Πίνακας 3.8 Εξισώσεις ρυθμού διεργασιών μοντέλου προσομοίωσης.

Ο υπολογισμός του ΟΤR δεν αποτελεί επαρκή πληροφορία για το σχεδιασμό του συστήματος αερισμού, καθώς εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε εγκατάστασης, επομένως απαιτείται μια μέθοδος τυποποίησης της πληροφορίας για την απαίτηση οξυγόνου. Εισάγεται, λοιπόν, ο υπολογισμός του SOTR.

To SOTR εκφράζει το ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες, πληροφορία βάσει της οποίας σχεδιάζεται το σύστημα αερισμού. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού, τα λύματα σε συνθήκες θερμοκρασίας πεδίου μετατρέπονται σε καθαρό νερό θερμοκρασίας 20⁰C. Η εξίσωση που συνδέει τις συνθήκες πεδίου με τις τυπικές συνθήκες είναι η εξής:

$$OTR = (a \cdot F) \cdot SOTR \cdot \Theta^{(T-20)} \cdot \left(\frac{C_{ST} \cdot b - C}{C_{S20}}\right)$$

Όπου, OTR : ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου για ανάμικτο υγρό σε συνθήκες πεδίου

SOTR : ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου για καθαρό νερό σε θερμοκρασία 20 $^{\rm O}{\rm C}$

- α : συντελεστής αναγωγής της απόδοσης απ' το καθαρό νερό στο ανάμικτο υγρό
- F : συντελεστής γήρανσης διαχυτήρων
- Θ : θερμοκρασιακός συντελεστής με τυπική τιμή 1,024
- Τ : θερμοκρασία ανάμικτου υγρού
- C_{ST} : συγκέντρωση κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου σε καθαρό νερό θερμοκρασίας Τ
- C_{S20} : συγκέντρωση κορεσμού διαλυμένου οξυγόνου σε καθαρό νερό θερμοκρασίας
 20 °C
- C : συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στο ανάμικτο υγρό
- b : συντελεστής αναγωγής της συγκέντρωσης κορεσμού από το καθαρό νερό στο ανάμικτο υγρό με τυπική τιμή 0,95

3.5 Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)

3.5.1 Εισαγωγή

Με τη δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ) ολοκληρώνεται η δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων και παρά το γεγονός ότι οι βιολογικές διεργασίες που είναι υπεύθυνες για την απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων λαμβάνουν χώρα στο βιολογικό αντιδραστήρα, η απόδοση της ΔΤΚ είναι εκείνη καθορίζει την ποιότητα της τελικής εκροής. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η πλειοψηφία των περιστατικών κακής ποιότητας εκροών σε ΕΕΛ οφείλονται σε υποσχεδιασμό ή κακή λειτουργία των ΔΤΚ.

Ο ρόλος της δεξαμενής τελικής καθίζησης είναι διπλός. Καταρχάς, επιτρέπει τη διαύγαση των λυμάτων μέσω της καθίζησης της βιομάζας και του διαχωρισμού της από τα επεξεργασμένα λύματα, τα οποία στη συνέχεια, απαλλαγμένα από το μεγαλύτερο ποσοστό των αιωρούμενων στερεών, υπερχειλίζουν από τη δεξαμενή. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα επαρκούς συμπύκνωσης της βιομάζας, η οποία στη συνέχεια επανέρχεται στο βιολογικό αντιδραστήρα μέσω της ανακυκλοφορίας της ιλύος.

Ο σχεδιασμός της ΔΤΚ πρέπει να είναι κατάλληλος ώστε να εξυπηρετούνται και οι δύο βασικές λειτουργίες της δεξαμενής. Στην πράξη έχει αποδειχθεί ότι ο σωστός σχεδιασμός παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες, καθώς οι θεωρητικές προβλέψεις δεν μπορούν να περιγράψουν ικανοποιητικά την καθίζηση των βιολογικών κροκίδων, που υφίστανται συνεχείς μετατροπές σε σχέση με τη σύσταση, το μέγεθος, την ταχύτητα καθίζησης και το βαθμό συμπύκνωσης. Έτσι, τα περισσότερα κριτήρια σχεδιασμού των ΔΤΚ είναι εμπειρικά, αποτέλεσμα της παρακολούθησης της λειτουργίας και των αποτελεσμάτων των υπαρχουσών εγκαταστάσεων και η αναθεώρησή τους κινείται προς συντηρητικότερες κατευθύνσεις.

3.5.2 Δείκτες καθιζησιμότητας ιλύος

Όταν το ανάμικτο υγρό εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις στερεών, μεγαλύτερες των 1000 mg/l, τότε μεταξύ των κροκίδων δρουν δυνάμεις αλληλεπίδρασης και τα συσσωματώματα καθιζάνουν με ομοιόμορφη ταχύτητα, σαν ένα στρώμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «ζωνική καθίζηση» και είναι χαρακτηριστικό του τρόπου καθίζησης στις δεξαμενές τελικής καθίζησης.

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

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

3.5.2.1 Δείκτης Sludge Volume Index (SVI)

Για τον υπολογισμό του SVI εκτελείται το ακόλουθο πείραμα. Τοποθετείται ανάμικτο υγρό συγκέντρωσης S (=MLSS) σε ογκομετρικό κύλινδρο 1 Ι και αφήνεται να καθιζήσει. Μετά από 30 λεπτά μετράται ο όγκος που καταλαμβάνει η ιλύς, κάτω απ' τη διαχωριστική επιφάνεια που έχει δημιουργηθεί. Ο δείκτης SVI υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$SVI = \frac{V_{SL}}{MLSS}$$

Όπου, SVI : δείκτης Sludge Volume Index

VsL : όγκος που καταλαμβάνει η ιλύς σε ογκομετρικό κύλινδρο 1 l (σε ml)

MLSS : συγκέντρωση στερεών στο ανάμικτο υγρό (σε mg/l)

Το πείραμα, λόγω της διαδικασίας που ακολουθείται, δίνει πλασματικές τιμές για τον δείκτη SVI σε περιπτώσεις υψηλής συγκέντρωσης MLSS ή κακής καθιζησιμότητας της ιλύος. Σε αυτές τις περιπτώσεις γίνεται επαρκής αραίωση του ανάμικτου υγρού ώστε ο όγκος της ιλύος να είναι αρκετά μικρότερος του όγκου του κυλίνδρου. Ο δείκτης που προσδιορίζεται με προηγούμενη αραίωση του ανάμικτου υγρού ονομάζεται DSVI.

Εκτός του DSVI, για την αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων της συμβατικής μεθόδου, έχει προταθεί η εκτέλεση του πειράματος σε ογκομετρικό κύλινδρο μεγαλύτερο του 1 l, εξοπλισμένο με μηχανισμό αργής ανάδευσης και αρχική συγκέντρωση MLSS πάντα στα 3500 mg/l. Ο δείκτης που υπολογίζεται με αυτή τη διαδικασία ονομάζεται SSVI (Stirred Sludge Volume Index).

Οι δείκτες DSVI και SSVI είναι γενικώς μικρότεροι και αντιπροσωπευτικότεροι του SVI για την καθιζησιμότητα στις ΔΤΚ. Μεταξύ τους, ο DSVI είναι συνήθως μεγαλύτερος και λόγω της ευκολίας προσδιορισμού του εφαρμόζεται συχνότερα.

3.5.2.2 Ταχύτητα ζωνικής καθίζησης (Zone Settling Velocity)

Η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης υπολογίζεται με τη μέτρηση της ταχύτητας υποβιβασμού της διαχωριστικής επιφάνειας, μεταξύ του στρώματος των βιοκροκίδων και του διαυγασμένου υγρού, κατά την εκτέλεση του πειράματος προσδιορισμού του SVI, που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Περισσότερο αξιόπιστες μετρήσεις της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης επιτυγχάνονται με πειράματα σε κυλίνδρους καθίζησης μεγαλύτερης διαμέτρου και βάθους περίπου 2 m, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με μηχανισμό αργής ανάδευσης. Παρατηρείται ότι, η ταχύτητα ζωνικής καθίζησης, που προκύπτει απ' την ταχύτητα υποβιβασμού της στάθμης της ιλύος, παραμένει σταθερή έως την έναρξη της διαδικασίας συμπύκνωσης της ιλύος στον πυθμένα του κυλίνδρου και εξαρτάται από τη συγκέντρωση των MLSS. Με επανάληψη του πειράματος για διαφορετικές συγκεντρώσεις του ίδιου ανάμικτου υγρού προκύπτουν ζεύγη τιμών ταχυτήτων ζωνικής καθίζησης και MLSS με τα οποία κατασκευάζεται σχετικό διάγραμμα για την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων του πειράματος.

3.5.3 Εμπειρικές εξισώσεις ταχύτητας καθίζησης

Οι εμπειρικές εξισώσεις της ταχύτητας καθίζησης συσχετίζουν την ταχύτητα ζωνικής καθίζησης με τη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού και αναπτύχθηκαν με στόχο να αποτελέσουν εργαλείο εκτίμησης πιο εύχρηστο από τα διαγράμματα.

Έχουν προταθεί πολλές μαθηματικές εκφράσεις με πιο διαδεδομένες τις παρακάτω, οι οποίες όμως δεν λαμβάνουν υπόψη τις διαδικασίες συμπύκνωσης που λαμβάνουν χώρα στον πυθμένα της δεξαμενής:

$$V_S = V_0 \cdot X^{-n}$$
$$V_S = V_0 \cdot e^{-n \cdot X}$$

Όπου, Vs : ταχύτητα καθίζησης (m/d)

- V_0 : σταθερά που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καθίζησης της ιλύος
- X : συγκέντρωση MLSS (kg/m³)
- n : σταθερά που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καθίζησης της ιλύος

Για τον προσδιορισμό των σταθερών της ταχύτητας καθίζησης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μετρήσεων ταχύτητας καθίζησης, συναρτήσει των συγκεντρώσεων, και με στατιστική επεξεργασία υπολογίστηκαν οι τιμές των σταθερών, για ένα εύρος τιμών των δεικτών SVI, DSVI και SSVI. Ο Πίνακας 3.9 παρουσιάζει τις τιμές των σταθερών που προτείνονται από μελέτες.

2013)							
	Forester (1982)		Rachwal et al. (1982)				
SSVI	V ₀	k	SSVI	V ₀	k		
150	5.0	0.435	70	6.61	0.350		
170	5.1	0.560	90	6.01	0.360		
225	4.9	0.725	110	5.25	0.405		
			134	4.11	0.410		
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		

Πίνακας 3.9 Τιμές των σταθερών V_O και n, συναρτήσει των δεικτών SVI, DSVI και SSVI (Πηγή: Μπούκας, 2008, Σαραντόπουλος, 2015)

3.5.4 Μοντέλο καθίζησης

Για την προσομοίωση της δεξαμενής τελικής καθίζησης χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό ομοίωμα που είχε αναπτυχθεί στις διπλωματικές εργασίες «Μαθηματική Προσομοίωση Βιολογικού Αντιδραστήρα και Δεξαμενής Τελικής Καθίζησης Συστήματος Ενεργού Ιλύος» (Βασιλοπούλου, 1999), «Μαθηματική Προσομοίωση Ανάπτυξης Νηματοειδών Μικροοργανισμών σε Σύστημα Ενεργού Ιλύος» (Μπούκας, 2008) και «Ανάπτυξη και Εφαρμογή Ολοκληρωμένου Μοντέλου Προσομοίωσης Λειτουργίας Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων» (Σαραντόπουλος, 2015).

Το υπομοντέλο βασίζεται στη θεωρία ζωνικής καθίζησης. Αναλυτικότερα, η δεξαμενή τελικής καθίζησης χωρίζεται σε οκτώ (8) ισοϋψή τμήματα σταθερής επιφάνειας Α m² και, με την εφαρμογή διαφορικών εξισώσεων, υπολογίζονται για κάθε χρονικό βήμα οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των σωματιδιακών συστατικών σε κάθε στρώμα. Το Σχήμα 3.3 παρουσιάζει τη στρωμάτωση και τις θέσεις της ΔΤΚ.

Επισημαίνεται, ότι με την καθίζηση μεταβάλλονται μόνο οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών συστατικών των λυμάτων και όχι εκείνες των διαλυτών συστατικών, οι οποίες παραμένουν σταθερές στις τιμές που έχουν εντός του ανάμικτου υγρού, μέχρι την έξοδο της εγκατάστασης.

Η εξίσωση υπολογισμού της ταχύτητας ζωνικής καθίζησης που χρησιμοποιείται στο μοντέλο προσομοίωσης είναι η ακόλουθη:

$$V_S(I) = V_0 \cdot e^{-kX(I)}$$

Όπου, Vs : ταχύτητα καθίζησης (m/d)

X : συγκέντρωση βιομάζας (kgCOD/m³)

 $X(I) = X_{I}(I) + X_{S}(I) + X_{H}(I) + X_{AUT}(I) + X_{PAO}(I) + X_{PHA}(I)$

V₀ : σταθερά που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καθίζησης της ιλύος

V₀ = 11-0.025·DSVI

K = 0.22+0.0033·DSVI



Σχήμα 3.3 Διακριτοποίηση δεξαμενής τελικής καθίζησης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)

3.5.4.1 Θέση 1 – Είσοδος ανάμικτου υγρού

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

3.5.4.2 Θέση 2 – Έξοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασμένης εκροής

Από τη θέση αυτή της ΔΤΚ εκρέουν τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα, ύστερα από την καθίζηση του μεγαλύτερου ποσοστού των αιωρούμενων στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής και τη συμπύκνωσή τους σε ιλύ.

3.5.4.3 Θέση 3 – Επιφανειακό στρώμα ΔΤΚ

Οι συγκεντρώσεις που παρατηρούνται σε αυτό το στρώμα είναι εκείνες με τις οποίες εκρέουν τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα από τη θέση 2 της ΔΤΚ, ύστερα από υπερχείλιση. Η διαφορική εξίσωση που υπολογίζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης των σωματιδιακών συστατικών, που συντελείται στο επιφανειακό στρώμα, είναι η ακόλουθη:

$$DX(3) = \left[-V_{S} \cdot X(3) + \frac{Q_{E}}{A} \cdot \{X(4) - X(3)\}\right] \cdot \frac{dt}{H(3)}$$

3.5.4.4 Θέση 4 – Στρώμα τροφοδοσίας ΔΤΚ

Η εξίσωση που προκύπτει από την ισορροπία μάζας στο στρώμα τροφοδοσίας και προσδιορίζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης των σωματιδιακών συστατικών παρατίθεται αμέσως μετά:

$$DX(4) = [V_{S}(3) \cdot X(3) - V_{S}(4) \cdot X(4) + \frac{\{Q_{F} \cdot X(1) - Q_{E} \cdot X(4) - r \cdot Q \cdot X(4)\}}{A}] \cdot \frac{dt}{H(4)}$$

3.5.4.5 Θέσεις 5-9 – Ενδιάμεσα στρώματα, κατάντη στρώματος τροφοδοσίας ΔΤΚ

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

$$DX(I) = \left[V_{S}(I-1) \cdot X(I-1) - V_{S}(I) \cdot X(I) + \frac{r \cdot Q}{A} \cdot \{X(I-1) - X(I)\}\right] \cdot \frac{dt}{H(I)}$$

3.5.4.6 Θέση 10 – Στρώμα πυθμένα ΔΤΚ

Η εξίσωση μεταβολής της συγκέντρωσης των σωματιδιακών συστατικών για το στρώμα του πυθμένα παρουσιάζεται παρακάτω:

$$DX(10) = \left[V_{S}(9) \cdot X(9) + \frac{r \cdot Q}{A} \cdot \{X(9) - X(10)\} \right] \cdot \frac{dt}{H(10)}$$

3.5.4.7 Θέση 11 – Εξωτερική ανακυκλοφορία ιλύος

Από τη συγκεκριμένη θέση αντλείται μέρος της ιλύος που έχει συμπυκνωθεί στον πυθμένα της ΔΤΚ, ύστερα από καθίζηση των αιωρούμενων στερεών, εισέρχεται στην είσοδο του βιοαντιδραστήρα και επανακυκλοφορεί στο σύστημα ενεργού ιλύος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, οι συγκεντρώσεις διαλυτών και σωματιδιακών συστατικών στη θέση αυτή είναι εκείνες που έχουν επιτευχθεί, για τα διαλυτά συστατικά στην έξοδο της δεξαμενής αερισμού και για τα σωματιδιακά συστατικά στον πυθμένα της ΔΤΚ.

3.5.4.8 Θέση 12 – Απομάκρυνση περίσσειας ιλύος

Η θέση αυτή αποτελεί την έξοδο της ιλύος από το σύστημα ενεργού ιλύος, με το οποίο γίνεται η επεξεργασία των λυμάτων, και την είσοδό της στη γραμμή επεξεργασίας ιλύος.

Οι συγκεντρώσεις των διαλυτών και σωματιδιακών συστατικών στη θέση αυτή είναι ίσες με τις συγκεντρώσεις τους στον πυθμένα της ΔΤΚ και στην εξωτερική ανακυκλοφορία της ιλύος.

3.5.5 Συγκέντρωσεις μεταβλητών σε χρονικό βήμα dt

Γνωρίζοντας τη μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε συστατικού μετά από χρόνο dt, υπολογίζεται η συγκέντρωσή τους σε κάθε χρονικό βήμα. Ακολουθούν οι εξισώσεις που αντιστοιχούν στον υπολογισμό της συγκέντρωσης των διαλυτών και σωματιδιακών μεταβλητών του μοντέλου.

$$S(t + dt, I) = S(t, I) + DS(I)$$
$$X(t + dt, I) = X(t, I) + DX(I)$$

3.6 Μονάδα Πάχυνσης Ιλύος

3.6.1 Εισαγωγή

Κύριος στόχος της πάχυνσης της ιλύος είναι η απομάκρυνση μέρους του περιεχόμενου νερού και η μείωση του όγκου της ώστε να καταστεί οικονομικότερη η διαδικασία της σταθεροποίησης και αφυδάτωσης. Συγκεκριμένα, η ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση στερεών για την οικονομικά αποδεκτή λειτουργία της αναερόβιας χώνευσης είναι 3%, με επιθυμητές τιμές 5-7%.

Η ιλύς που παράγεται σε μια ΕΕΛ προέρχεται από δύο πηγές, τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και τη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Παρόλο που υπάρχει η δυνατότητα η πρωτοβάθμια ιλύς να εξέρχεται με την επιθυμητή συγκέντρωση, της τάξεως του 3-6%, από την πρωτοβάθμια επεξεργασία και να μην είναι απαραίτητη η περαιτέρω πάχυνσή της, εντούτοις, στην πράξη η συχνή απομάκρυνσή της, σε συγκεντρώσεις 1,5-2%, επιβάλλει την εφαρμογή της. Σχετικά με τη δευτεροβάθμια ιλύ, οι συγκεντρώσεις που επιτυγχάνονται στη ΔΤΚ, της τάξεως του 0,5-1,5%, την καθιστούν επιβεβλημένη.

Η παραγόμενη ιλύς μπορεί να οδηγηθεί στην πάχυνση είτε ως μίγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, είτε ξεχωριστά η προερχόμενη από την ΔΠΚ από την δευτεροβάθμια που έχει ήδη υποστεί βιολογική επεξεργασία. Για την επίτευξη της πάχυνσης χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μέθοδοι: πάχυνση με βαρύτητα, τράπεζες πάχυνσης, φυγοκέντρηση και επίπλευση. Η πάχυνση με βαρύτητα είναι οικονομικότερη και συνήθως εφαρμόζεται στην περίπτωση της πρωτοβάθμιας ιλύος, ή σε μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος. Τα μηχανικά μέσα είναι αποτελεσματικότερα στην πάχυνση βιολογικής ιλύος.

Μετά τη διαδικασία πάχυνσης, η ιλύς συνεχίζει στα επόμενα στάδια επεξεργασίας της, ενώ από τη μονάδα εξέρχεται το νερό που απομακρύνεται απ' την ιλύ, το οποίο, ως στραγγίδια, επιστρέφει στην είσοδο της εγκατάστασης.

3.6.2 Προσομοίωση πάχυνσης ιλύος

Υπάρχουν διάφορες επιλογές σχετικά με τη διαχείριση της πάχυνσης της ιλύος. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας εφαρμόστηκε πάχυνση βαρύτητας για την πρωτοβάθμια ιλύ και μηχανική πάχυνση για τη βιολογική ιλύ. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο πάχυνσης που εφαρμόζεται, η προσομοίωση της διαδικασίας πραγματοποιείται μέσω ισοζυγίων μάζας που βασίζονται στην απόδοση της μονάδας. Σημειώνεται ότι οι συγκεντρώσεις των διαλυτών συστατικών παραμένουν αμετάβλητες κατά τη διαδικασία της πάχυνσης.

Το Σχήμα 3.4 παρουσιάζει τις θέσεις του παχυντή ιλύος.



Σχήμα 3.4 Θέσεις εισόδου και εξόδου, ιλύος και στραγγιδίων μονάδας πάχυνσης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)

3.6.2.1 Θέση 1 – Είσοδος Πρωτοβάθμιων ή Δευτεροβάθμιων Επεξεργασμένων Λυμάτων

Η πρωτοβάθμια ή δευτεροβάθμια ιλύς από τον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης εισέρχεται στη θέση 1 της δεξαμενής βαρυτικής πάχυνσης ή του μηχανικού παχυντή.

Από τη συγκέντρωση των στερεών και την παροχή της ιλύος υπολογίζεται η μάζα στερεών, καθώς και των σωματιδιακών μεταβλητών που εισέρχονται στη μονάδα πάχυνσης.

$$M_TSS(1) = TSS(1) \cdot Q(1)$$
$$M_X(1) = X(1) \cdot Q(1)$$

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για όλες τις σωματιδιακές μεταβλητές του μοντέλου: Χι, Χς, ΧΗ, Χραο, Χρρ, Χρμα, Χαυτ, Χτss, Χμεομ, Χμερ και Χην.

3.6.2.2 Θέση 2 – Έξοδος Παχυμένης Ιλύος

Η συγκέντρωση των σωματιδιακών συστατικών στην παχυμένη ιλύ εκτιμάται θεωρώντας ένα ποσοστό συγκράτησης στερεών % (CR), ενώ οι συγκεντρώσεις των διαλυτών συστατικών παραμένουν, όπως προαναφέρθηκε, αμετάβλητες.

Η μάζα των ολικών αιωρούμενων στερεών στην παχυμένη ιλύ υπολογίζεται ως εξής:

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

Θεωρώντας ότι η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στην παχυμένη ιλύ εκφράζεται ως C_thic, η παροχή της ιλύος υπολογίζεται ως εξής:

$$Q(2) = \frac{M_TSS(2)}{C_thic}$$

Κατ' αντιστοιχία υπολογίζονται η μάζα και η συγκέντρωση όλων των σωματιδιακών συστατικών:

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

Για την περίπτωση των διαλυτών συστατικών, οι συγκεντρώσεις και η μάζα τους στην ιλύ υπολογίζονται με τις παρακάτω εξισώσεις, οι οποίες ισχύουν για όλα τα διαλυτά συστατικά, εκτός του οξυγόνου, δηλαδή: S_F, S_A, S_{NH4}, S_{NO3}, S_{PO4}, S_I, S_{N2}, S_{ALK}, σημειώνοντας ότι για τη μεταβλητή της αλκαλικότητας δεν υπολογίζουμε μάζα αλλά μόνο τη συγκέντρωσή της.

$$S(2) = S(1)$$
$$M_S(2) = S(2) \cdot Q(2)$$

Το διαλυτό οξυγόνο καταναλώνεται πλήρως κατά την πάχυνση της ιλύος και η συγκέντρωσή του στην παχυμένη ιλύ και τα στραγγίδια μηδενίζεται. Μηδενική είναι η συγκέντρωση και του αέριου αζώτου εκτός του βιολογικού αντιδραστήρα. Κατά συνέπεια ισχύει ότι:

$$S_{O_2}(2) = 0$$

 $S_{N_2}(2) = 0$

3.6.2.3 Θέση 3 – Έξοδος Στραγγιδίων

Η παροχή των στραγγιδίων που απομακρύνονται από μονάδα πάχυνσης υπολογίζεται ως εξής:

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

Για τη μάζα και τη συγκέντρωση των σωματιδιακών συστατικών ισχύουν οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$M_X(3) = M_X(1) - M_X(2)$$
$$X(3) = \frac{M_X(3)}{Q(3)}$$

Σχετικά με τα διαλυτά συστατικά, όπως και στην παχυμένη ιλύ, οι συγκεντρώσεις στα στραγγίδια δεν μεταβάλλονται και κατά συνέπεια ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις.

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

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

Διαφοροποίηση υπάρχει για το άζωτο και το διαλυμένο οξυγόνο για τα οποία ισχύει:

$$S_{O_2}(3) = 0$$

 $S_{N_2}(3) = 0$

3.6.3 Απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη για τη μηχανική πάχυνση

Στην περίπτωση που η εγκατάσταση διαθέτει μονάδα μηχανικής πάχυνσης, όπως στην περίπτωση της παρούσας προσομοίωσης για την πάχυνση της βιολογικής ιλύος, απαιτείται η χρήση πολυηλεκτρολύτη. Θεωρώντας b την ποσότητα πολυηλεκτρολύτη ανά μάζα TSS που χρησιμοποιείται σε κάθε χρονικό βήμα, ο υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας δίνεται από τη σχέση:

$$M_{pol_thic} = b \cdot M_TSS(1)$$

Στην παρούσα προσομοίωση το b εκτιμήθηκε ως 5gr/kgTSS

3.7 Μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης - Σταθεροποίησης Ιλύος

3.7.1 Εισαγωγή

Η ιλύς που παράγεται σε μια ΕΕΛ, πρωτοβάθμια και βιολογική πλεονάζουσα, περιέχει σημαντικό ποσοστό οργανικών στερεών, γεγονός που καθιστά απαγορευτική την άμεση διάθεσή της στο περιβάλλον. Η διάθεση ιλύος που δεν έχει σταθεροποιηθεί προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως αποξυγόνωση, οσμές, ενώ ελλοχεύει ο κίνδυνος μικροβιακής μόλυνσης, εξαιτίας της παρουσίας παθογόνων, τόσο του περιβάλλοντος που διατίθεται όσο και

Η σταθεροποίηση της ιλύος μπορεί να γίνει είτε αερόβια, είτε αναερόβια. Ο αερόβιος μεταβολισμός είναι πολύ ταχύτερος από τον αναερόβιο, αλλά απαιτεί κατανάλωση οξυγόνου και διαθέτει μεγαλύτερο συντελεστή μετατροπής βιομάζας Υ. Αυτό σημαίνει ότι μεγαλύτερο ποσοστό του οργανικού υλικού που διασπάται μετατρέπεται σε βιομάζα, συγκριτικά με τον αναερόβιο μεταβολισμό, και η παραγωγή ιλύος είναι μεγαλύτερη. Αντίθετα, ο αναερόβιος μεταβολισμός δεν απαιτεί οξυγόνο και παράγει μικρότερη ποσότητα ιλύος, αλλά η μικρή ταχύτητα της διεργασίας δημιουργεί την ανάγκη μεγάλων αντιδραστήρων.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της αναερόβιας χώνευσης είναι η παραγωγή μίγματος μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή βιοαερίου, με το οποίο καλύπτονται οι ανάγκες θέρμανσης του χωνευτή και οι ενεργειακές απαιτήσεις άλλων μονάδων της εγκατάστασης.

Η απόδοση της χώνευσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία της ιλύος. Η χώνευση στους 35°C ονομάζεται μεσοφιλική χώνευση και εφαρμόζεται συχνότερα, ενώ η χώνευση στους 55 °C ονομάζεται θερμοφιλική χώνευση και επιλέγεται σπανιότερα λόγω του κόστους θέρμανσης.

Μετά τη διαδικασία χώνευσης, η σταθεροποιημένη ιλύς συνεχίζει στα επόμενα στάδια επεξεργασίας της, ενώ από τη μονάδα χώνευσης εξέρχεται το νερό που απομακρύνεται απ' την ιλύ, δηλαδή τα στραγγίδια, τα οποία επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης.

3.7.2 Προσομοίωση αναερόβιας χώνευσης ιλύος

Η προσομοίωση της λειτουργίας της μονάδας αναερόβιας χώνευσης πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου που αναπτύχθηκε από τον Κόκκινο (2017) και το οποίο

βασίστηκε στο ADM1. Το μοντέλο συνίσταται σε ένα κώδικα επίλυσης που δέχεται δεδομένα και υπολογίζει τη χώνευση κάθε είδους οργανικού υλικού εφαρμόζοντας ένα συνδυασμό εξισώσεων Runge-Kutta και Van der Pol. από τις οποίες υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των συστατικών του μοντέλου στην έξοδο του αναερόβιου χωνευτή και οι συγκεντρώσεις των αερίων στο μίγμα του βιοαερίου που παράγεται.

Το Σχήμα 3.5 παρουσιάζει τις θέσεις του αναερόβιου χωνευτή.



Σχήμα 3.5 Θέσεις εισόδου και εξόδου της ιλύος στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης (Πηγή: Σαραντόπουλος,2015 και Koumaki et al., 2017)

3.7.2.1 Θέση 1 – Είσοδος Πρωτοβάθμιας Παχυμένης Ιλύος

Η πρωτοβάθμια παχυμένη ιλύς, σε συνέχεια του παχυντή βαρύτητας, εισέρχεται στη θέση 1, πριν την είσοδο του αναερόβιου χωνευτή. Στη θέση 1 δεν πραγματοποιείται καμία διεργασία και δεν μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις και οι μάζες των συστατικών του μοντέλου.

3.7.2.2 Θέση 2 – Είσοδος Δευτεροβάθμιας Παχυμένης Ιλύος

Η δευτεροβάθμια παχυμένη ιλύς, σε συνέχεια του μηχανικού παχυντή, εισέρχεται στη θέση 2, πριν την είσοδο του αναερόβιου χωνευτή. Στη θέση 2, ομοίως με τη θέση 1, δεν πραγματοποιείται καμία διεργασία και δεν μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις και οι μάζες των συστατικών του μοντέλου.

3.7.2.3 Θέση 3 – Είσοδος Μίγματος Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Παχυμένης Ιλύος

Στη θέση 3 γίνεται ανάμιξη της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας παχυμένης ιλύος και το μίγμα εισέρχεται στον αναερόβιο χωνευτή για να σταθεροποιηθεί το οργανικό κλάσμα του. Τα χαρακτηριστικά της ιλύος για τη θέση 3 υπολογίζονται με μια σειρά εξισώσεων:

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

Για τα σωματιδιακά συστατικά ισχύουν οι επόμενες σχέσεις:

$$M_X(3) = M_X(1) + M_X(2)$$
$$X(3) = \frac{M_X(3)}{Q(3)}$$

Για τα διαλυτά συστατικά εφαρμόζονται οι εξής εξισώσεις:

$$M_{S}(3) = M_{S}(1) + M_{S}(2)$$
$$S(3) = \frac{M_{S}(3)}{Q(3)}$$

Για το αέριο άζωτο, το οποίο διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα διαλυτά συστατικά ισχύουν οι παρακάτω μαθηματικές σχέσεις:

$$M_{S_{N_2}}(3) = 0$$

 $S_{N_2}(3) = 0$

Επίσης υπολογίζονται τα παρακάτω στοιχεία:

$$\begin{aligned} VSS(I) &= \left\{ X_{I}(I) \cdot i_{tssxi} + X_{S}(I) \cdot i_{tssxs} + \binom{X_{H}(I) + X_{AUT}(I) +}{X_{PAO}(I)} \cdot i_{tssbm} + X_{PHA}(I) \cdot 0.60 \right\} \\ M_{V}SS(I) &= VSS(I) \cdot Q(I) \\ M_{V}SS(3) &= M_{V}SS(1) + M_{V}SS(2) \\ COD(3) &= S_{A}(3) + S_{F}(3) + S_{I}(3) + X_{S}(3) + X_{I}(3) + X_{H}(3) + X_{AUT}(3) + X_{PAO}(3) + X_{PHA}(3) \\ TN(I) &= \left\{ \begin{matrix} X_{I}(I) \cdot i_{nxi} + X_{S}(I) \cdot i_{nxs} + (X_{H}(I) + X_{AUT}(I) + X_{PAO}(I)) \cdot i_{nbm} + \right\} \\ S_{NH_{4}}(I) + S_{F}(I) \cdot i_{nsf} + S_{I}(I) \cdot i_{nsi} + S_{NO_{3}}(I) \end{matrix} \right\} \\ TP(I) &= \left\{ \begin{matrix} X_{I}(I) \cdot i_{pxi} + X_{S}(I) \cdot i_{pxs} + (X_{H}(I) + X_{AUT}(I) + X_{PAO}(I)) \cdot i_{pbm} + \right\} \\ S_{PO_{4}}(I) + S_{F}(I) \cdot i_{psf} + S_{I}(I) \cdot i_{psi} + 0.205 \cdot X_{MeP}(I) + X_{PP}(I) \end{matrix} \right\} \\ P_{2}as(I) &= \frac{M_{V}SS(3)}{M_{V}SS(2)} \end{aligned}$$

Από την τελευταία σχέση υπολογίζεται το ποσοστό της δευτεροβάθμιας παχυμένης ιλύος, που περιέχεται στο μίγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, το οποίο εισέρχεται στη δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης.

3.7.2.4 Θέση 4 – Έξοδος Σταθεροποιημένης Ιλύος

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

$$HRT_dig = \frac{V_dig}{Q(3)}$$
$$Q(3) = Q(4)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής έγινε η θεώρηση ότι, η αναερόβια χώνευση του S_{PO4} επιφέρει μείωση της συγκέντρωσής του στην έξοδο του χωνευτή, κατ' αντιστοιχία με τη χώνευση του S_{NH4} . Η τελική συγκέντρωση του φωσφορικού υπολογίζεται ως το 1/3 της προβλεπόμενης από την εξίσωση υπολογισμού του αμμωνιακού αζώτου.

3.7.2.4.1 Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για $14d \le HRT \le 19d$

$$\begin{aligned} &CODdig = (38.61 \cdot (P_2as)^3 - 76.92 \cdot (P_2as)^2 + 50.55 \cdot (P_2as) + 40) \cdot COD(3)/100 \\ &S_A(4) = (-1.173 \cdot (P_2as)^3 + 2.275 \cdot (P_2as)^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 1.55) \cdot CODdig/100 \\ &S_F(4) = (-1.173 \cdot (P_2as)^3 + 2.275 \cdot (P_2as)^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 1.55) \cdot CODdig/100 \\ &S_I(4) = (-1.320 \cdot (P_2as)^2 + 1.017 \cdot (P_2as) + 5.4) \cdot CODdig/100 \\ &X_I(4) = (8.078 \cdot (P_2as) + 26.0) \cdot CODdig/100 \\ &X_S(4) = (-7.721 \cdot (P_2as) + 69.0) \cdot CODdig/100 \\ &X_{I}(4) = 0 \\ &X_{AUT}(4) = 0 \\ &X_{AUT}(4) = 0 \\ &X_{PAO}(4) = 0 \\ &X_{PF}(4) = 0 \\ &S_{O_2}(4) = S_{O_2}(3) \\ &S_I(4) = (-1.320 \cdot (P_2as)^2 + 1.017 \cdot (P_2as) + 5.4) \cdot CODdig/100 \\ &S_{NH_4}(4) = (-1.9.27 \cdot (P_2as)^2 + 58.19 \cdot (P_2as) + 21.0) \cdot TN(3)/100 \\ &S_{NO_3}(4) = S_{NO_3}(3) \\ &S_{NO_4}(4) = 0 \\ &S_{PO_4}(4) = 0 \\ &S_{PO_4}(4) = 0 \\ &S_{PO_4}(4) = 0 \\ &S_{PO_4}(4) = (-9262.0 \cdot (P_2as)^4 + 28637.0 \cdot (P_2as)^3 - 31731.0 \cdot (P_2as)^2 +) \\ &14158.0 \cdot (P_2as) + 3000.0) \cdot S_{ALK}(3)/500 \\ &S_{MeOH}(4) = X_{MeOH}(3) \\ &X_{MeOH}(4) = X_{MeOH}(3) \\ &X_{MeP}(4) = X_{MeP}(3) \end{aligned}$$

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

Το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$\begin{split} S_{biogas}(4) &= 0.154 \cdot (P_2as)^2 - 0.229 \cdot (P_2as) + 0.51 \\ Q_{gas}(4) &= S_{biogas}(4) \cdot Q(3) \cdot VSS(3)/1000 \\ Q_{CH_4}(4) &= \begin{cases} (32.58 \cdot (P_2as)^6 - 104 \cdot (P_2as)^5 + 124.4 \cdot (P_2as)^4 - 66.42 \cdot (P_2as)^3 + \\ 13.01 \cdot (P_2as)^2 + 0.869 \cdot (P_2as) + 58.5)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{CO_2}(4) &= \begin{cases} (7.288 \cdot (P_2as)^5 - 16.69 \cdot (P_2as)^4 + 10.82 \cdot (P_2as)^3 + \\ +0.407 \cdot (P_2as)^2 - 2.352 \cdot (P_2as) + 36.65)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{H_2}(4) &= \{ (9 \cdot (10)^{-5} \cdot (P_2as) + 0.001) \cdot Q_{gas}(4)/100) \} \\ Q_{H_2O}(4) &= \begin{cases} (0.309 \cdot (P_2as)^3 - 0.619 \cdot (P_2as)^2 + \\ 0.430 \cdot (P_2as) + 4.865) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \end{split}$$

3.7.2.4.2 Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για $19d \le HRT \le 25d$

$$\begin{aligned} CODdig &= (38.61 \cdot (P_2as)^3 - 76.92 \cdot (P_2as)^2 + 50.55 \cdot (P_2as) + 40) \cdot COD(3)/100 \\ S_A(4) &= (-1.173 \cdot (P_2as)^3 + 2.275 \cdot (P_2as)^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 1.008) \cdot CODdig/100 \\ S_F(4) &= (-1.173 \cdot (P_2as)^3 + 2.275 \cdot (P_2as)^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 1.008) \cdot CODdig/100 \\ S_I(4) &= (-1.320 \cdot (P_2as)^2 + 1.017 \cdot (P_2as) + 6.420) \cdot CODdig/100 \\ X_I(4) &= (8.078 \cdot (P_2as) + 31.93) \cdot CODdig/100 \\ X_S(4) &= (-7.721 \cdot (P_2as) + 60.56) \cdot CODdig/100 \\ X_H(4) &= 0 \\ X_{AUT}(4) &= 0 \\ X_{PAO}(4) &= 0 \\ X_{PAO}(4) &= 0 \\ X_{PHA}(4) &= 0 \\ S_{O_2}(4) &= S_{O_2}(3) \\ S_{NH_4}(4) &= (-19.27 \cdot (P_2as)^2 + 58.19 \cdot (P_2as) + 27.41) \cdot TN(3)/100 \\ S_{NO_3}(4) &= S_{NO_3}(3) \\ S_{N_2}(4) &= 0 \\ S_{PO_4}(4) &= 0 \end{aligned}$$

$$S_{ALK}(4) = \begin{cases} (-9262.0 \cdot (P_2as)^4 + 28637.0 \cdot (P_2as)^3 - 31731.0 \cdot (P_2as)^2 + \\ 14158.0 \cdot (P_2as) + 3679.0) \cdot S_{ALK}(3)/500 \end{cases}$$

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

Το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$\begin{split} S_{biogas}(4) &= 0.154 \cdot (P_2as)^2 - 0.229 \cdot (P_2as) + 0.523 \\ Q_{gas}(4) &= S_{biogas}(4) \cdot Q(3) \cdot VSS(3)/1000 \\ Q_{CH_4}(4) &= \begin{cases} (32.58 \cdot (P_2as)^6 - 104 \cdot (P_2as)^5 + 124.4 \cdot (P_2as)^4 - 66.42 \cdot (P_2as)^3 + \\ 13.01 \cdot (P_2as)^2 + 0.869 \cdot (P_2as) + 58.60)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{CO_2}(4) &= \begin{cases} (7.288 \cdot (P_2as)^5 - 16.69 \cdot (P_2as)^4 + 10.82 \cdot (P_2as)^3 + \\ +0.407 \cdot (P_2as)^2 - 2.352 \cdot (P_2as) + 36.56)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{H_2}(4) &= \{ (9 \cdot (10)^{-5} \cdot (P_2as) + 0.001) \cdot Q_{gas}(4)/100 \} \\ Q_{H_2}(4) &= \{ (0.309 \cdot (P_2as)^3 - 0.619 \cdot (P_2as)^2 + \\ 0.430 \cdot (P_2as) + 4.835) \cdot Q_{gas}(4)/100 \} \end{split}$$

3.7.2.4.3 Existing an approximation of the set of the

$$\begin{aligned} &COD dig = (38.61 \cdot (P_2as)^3 - 76.92 \cdot (P_2as)^2 + 50.55 \cdot (P_2as) + 35.0) \cdot COD(3)/100 \\ &S_A(4) = (-1.173 \cdot (P_2as)^3 + 2.275 \cdot (P_2as)^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 0.82) \cdot COD dig/100 \\ &S_F(4) = (-1.173 \cdot (P_2as)^3 + 2.275 \cdot (P_2as)^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 0.82) \cdot COD dig/100 \\ &S_I(4) = (-1.320 \cdot (P_2as)^2 + 1.017 \cdot (P_2as) + 6.9) \cdot COD dig/100 \\ &X_I(4) = (8.078 \cdot (P_2as) + 36.0) \cdot COD dig/100 \\ &X_S(4) = (-7.721 \cdot (P_2as) + 55.5) \cdot COD dig/100 \\ &X_H(4) = 0 \\ &X_{AUT}(4) = 0 \\ &X_{PAO}(4) = 0 \\ &X_{PHA}(4) = 0 \\ &X_{PHA}(4) = 0 \\ &S_{O_2}(4) = S_{O_2}(3) \\ &S_{NH_4}(4) = (-19.27 \cdot (P_2as)^2 + 58.19 \cdot (P_2as) + 33.0) \cdot TN(3)/100 \end{aligned}$$

$$\begin{split} S_{NO_3}(4) &= S_{NO_3}(3) \\ S_{N_2}(4) &= 0 \\ S_{PO_4}(4) &= 0.33 \cdot (-19.27 \cdot (P_2as)^2 + 58.19 \cdot (P_2as) + 33.0) \cdot TP(3)/100 \\ S_{ALK}(4) &= \begin{cases} (-9262.0 \cdot (P_2as)^4 + 28637.0 \cdot (P_2as)^3 - 31731.0 \cdot (P_2as)^2 + \\ 14158.0 \cdot (P_2as) + 4300.0) \cdot S_{ALK}(3)/500 \end{cases} \\ X_{MeOH}(4) &= X_{MeOH}(3) \\ X_{MeP}(4) &= X_{MeP}(3) \\ X_{NV}(4) &= X_{NV}(3) \end{split}$$
To παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$\begin{split} S_{biogas}(4) &= 0.154 \cdot (P_2as)^2 - 0.229 \cdot (P_2as) + 0.55 \\ Q_{gas}(4) &= S_{biogas}(4) \cdot Q(3) \cdot VSS(3)/1000 \\ Q_{CH_4}(4) &= \begin{cases} (32.58 \cdot (P_2as)^6 - 104 \cdot (P_2as)^5 + 124.4 \cdot (P_2as)^4 - 66.42 \cdot (P_2as)^3 + \\ 13.01 \cdot (P_2as)^2 + 0.869 \cdot (P_2as) + 58.68)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{CO_2}(4) &= \begin{cases} (7.288 \cdot (P_2as)^5 - 16.69 \cdot (P_2as)^4 + 10.82 \cdot (P_2as)^3 + \\ +0.407 \cdot (P_2as)^2 - 2.352 \cdot (P_2as) + 36.52)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{H_2}(4) &= \{ (9 \cdot (10)^{-5} \cdot (P_2as) + 0.001) \cdot Q_{gas}(4)/100 \} \\ Q_{H_2O}(4) &= \begin{cases} (0.309 \cdot (P_{2as})^3 - 0.619 \cdot (P_{2as})^2 + \\ 0.430 \cdot (P_2as) + 4.82) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \end{split}$$

3.7.2.4.4 Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για $30d \le HRT \le 35d$

$$CODdig = (38.61 \cdot (P_{2as})^3 - 76.92 \cdot (P_{2as})^2 + 50.55 \cdot (P_{2as}) + 35.0) \cdot COD(3)/100$$

$$S_A(4) = (-1.173 \cdot (P_{2as})^3 + 2.275 \cdot (P_{2as})^2 - 1.241 \cdot (P_{2as}) + 0.75) \cdot CODdig/100$$

$$S_F(4) = (-1.173 \cdot (P_{2as})^3 + 2.275 \cdot (P_{2as})^2 - 1.241 \cdot (P_{2as}) + 0.75) \cdot CODdig/100$$

$$S_I(4) = (-1.320 \cdot (P_{2as})^2 + 1.017 \cdot (P_{2as}) + 7.0) \cdot CODdig/100$$

$$X_I(4) = (8.078 \cdot (P_{2as}) + 41.0) \cdot CODdig/100$$

$$X_S(4) = (-7.721 \cdot (P_{2as}) + 50.0) \cdot CODdig/100$$

$$X_H(4) = 0$$

$$X_{AUT}(4) = 0$$

$$X_{AUT}(4) = 0$$

$$\begin{split} X_{PHA}(4) &= 0 \\ X_{PP}(4) &= 0 \\ S_{o_2}(4) &= S_{o_2}(3) \\ S_{NH_4}(4) &= (-19.27 \cdot (P_{2as})^2 + 58.19 \cdot (P_2as) + 39.0) \cdot TN(3)/100 \\ S_{NO_3}(4) &= S_{NO_3}(3) \\ S_{N_2}(4) &= 0 \\ S_{PO_4}(4) &= 0.33 \cdot (-19.27 \cdot (P_{2as})^2 + 58.19 \cdot (P_2as) + 39.0) \cdot TP(3)/100 \\ S_{ALK}(4) &= \begin{cases} (-9262.0 \cdot (P_2as)^4 + 28637.0 \cdot (P_2as)^3 - 31731.0 \cdot (P_2as)^2 + \\ 14158.0 \cdot (P_2as) + 3679.0) \cdot S_{ALK}(3)/500 \end{cases} \\ X_{MeOH}(4) &= X_{MeOH}(3) \\ X_{MeP}(4) &= X_{MeOH}(3) \\ X_{MeP}(4) &= X_{MeP}(3) \\ X_{NV}(4) &= X_{NV}(3) \\ \text{To rapayóµevo βιοαέριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες µaθηµατικές σχέσεις: \\ S_{biogas}(4) &= 0.154 \cdot (P_2as)^2 - 0.229 \cdot (P_2as) + 0.57 \\ Q_{gas}(4) &= S_{biogas}(4) \cdot Q(3) \cdot VSS(3)/1000 \\ Q_{CH_4}(4) &= \begin{cases} (32.58 \cdot (P_2as)^6 - 104 \cdot (P_2as)^5 + 124.4 \cdot (P_2as)^4 - 66.42 \cdot (P_2as)^3 + \\ 13.01 \cdot (P_2as)^2 + 0.869 \cdot (P_2as) + 58.7)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ \end{split}$$

$$Q_{CO_2}(4) = \begin{cases} (7.288 \cdot (P_2as)^5 - 16.69 \cdot (P_2as)^4 + 10.82 \cdot (P_2as)^3 + \\ +0.407 \cdot (P_2as)^2 - 2.352 \cdot (P_2as) + 36.5)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases}$$

$$Q_{H_2}(4) = \left\{ (9 \cdot (10)^{-5} \cdot (P_2as) + 0.001) \cdot Q_{gas}(4)/100) \right\}$$
$$Q_{H_20}(4) = \left\{ \begin{array}{l} (0.309 \cdot (P_2as)^3 - 0.619 \cdot (P_{2as})^2 + \\ 0.430 \cdot (P_2as) + 4.81) \cdot Q_{gas}(4)/100) \right\}$$

3.7.2.4.5 Εξισώσεις αναερόβιας χώνευσης για HRT > 35d

$$CODdig = (38.61 \cdot (P_2as)^3 - 76.92 \cdot (P_2as)^2 + 50.55 \cdot (P_2as) + 35) \cdot COD(3)/100$$

$$S_A(4) = (-1.173 \cdot (P_{2as})^3 + 2.275 \cdot (P_{2as})^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 0.75) \cdot CODdig/100$$

$$S_F(4) = (-1.173 \cdot (P_{2as})^3 + 2.275 \cdot (P_{2as})^2 - 1.241 \cdot (P_2as) + 0.75) \cdot CODdig/100$$

$$S_I(4) = (-1.320 \cdot (P_{2as})^2 + 1.017 \cdot (P_2as) + 7) \cdot CODdig/100$$

$$X_I(4) = (8.078 \cdot (P_2as) + 41.0) \cdot CODdig/100$$

$$\begin{split} &X_{S}(4) = (-7.721 \cdot (P_{2}as) + 50.0) \cdot CODdig/100 \\ &X_{H}(4) = 0 \\ &X_{AUT}(4) = 0 \\ &X_{PAO}(4) = 0 \\ &X_{PAO}(4) = 0 \\ &X_{PP}(4) = 0 \\ &S_{O_{2}}(4) = S_{O_{2}}(3) \\ &S_{NH_{4}}(4) = (-19.27 \cdot (P_{2}as)^{2} + 58.19 \cdot (P_{2}as) + 39.0) \cdot TN(3)/100 \\ &S_{NO_{3}}(4) = S_{NO_{3}}(3) \\ &S_{N_{2}}(4) = 0 \\ &S_{PO_{4}}(4) = 0.33 \cdot (-19.27 \cdot (P_{2}as)^{2} + 58.19 \cdot (P_{2}as) + 39.0) \cdot TP(3)/100 \\ &S_{ALK}(4) = \left\{ \begin{array}{c} (-9262.0 \cdot (P_{2}as)^{4} + 28637.0 \cdot (P_{2}as)^{3} - 31731.0 \cdot (P_{2}as)^{2} + \\ 14158.0 \cdot (P_{2}as) + 3679.0) \cdot S_{ALK}(3)/500 \end{array} \right\} \\ &X_{MeOH}(4) = X_{MeOH}(3) \\ &X_{MeP}(4) = X_{MeP}(3) \\ &X_{NV}(4) = X_{NV}(3) \\ &To \piapayóµevo βιoaépio υπολογίζεται από τις ακόλουθες µaθηµατικές σχέσεις: \end{split}$$

$$\begin{split} S_{biogas}(4) &= 0.154 \cdot (P_2as)^2 - 0.229 \cdot (P_2as) + 0.57 \\ Q_{gas}(4) &= S_{biogas}(4) \cdot Q(3) \cdot VSS(3)/1000 \\ Q_{CH_4}(4) &= \begin{cases} (32.58 \cdot (P_2as)^6 - 104 \cdot (P_2as)^5 + 124.4 \cdot (P_2as)^4 - 66.42 \cdot (P_2as)^3 + \\ 13.01 \cdot (P_2as)^2 + 0.869 \cdot (P_2as) + 58.7)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{CO_2}(4) &= \begin{cases} (7.288 \cdot (P_2as)^5 - 16.69 \cdot (P_2as)^4 + 10.82 \cdot (P_2as)^3 + \\ +0.407 \cdot (P_2as)^2 - 2.352 \cdot (P_2as) + 36.5)) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \\ Q_{H_2}(4) &= \{ (9 \cdot (10)^{-5} \cdot (P_2as) + 0.001) \cdot Q_{gas}(4)/100 \} \\ Q_{H_2O}(4) &= \begin{cases} (0.309 \cdot (P_{2as})^3 - 0.619 \cdot (P_{2as})^2 + \\ 0.430 \cdot (P_2as) + 4.81) \cdot Q_{gas}(4)/100 \end{cases} \end{split}$$

3.7.3 Αξιοποίηση βιοαερίου

Το μίγμα αερίων που παράγεται κατά τη χώνευση της ιλύος, δηλαδή το βιοαέριο, αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, σε ποσοστό 65-70% και διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό 30-35%. Η θερμαντική του αξία εκτιμάται περίπου στις 5500Kcal/m³ και χρησιμοποιείται, κατά κύριο λόγο, για τη θέρμανση των χωνευτών. Δευτερεύουσα χρήση αποτελεί η θέρμανση του κτιρίου της

εγκατάστασης. Το καλοκαίρι, που οι ανάγκες θέρμανσης είναι μικρότερες και υπάρχει περίσσεια βιοαερίου, συνήθως καίγεται σε κατάλληλους πυρσούς.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν πληθυσμό μεγαλύτερο των 100000 κατοίκων το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί η λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης.

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

3.7.4 Απαιτήσεις θέρμανσης και θερμικές απώλειες χωνευτή

Έχει παρατηρηθεί ότι για τις συνήθεις θερμοκρασίες της ιλύος, που είναι περίπου 20 °C ή πολύ μικρότερες το χειμώνα, ο βαθμός σταθεροποίησης είναι ανεπαρκής ακόμα για μεγάλους υδραυλικούς χρόνους παραμονής, κατά συνέπεια η ιλύς θερμαίνεται σε σταθερή θερμοκρασία που εξαρτάται από το είδος της χώνευσης που έχει επιλεγεί: μεσοφιλική στους 35 °C ή θερμοφιλική στους 55 °C.

Για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο επιθυμητό επίπεδο η προσφερόμενη θερμότητα θα πρέπει να είναι σε θέση να ανυψώνει τη θερμοκρασία της λάσπης στην κατάλληλη θερμοκρασία χώνευσης και να καλύπτει τις απώλειες θερμότητας.

Η απαιτούμενη θερμότητα για τη θέρμανση της ιλύος δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{T} = A \cdot C \cdot (T_{D} - T_{S})$$

Όπου, Q_T : απαιτούμενη θερμότητα θέρμανσης ιλύος (Kcal/h)

- A : ροή μάζας της ιλύος (kg/h)
- C : μέση ειδική θερμότητα της λάσπης (1 Kcal/kg·°C)
- T_D : θερμοκρασία χωνευτή (°C)
- Ts : θερμοκρασία παχυμένης ιλύος (°C)

Οι θερμικές απώλειες του χωνευτή σχετίζονται με το μονωτικό υλικό του, και άλλα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του. Για την προσομοίωση των απωλειών έγινε η θεώρηση ότι υπολογίζονται ως ποσοστό της απαιτούμενης θερμότητας για τη θέρμανση της ιλύος, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\boldsymbol{Q}_L = \boldsymbol{U} \cdot \boldsymbol{Q}_T$$

Όπου, Qı : θερμικές απώλειες χωνευτή (Kcal/h)

U : συντελεστής θερμικών απωλειών (%)

Για την παρούσα προσομοίωση ο συντελεστής θερμικών απωλειών εκτιμήθηκε στην τιμή 30%.

3.8 Μονάδα Αφυδάτωσης Ιλύος

3.8.1 Εισαγωγή

Κύριος στόχος της αφυδάτωσης της ιλύος είναι η απομάκρυνση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου μέρους του περιεχόμενου νερού, για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους, και η μείωση του όγκου της πριν τη διάθεσή της στο περιβάλλον. Μετά τη χώνευση η συγκέντρωση στερεών της ιλύος είναι αρκετά χαμηλή, 4-5% και με τη διαδικασία της αφυδάτωσης το ποσοστό αυξάνεται σε 18-35%.

Οι μέθοδοι αφυδάτωσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: την αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης, που αποτελούν την οικονομικότερη μέθοδο λόγω χαμηλότερου κόστους κατασκευής και λειτουργίας και, την αφυδάτωση με μηχανικά μέσα που έχει επικρατήσει και εφαρμόζεται λόγω των πλεονεκτημάτων της έναντι των πρώτων. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι αφυδάτωσης με μηχανικά μέσα απαιτούν μικρότερη έκταση, δεν δημιουργούν προβλήματα δυσοσμίας ή κινδύνους περιβαλλοντικής ρύπανσης και δεν επηρεάζονται από τις κλιματολογικές συνθήκες.

Τα μηχανικά συστήματα αφυδάτωσης που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι οι φυγοκεντρητές, φιλτρόπρεσσες και οι ταινιοφιλτρόπρεσσες.

3.8.2 Προσομοίωση αφυδάτωσης ιλύος

Στην παρούσα προσομοίωση εφαρμόστηκε μηχανική αφυδάτωση της ιλύος. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο αφυδάτωσης που εφαρμόζεται, η προσομοίωση της διαδικασίας πραγματοποιείται με την εφαρμογή ισοζυγίων μάζας που βασίζονται στην απόδοση της μονάδας.

Σημειώνεται ότι, οι συγκεντρώσεις των διαλυτών συστατικών παραμένουν αμετάβλητες κατά τη διαδικασία της αφυδάτωσης. Η διαφορά της πάχυνσης από την αφυδάτωση έγκειται στη συγκέντρωση που επιτυγχάνεται για την εξερχόμενη ιλύ.

Το Σχήμα 3.4 παρουσιάζει τις θέσεις της μονάδας αφυδάτωσης.





3.8.2.1 Θέση 1 – Είσοδος Σταθεροποιημένης Ιλύος

Η σταθεροποιημένη ιλύς από τη μονάδα χώνευσης εισέρχεται στη μονάδα αφυδάτωσης.

Από τη συγκέντρωση των στερεών και την παροχή της ιλύος υπολογίζεται η μάζα στερεών, καθώς και των σωματιδιακών μεταβλητών που εισέρχονται στη μονάδα πάχυνσης.

$$M_TSS(1) = TSS(1) \cdot Q(1)$$
$$M_X(1) = X(1) \cdot Q(1)$$

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για όλες τις σωματιδιακές μεταβλητές του μοντέλου: Χ_Ι, Χ_S, Χ_Η, Χ_{ΡΑΟ}, Χ_{ΡΡ}, Χ_{ΡΗΑ}, Χ_{ΑUT}, Χ_{TSS}, Χ_{ΜeOH}, Χ_{ΜeP} και Χ_{NV}.

3.8.2.2 Θέση 2 – Έξοδος Αφυδατωμένης Ιλύος

Η συγκέντρωση των σωματιδιακών συστατικών στην αφυδατωμένη ιλύ εκτιμάται θεωρώντας ένα ποσοστό συγκράτησης στερεών % (CR), ενώ οι συγκεντρώσεις των διαλυτών συστατικών παραμένουν, όπως προαναφέρθηκε, αμετάβλητες.

Η μάζα των ολικών αιωρούμενων στερεών στην παχυμένη ιλύ υπολογίζεται ως εξής:

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

Θεωρώντας ότι η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στην παχυμένη ιλύ εκφράζεται ως C_dew, η παροχή της ιλύος υπολογίζεται ως εξής:

$$Q(2) = \frac{M_TSS(2)}{C_dew}$$

Κατ' αντιστοιχία υπολογίζονται η μάζα και η συγκέντρωση όλων των σωματιδιακών συστατικών:

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

Για την περίπτωση των διαλυτών συστατικών, οι συγκεντρώσεις και η μάζα τους στην ιλύ υπολογίζονται με τις παρακάτω εξισώσεις, οι οποίες ισχύουν για όλα τα διαλυτά συστατικά, εκτός του οξυγόνου, δηλαδή: S_F, S_A, S_{NH4}, S_{NO3}, S_{PO4}, S_I, S_{N2}, S_{ALK}, σημειώνοντας ότι για τη μεταβλητή της αλκαλικότητας δεν υπολογίζουμε μάζα αλλά μόνο τη συγκέντρωσή της.

$$S(2) = S(1)$$
$$M_S(2) = S(2) \cdot Q(2)$$

3.8.2.3 Θέση 3 – Έξοδος Στραγγιδίων

Η παροχή των στραγγιδίων που απομακρύνονται από μονάδα αφυδάτωσης υπολογίζεται ως εξής:

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

Για τη μάζα και τη συγκέντρωση των σωματιδιακών συστατικών ισχύουν οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$M_X(3) = M_X(1) - M_X(2)$$
$$X(3) = \frac{M_X(3)}{Q(3)}$$

Σχετικά με τα διαλυτά συστατικά, όπως και στην παχυμένη ιλύ, οι συγκεντρώσεις στα στραγγίδια δεν μεταβάλλονται και κατά συνέπεια ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις.

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

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

3.9 Στραγγίδια ιλύος

Τα στραγγίδια που παράγονται στη γραμμή επεξεργασίας της λάσπης και συγκεκριμένα από τις διαδικασίες της βαρυτικής και μηχανικής πάχυνσης και της αφυδάτωσης συγκεντρώνονται σε κοινή γραμμή και επιστρέφουν στο σύστημα ανάντη της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης. Για την εποπτεία της συνεισφοράς των στραγγιδίων στο οργανικό υλικό, τα θρεπτικά συστατικά και τα αιωρούμενα στερεά των εισερχόμενων λυμάτων, υπολογίζονται τα παρακάτω κλάσματα.

3.9.1 Κλάσμα COD

$$\frac{M_-COD_{strag}(38)}{M_-COD(3)}$$
$$M_-COD = (S_A + S_F + S_I + X_S + X_I + X_H + X_{AUT} + X_{PAO} + X_{PHA}) \cdot Q$$

3.9.2 Κλάσμα TSS

$$\frac{M_{-}TSS_{strag}(38)}{M_{-}TSS(3)}$$

$$M_TSS = \left\{ \begin{bmatrix} X_I \cdot i_{TSSX_I} + X_S \cdot i_{TSSX_S} + (X_H + X_{AUT} + X_{PAO}) \cdot i_{TSSBM} + \\ X_{PHA} \cdot 0.60 + X_{PP} \cdot 3.23 + X_{MeOH} + X_{MeP} \end{bmatrix} + X_{NV} \right\} \cdot Q$$

3.9.3 Κλάσμα ολικού αζώτου (TN)

$$\frac{M_{-}TN_{strag}(38)}{M_{-}TN(3)}$$
$$M_{-}TN = \begin{cases} X_{I} \cdot i_{NX_{I}} + X_{S} \cdot i_{NX_{S}} + (X_{H} + X_{AUT} + X_{PAO}) \cdot i_{NBM} + \\ S_{NH_{4}} + S_{F} \cdot i_{NS_{F}} + S_{I} \cdot i_{NS_{I}} + S_{NO_{3}} \end{cases} \cdot Q$$

3.9.4 Κλάσμα ολικού φωσφόρου (TP)

$$\frac{M_{-}TP_{strag}(38)}{M_{-}TP(3)}$$
$$M_{-}TP = \begin{cases} X_{I} \cdot i_{PX_{I}+}X_{S} \cdot i_{PX_{S}+}(X_{H} + X_{AUT} + X_{PAO}) \cdot i_{PBM} + \\ S_{PO_{4}} + S_{F} \cdot i_{PS_{F}} + S_{I} \cdot i_{NS_{I}} + X_{PP} + 0.205 \cdot X_{MeP} \end{cases} \cdot Q$$

3.9.5 Κλάσμα αμμωνιακού αζώτου (S_{NH4})

$$\frac{M_{-}S_{NH_{4}strag}(38)}{M_{-}S_{NH_{4}}(3)}$$
$$M_{-}S_{NH_{4}} = S_{NH_{4}} \cdot Q$$

3.9.6 Κλάσμα φωσφορικών (SPO4)

$$\frac{M_{-}S_{PO_{4}strag}(38)}{M_{-}S_{PO_{4}}(3)}$$
$$M_{-}S_{PO_{4}} = S_{PO_{4}} \cdot Q$$

3.10 Κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας μιας ΕΕΛ εξαρτάται από τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιεί και τις ειδικές συνθήκες λειτουργίας της. Το μοντέλο που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ του εγκατεστημένου σε κάθε μονάδα εξοπλισμού.

3.10.1 Συστήματα προεπεξεργασίας

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

$$E_{pretr} = E \cdot Q_{influent_flow}$$

Όπου, E_{pretr} : ενεργειακή κατανάλωση συστημάτων προεπεξεργασίας (kWh/χρονικό βήμα)

Ε : σταθερά κατανάλωσης ενέργειας (kWh/m³)

Qinfluent_flow: παροχή εισερχόμενων λυμάτων

Η σταθερά κατανάλωσης ενέργειας Ε λαμβάνεται 0,04 kWh/m³ για την παρούσα προσομοίωση.

3.10.2 Δεξαμενές πρωτοβάθμιας και τελικής καθίζησης

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

$$E_{settl} = P \cdot t$$

Όπου, E_{settl} : ενεργειακή κατανάλωση ξέστρων δεξαμενής καθίζησης (kWh/χρονικό βήμα)

P : απορροφούμενη ισχύς συστήματος περιστροφής ξέστρου (kW)

t : χρονική διάρκεια λειτουργίας ξέστρου

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

3.10.3 Βιολογικός αντιδραστήρας

Η ενέργεια που καταναλώνεται στο βιοαντιδραστήρα αποδίδεται στο σύστημα ανάμιξης, το σύστημα αερισμού και τις αντλίες ανακυκλοφορίας. Για την ενεργειακή κατανάλωση των αντλιών θα γίνει αναφορά σε επόμενη παράγραφο.

3.10.3.1 Σύστημα ανάμιξης

Η ενέργεια που καταναλώνεται από το σύστημα ανάμιξης του βιοαντιδραστήρα υπολογίζεται ως το άθροισμα της κατανάλωσης κάθε διαμερίσματος. Πιο συγκεκριμένα:

$$E_{bioreactor_mix} = \left(\sum_{i=1}^{\nu} P \cdot V_i\right) \cdot t$$

Όπου, Ebioreactor_mix : συνολική ενεργειακή κατανάλωση συστημάτων ανάμιξης (kWh/χρονικό βήμα)

P : δυναμικότητα συστήματος ανάμιξης (W/m³)

V_i : όγκος διαμερίσματος (m³)

t : χρονική διάρκεια λειτουργίας ξέστρου

Η παραδοχή της συγκεκριμένης προσομοίωσης για τη δυναμικότητα του συστήματος ανάμιξης είναι 5 W/m³.

3.10.3.2 Σύστημα αερισμού

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

$$E_{bioreactor_aer} = \frac{SOTR}{\varepsilon}$$

Όπου, Ebioreactor_aer : ενεργειακή κατανάλωση συστήματος αερισμού (kWh/χρονικό βήμα)

SOTR : απαίτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες (kgO₂/h)

ε : απόδοση συστήματος (kgO₂/kWh)

Η απόδοση του συστήματος αερισμού εκτιμήθηκε στην τιμή των 3,5 kgO₂/kWh.

3.10.4 Μονάδες πάχυνσης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος

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

$$E_{gravity_thick} = P \cdot t$$

Όπου, Egravity_thick: ενεργειακή κατανάλωση ξέστρου παχυντή βαρύτητας (kWh/χρονικό βήμα)

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

$$E_{mechanical_thick} = \frac{M_TSS}{t} \cdot \frac{P}{C}$$

Όπου, E_{mechanical_thick} : ενεργειακή κατανάλωση μηχανικού παχυντή (kWh/χρονικό βήμα)

M_TSS : μάζα στερεών ιλύος ανά χρονικό βήμα (kgSS/χρονικό βήμα)

- Ρ : απορροφούμενη ισχύς
- C : δυναμικότητα πάχυνσης kgSS/χρονικό βήμα
- t : χρονική διάρκεια λειτουργίας μηχανικού παχυντή

Στην παρούσα διπλωματική θεωρήθηκε ότι η δυναμικότητα του συστήματος μηχανικής πάχυνσης ανέρχεται στα 900 kgSS/h με απορροφούμενη ισχύ 6 kW.

3.10.5 Μονάδα αναερόβιας χώνευσης

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

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

Όπου, Edigester_mix : ενεργειακή κατανάλωση αναερόβιου χωνευτή (kWh/χρονικό βήμα)

- Ρ : απορροφούμενη ισχύς
- V : όγκος αναερόβιου χωνευτή
- t : χρονική διάρκεια λειτουργίας μηχανικού παχυντή

Η απορροφούμενη ισχύς του συστήματος λήφθηκε ως 5 W/m³.

3.10.6 Μονάδα αφυδάτωσης ιλύος

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

$$E_{mechanical_dewat} = \frac{M_-TSS}{t} \cdot \frac{P}{C}$$

Όπου, Emechanical_dewat : ενεργειακή κατανάλωση αφυδάτωσης (kWh/χρονικό βήμα)

M_TSS	: μάζα στερεών ιλύος ανά χρονικό βήμα (kgSS/χρονικό βήμα)
-------	---

Ρ : απορροφούμενη ισχύς

C : δυναμικότητα αφυδάτωσης kgSS/χρονικό βήμα

t : χρονική διάρκεια λειτουργίας μονάδας αφυδάτωσης

Για τη μονάδα αφυδάτωσης έγινε η θεώρηση ότι η δυναμικότητα του συστήματος ανέρχεται στα 900 kgSS/h με απορροφούμενη ισχύ 7,5 kW.

3.10.7 Ενέργεια άντλησης

Η συνολική ενέργεια άντλησης στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων αποτελεί το άθροισμα των ενεργειακών καταναλώσεων των επιμέρους συστημάτων που χρησιμοποιούν αντλίες για τη λειτουργία τους. Συγκεκριμένα, στην ΕΕΛ υπάρχουν εγκατεστημένες αντλίες που επιτελούν τις παρακάτω εργασίες:

- Εξωτερική ανακυκλοφορία ιλύος
- Εσωτερική ανακυκλοφορία ανάμικτου υγρού
- Απομάκρυνση πρωτοβάθμιας ιλύος
- Απομάκρυνση δευτεροβάθμιας περίσσειας ιλύος
- Άντληση παχυμένης ιλύος
- Προσθήκη δόσης πολυηλεκτρολύτη

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

$$E_{pumping} = \frac{\rho \cdot Q}{\varepsilon}$$

Όπου, E_{pumping} : ενεργειακή κατανάλωση αντλίας (kWh/χρονικό βήμα)

Q : παροχή που αντλείται ανά χρονικό βήμα (m³/χρονικό βήμα)

- ρ : πυκνότητα λυμάτων ή ιλύος (kg/m³)
- ε : ισχύς αντλίας

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

3.10.8 Δείκτες κατανάλωσης ενέργειας

Για τον έλεγχο της λειτουργίας της εγκατάστασης και τη σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας κατά την εφαρμογή διαφορετικών σεναρίων υπολογίζονται δείκτες που ανάγουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας στην παροχή των λυμάτων και την απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και θρεπτικών συστατικών.

3.10.8.1 Απαιτούμενη ενέργεια προς παροχή εισόδου

 $\frac{\Sigma υνολική καταναλισκόμενη ενέργεια}{Παροχή εισόδου} = \frac{E_{total}}{Q_{in}}$

3.10.8.2 Απαιτούμενη ενέργεια προς COD που απομακρύνεται

$$\frac{E_{total}}{M_{-}COD_{remov}} = \frac{E_{total}}{Q_{influent} \cdot COD_{influent} - Q_{effluent} \cdot COD_{effluent}}$$

3.10.8.3 Απαιτούμενη ενέργεια προς άζωτο που απομακρύνεται

$$\frac{E_{total}}{M_{-}TN_{remov}} = \frac{E_{total}}{Q_{influent} \cdot TN_{influent} - Q_{effluent} \cdot TN_{effluent}}$$

3.10.8.4 Απαιτούμενη ενέργεια προς φώσφορο που απομακρύνεται

$$\frac{E_{total}}{M_{-}TP_{remov}} = \frac{E_{total}}{Q_{influent} \cdot TP_{influent} - Q_{effluent} \cdot TP_{effluent}}$$

3.11 Εκτίμηση απόδοσης

3.11.1 Δείκτης ποιότητας εκροής

Για την εκτίμηση της απόδοσης της εγκατάστασης υπολογίζεται ο δείκτης ποιότητας εκροής (EQI). Για τις ΕΕΛ που απομακρύνουν Ρ, ο σταθμισμένος δείκτης της ποιότητας εκροής υπολογίζεται σύμφωνα με την επόμενη σχέση:

$$EQI = \frac{1}{T * 1000} \int_{t1}^{t2} \left(\frac{2 * TSS_e(t) + 1 * COD_e(t) + 2 * BOD_e(t) +}{20 * S_{TKN,e}(t) + 20 * S_{NO3,e}(t) + 20 * TP(t)} \right) * Q_e(t) * dt$$

Όπου, t1 : χρόνος έναρξης περιόδου αξιολόγησης

t2 : χρόνος λήξης περιόδου αξιολόγησης

$$\begin{split} TSS_e &= \left\{ \begin{bmatrix} X_I(29) \cdot i_{TSSX_I} + X_S(29) \cdot i_{TSSX_S} + \\ (X_H(29) + X_{AUT}(29) + X_{PAO}(29)) \cdot i_{TSSBM} + \\ (X_{PHA}(29) \cdot 0.60 + X_{PP}(29) \cdot 3.23 + X_{MeOH}(29) + X_{MeP}(29) \end{bmatrix} + X_{NV}(29) \right\} \\ COD_e &= \left\{ S_A(29) + S_F(29) + S_I(29) + X_S(29) + X_I(29) + \\ X_H(29) + X_{AUT}(29) + X_{PAO}(29) + X_{PHA}(29) \end{bmatrix} \right\} \\ BOD_e &= 0.25 \cdot \left\{ S_A(29) + S_F(29) + (1 - f_{S_I}) \cdot X_S(29) + (1 - f_{X_{Ih}}) \cdot X_H(29) + \\ (1 - f_{X_{I-aut}}) \cdot X_{AUT}(29) + (1 - f_{X_{I-pao}}) \cdot [X_{PAO}(29) + X_{PHA}(29)] \right\} \\ TKN_e &= \left\{ S_F(29) \cdot i_{NS_F} + S_I(29) \cdot i_{NS_I} + X_I(29) \cdot i_{NX_I} + X_S(29) \cdot i_{NX_S} + \\ (X_H(29) + X_{AUT}(29) + X_{PAO}(29)) \cdot i_{NBM} + S_{NH_4}(29) \right\} \\ S_{NO_3e} &= S_{NO_3}(29) \\ TP_e &= \left\{ X_I(29) \cdot i_{PX_I} + X_S(29) \cdot i_{PS_F} + S_I(29) \cdot i_{NS_I} + X_{PP}(29) + 0.205 \cdot X_{MeP}(29) \right\} \\ Q_e(t) &= Q(29)$$
 avá χρονικό βήμα

3.11.2 Παραβιάσεις ορίων εκροής

Για την εκτίμηση της απόδοσης αναφέρεται ο αριθμός των παραβιάσεων και το ποσοστό του χρόνου που η εγκατάσταση παραβιάζει τα όρια εκροής. Τα όρια εκροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10.

Ιίνακας 3.10 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις για απορρίψεις από ΕΕΛ (Πηγή: Ανδρεαδάκης, 201					
Παρα	Μέγιστο				
		Επιτρεπόμενο			
		Όριο			
BOD₅ στους	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 *			
Ν	για οικισμούς με ι.π. μεταξύ 10.000 και 100.000	15 mg/l **			
IN	για οικισμούς με ι.π. άνω των 100.000	10 mg/l **			
Р	για οικισμούς με ι.π. μεταξύ 10.000 και 100.000	2 mg/l			
	για οικισμούς με ι.π. άνω των 100.000	1 mg/l **			

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

** ως μέση ετήσια τιμή
Κεφάλαιο 4: Ανάλυση ευαισθησίας και εφαρμογές μοντέλου προσομοίωσης

4.1 Προσομοιούμενο σύστημα

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων που προσομοιώνεται παρουσιάζει τη διάταξη που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο και εμφανίζεται στο Σχήμα 3.1. Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών και συστημάτων της εγκατάστασης συνοψίζονται παρακάτω:

- Δεξαμενή Πρωτοβάθμιας Καθίζησης
- Βιολογικός Αντιδραστήρας αποτελούμενος από:
 - Αναερόβια δεξαμενή όγκου V(6)=5000 m³.
 - Ανοξική 1 δεξαμενή όγκου V(8)=7880 m³.
 - Ανοξική 2 δεξαμενή όγκου V(25)=3000 m³.
 - Δεξαμενή αερισμού 5 διαμερισμάτων, συνολικού όγκου V_{ΔA}=15559 m³.
 - Το 1° και 2° διαμέρισμα έχουν όγκο V(9)= V(10)=4585 m³.
 - Το 3° και 4° διαμέρισμα έχουν όγκο V(11)= V(12)=2847 m³.
 - Το 5° διαμέρισμα έχει όγκο V(13)=695 m³.
- Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης συνολικής επιφάνειας Α=6000 m² και βάθους H=4.5m.
- Παχυντή Βαρύτητας για την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος.
- Μηχανικό Παχυντή για την πάχυνση της βιολογικής ιλύος.
- Αναερόβιο Χωνευτή με όγκο V_dig=6000 m³.
- Μονάδα Μηχανικής Αφυδάτωσης.

Οι παραδοχές που έγιναν στο μοντέλο, σχετικά με τις παραμέτρους λειτουργίας της εγκατάστασης, είναι οι ακόλουθες:

- Η θερμοκρασία των λυμάτων είναι σταθερή και ίση με 20 °C.
- Ο χρόνος παραμονής στερεών στο σύστημα ενεργού ιλύος εκτιμάται ως Θc=10 d.
- Ο συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας του ανάμικτου υγρού εκτιμάται ως r_in=2.0.
- Ο συντελεστής εξωτερικής ανακυκλοφορίας της ιλύος εκτιμάται ως r_ex=0.8.
- Ο δείκτης καθιζησιμότητας της ιλύος εκτιμάται ως SVI=125.0.
- Ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης εκτιμάται ως s_r=60.0%.
- Ο βαθμός συγκράτησης στερεών στη μονάδα πάχυνσης εκτιμάται ως CR_thick=95.0%.
- Ο βαθμός συγκράτησης στερεών στη μονάδα αφυδάτωσης εκτιμάται ως CR_dew=95.0%.
- Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής του αναερόβιου χωνευτή εκτιμάται κατ' ελάχιστον ως HRT_dig=14 d.

Η προσομοίωση έχει χρονική διάρκεια 60 ημερών προκειμένου το σύστημα να σταθεροποιηθεί.

Στους Πίνακες 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των προεπεξεργασμένων λυμάτων που εισέρχονται για πρωτοβάθμια επεξεργασία και οι αρχικές συγκεντρώσεις των παραμέτρων στις δεξαμενές του βιολογικού αντιδραστήρα, αντίστοιχα.

α/α	Παράμετρος	Ερμηνεία	Τιμή	Μονάδες
1	S _{O2} (1)	Διαλυμένο Οξυγόνο	62000,00	m³/d
2	S _F (1)	Διαλυτή Ζυμώσιμη Εύκολα Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη	120,00	mg/l
3	S _A (1)	Διαλυτά Βιοδιασπάσιμα Προϊόντα Αναερόβιας Ζύμωσης (Οξικό Άλας)	40,00	mg/l
4	S _{NH4} (1)	Διαλυμένο Αμμωνιακό Άζωτο	42,00	mg/l
5	S _{N03} (1)	Διαλυμένο Νιτρικό Άζωτο	0,00	mg/l
6	S _{PO4} (1)	Ανόργανος Διαλυτός Φώσφορος (Ορθοφωσφορικά)	8,00	mg/l
7	S ₁ (1)	Αδρανής Διαλυμένη Οργανική Ύλη	30,00	mg/l
8	S _{ALK} (1)	Αλκαλικότητα	500,00	mg/l
9	S _{N2} (1)	Διαλυμένο Αέριο Άζωτο	0,00	mg/l
10	X ₁ (1)	Αδρανής Σωματιδιακή Οργανική Ύλη	75,00	mg/l
11	X _s (1)	Αργά Βιοδιασπάσιμη Οργανική Ύλη	450,00	mg/l
12	X _H (1)	Ετεροτροφική Βιομάζα	28,80	mg/l
13	X _{PAO} (1)	Πολυφωσφορικοί Μικροοργανισμοί	1,00	mg/l
14	X _{PP} (1)	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυφωσφορικά)	1,00	mg/l
15	X _{PHA} (1)	Εσωκυτταρικά Προϊόντα Αποθήκευσης των Πολύ-φωσφορικών Μικροοργανισμών (Πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκά)	0,50	mg/l
16	X _{AUT} (1)	Αυτοτροφική Βιομάζα (Νιτροποιητές)	0,10	mg/l
17	X _{TSS} (1)	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά	414,19	mg/l
18	X _{NV} (1)	Ανόργανη Σωματιδιακή Ύλη	75,00	mg/l
19	X _{MeOH} (1)	Υδροξείδια Μετάλλων	0,00	mg/l
20	X _{MeP} (1)	Φωσφορικά Μέταλλα	0,00	mg/l

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά προεπεξεργασμένων λυμάτων που εισέρχονται πριν τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

α/α	Συστατικά	Θέση 6 (Αναερόβια Δεξαμενή)	Θέση 8 (Ανοξική 1 Δεξαμενή)	Θέσεις 9-21 (Αερόβια Δεξαμενή & Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης)	Θέση 25 (Ανοξική 2 Δεξαμενή)	Θέση 15 (Επιφανειακό Στρώμα Δεξαμενής Τελικής Καθίζησης)	Θέση 22 (Πυθμένας Δεξαμενής Τελικής Καθίζησης)	Θέση 29 (Έξοδος Επεξεργασίας Συστήματος Ενεργού Ιλύος)
1	S _{O2}	0,01	0,01	2,00	0,01	2,00	2,00	2,00
2	S _F	53,00	53,00	53,00	53,00	3,00	3,00	3,00
3	S _A	27,00	27,00	27,00	27,00	2,00	2,00	2,00
4	S _{NH4}	28,00	28,00	28,00	28,00	10,00	10,00	10,00
5	S _{N03}	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,10	0,10
6	S _{PO4}	10,00	10,00	10,00	10,00	0,10	0,10	0,10
7	SI	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
8	S _{ALK}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	S _{N2}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	X	500,00	500,00	500,00	500,00	2,00	2000,00	2,00
11	Xs	45,00	45,00	45,00	45,00	3,00	100,00	3,00
12	X _H	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	10,00	5000,00	10,00
13	X _{PAO}	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
14	X _{PP}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	50,00	0,50
15	X _{PHA}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
16	X _{AUT}	45,00	45,00	45,00	45,00	3,00	300,00	3,00
17	X _{TSS}	1979,25	1979,25	1979,25	1979,25	197,07	6685,56	197,07
18	X _{NV}	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00	100,00	1,00
19	X _{MeOH}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	X _{MeP}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 4.2: Αρχικές συγκεντρώσεις συστατικών στις θέσεις του συστήματος ενεργού ιλύος.

4.2 Ανάλυση ευαισθησίας

Στα πλαίσια της ανάλυσης ευαισθησίας γίνεται διερεύνηση της επίδρασης που ασκούν στο, υπό μελέτη, σύστημα συγκεκριμένες κινητικές και στοιχειομετρικές παράμετροι, ώστε να εκτιμηθεί η σημασία τους στον έλεγχο και τη λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

Για να εκτιμηθεί η επίδραση κάθε παραμέτρου διατηρούνται σταθερές όλες οι παράμετροι, πλην εκείνης που μελετάται, και συγκρίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το σενάριο αναφοράς που έχει προσδιοριστεί παραπάνω. Οι πίνακες που παρατίθενται παρουσιάζουν τις τιμές των μεταβλητών του μοντέλου και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε διάφορες θέσεις ενδιαφέροντος, καθώς και την ποσοστιαία μεταβολή κάθε τιμής συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς, ώστε να είναι εμφανής η επίδραση κάθε παραμέτρου στο σύστημα.

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα σενάρια που περιλαμβάνει η ανάλυση ευαισθησίας. Γίνεται παράθεση των στοιχειομετρικών παραμέτρων και κινητικών που θα διερευνηθούν, οι τιμές αναφοράς τους και το εύρος μεταβολής τους στα πλαίσια της ανάλυσης ευαισθησίας.

α/α	Σενάριο ανάλυσης ευαισθησίας	Παράμετρος	Μικρότε	ρες τιμές	Τιμή	Μεγαλύτερες τιμές ελέγχου		
			EVE	γχου	αναφορας			
1	Επίδραση του συντελεστή απόδοσης ετεροτροφικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης	Y _H		0,500	0,600	0,670		
2	Επίδραση του συντελεστή απόδοσης αυτοτροφικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης	Y _{AUT}	0,150	0,200	0,240			
3	Επίδραση του συντελεστή απόδοσης πολυφωσφορικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης	Y _{PAO}		0,500	0,630	0,670		
4	Επίδραση του συντελεστή απαιτούμενου ΡΗΑ για αποθήκευση ΡΡ στην απόδοση της εγκατάστασης	Υ _{ΡΗΑ}		0,100	0,200	0,300		
5	Επίδραση της σταθεράς ρυθμού υδρόλυσης στην απόδοση της εγκατάστασης	K _h		2,000	3,000	4,000		
6	Επίδραση του συντελεστή κορεσμού σωματιδιακού COD στην απόδοση της εγκατάστασης	K _x		0,030	0,050	0,100		
7	Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ζύμωσης στην απόδοση της εγκατάστασης	q _{fe}		2,000	3,000	4,000		
8	Επίδραση του συντελεστή κορεσμού ζύμωσης στην απόδοση της εγκατάστασης	K _{fe}		4,000	10,000	20,000		
9	Επίδραση της σταθεράς αποθήκευσης ΡΗΑ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια στην απόδοση της εγκατάστασης	q _{pha}	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000
10	Επίδραση της σταθεράς αποθήκευσης ΡΡ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια στην απόδοση της εγκατάστασης	q _{pp}	1,500	2,500	3,000	4,000		
11	Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης πολυφωσφορικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης	μ _{ραο}		0,500	1,000	2,000		
12	Επίδραση του συντελεστή κορεσμού αμμωνιακού αζώτου των πολυφωσφορικών βακτηρίων στην απόδοση της εγκατάστασης	K _{NH4_PAO}		0,010	0,050	0,100		
13	Επίδραση του συντελεστή κορεσμού Ρ για την αποθήκευση ΡΡ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια στην απόδοση της εγκατάστασης	K _{PS}		0,100	0,200	0,300		
14	Επίδραση του συντελεστή κορεσμού Ρ για την ανάπτυξη των τριών ειδών βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης	K _P			0,001	0,050	0,100	
15	Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης	μ _{AUT}		0,600	0,680	0,800		

Πίνακας 4.3: Παράμετροι ανάλυσης ευαισθησίας.

4.3 Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας

4.3.1 Σενάριο 1: Επίδραση του συντελεστή απόδοσης ετεροτροφικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.1.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.4 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Euvrekestéç Eliadioseuv Euvégeiaç Trogeloguetgueéç tradêpéç $\lambda @uto Etepotpoguel juxpoopyanajoi: \lambda @uto' okukó: \mu_H 6,000 i_{NSp} 0,010 q_{re} 3,000 i_{NSp} 0,030 n_{No_Lh} 1,000 Eupartibiakó ukukó: b_H 0,620 i_{NXg} 0,030 K_{o_Lh} 0,200 i_{NSg} 0,040 K_F 4,000 i_{NMM} 0,070 K_{fe} 10,000 duadopocc: K_A h 4,000 i_{RSg} 0,010 K_{P,h} 0,010 K_{Mat,h} 0,050 i_{PS_1} 0,010 K_{Mat,h} 0,100 i_{rs_1} i_{PS_1} 0,010 R_{P,h} 0,000 i_{rs_1,h} 0,010 i_{PS_1} 0,010 R_{P,h} 0,000 i_{rs_2} 0,010 i_{rs_2} $	Πίνα	ακας 4.4: Τιμές παραμέτρι	υν σεναρίου 1 ανάλυσης ευαισθησίας				
$A[\omega ro EEEpotpopuolise µkpoopyavaaju0: \Delta ua \Delta urć u \lambda ucć: µH 6,000 i_{NS_{F}} 0,010 q_{fe} 3,000 i_{NS_{F}} 0,030 n_{NO_{L}h} 1,000 \Sigma u \mu arti \delta (u x b u k c): b_{H} 0,620 i_{NX_{S}} 0,030 K_{O_{L}h} 0,200 i_{NX_{S}} 0,040 K_{F} 4,000 d w a op opc: K_{A,h} 4,000 M_{abard} d w a op opc: K_{A,h} 0,000 K_{NIL,h} 0,050 i_{PX_{S}} 0,010 K_{P,h} 0,001 E_{PX_{S}} i_{PX_{S}} 0,010 R_{P,h} 0,001 i_{PX_{S}} i_{PS_{S}} 0,010 R_{P,h} 3,000 i_{rSS,N} 0,100 i_{PS_{S}} 0,010 R_{PA} 3,000 i_{rSS,N} 0,750 b_{PD} 0,200 i_{rSS,N} 0,750 b_{PD} 0,200 i_{rSS,N} 0,200 i_{rSS,N} 0,200 i_{rSS,N}$	Συντελεστές Εξισα	ώσεων Συνέχειας	Στοιχειομετρικές Σταθερές				
Διαλυτό υλικό: μ_{H} 6,000 $i_{NS_{f}}$ 0,010 q_{fe} 3,000 $i_{NS_{f}}$ 0,030 $n_{No_{h},h}$ 1,000 Σωματιδιακό υλικό: b_{H} 0,620 $i_{NX_{f}}$ 0,030 $K_{O_{h},h}$ 0,200 $i_{NX_{f}}$ 0,040 K_{F} 4,000 $i_{NS_{f}}$ 0,040 K_{F} 4,000 $diadpopoc;$ K_{A},h 4,000 $\delta_{adAvró}$ 0,500 $i_{PS_{f}}$ 0,000 $K_{Nt_{h},h}$ 0,500 $i_{PS_{f}}$ $i_{PS_{f}}$ 0,010 $K_{P,h}$ 0,001 $\Sigma_{adatrifylac}$ 0,010 $i_{PS_{f}}$ 0,010 $R_{P,h}$ 0,000 i_{ress} 0,100 $i_{PS_{f}}$ 0,010 R_{PhA} 3,000 i_{ress} 0,750 b_{PAO} 0,200 $i_{rrssk_{h}}$ 0,200 $i_{rrssk_{h}}$ 0,200 $i_{rrssk_{h}}$ 0,200 $i_{rrssk_{h}}$ 0,200 $i_{rrssk_{h}}$ 0,200 $i_{rrssk_{h}}$ 0,200 $i_$	Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργανι	σμοί:			
i_{NSF} 0.010 q_{fe} 3.000 i_{NSF} 0.030 $n_{NO_{k}h}$ 1.000 $i_{NS_{k}}$ 0.030 $K_{O_{k}h}$ 1.000 $i_{NS_{k}}$ 0.040 K_{F} 4.000 $i_{NS_{k}}$ 0.040 K_{F} 4.000 $i_{NS_{k}}$ 0.040 K_{F} 4.000 $diagopopc$: $K_{A,h}$ 4.000 $K_{NO_{k}h}$ 0.500 $diagopopc$: $K_{A,h}$ 0.000 $K_{NO_{k}h}$ 0.050 $i_{PS_{s}}$ 0.000 $K_{NL,h}$ 0.010 $i_{PA_{s}}$ $i_{PS_{s}}$ 0.010 R_{PA} 0.010 $i_{PA_{s}}$ $i_{PS_{s}}$ 0.010 q_{PP} 3.000 $i_{PA_{s}}$ 0.100 $i_{PS_{s}}$ 0.010 q_{PP} 3.000 $i_{PA_{s}}$ 0.200 $i_{PS_{s}}$ 0.020 q_{PP} 3.000 $i_{PA_{s}}$ 0.200 $i_{PA_{s}}$ 0.750 $b_{PA_{s}}$ 0.200 i_{SSS} i_{TSSSM} <	Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000			
Σωματιδιακό υλικό: $b_{\rm H}$ 0,620 l_{NX_I} 0,030 $K_{o_g,h}$ 0,200 l_{NS_S} 0,040 K_F 4,000 u_{NBM} 0,070 $K_{f,g}$ 10,000 $duadopooc:$ $K_{A,h}$ 4,000 $duadopooc:$ $K_{A,h}$ 4,000 $ual vicio:$ $K_{No,h}$ 0,050 l_{PS_I} 0,000 $K_{NIL,h}$ 0,050 l_{PS_K} 0,010 $R_{P,h}$ 0,010 $Zuµartiδiako uluko:$: $K_{ALK,h}$ 0,100 l_{PS_K} l_{PS_K} 0,010 $Rol-quadopopicak dastripica:$ l_{PS_K} 0,010 l_{PS_K} 0,010 R_{PH} 3,000 l_{ITSSK} 0,200 l_{TSSK_K} 0,750 b_{PA} 0,200 l_{TSSK_K} 0,200 I_{TSSK_K} 0,750 b_{PHA} 0,200 l_{TSSK} 0,200 $V_{Poloutori:}$ $K_{A nao}$ 4,000 $f_{S_I h}$ h_{OOD} I_{TSSK_K} 0	i _{NSF}	0,030	n_{NO_3-h}	1,000			
i_{NX_1} 0,030 $K_{D_p,h}$ 0,200 i_{NX_S} 0,040 K_F 4,000 i_{NBM} 0,070 $K_{f,e}$ 10,000 $d\bar{\omega}\sigma\phi\rho\rho_{0}c;$ $K_{A,h}$ 4,000 $\Delta ia\lambda Vrb \bar{\upsilon} kci;$ $K_{A,h}$ 0,050 i_{FS_1} 0,000 $K_{NL_h,h}$ 0,050 i_{FS_2} 0,010 $K_{P,h}$ 0,001 $z \omega \mu art \bar{\omega} a \omega \bar{\omega} \bar{\omega} u \lambda ci:$ $K_{ALK,h}$ 0,000 i_{FX_2} 0,010 $To \lambda - \varphi \omega \sigma \varphi u \rho \omega co \rho i k d a \kappa t h \rho i a:$ 1 i_{PBM} 0,020 q_{PP} 3,000 1 i_{TSSX_2} 0,750 b_{PA} 1,000 1 i_{TSSX_3} 0,750 b_{PP} 0,200 1 i_{TSSX_3} 0,750 b_{PP} 0,200 1 i_{TSSBM} 0,900 b_{PHA} 0,200 1 i_{TSSBM} 0,000 $K_{N_L,pao}$ 0,200 1 $f_{S_1,H}$ 0,000 $K_{PL,pao}$ 0,00	Σωματιδιακό υλικό:		$b_{ m H}$	0,620			
i_{NX_S} 0,040 K_F 4,000 i_{NMM} 0,070 K_{fe} 10,000 $dwapopoc:$ $K_{A,h}$ 4,000 $aud virb oluko:$ $K_{A,h}$ 0,500 i_{FSI} 0,000 $K_{MA,h}$ 0,050 i_{FS_1} 0,010 $K_{P,h}$ 0,001 i_{PX_s} 0,010 $R_{AiK,h}$ 0,000 i_{PX_s} 0,010 $Roluthichichichichichichichichichichichichich$	i _{NXI}	0,030	$K_{O_2,h}$	0,200			
i_{NBM} 0,070 $K_{F_{F}}$ 10,000 $d\dot{\mu}d\mu opop G_{C}$ $K_{A,h}$ 4,000 $\Delta ia\lambda ur \dot{b} v \lambda ix \dot{b}$ 0,000 $K_{MD_{A,h}}$ 0,050 $i_{FS_{T}}$ 0,000 $K_{NH_{A,h}}$ 0,001 $\dot{b}r_{S}$ 0,010 $K_{P,h}$ 0,001 $\dot{b}r_{X_{S}}$ 0,010 $R_{P,h}$ 0,000 $i_{PS_{M}}$ 0,010 q_{PHA} 3,000 $i_{PS_{M}}$ 0,020 q_{PP} 3,000 c_{ITSSN} 0,750 b_{PAO} 0,200 i_{TSSM} 0,750 b_{PAO} 0,200 i_{TSSM} 0,900 b_{PHA} 0,200 $\delta_{S_{I} pao}$ 0,200 $K_{A pao}$ 4,000 $f_{S_{I}}$ 0,000 $K_{NH_{L} pao}$ 0,200 $\delta_{F_{I} pao}$ 0,200 $K_{P} pao$ 0,200 $V p_{O} du oq_{I} u do_{I} do I K_{A pao}$ 0,200 $K_{I} pao$ 0,200 $V_{I} m do_{I} do I do I K_{A pao}$ 0,200 $K_{P} p_{I} do I do$	i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
Φώσφορος: $K_{A,h}$ 4,000 Διάλυτό ύλικό: $K_{NO_h,h}$ 0,500 l_{PS_I} 0,000 $K_{NI_h,h}$ 0,050 l_{PS_I} 0,010 $K_{P,h}$ 0,010 Σωματιδιακό υλικό: $K_{ALK,h}$ 0,100 l_{PS_K} 0,010 $Πoλ-φωσφορικά βακτήρια$: l_{PAR} l_{PRM} 0,020 q_{PP} 3,000 l_{PBM} 0,020 q_{PP} 3,000 l_{SSS_K} 0,750 b_{PP} 0,200 l_{TSSSM} 0,900 b_{PHA} 0,200 l_{TSSSM} 0,900 b_{PHA} 0,200 $Vρόλυση$: $K_A paa$ 4,000 K_{Spaa} $S_{TOQELOPTP}$ 0,200 $K_{PLA}paa$ 0,050 S_{I_S} 0,000 $K_{ML_R paa}$ 0,050 S_{I_S} 0,000 $K_{ML_R paa}$ 0,050 $I_{S,I,H}$ 0,100 $K_{ALK, paa}$ 0,010 f_{N,H_A} 0,100 $K_{ALK, paa}$ 0,100	i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Διαλυτό υλικό: $K_{NO_{4},h}$ 0,500 $l_{PS_{1}}$ 0,000 $K_{NH_{4},h}$ 0,055 $l_{PS_{3}}$ 0,010 $K_{P,h}$ 0,001 Σωματιδιακό υλικό: $K_{ALK,h}$ 0,100 $l_{PS_{3}}$ 0,010 $Rotore Research Rese$	Φώσφορος:		K_{A_h}	4,000			
i_{PS_I} 0,000 $K_{NH_A,h}$ 0,050 i_{PS_S} 0,010 $K_{P,h}$ 0,001 $\Sigma \omega \mu \alpha \tau \delta i \alpha \delta v \lambda i \delta \delta i v Construction in the experiment of th$	Διαλυτό υλικό:		K _{NO3 h}	0,500			
i_{PX_S} 0,010 $K_{P,h}$ 0,001 Σωματιδιακό υλικό: $K_{ALK,h}$ 0,100 i_{PX_I} 0,010 Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: i_{PX_S} i_{PSM} 0,020 q_{PP} 3,000 i_{PSM} 0,020 q_{PP} 3,000 0.020 q_{PP} 3,000 i_{TSSX_k} 0,750 b_{PAO} 0,200 i_{TSSSM} 0,750 b_{PP} 0,200 i_{TSSM} 0,200 i_{TSSM} 0,900 b_{PHA} 0,200 i_{TSSM} 0,200 i_{TSSM} 0,900 $k_{ALR,pao}$ 0,200 i_{SI} i_{TSSM} 0,900 K_{RA} 0,200 i_{SI} i_{TSSM} 0,900 k_{PAO} 0,200 i_{SI} i_{TSSM} 0,900 K_{PAO} 0,200 i_{SI} i_{TSSM} 0,900 k_{RA} 0,200 i_{SI} 0,001 f_{S_1} 0,000 K_{NHA} 0,200 i_{SI} <td< td=""><td>i_{PSI}</td><td>0,000</td><td>$K_{NH_4}h$</td><td>0,050</td></td<>	i _{PSI}	0,000	$K_{NH_4}h$	0,050			
Σωματιδιακό υλικό: $K_{ALK,h}$ 0,100 i_{PX_I} 0,010 Πολυ-φωσφορικά βακτήρια:	i _{PXs}	0,010	K_{P_h}	0,001			
i_{PX_I} 0,010 Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: i_{PX_S} 0,010 q_{PHA} 3,000 i_{PBM} 0,020 q_{PP} 3,000 Ολικά αιωρούμενα στερεά: μ_{PAO0} 1,000 i_{TSSX_h} 0,750 b_{PAO} 0,200 i_{TSSBM} 0,900 b_{PHA} 0,200 \bar{t}_{TSSBM} 0,900 b_{PHA} 0,200 \bar{t}_{TSSBM} 0,900 b_{PHA} 0,200 \bar{t}_{TSSBM} 0,900 b_{PHA} 0,200 \bar{t}_{TSSBM} 0,900 k_{Apao} 4,000 f_{S_1} 0,000 $K_{NH_A pao}$ 0,050 Etepotpoфusoi μικροοργανισμοί: X _H K_{PS} 0,200 Y_{H} 0,50-0,60-0,67 $K_{P,pao}$ 0,010 Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: X _{PRO} 0,100 $K_{ALK,pao}$ 0,100 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} Y_{PAO	Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100			
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρια				
i_{PBM} 0,020 q_{PP} 3,000 Ολικά αιωρούμενα στερεά: μ_{PAO} 1,000 i_{TSSX_1} 0,750 b_{PAO} 0,200 i_{TSSX_5} 0,750 b_{PP} 0,200 i_{TSSK_5} 0,750 b_{PP} 0,200 i_{TSSEM} 0,900 b_{PHA} 0,200 $Voteouetpowetpowetosites construction to the state of the $	i_{PX_S}	0,010	q_{PHA}	3,000			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ_{PAO}	1,000			
$i_{TSSX_{\varsigma}}$ 0,750 b_{PP} 0,200 i_{TSSBM} 0,900 b_{PHA} 0,200 Στοιχειομετρικές Σταθερές $K_{02,pao}$ 0,200 $Y\delta\rho\delta\lambda\sigma\eta$: $K_A pao$ 4,000 f_{Sl} 0,000 $K_{NH_a,pao}$ 0,050 Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: X _H K_{PS} 0,200 Y_H 0,50-0,60-0,67 $K_{P,pao}$ 0,000 $f_{L,H}$ 0,100 $K_{ALK,pao}$ 0,100 $f_{N_L,H}$ 0,100 $K_{ALK,pao}$ 0,100 V_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} 0,400 K_{IPP} 0,010 Y_{PAO} 0,100 Autoropoguaviduoli: Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} μ_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{K_LAUT} 0,100 $K_{02,aut}$ 0,500 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,500 Y_{AUT} 0,200 $K_{P,aut}$ 0,500 <td>i_{TSSXI}</td> <td>0,750</td> <td>b_{PAO}</td> <td>0,200</td>	i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i_{TSSBM} 0,900 b_{PHA} 0,200 Στοιχειομετρικές Σταθερές $K_{O_2,pao}$ 0,200 Υδρόλυση: $K_A pao$ 4,000 f_{S_l} 0,000 $K_{NH_A pao}$ 0,050 Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: X _H K_{PS} 0,200 Y_H 0,50-0,60-0,67 K_{P_pao} 0,001 $f_{X_L,H}$ 0,100 $K_{ALK,pao}$ 0,100 Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: X _{PAO} K_{PP} 0,010 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} 0,400 K_{IPP} 0,020 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} 0,400 K_{IPP} 0,020 Y_{PHA} 0,200 K_{PHA} 0,010 f_{X_LPAO} 0,100 Autoropoqukoi μικροοργανισμοί: K_{AUT} Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X_{AUT} V_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,500 $K_{R_L aut}$ 0,500	i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
Στοιχειομετρικές Σταθερές $K_{O_2, pao}$ 0,200 Υδρόλυση: $K_{A pao}$ 4,000 f_{S_1} 0,000 $K_{NH_4, pao}$ 0,050 Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: X _H K_{PS} 0,200 Y_H 0,50-0,60-0,67 $K_{P,pao}$ 0,001 $f_{X_L,H}$ 0,100 $K_{ALK, pao}$ 0,100 Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: X _{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} 0,400 K_{IPP} 0,020 Y_{PHA} 0,200 K_{PHA} 0,010 f_{X_LPAO} 0,100 Auτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 $f_{X_L,AUT}$ 0,100 $K_{O_2,aut}$ 0,500 Y_{AD} 0,200 $K_{RH_A,aut}$ 1,000 K_h 3,000 $K_{ALK,aut}$ 0,500 $N_{NG_A,hyd}$ 0,600 $K_{P,aut}$ 0,001 n_{fe} 0,100 <	i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Υδρόλυση: $K_{A pao}$ 4,000 f_{S_l} 0,000 $K_{NH_4,pao}$ 0,050 Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: X _H K_{PS} 0,200 Y_H 0,50-0,60-0,67 $K_{P,pao}$ 0,001 f_{X_LH} 0,100 $K_{ALK,pao}$ 0,100 Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: X _{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PAO} 0,400 K_{IPP} 0,020 Y_{PAA} 0,200 K_{PHA} 0,010 f_{X_LPAO} 0,100 Aυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: K_{AUT} Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} ΨAUT 0,680 Y_{AUT} f_{X_LAUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{X_LAUT} Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{X_LAUT} 0,500 Y_{Bo} 0,100 $K_{O_2,aut}$ 0,500 $K_{RLK,aut}$ 0,500 Y_{AUT} 0,600 $K_{P,aut}$ 0,001 n_{re} 0,001	Στοιχειομετρι	κές Σταθερές	K _{O2_pao}	0,200			
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000			
Ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί: X _H K_{PS} 0,200 Y_H 0,50-0,60-0,67 $K_{P,pao}$ 0,001 f_{X_LH} 0,100 $K_{ALK,pao}$ 0,100Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: X _{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} 0,400 K_{IPP} 0,020 Y_{PHA} 0,200 K_{PHA} 0,010 f_{X_LPAO} 0,100Aυτοτροφικοί μικροοργανισμοί:Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} μ_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{X_LAUT} 0,100 $K_{O_2,aut}$ 0,500 $Y_{\delta}ρόλυση$: $K_N M_{4,aut}$ 1,000 K_h 3,000 $K_{ALK,aut}$ 0,500 n_{fe} 0,100 $K_{ORA} M_{PRE}$ 1,000 $K_{O_2,hyd}$ 0,200 K_{PRE} 1,000 $K_{NO_3,hyd}$ 0,500 K_{RED} 0,500 $K_{ALK,pre}$ 0,500 $K_{ALK,pre}$ 0,500	f_{S_I}	0,000	K _{NH4} pao	0,050			
Y_H 0,50-0,60-0,67 K_{P_Dao} 0,001 f_{X_LH} 0,100 K_{ALK_Pao} 0,100Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: X_{PAO} K_{PP} 0,010 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PAO} 0,400 K_{IPP} 0,020 Y_{PHA} 0,200 K_{PHA} 0,010 f_{X_LPAO} 0,100Aυτοτροφικοί μικροοργανισμοί:Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X_{AUT} μ_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{X_LAUT} 0,100 $K_{O_2.aut}$ 0,500 $Y\deltaρόλυση$: $K_{NH_4.aut}$ 1,000 K_h 3,000 K_{ALK_aut} 0,500 $n_{NO_3.hyd}$ 0,600 $K_{P.aut}$ 0,001 n_fe 0,100 $Kaτακρήμνιση$: K_{RED} 0,600 K_X 0,050 $K_{ALK pre}$ 0,500	Ετεροτροφικοί μικροοργαν	ισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Y_H	0,50-0,60-0,67	K _{P_pao}	0,001			
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια: X_{PAO} K_{PP} 0,010 Y_{PAO} 0,630 K_{MAX} 0,340 Y_{PO_A} 0,400 K_{IPP} 0,020 Y_{PHA} 0,200 K_{PHA} 0,010 f_{X_LPAO} 0,100Aυτοτροφικοί μικροοργανισμοί:Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} μ_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{x_LAUT} 0,100 $K_{O_2.aut}$ 0,500 $Y\deltaρόλυση$: $K_{NH_4.aut}$ 1,000 K_h 3,000 K_{ALK_aut} 0,500 n_{fe} 0,100 $Katakpήμνιση$: $K_{O_2.hyd}$ $K_{Q_2.hyd}$ 0,200 K_{PRE} 1,000 K_{X} 0,050 K_{ALK_pre} 0,500	$f_{X_{L}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Πολυ-φωσφορικά βακτήριο	ι: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y_{PHA} 0,200 K_{PHA} 0,010 f_{X_LPAO} 0,100 Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: 0,680 Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} μ_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{x_LAUT} 0,100 $K_{O_2,aut}$ 0,500 $Y\delta\rho\delta\lambda u\sigma\eta$: $K_{NH_4,aut}$ 1,000 K_h 3,000 $K_{ALK,aut}$ 0,500 $n_{NO_3,hyd}$ 0,600 $K_{P,aut}$ 0,001 n_{fe} 0,100 $Karaκρήμνιση$: 1,000 $K_{NO_3,hyd}$ 0,200 K_{PRE} 1,000 K_{X} 0,050 $K_{ALK,pre}$ 0,500	Y _{PO}	0,400	K _{IPP}	0,020			
f_{X_LPAO} 0,100 Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} μ_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{X_LAUT} 0,100 $K_{O_2.aut}$ 0,500 $Y\delta\rho\delta\lambda vo\eta$: $K_{NH_4.aut}$ 1,000 K_h 3,000 $K_{ALK.aut}$ 0,500 $n_{NO_3.hyd}$ 0,600 $K_{P.aut}$ 0,001 n_{fe} 0,100 $Kaτακρήμνιση$: $K_{O_2.hvd}$ $K_{O_2.hyd}$ 0,200 K_{PRE} 1,000 K_{X} 0,050 $K_{ALK.pre}$ 0,500	Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
Αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί: X _{AUT} μ_{AUT} 0,680 Y_{AUT} 0,240 b_{AUT} 0,120 f_{X_LAUT} 0,100 $K_{O_2_aut}$ 0,500 $Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta$: K_{NH4_aut} 1,000 K_h 3,000 K_{ALK_aut} 0,500 $n_{NO_3_hyd}$ 0,600 K_{P_aut} 0,001 n_{fe} 0,100 $Kata \kappa \rho \dot{\mu} v \iota \sigma \eta$: $K_{O_2_hyd}$ $K_{NO_3_hyd}$ 0,200 K_{RED} 1,000 K_X 0,050 K_{ALK_pre} 0,500	f _{XI_PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργανια	σμοί:			
$\begin{array}{ c c c c c c c c }\hline Y_{AUT} & 0,240 & b_{AUT} & 0,120 \\\hline f_{X_{1_AUT}} & 0,100 & K_{O_{2_aut}} & 0,500 \\\hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & \\ V\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & & & & & & & \\ \hline Y\delta\rho\delta\lambda v\sigma\eta & & & & & & & & & & & & & & & & & & &$	Αυτοτροφικοί μικροοργανια	σμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120			
Υδρόλυση: K_{NH_4aut} 1,000 K_h 3,000 K_{ALK_aut} 0,500 $n_{NO_3,hyd}$ 0,600 K_{P_aut} 0,001 n_{fe} 0,100 $Katakphµviση$: 1,000 $K_{O_2,hyd}$ 0,200 K_{PE} 1,000 $K_{NO_3,hyd}$ 0,500 K_{RED} 0,600 K_X 0,050 $K_{ALK,pre}$ 0,500	f _{XI} AUT	0,100	$K_{O_2,aut}$	0,500			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Υδρόλυση:		K _{NH4} aut	1,000			
$ \begin{array}{ c c c c c c c c } \hline n_{NO_3,hyd} & 0,600 & K_{P_aut} & 0,001 \\ \hline n_{fe} & 0,100 & \textit{Katakphuvish}: \\ \hline K_{O_2,hyd} & 0,200 & K_{PRE} & 1,000 \\ \hline K_{NO_3,hyd} & 0,500 & K_{RED} & 0,600 \\ \hline K_X & 0,050 & K_{ALK,pre} & 0,500 \\ \hline \end{array} $	K _h	3,000	K _{ALK_aut}	0,500			
	n _{NO3_hyd}	0,600	K _{P_aut}	0,001			
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:				
	$K_{O_2 hyd}$	0,200	K _{PRE}	1,000			
<i>K_X</i> 0,050 <i>K_{ALK pre}</i> 0,500	K _{NO3_hyd}	0,500	K _{RED}	0,600			
	K _X	0,050	K _{ALK pre}	0,500			

4.3.1.2 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής απόδοσης ετεροτροφικής βιομάζας Υ_Η προσδιορίζει την παραγόμενη ετεροτροφική βιομάζα στο σύστημα, ως προς την καταναλισκόμενη οργανική ύλη. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,50 έως 0,67, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 0,60.

4.3.1.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Καθώς ο συντελεστής Υ_Η σχετίζεται με την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών, είναι επόμενο ότι η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου θα επηρεάσει τις διεργασίες που σχετίζονται με τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς, δηλαδή την αερόβια ανάπτυξή τους και την ανοξική ανάπτυξή τους – απονιτροποίηση.

πινακάς 4.5. Ζυγκεντρωσείς οργανικών και ολικών	αιωρουμένων διέρεων διο αναμικίο υγρό δυναριήδει της παραμειρού ΥΗ.
	Βιοαντιδραστήρας

				Βιοαντιορ	οαστηρας		
v		MLVSS	MIVSS	MLSS	MISS	MLSS	MISS
¹ H		(g VSS/m ³)	IVIL V 55	(g COD/m ³)	IVILOO	(g TSS/m ³)	IVIL55
0,50	-16,67%	2460,15	-11,27%	3032,88	-10,80%	3720,06	-7,33%
0,60 0,00%		2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%
0,67 11,67%		3088,91	11,41%	3776,98	11,09%	4288,00	6,82%

Πράγματι, όπως παρατηρούμε στον Πίνακα 4.5, αυξάνοντας το Y_H από 0,60 σε 0,67, δηλαδή το ποσοστό της παραγόμενης βιομάζας, αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό. Οι συγκεντρώσεις μειώνονται, αντίστοιχα, με τη μείωση του συντελεστή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Σημειώνεται ότι, ειδικά για τα οργανικά αιωρούμενα στερεά και τα ολικά στερεά σε όρους COD, οι μεταβολές των συγκεντρώσεων εμφανίζονται μεγαλύτερες από 10%.



Σχήμα 4.1: Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Υ_Η.

			Δεξαμενή αερισμού									
Y _H		SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR1	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR2	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR3	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR4	SOTR (kgO ₂ /h)	SOTR	
0,50	-16,67%	954,70	2,28%	749,76	3,36%	382,87	4,28%	284,95	5,76%	2372,01	3,34%	
0,60	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%	
0,67	11,67%	904,60	-3,08%	700,77	-3,39%	355,29	-3,23%	262,09	-2,72%	2222,49	-3,17%	

Πίνακας 4.6: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Υ_H.

Σχετικά με τη ζήτηση οξυγόνου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.6, το απαιτούμενο οξυγόνο ανά διαμέρισμα της δεξαμενής αερισμού αυξάνεται με τη μείωση της παραμέτρου Υ_H. Το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο, καθώς η μείωση του συντελεστή μεταφράζεται σε λιγότερη παραγόμενη βιομάζα. Επομένως, απ' την οργανική ύλη που καταναλώθηκε συνολικά, μικρότερη ποσότητα χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών και μεγαλύτερη ποσότητα οξειδώθηκε σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Αντίστοιχα, η αύξηση του συντελεστή συνεπάγεται μείωση του απαιτούμενου οξυγόνου. Πρέπει να σημειωθεί ότι, παρόλο που τα ποσοστά μεταβολής των απαιτούμενων συγκεντρώσεων του οξυγόνου είναι σχετικά χαμηλά, με τη μεγαλύτερη μεταβολή να καταγράφεται στο 5,76% στο 4° διαμέρισμα, εντούτοις το απαιτούμενο οξυγόνο αποτελεί μια σημαντική παράμετρο γιατί επηρεάζει το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.



Σχήμα 4.2: Συγκέντρωση περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου $Y_{\rm H}.$

				τή σου της παιο αυτότο ου Μ
ΤΠΛάκας 4.7. Ζυνκεντρώση	Ουνανικών και υλικ	ων οτερεων περιο	ισειας ιλυος συναρ	τησει της παραμετρού τμ.

		Περίσσεια ιλύος								
Y	Ин	VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su			
0,50	-16,67%	6146,73	-0,10%	6730,78	-10,78%	8256,50	-7,31%			
0,60 0,00%		6152,69 0,00%		7544,35	0,00%	8908,05	0,00%			
0,67 11,67%		6167,77	0,25%	8381,54	11,10%	9515,93	6,82%			

Ο Πίνακας 4.7 και το Σχήμα 4.2 παρουσιάζουν τις συγκεντρώσεις των στερεών στη βιολογική ιλύ. Είναι φανερό, ότι η επίδραση του Υ_Η στις συγκεντρώσεις των στερεών στην περίσσεια της ιλύος είναι ανάλογη με εκείνη που παρατηρήθηκε στο ανάμικτο υγρό. Καθώς ο βαθμός συμπύκνωσης που επιτυγχάνεται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης θεωρείται σταθερός, η

αύξηση των αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών στην ιλύ που καθιζάνει και, μάλιστα, οι μεταβολές που παρατηρούνται στο Su είναι ίδιας τάξης μεγέθους με εκείνες στη δεξαμενή αερισμού, δηλαδή μεγαλύτερες του 10%.

					I	H.					
				L	Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	x		
Y _H		Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,50	-16,67%	0,72	0,00%	1,10	-1,65%	12,31	-6,76%	2,38	-7,13%	14,70	-6,82%
0,60	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
0,67	11,67%	0,72	0,00%	1,20	7,42%	14,10	6,74%	2,82	10,11%	16,92	7,29%
Y _H		TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,50	-16,67%	4,24	-6,50%	22,83	-10,57%	1,92	-17,07%	59,51	-5,05%	30215,98	-7,01%
0,60	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
0,67	11,67%	4,99	9,98%	28,38	11,14%	2,72	17,86%	66,20	5,62%	35100,55	8,02%

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Υ_H.

Αναφορικά με τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα που υπερχειλίζουν από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης, όπως είναι εμφανές απ' τον Πίνακα 4.8, η μεταβολή του Υ_Η έχει επίδραση σε αρκετές παραμέτρους της ποιότητας εκροής.



Σχήμα 4.3: BOD εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ_H.

Η κυριότερη επίδραση είναι η μεταβολή του BOD εξόδου (Σχήμα 4.3), το οποίο αυξάνεται κατά 17,86% για Y_H ίσο με 0,67 και μειώνεται κατά 17,07% για Y_H ίσο με 0,50. Οι αυξομειώσεις αυτές οφείλονται στις μεταβολές της συγκέντρωσης της βιομάζας που έχουν επηρεάσει τη συγκέντρωση των στερεών στο ανάμικτο υγρό και στη συνέχεια τις συγκεντρώσεις των στερεών που φεύγουν στην έξοδο της εγκατάστασης. Τα αντίστοιχα ποσοστά του COD, παρόλο που έχουν επηρεαστεί, δεν δείχνουν τις τάσεις του BOD, με τις μεταβολές να παραμένουν λίγο

μεγαλύτερες από 5%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το COD καταγράφει και τις μη βιοδιασπάσιμες ενώσεις, με αποτέλεσμα να μειώνεται αναλογικά η συνεισφορά της βιομάζας στον υπολογισμό του.



Σχήμα 4.4: Συγκέντρωση θρεπτικών στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου Υ_H.

Επιπλέον, καταγράφονται μεταβολές μεγαλύτερες του 6,50% στο ολικό άζωτο και τον ολικό φώσφορο, στην έξοδο της εγκατάστασης. Τα θρεπτικά αυτά, αποτελούν συστατικό των κυττάρων των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα οι μεταβολές των συγκεντρώσεων της βιομάζας, ως στερεά, στην έξοδο να επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις τους (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.5: Δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Υ_H.

Σημειώνεται ότι η αύξηση στο ΤΚΝ για Υ_Η ίσο με 0,67 οφείλεται στη συνεισφορά τόσο των μικροοργανισμών όσο και των νιτρικών. Τα νιτρικά αυξάνονται λόγω της μειωμένης απονιτροποίησης που παρατηρείται με την αύξηση του συντελεστή.

Συνολικά, οι παράμετροι που προαναφέρθηκαν επιφέρουν μεταβολή του δείκτη ποιότητας εκροής EQI (Σχήμα 4.5). Συγκεκριμένα, η αύξηση του Y_H έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση την ημερήσιας επιβάρυνσης του αποδέκτη με ρυπαντικό φορτίο, ενώ η μείωση του Y_H επιδρά αντίθετα.

Οι παροχές της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, όπως καταγράφονται στον Πίνακα 4.9, πρακτικά δεν μεταβάλλονται με την αλλαγή του Υ_Η, όπως και η συγκέντρωση της πρωτοβάθμιας ιλύος, καθώς στην δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δεν λαμβάνουν χώρα βιολογικές διεργασίες. Αντίθετα η συγκέντρωση της περίσσειας ιλύος και η ροή μάζας της εμφανίζουν μεταβολές της τάξης του 5,50-7,50%, τάξη μεγέθους που ανταποκρίνεται στα μεγέθη που προαναφέρθηκαν για τις συγκεντρώσεις στερεών.

Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος					
Y _H		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
0,50	-16,67%	1318,12	-0,12%	19771,85	-0,12%	896,01	0,87%	8256,50	-7,31%	7397,95	-6,51%
0,60	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
0,67	11,67%	1321,13	0,11%	19816,93	0,11%	879,76	-0,96%	9515,93	6,82%	8371,77	5,80%

Πίνακας 4.9: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_Η.

Πίνακας 4.10: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Υ_Η.

			Στραγγίδια									
Y	/ H	Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄			
0,50	-16,67%	2165,13	0,33%	925,26	-2,27%	176,06	-2,08%	20,28	-2,16%			
0,60	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%			
0,67	11,67%	2150,05	-0,37%	966,69	2,11%	183,32	1,96%	21,21	2,36%			

Τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων, καθώς και η συνεισφορά τους στα προεπεξεργασμένα λύματα, ελάχιστα μεταβάλλονται κατά την αύξηση και μείωση του Υ_Η. Λεπτομερείς υπολογισμοί παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.10 και 4.11.

Πίνακας 4.11: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Υ_Η.

			Στραγγίδια/Προεπεξεργασμένα λύματα										
Ň	Ин	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,50	-16,67%	6,58%	-1,89%	10,35%	-1,80%	12,77%	-1,53%	18,46%	-0,95%	8,13%	-1,69%	6,08%	-1,83%
0,60	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
0,67	11,67%	6,83%	1,79%	10,71%	1,63%	13,15%	1,37%	18,69%	0,28%	8,42%	1,82%	6,29%	1,62%

Αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια, κατά την αύξηση του Υ_Η από 0,60 σε 0,67 μειώνεται η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια λόγω μειωμένης απαίτησης αερισμού των λυμάτων για την κατανάλωση οργανικού άνθρακα. Παράλληλα, αυξάνεται η παραγόμενη ενέργεια λόγω αύξησης της παραγωγής βιοαερίου από την αυξημένη συγκέντρωση οργανικών στερεών της βιολογικής ιλύος. Επομένως, Το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται. Τα αποτελέσματα είναι αντίστροφα για μείωση του συντελεστή από 0,60 σε 0,50, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 4.12.

		Ηλεκτρική ενέργεια										
Ŷ	, Н	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας					
0,50	-16,67%	24193,13	-3,45%	29404,35	1,25%	82,28%	-4,64%					
0,60	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%					
0,67	11,67%	25931,70	3,49%	28718,37	-1,11%	90,30%	4,65%					
kWh/m ³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)					
47,43%	1,25%	69,14%	0,78%	885,51%	-0,78%	4015,35%	-1,28%					
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%					
46,32% -1,11%		68,19%	-0,60%	902,32%	1,10%	4186,31%	2,93%					

Πίνακας 4.12: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου ΥΗ.



Σχήμα 4.6: Θερμική ενέργεια εγκατάστασης συναρτήσει της παραμέτρου Υ_H.

Σχετικά με το βιοαέριο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.13, η αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου συνεπάγεται αύξηση της διαθεσιμότητας θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης. Οι απαιτήσεις θέρμανσης της ιλύος ελάχιστα μεταβάλλονται, καθώς δεν παρατηρείται αύξηση στην παροχή της ιλύος αλλά μόνο της συγκέντρωσής της σε οργανικό υλικό, με αποτέλεσμα να υπάρχει όφελος της τάξης του 4,37% στην περίσσεια θερμικής ενέργειας. Το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει τις μεταβολές της παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας της εγκατάστασης.

		Βιοαέριο									
Y	, Н	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο				
0,50	-16,67%	59,44	-3,45%	29,72	-3,45%	20,80	-3,45%				
0,60	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%				
0,67	11,67%	63,71	3,49%	31,85	3,49%	22,30	3,49%				
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)				
8,92	-3,45%	10,07	-1,96%	19,64	-4,20%	295,03%	-1,52%				
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%				
9,56	3,49%	10,45	1,73%	21,40	4,37%	304,75%	1,73%				

Πίνακας 4.13: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Υ_H.

4.3.2 Σενάριο 2: Επίδραση του συντελεστή απόδοσης αυτοτροφικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.2.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.14 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

	Πίνακας 4.14: Τιμές παραμέτρ	μέτρων σεναρίου 2 ανάλυσης ευαισθησίας				
Συντελεστές	Εξισώσεων Συνέχειας	Στοιχειομε	ετρικές Σταθερές			
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργαν	νισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000			
i _{NSF}	0,030	n _{NO3-h}	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		b _H	0,620			
i _{NXI}	0,030	K ₀₂ _h	0,200			
i _{NXs}	0,040	K_F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Φώσφορος:		K _{A_h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		$K_{NO_3 h}$	0,500			
i _{PSI}	0,000	$K_{NH_4_h}$	0,050			
i_{PX_S}	0,010	K_{P_h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:	-	K_{ALK_h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	α:			
i _{PXs}	0,010	q_{PHA}	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεα	ź:	μ_{PAO}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειοι	μετρικές Σταθερές	K _{O2} pao	0,200			
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000			
f_{S_I}	0,000	$K_{NH_{A}}$ pao	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροορ	ογανισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y_H	0,600	K_{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακ	τήρια: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y_{PO_4}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
f _{XI_PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργανι	σμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροορ	γανισμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0,15-0,20-0,24	b _{AUT}	0,120			
$f_{X_{I}AUT}$	0,100	$K_{O_2 aut}$	0,500			
Υδρόλυση:	• • •	$K_{NH_{4}}$ aut	1,000			
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500			
n _{NO3-hyd}	0,600	K_{P_aut}	0,001			
n _{fe}	0,100	 Κατακρήμνιση:	·			
K _{O2 hyd}	0,200	K _{PRE}	1,000			
K_{NO_3-hyd}	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,050	KALK nre	0,500			

4.3.2.2 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής απόδοσης αυτοτροφικής βιομάζας Υ_{Αυτ} προσδιορίζει την παραγόμενη αυτοτροφική βιομάζα στο σύστημα, ως προς το νιτρικό άζωτο. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος από 0,15 έως 0,24, με τιμή του σεναρίου αναφοράς το 0,24.

4.3.2.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Όπως προαναφέρθηκε, ο συντελεστής Υ_{Αυτ} εκφράζει την αναλογία αυτοτροφικής βιομάζας και νιτρικού αζώτου και αύξησή του μεταφράζεται σε αύξηση της παραγόμενης βιομάζας. Παρόλα αυτά πρέπει να αναφερθεί ότι οι αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί στο σύστημα αντιπροσωπεύουν, περίπου, το 6-8% της συνολικής βιομάζας, δηλαδή η συνεισφορά τους είναι μικρή στη συνολική συγκέντρωση και δεν αναμένεται η μεταβολή του Υ_{Αυτ} να επηρεάσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις στερεών στις δεξαμενές της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.15: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

			Βιοαντιδραστήρας								
۲ _۴	JUT	MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS				
0,15	-37,50%	2730,87	-1,51%	3353,85	-1,36%	3962,47	-1,29%				
0,20 -16,67%		2756,39	-0,59%	3382,25	-0,52%	3992,27	-0,54%				
0,24 0,00%		2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%				

Πίνακας 4.16: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

			Δεξαμενή αερισμού										
Y,	лт	SOTR1	SOTR1	SOTR2	SOTR2	SOTR3	SOTR3	SOTR4	SOTR4	SOTR	SOTR		
, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,		(kgO ₂ /h)		(kgO_2/h)		(kgO_2/h)		(kgO_2/h)		(kgO ₂ /h)			
0,15	-37,50%	963,72	3,25%	743,99	2,56%	367,52	0,10%	253,28	-5,99%	2328,38	1,44%		
0,20	-16,67%	952,35	2,03%	736,73	1,56%	366,76	-0,11%	257,70	-4,35%	2313,40	0,79%		
0,24	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%		

Πίνακας 4.17: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

			Περίσσεια ιλύος										
Y _P	JUT	VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su						
0,15	-37,50%	6060,12	-1,50%	7442,00	-1,36%	8793,61	-1,28%						
0,20 -16,67%		6116,74	-0,58%	7505,00	-0,52%	8859,72	-0,54%						
0,24 0,00%		6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%						

Πράγματι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.15, πολύ μικρές μεταβολές παρατηρούνται στη συγκέντρωση στερεών του ανάμικτου υγρού, ενώ και η συνολική απαίτηση οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 4.16, μεταβάλλεται ελάχιστα.

Ανάλογη εικόνα παρουσιάζεται, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.17, στα χαρακτηριστικά της περίσσειας ιλύος ως προς τη συγκέντρωση στερεών. Συγκεκριμένα, δεν παρατηρούνται μεταβολές μεγαλύτερες του 1,5%., είτε ο υπολογισμός γίνεται σε όρους οργανικών και ολικών στερεών, είτε γίνεται σε όρους COD.

					IA	.UT•					
				L	Δευτεροβα	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	X		
Y	AUT	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO₃e (mg/I)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,15	-37,50%	0,72	0,00%	0,75	-33,24%	13,42	1,62%	2,17	-15,47%	15,59	-1,16%
0,20	-16,67%	0,72	0,00%	0,84	-25,00%	13,34	1,02%	2,28	-11,27%	15,62	-0,98%
0,24	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
Y	AUT	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,15	-37,50%	4,69	3,51%	25,09	-1,74%	2,23	-3,34%	62,26	-0,67%	32373,60	-0,37%
0,20	-16,67%	4,62	1,88%	25,35	-0,72%	2,28	-1,32%	62,52	-0,26%	32371,58	-0,38%
0,24	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%

Πίνακας 4.18: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

Αναφορικά με την ποιότητα της δευτεροβάθμια επεξεργασμένης εκροής, ο δείκτης ποιότητας εκροής, πρακτικά, παραμένει αμετάβλητος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.18, το ίδιο και η συγκέντρωση του COD εξόδου, ενώ ελάχιστη μεταβολή παρατηρείται στο BOD λόγω της μείωσης της βιομάζας. Σταθερά παραμένουν τα ολικά αιωρούμενα στερεά, ενώ μικρή αύξηση, της τάξης του 3.51%, εμφανίζεται στο TP εξόδου λόγω μείωσης της βιομάζας που δεσμεύει



Σχήμα 4.7: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

Σημαντικότερη μεταβολή παρουσιάζεται στο ΤΚΝ, το οποίο μειώνεται έως 15,47%, λόγω της συνεισφοράς του αμμωνιακού αζώτου (Σχήμα 4.7), το οποίο εμφανίζει μείωση 33,24%. Το αμμωνιακό άζωτο, σύμφωνα με το μοντέλο, παράγεται από τις διεργασίες της υδρόλυσης και την αποσύνθεση των νιτροποιητών. Κατά συνέπεια, η μειωμένη ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας οδηγεί σε μείωση των μικροοργανισμών που φθείρονται δηλαδή μείωση του διαθέσιμου, προς υδρόλυση και αμμωνιοποίηση, οργανικού αζώτου.

			11	1 F F	,	the second second	···· , · · · · · , ·		- 1,	101			
	Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος						
Y _{AUT}		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su		
0,15	-37,50%	1319,42	-0,02%	19791,36	-0,02%	889,21	0,11%	8793,61	-1,28%	7819,35	-1,18%		
0,20	-16,67%	1319,59	-0,01%	19793,83	-0,01%	888,62	0,04%	8859,72	-0,54%	7872,90	-0,50%		
0,24	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%		

Πίνακας 4.19: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

Πίνακας 4.20: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

			Στραγγίδια										
Y _{AUT}		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄				
0,15	-37,50%	2158,83	0,04%	943,02	-0,39%	179,02	-0,43%	20,73	0,02%				
0,20	-16,67%	2158,30	0,01%	945,16	-0,16%	179,43	-0,21%	20,73	0,04%				
0,24	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%				

Πίνακας 4.21: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα										
Y,	AUT	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,15	-37,50%	6,69%	-0,29%	10,51%	-0,28%	12,92%	-0,34%	18,57%	-0,36%	8,28%	0,05%	6,17%	-0,33%
0,20	-16,67%	6,70%	-0,12%	10,52%	-0,13%	12,95%	-0,17%	18,61%	-0,17%	8,28%	0,05%	6,18%	-0,14%
0,24	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%

Σύμφωνα με τα στοιχεία των Πινάκων 4.19, 4.20 και 4.21 καμία σημαντική μεταβολή δεν επιφέρει η μεταβολή της παραμέτρου Υ_{ΑUT} στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια ιλύ και τα στραγγίδια, ως προς τις παροχές, τις συγκεντρώσεις των στερεών και τη συνεισφορά τους στα εισερχόμενα προεπεξεργασμένα λύματα.

Τέλος, όπως είναι εμφανές στους Πίνακες 4.22 και 4.23 ουδεμία ουσιαστική μεταβολή δεν παρατηρείται στο βιοαέριο και την ηλεκτρική ενέργεια που παράγονται από τη χώνευση της ιλύος. Αντίστοιχα δεν παρατηρείται και μεταβολή της ενέργειας που καταναλώνεται από την εγκατάσταση.

Ελάχιστη αύξηση, έως 2,21%, της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh ως προς τα kg P που απομακρύνονται οφείλεται στη μειωμένη απομάκρυνση P. Όπως προαναφέρθηκε, στα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα παρατηρείται αύξηση του ολικού φωσφόρου, δηλαδή λιγότερος φώσφορος δεσμεύεται σε βιομάζα και απομακρύνεται μέσω της ιλύος. Επομένως, στο κλάσμα της παραγόμενης ενέργειας προς τη μάζα του Ρ που απομακρύνεται, μειώθηκε ο φώσφορος που απομακρύνεται και όχι η παραγόμενη ενέργεια.

				Ηλεκτρικη	η ενεργεια		
Y _A	UT	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
0,15	-37,50%	24939,03	-0,47%	29273,55	0,80%	85,19%	-1,26%
0,20	-16,67%	25042,14	-0,06%	29151,41	0,38%	85,90%	-0,44%
0,24	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
kWh/m ³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)
47,22%	0,80%	69,11%	0,74%	896,51%	0,45%	4157,13%	2,21%
47,02%	0,38%	68,85%	0,35%	893,25%	0,08%	4113,14%	1,13%
46,84% 0,00%		68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%

Πίνακας 4.22: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου YAUT.

Г

Πίνακας 4.23: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{Αυτ}.

		Βιοαέριο							
Y _{AUT}		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο		
0,15	-37,50%	61,27	-0,47%	30,63	-0,47%	21,44	-0,47%		
0,20	-16,67%	61,52	-0,06%	30,76	-0,06%	21,53	-0,06%		
0,24	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%		
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)		
9,19	-0,47%	10,23	-0,45%	20,41	-0,49%	299,50%	-0,03%		
9,23	-0,06%	10,25	-0,21%	20,51	0,01%	300,02%	0,15%		
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%		

4.3.3 Σενάριο 3: Επίδραση του συντελεστή απόδοσης πολυφωσφορικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.3.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.24 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Πίνα	ακας 4.24: Τιμές παραμέτρ	ων σεναρίου 3 ανάλυσης ευαισθησίας.				
Συντελεστές Εξισώ	υσεων Συνέχειας	Στοιχειομε	τρικές Σταθερές			
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργαν	ισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q _{fe}	3,000			
i _{NSF}	0,030	n_{NO_3-h}	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		$b_{ m H}$	0,620			
i _{NXI}	0,030	$K_{O_2,h}$	0,200			
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		K _{NO3 h}	0,500			
i _{PSI}	0,000	K _{NH4_} h	0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P_h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρια				
i _{PXs}	0,010	<i>q_{PHA}</i>	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ _{PAO}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομετρικ	κές Σταθερές	K _{O2} pap	0,200			
Υδρόλυση:		K _A ngo	4,000			
f_{S_I}	0,000	K _{NH4} ngo	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροοργανια	σμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	: X _{PAO}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,50-0,63-0,67	K _{MAX}	0,340			
Y _{PO4}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
f _{XI PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργανι	σμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργανισ	μοί: Χ _{Δυτ}	μ_{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120			
f _{X1} AUT	0,100	K _{O2} aut	0,500			
Υδρόλυση:	,	K _{NH4} aut	1,000			
K _h	3,000	K_{ALK} aut	0,500			
n _{NO3_hyd}	0,600	$K_{P aut}$	0,001			
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:	· · · · ·			
K _{O2} hyd	0,200	K _{PRE}	1,000			
$K_{NO_3 hvd}$	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,050	KALK nre	0,500			

4.3.3.2 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής απόδοσης πολυφωσφορικής βιομάζας Υ_{PAO} προσδιορίζει την παραγόμενη πολυφωσφορική βιομάζα στο σύστημα, ως προς το PHA που οξειδώνεται. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος από 0,50 έως 0,67, με τιμή αναφοράς το 0,63.

4.3.3.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Ο συντελεστής Υ_{ΡΑΟ} περιγράφει την αναλογία της παραγόμενη βιομάζας πολυφωσφορικών βακτηρίων, ως προς το PHA που καταναλώνεται. Με τη λογική του Υ_Η που αναλύθηκε παραπάνω η μεταβολή της συγκέντρωσης της βιομάζας επιφέρει, προς την ίδια κατεύθυνση, μεταβολή της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών οργανικών και ολικών, σε όρους SS και COD (Πίνακας 4.25, Σχήμα 4.9).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταβολή της συγκέντρωσης ολικών στερεών σε όρους SS εμφανίζεται περίπου 1,7 φορές μεγαλύτερη απ' τη μεταβολή σε όρους οργανικών στερεών ή ολικών στερεών σε όρους COD. Η διαφοροποίηση συνίσταται στον υπολογισμό στα ολικά στερεά συστατικών του μοντέλου που αυξάνονται ως αποτέλεσμα της αύξησης των πολυφωσφορικών βακτηρίων, αλλά δεν υπολογίζονται σε όρους COD ή σε όρους οργανικών στερεών. Πρόκειται για τις πολυ-φωσφορικές αλυσίδες που αποθηκεύονται εντός του κυττάρου της βιομάζας και υπολογίζονται ως ανεξάρτητη σωματιδιακή μεταβλητή παρόλο που δεν μπορούν να υπάρξουν ανεξάρτητα από τη βιομάζα και ακολουθούν τις διεργασίες στις οποίες αυτή συμμετέχει.

			Βιοαντιδραστήρας								
Y _{PAO}		MLVSS (g VSS/m ³) MLVSS		MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS				
0,50	-20,63%	2630,10	-5,14%	3240,09	-4,70%	3664,39	-8,71%				
0,63	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%				
0,67	6,35%	2823,89	1,85%	3457,64	1,69%	4133,03	2,96%				

Πίνακας 4.25: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{PAO}.

Σχετικά με τη ζήτηση οξυγόνου, φαίνεται στον Πίνακα 4.26 ότι η συνολική ζήτηση παραμένει σχεδόν αμετάβλητη, αλλά παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στην κατανάλωση μεταξύ των διαμερισμάτων της δεξαμενής αερισμού. Συγκεκριμένα, η αυξημένη βιομάζα, που αντιστοιχεί στον συντελεστή 0,67, επιφέρει μείωση της απαίτησης οξυγόνου στα αρχικά διαμερίσματα, όπως συνέβη στην περίπτωση της ετεροτροφικής βιομάζας. Καθώς όμως το ανάμικτο υγρό μεταφέρεται από το κάθε διαμέρισμα στο επόμενο, η αυξημένη βιομάζα απελευθερώνει περισσότερο PHA το οποίο οξειδώνει για την ανάπτυξή της, με συνέπεια να αυξάνεται η κατανάλωση οξυγόνου. Αντίθετα αποτελέσματα έχει η χρησιμοποίηση του συντελεστή 0,50 στην προσομοίωση.

		1 / 1		, ,	1 1	- I - I	, , , ,			17 1 1	1
			Δεξαμενή αερισμού								
۲ŗ	PAO	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR1	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR2	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR3	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR4	SOTR (kgO ₂ /h)	SOTR
0,50	-20,63%	950,10	1,79%	730,44	0,70%	361,93	-1,43%	251,82	-6,54%	2294,36	-0,04%
0,63	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%
0,67	6,35%	924,40	-0,96%	720,63	-0,66%	367,82	0,18%	276,04	2,45%	2288,97	-0,28%

Πίνακας 4.26: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

Η επίδραση της μεταβολής της παραμέτρου στη συγκέντρωση στερεών της περίσσειας ιλύος είναι ανάλογη εκείνης που παρατηρήθηκε στο ανάμικτο υγρό. Δηλαδή, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.26, η αύξηση του συντελεστή, και κατά συνέπεια της βιομάζας που αναπτύσσεται, αυξάνει το Su καθώς ο βαθμός συμπύκνωσης που επιτυγχάνεται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης παραμένει σταθερός.

Πίνακας 4.27: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

			Περίσσεια ιλύος									
Y _{PAO}		VSS (g VSS/m ³)		Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su					
0,50	-20,63%	5834,44	-5,17%	7187,33	-4,73%	8129,50	-8,74%					
0,63	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%					
0,67	6,35%	6266,46	1,85%	7672,21	1,69%	9172,00	2,96%					

Σχετικά με την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της επεξεργασμένης εκροής της εγκατάστασης, παρατηρείται στον Πίνακα 4.28 ότι το EQI, που αντιστοιχεί στην επιβάρυνση του αποδέκτη με ρυπαντικό φορτίο, παραμένει σχεδόν αμετάβλητο στις μεταβολές της παραμέτρου. Αν εξεταστούν όμως ανεξάρτητα οι παράμετροι που συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη, είναι γεγονός ότι παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Πίνακας 4.28: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

				Ĺ	Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	χ		
Y _F	PAO	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO₃e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,50	-20,63%	0,72	0,00%	0,81	-27,74%	12,44	-5,84%	2,17	-15,41%	14,61	-7,40%
0,63	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
0,67	6,35%	0,72	0,00%	1,29	15,58%	13,49	2,17%	2,77	8,01%	16,26	3,12%
Y _F	YAO	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,50	-20,63%	6,58	45,16%	22,94	-10,16%	2,06	-10,67%	61,16	-2,43%	33140,10	1,99%
0,63	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
0,67	6,35%	3,85	-15,17%	26,44	3,56%	2,40	3,97%	63,26	0,93%	32410,84	-0,26%

Η πλέον αξιοσημείωτη επίδραση εμφανίζεται στο ΤΡ εξόδου (Σχήμα 4.8), το οποίο αυξάνεται έως και 45,16% όταν μειώνεται ο συντελεστής Υ_{ΡΑΟ} από 0,63 σε 0,50, μεταβολή που αναμενόταν

να παρατηρηθεί καθώς η, εν λόγω, παράμετρος σχετίζεται με την ανάπτυξη των πολυφωσφορικών βακτηρίων, των μικροοργανισμών που είναι κατεξοχήν υπεύθυνοι μέσα στο σύστημα για την βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου. Όταν η αναλογία PAO/PHA μειώνεται περιορίζονται οι PAO που δεσμεύουν στο εσωτερικό του κυττάρου τους P και απομακρύνεται βιολογικά μικρότερη ποσότητα. Ταυτόχρονα, η μειωμένη ανάπτυξη της βιομάζας συνδέεται με τη μειωμένη χρήση του P ως θρεπτικό για τη σύνθεση νέας βιομάζας, φαινόμενο το οποίο προστίθεται στο προηγούμενο και επιδεινώνει την ποιότητα της εκροής ως προς τον ολικό φώσφορο.



Σχήμα 4.8: Συγκέντρωση ολικού φωσφόρου εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

Η επιρροή της παραμέτρου στις διάφορες μορφές του αζώτου στην έξοδο σχετίζεται με την αυξημένη διαθεσιμότητα φωσφορικών λόγω της μείωσης των PAO. Τα φωσφορικά αποτελούν απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη όλων των οργανισμών και επηρεάζουν τους ρυθμούς ανάπτυξης ετεροτροφικών και νιτροποιητών. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε φορά που μεταβάλλεται μια παράμετρος αλλάζει η δυναμική του συστήματος, δηλαδή η αναλογία των συγκεντρώσεων των διαφορετικών ειδών βιομάζας που διαβιούν στο ίδιο περιβάλλον, όταν έχει πλέον αποκατασταθεί η ισορροπία.



Σχήμα 4.9: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών ανάμικτου υγρού συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{PAO}.

Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος					
Y _F	PAO	Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
0,50	-20,63%	1317,66	-0,16%	19764,87	-0,16%	891,45	0,36%	8129,50	-8,74%	7247,01	-8,41%
0,63	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
0,67	6,35%	1320,40	0,05%	19806,04	0,05%	887,12	-0,13%	9172,00	2,96%	8136,66	2,83%

Πίνακας 4.29: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας και της δευτεροβάθμιας ιλύος (Πίνακας 4.29) είναι σαφές ότι η πρωτοβάθμια ιλύς ούτε σε αυτή την περίπτωση εμφανίζει μεταβολές στην παροχή και τη συγκέντρωση στερεών. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη συγκέντρωση στερεών στα στραγγίδια που επιστρέφουν προ της ΔΠΚ (Πίνακας 4.30). Οι μεταβολές των συγκεντρώσεων της περίσσειας ιλύος για τις διάφορες τιμές της παραμέτρου Υ_{PAO} παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.10.



Σχήμα 4.10: Συγκέντρωση στερεών στην περίσσεια ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

			Στραγγίδια									
Y _{PAO}		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄			
0,50	-20,63%	2160,38	0,11%	921,90	-2,62%	175,42	-2,44%	21,20	2,29%			
0,63	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%			
0,67	6,35%	2157,12	-0,04%	955,11	0,89%	181,30	0,84%	20,57	-0,73%			

Πίνακας 4.30: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου ΥΡΑΟ.

Αναφορικά με τα διαλυτά συστατικά των στραγγιδίων που συνεισφέρουν στα προεπεξεργασμένα λύματα, μόνο ο ολικός φώσφορος εμφανίζει μεγαλύτερη διακύμανση με τη μεταβολή του Y_{PAO}. Η συνεισφορά του TP έχει μειωθεί έως 5,42% για μεταβολή της παραμέτρου από 0,63 σε 0,50 αλλά το ποσοστό αυτό δεν σχετίζεται με τα φωσφορικά, που όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.31 δεν έχουν την ίδια μεταβλητότητα, αλλά με τη βιομάζα που δεσμεύει το φώσφορο και η οποία, όπως προαναφέρθηκε, μειώνεται στο ανάμικτο υγρό και σε όλες τις μετέπειτα θέσεις επεξεργασίας ιλύος της εγκατάστασης, καθώς και στη γραμμή στραγγιδίων.

Πίνακας 4.31: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

		Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα											
Y _F	PAO	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,50	-20,63%	6,60%	-1,63%	10,32%	-2,05%	12,70%	-2,04%	17,63%	-5,42%	8,45%	2,20%	6,05%	-2,36%
0,63	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
0,67	6,35%	6,74%	0,55%	10,61%	0,70%	13,06%	0,69%	18,96%	1,74%	8,21%	-0,70%	6,24%	0,79%

Πίνακας 4.32: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

				Ηλεκτρική	ι ενέργεια		
Y _{PAO}		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
0,50	-20,63%	25004,72	-0,21%	28870,57	-0,59%	86,61%	0,38%
0,63	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
0,67	6,35%	25062,87	0,02%	29077,37	0,12%	86,19%	-0,10%
kWh/m ³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)
46,57%	-0,59%	68,05%	-0,81%	867,97%	-2,75%	4917,15%	20,89%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
46,90%	0,12%	68,75%	0,21%	902,04%	1,07%	3842,94%	-5,52%

Πίνακας 4.33: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΑΟ}.

	, , ,	Βιοαέριο							
Y _{PAO}		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο		
0,50	-20,63%	61,43	-0,21%	30,71	-0,21%	21,50	-0,21%		
0,63	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%		
0,67	6,35%	61,57	0,02%	30,79	0,02%	21,55	0,02%		
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)		
9,21	-0,21%	10,02	-2,52%	20,70	0,95%	306,68%	2,37%		
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%		
9,24	0,02%	10,36	0,84%	20,43	-0,39%	297,14%	-0,81%		

Ως προς την ηλεκτρική ενέργεια δεν παρατηρούνται μεταβολές, παρά μόνο στο δείκτη απαιτούμενης ενέργειας σε kWh προς τη μάζα P που απομακρύνεται. Η μείωση του Y_{PAO} αυξάνει έως και 20,89% το δείκτη (Πίνακας 4.32) καθώς για την ίδια καταναλισκόμενη ενέργεια επιτυγχάνεται πολύ μικρότερη απομάκρυνση φωσφόρου.

Σχετικά με το παραγόμενο και καταναλισκόμενο βιοαέριο, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 4.33 δεν παρουσιάζονται μεταβολές.

4.3.4 Σενάριο 4: Επίδραση του συντελεστή απαιτούμενου ΡΗΑ για αποθήκευση ΡΡ στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.4.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.34 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Πίχ	νακας 4.34: Τιμές παραμέτρ	ρων σεναρίου 4 ανάλυσης ευαισθησίας.				
Συντελεστές Εξισ	ώσεων Συνέχειας	Στοιχειομετρικές Σταθερές				
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργαν	νισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000			
i _{NSF}	0,030	$n_{NO_{3}-h}$	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		b _H	0,620			
i _{NXI}	0,030	K _{O2} h	0,200			
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		K _{NO2} h	0,500			
i _{PSI}	0,000	K _{NH4} h	0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρι	α:			
i _{PXs}	0,010	<i>q</i> _{PHA}	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:	· · ·	μ_{PAO}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομετρι	ικές Σταθερές	K _{O2} pao	0,200			
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000			
f_{S_I}	0,000	K _{NHA} pao	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροοργαν	ισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y_H	0,600	K _{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I_}H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	α: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y_{PO_4}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,10-0,20-0,30	K _{PHA}	0,010			
$f_{X_{I}-PAO}$	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργανι	σμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργανι	σμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0,240	b _{AIIT}	0,120			
f_{X_LAUT}	0,100	$K_{O_2 aut}$	0,500			
Υδρόλυση:	· · · ·	$K_{NH_{A}}$ aut	1,000			
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500			
n _{NO3_hyd}	0,600	K _{P_aut}	0,001			
n _{fe}	0,100	 Κατακρήμνιση:				
$K_{O_2 hvd}$	0,200	K _{PRE}	1,000			
K _{NO2} hyd	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,050	K _{ALK} pre	0,500			

4.3.4.2 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής απαιτούμενου PHA για αποθήκευση PP, Y_{PHA}, προσδιορίζει τη στοιχειομετρία των αντιδράσεων που σχετίζονται με τα προϊόντα που αποθηκεύουν τα πολυφωσφορικά βακτήρια εντός των κυττάρων τους. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,10 έως 0,30, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 0,20.

4.3.4.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας 4.35: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

	Βιοαντιδραστήρας											
Y _{PHA}		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS					
0,10	-50,00%	2827,29	1,97%	3461,35	1,80%	4140,72	3,15%					
0,20	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%					
0,30	50,00%	2726,74	-1,65%	3348,48	-1,52%	3904,09	-2,74%					

Πίνακας 4.36: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΗΑ}.

			Δεξαμενή αερισμού											
v		SOTR1	COTDA	SOTR2	COTDO	SOTR3	COTRO	SOTR4	COTDA	SOTR	COTD			
۲ _F	Y _{PHA}		SOIRI	(kgO ₂ /h)	SOTR2	(kgO ₂ /h)	SOTR3	(kgO ₂ /h)	SUTR4	(kgO ₂ /h)	SUTR			
0,10	-50,00%	919,72	-1,46%	722,24	-0,44%	369,66	0,68%	277,55	3,02%	2289,16	-0,27%			
0,20	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%			
0,30	50,00%	944,16	1,15%	727,66	0,31%	364,97	-0,60%	263,16	-2,32%	2299,96	0,20%			

Πίνακας 4.37: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΗΑ}.

			Περίσσεια ιλύος									
Y _{PHA}		VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su					
0,10	-50,00%	6274,00	1,97%	7680,41	1,80%	9189,01	3,15%					
0,20	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%					
0,30	50,00%	6050,59	-1,66%	7429,69	-1,52%	8663,35	-2,75%					

Η αλλαγή της απαιτούμενης αναλογίας καταναλισκόμενου PHA/PP που αποθηκεύεται δεν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στο ανάμικτο υγρό (Πίνακας 4.35), τη συνολική ζήτηση οξυγόνου του αντιδραστήρα (Πίνακας 4.36) και τα χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος (Πίνακες 4.37 και 4.39).

Σχετικά με τη ζήτηση οξυγόνου, συγκεκριμένα, παρατηρούνται μεταβολές μεταξύ των διαμερισμάτων. Πρακτικά, με την αύξηση του συντελεστή αυξάνεται η ζήτηση οξυγόνου στην αρχή λόγω αυξημένης οξείδωσης ΡΗΑ, καθώς όμως το ΡΗΑ τελειώνει γρηγορότερα, στις επόμενες δεξαμενές η ζήτηση αρχίζει να φθίνει πιο γρήγορα και το άθροισμα της ζήτησης κλείνει κοντά στο μηδέν.

Αναφορικά με τις συγκεντρώσεις ολικών στερεών παρατηρείται μια μεγαλύτερη διαφοροποίηση, η οποία δεν ξεπερνά βέβαια το 3%, στις συγκεντρώσεις ολικών στερεών σε όρους SS του ανάμικτου υγρού και της βιολογικής ιλύος. Αυτό εξηγείται λόγω της λογικής του μοντέλου ASM2 που εφαρμόζεται και το οποίο υπολογίζει τα PP εντός των βακτηρίων ως ξεχωριστή σωματιδιακή μεταβλητή σε όρους P. Κατά συνέπεια, μειώνοντας τον υπό έλεγχο συντελεστή αποθηκεύεται περισσότερο PP εντός της βιομάζας για την ίδια κατανάλωση PHA και αυξάνεται η συγκέντρωση ολικών στερεών σύμφωνα με τη στοιχειομετρία του μοντέλου.

				Ĺ	Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	x		
Y _F	ΉA	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/I)	SNH₄e	SNO₃e (mg/I)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,10	-50,00%	0,72	0,00%	1,30	16,17%	13,51	2,29%	2,78	8,36%	16,29	3,27%
0,20	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
0,30	50,00%	0,72	0,00%	1,00	-10,18%	12,93	-2,11%	2,42	-5,52%	15,35	-2,67%
Y _F	НА	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,10	-50,00%	3,77	-16,76%	26,50	3,80%	2,41	2,00%	63,30	0,99%	32362,29	-0,40%
0,20	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
0,30	50,00%	5,10	12,51%	24,70	-3,24%	2,23	-3,49%	62,16	-0,83%	32531,54	0,12%

Πίνακας 4.38: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

Πίνακας 4.39: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{PHA}.

			Πρωτοβό	θμια ιλύς		Περίσσεια ιλύος					
Y _{PHA}		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
0,10	-50,00%	1320,45	0,06%	19806,72	0,06%	887,07	-0,13%	9189,01	3,15%	8151,33	3,01%
0,20	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
0,30	50,00%	1319,07	-0,05%	19786,03	-0,05%	889,28	0,11%	8663,35	-2,75%	7704,16	-2,64%

Ο Πίνακας 4.38 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της δευτεροβάθμια επεξεργασμένης εκροής της εγκατάστασης. Ο αποδέκτης δεν δέχεται επιπρόσθετη επιβάρυνση σε όρους ρυπαντικού φορτίου, όπως φαίνεται από τον δείκτη ποιότητας EQI, αλλά τα μεμονωμένα συστατικά της εκροής, τα οποία σταθμισμένα συμμετέχουν στον υπολογισμό του, εν λόγω, δείκτη μεταβάλλονται σημαντικά.

Όπως αναμενόταν, επειδή οι διεργασίες που επηρεάζονται σχετίζονται με τα πολυφωσφορικά βακτήρια, η πρώτη παράμετρος που εμφανίζει σημαντική μεταβλητότητα είναι ο ολικός φώσφορος εξόδου (Σχήμα 4.11). Για Υ_{PHA} ίσο με 0,30 παρουσιάζεται αύξηση του φωσφόρου στην έξοδο κατά 12,51% καθώς απαιτείται η οξείδωση περισσότερου PHA για την αποθήκευση του θρεπτικού, συνθήκη δυσμενής για τα βακτήρια τα οποία δεν έχουν ανεξάντλητη δυνατότητα αποθήκευσης PHA στα κύτταρά τους και αδυνατούν να δεσμεύσουν τις ίδιες ποσότητες φωσφόρου με το σενάριο αναφοράς. Αντίθετα, η διαθεσιμότητα περισσότερου φωσφόρου λειτουργεί προς όφελος της ανάπτυξης των υπόλοιπων μικροοργανισμών που δεσμεύουν φωσφορικά ως θρεπτικό, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μείωση του αμμωνιακού αζώτου έως και 10,18% λόγω της δράσης των νιτροποιητών και του νιτρικού αζώτου κατά 2,11% λόγω της δράσης των ετεροτροφικών. Η μικρότερη μεταβολή στο νιτρικό άζωτο οφείλεται στην παραγωγή του από την οξείδωση του αμμωνιακού



Σχήμα 4.11: Ολικό άζωτο εξόδου και ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΗΑ}.

			Στραγγίδια						
Y _{PHA}		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄
0,10	-50,00%	2157,10	-0,04%	955,65	0,94%	181,40	0,89%	20,55	-0,83%
0,20	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%
0,30	50,00%	2158,77	0,04%	938,93	-0,82%	178,42	-0,77%	20,84	0,58%

Πίνακας 4.40: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου ΥΡΗΑ.

Πίνακας 4.41: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΗΑ}.

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα											
Y _F	РНА	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)	
0,10	-50,00%	6,74%	0,59%	10,61%	0,75%	13,06%	0,74%	18,98%	1,83%	8,21%	-0,80%	6,24%	0,84%	
0,20	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%	
0,30	50,00%	6,67%	-0,51%	10,47%	-0,65%	12,89%	-0,64%	18,32%	-1,73%	8,32%	0,56%	6,15%	-0,74%	

Στα στραγγίδια της επεξεργασίας δεν παρατηρούνται μεταβολές των συγκεντρώσεων συναρτήσει της παραμέτρου Υ_{ΡΗΑ}, όπως είναι εμφανές στους υπολογισμούς των ποσοστιαίων μεταβολών που παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.40 και 4.41.

Αντίστοιχα, μηδενική είναι η επίδραση της μεταβολής της παραμέτρου στο παραγόμενο βιοαέριο και την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Πίνακες 4.42 και 4.43).

Μικρή διαφοροποίηση, της τάξεως του 5-6%, παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση στο κλάσμα της καταναλισκόμενης ενέργειας σε kWh προς τη μάζα του P που απομακρύνεται. Η

μεταβολή της αναλογίας οφείλεται στην αυξομείωση της απόδοσης της εγκατάστασης στην απομάκρυνση φωσφόρου, καθώς η κατανάλωση ενέργειας παραμένει αμετάβλητη.

			Ηλεκτρική ενέργεια									
Y _{PHA}		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας					
0,10	-50,00%	25063,06	0,02%	29068,66	0,09%	86,22%	-0,07%					
0,20	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%					
0,30	50,00%	25045,90	-0,05%	29029,84	-0,04%	86,28%	-0,01%					
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}					
46,88%	0,09%	68,73%	0,18%	902,20%	1,09%	3819,21%	-6,10%					
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%					
46,82%	-0,04%	68,52%	-0,12%	885,06%	-0,83%	4276,17%	5,14%					

Πίνακας	4.42:	Παραγόμενη	και	καταναλισκόμενη	ηλεκτρική	ενέργεια	συναρτήσε	ι της	παραμέτρου	YPHA.		
				Ηλεκτρική ενέργεια								

Πίνακας 4.43: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου ΥΡΗΑ.

г

				Βιοο	ιέριο		
Y _{PHA}		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
0,10	-50,00%	61,57	0,02%	30,79	0,02%	21,55	0,02%
0,20	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
0,30	50,00%	61,53	-0,05%	30,77	-0,05%	21,54	-0,05%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,24	0,02%	10,37	0,89%	20,42	-0,41%	297,00%	-0,86%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,23	-0,05%	10,19	-0,79%	20,57	0,33%	301,83%	0,75%

4.3.5 Σενάριο 5: Επίδραση της σταθεράς ρυθμού υδρόλυσης στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.5.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.44 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

	πινακάς π.π. πιμες παραμετρ	at octupioo 5 atalooi 15 coacooi	jotus.			
Συντελεστές Ε	ξισώσεων Συνέχειας	Στοιχειομετρικές Σταθερές				
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργανι	σμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000			
i _{NSF}	0,030	n _{NO3-h}	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:	· · · · ·	b _H	0,620			
i _{NXI}	0,030	K _{O2} h	0,200			
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Φώσφορος:	•	K _{A h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		K _{NO2} h	0,500			
i _{PSI}	0,000	K _{NH4} h	0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK h}	0,100			
i_{PX_I}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρια				
i _{PXs}	0,010	q _{PHA}	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:	•	μ _{ΡΑΟ}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομε	ετρικές Σταθερές	K _{O2} ngo	0,200			
Υδρόλυση:		K _A ngo	4,000			
f_{S_I}	0,000	K _{NH4} pao	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροορ	γανισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτι	ήρια: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y_{PO}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
f _{XI} PAO	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργανια	σμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργ	ανισμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120			
$f_{X_1 AUT}$	0,100	K _{O2} aut	0,500			
Υδρόλυση:	· · ·	K _{NH4} aut	1,000			
K _h	2,00-3,00-4,00	K _{ALK aut}	0,500			
n _{NO3_hyd}	0,600	K _{P aut}	0,001			
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:				
K _{O2 hyd}	0,200	K _{PRE}	1,000			
K _{NO3} hyd	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,050	KALK nre	0.500			

Πίνακας 4.44: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 5 ανάλυσης ευαισθησίας.

4.3.5.1 Στόχος σεναρίου

Η σταθερά ρυθμού υδρόλυσης επηρεάζει το ρυθμό της διεργασίας της υδρόλυσης σε αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση της σταθεράς στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 2,00 έως 4,00, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 3,00.

4.3.5.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πίνακας 4.45: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

	Βιοαντιδραστήρας											
K _h		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS					
2,00	-33,33%	2824,09	1,86%	3472,56	2,13%	4041,73	0,69%					
3,00	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%					
4,00	33,33%	2772,48	-0,01%	3396,40	-0,11%	4051,24	0,92%					

Πίνακας 4.46: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ_h.

			Δεξαμενή αερισμού									
K _h		SOTR1	COTDA	SOTR2	COTDO	SOTR3	COTDO	SOTR4	COTDA	SOTR	COTD	
		(kgO ₂ /h)	SOIRI	(kgO ₂ /h)	SUTR2	(kgO ₂ /h)	SUIR3	(kgO ₂ /h)	SOTR4	(kgO ₂ /h)	SOTR	
2,00	-33,33%	904,63	-3,08%	723,28	-0,29%	374,38	1,97%	283,06	5,06%	2285,44	-0,43%	
3,00	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%	
4,00	33,33%	959,15	2,76%	720,64	-0,65%	357,06	-2,75%	257,18	-4,55%	2294,17	-0,05%	

Πίνακας 4.47: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K _h .
--

		Περίσσεια ιλύος								
Y _H		VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su			
2,00	-33,33%	6266,76	1,85%	7705,03	2,13%	8968,90	0,68%			
3,00 0,00%		6152,69 0,00%		7544,35 0,00%		8908,05	0,00%			
4,00 33,33%		6152,54	0,00%	7536,65	-0,10%	8990,72	0,93%			

Η μεταβολή της σταθεράς του ρυθμού υδρόλυσης επηρέασε σε ένα βαθμό τα χαρακτηριστικά της εκροής της εγκατάστασης, αλλά δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές στις συγκεντρώσεις των στερεών του ανάμικτου υγρού και της ιλύος, στις παροχές πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος και στη συνολική απαίτηση οξυγόνου του βιοαντιδραστήρα, όπως φαίνεται στους Πίνακες 4.45, 4.46, 4.47 και 4.49.

Αναφορικά με την ποιότητα της εκροής, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.48, ο δείκτης EQI, που αντικατοπτρίζει το ρυπαντικό φορτίο που δέχεται ο αποδέκτης, παρουσιάζει μικρή μεταβολή, 2-2,5%, αλλά σημαντικές διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στο αμμωνιακό άζωτο, τον ολικό φώσφορο και το BOD εξόδου.

			Nh.										
				Δ	Δευτεροβα	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	X				
K _h		Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/I)	SNH₄e	SNO₃e (mg/I)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe		
2,00	-33,33%	0,72	0,00%	1,07	-4,43%	13,57	2,73%	2,54	-0,90%	16,11	2,14%		
3,00	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%		
4,00	33,33%	0,72	0,00%	1,17	5,03%	13,00	-1,57%	2,62	2,18%	15,62	-0,96%		
K _h		TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI		
2,00	-33,33%	4,74	4,52%	25,90	1,44%	2,48	7,31%	63,43	1,19%	33274,00	2,40%		
3,00	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%		
4,00	33,33%	4,15	-8,56%	25,76	0,89%	2,29	-1,08%	62,59	-0,14%	31844,56	-2,00%		

Πίνακας 4.48: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Κα.

Πίνακας 4.49: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος					
K _h		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
2,00	-33,33%	1319,85	0,01%	19797,69	0,01%	887,08	-0,13%	8968,90	0,68%	7956,11	0,55%
3,00	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
4,00	33,33%	1319,93	0,02%	19798,96	0,02%	887,99	-0,03%	8990,72	0,93%	7983,71	0,90%

Το αμμωνιακό άζωτο, όπως αναμενόταν, αυξάνεται με την αύξηση της σταθεράς υδρόλυσης και μειώνεται με την μείωσή της, σε ποσοστά κοντά στο 4,5-5% και στις δύο περιπτώσεις. Η υδρόλυση μετατρέπει το οργανικό σωματιδιακό άζωτο σε διαλυτό οργανικό, το οποίο με τη σειρά του μετατρέπεται σε αμμωνιακό άζωτο μέσω της διαδικασίας αμμωνιοποίησης.



Σχήμα 4.12: Ολικό άζωτο και ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Κ_h.

Η μεταβολή του ολικού φωσφόρου στην εκροή (Σχήμα 4.12) οφείλεται στη συγκέντρωση των πολυφωσφορικών βακτηρίων στο σύστημα, η οποία επηρεάζεται από το ρυθμό της υδρόλυσης. Συγκεκριμένα, η υδρόλυση μετατρέπει τη σωματιδιακή βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη σε διαλυτή, η οποία αφού υποστεί ζύμωση, αντίδραση που καταλύεται από τους ετεροτροφικούς οργανισμούς, είναι διαθέσιμη τόσο για τα πολυφωσφορικά βακτήρια όσο και για τους τελευταίους. Ο ανταγωνισμός των δύο ειδών βιομάζας σε αερόβιες συνθήκες ευνοεί τους

ετεροτροφικούς που αναπτύσσονται με μεγαλύτερο ρυθμό. Κατά συνέπεια, η αύξηση της τροφής στο σύστημα, λόγω αύξησης της υδρόλυσης, προκαλεί ανάπτυξη των πολυφωσφορικών βακτηρίων που υπολείπονται έναντι των ετεροτροφικών, οι οποίοι έχουν ήδη εκμεταλλευτεί τις συνθήκες που επικρατούν στη δεξαμενή αερισμού προκειμένου να αναπτύσσονται.

	Στραγγίδια										
K _h		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄		
2,00	-33,33%	2156,87	-0,05%	948,77	0,22%	180,15	0,19%	20,84	0,57%		
3,00	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%		
4,00	33,33%	2157,81	-0,01%	949,34	0,28%	180,27	0,26%	20,61	-0,57%		

Πίνακας 4.50: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου K_h.

Πίνακας 4.51: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ_h.

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα										
ŀ	۲ _h	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
2,00	-33,33%	6,72%	0,27%	10,56%	0,19%	12,98%	0,12%	18,56%	-0,40%	8,31%	0,47%	6,20%	0,15%
3,00	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
4,00	33,33%	6,71%	0,11%	10,55%	0,17%	13,00%	0,22%	18,79%	0,82%	8,23%	-0,53%	6,21%	0,25%

Πίνακας 4.52: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K_h.

				Ηλεκτρική	ή ενέργεια		
k	, h	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
2,00	-33,33%	25233,07	0,70%	28984,60	-0,20%	87,06%	0,90%
3,00	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
4,00	33,33%	25003,68	-0,22%	29027,39	-0,05%	86,14%	-0,17%
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}
46,75%	-0,20%	68,54%	-0,09%	896,51%	0,45%	4131,37%	1,58%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
46,82%	-0,05%	68,56%	-0,06%	889,50%	-0,34%	3932,74%	-3,31%

Η αύξηση του BOD στην έξοδο της εγκατάστασης που παρατηρείται όταν μειώνεται η σταθερά υδρόλυσης προκαλείται από την αύξηση της σωματιδιακής βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης που δεν υδρολύεται για να καταναλωθεί απ' τους μικροοργανισμούς και υπερχειλίζει από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης. Όπως είναι εμφανές στους Πίνακες 4.51 και 4.52, δεν παρατηρούνται μεταβολές στα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων.

Επιπλέον, αύξηση ή μείωση της σταθεράς υδρόλυσης δεν επιφέρει αλλαγές στο παραγόμενο βιοαέριο, ούτε στην παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, καθώς δεν μεταβλήθηκαν ούτε τα χαρακτηριστικά της ιλύος, απ' την οποία παράγεται το βιοαέριο, ούτε κοστοβόρες διαδικασίες της εγκατάστασης όπως είναι ο αερισμός των λυμάτων και η θέρμανση της ιλύος (Πίνακες 4.52 και 4.53).

				Βιοα	ιέριο		
к	h	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
2,00	-33,33%	61,99	0,70%	31,00	0,70%	21,70	0,70%
3,00	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
4,00	33,33%	61,43	-0,22%	30,71	-0,22%	21,50	-0,22%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,30	0,70%	10,28	0,07%	20,71	1,01%	301,46%	0,63%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,21	-0,22%	10,29	0,13%	20,43	-0,39%	298,53%	-0,35%

Πίνακας 4.53: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K_h.

4.3.6 Σενάριο 6: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού σωματιδιακού COD στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.6.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.54 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

	Πίνακας 4.54: Τιμές παραμέτρ	τρων σεναρίου 6 ανάλυσης ευαισθησίας.				
Συντελεστές Ε	ξισώσεων Συνέχειας	Στοιχειομε	ετρικές Σταθερές			
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργαν	νισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q _{fe}	3,000			
i _{NSF}	0,030	$n_{NO_{3}-h}$	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		$b_{ m H}$	0,620			
i _{NXI}	0,030	$K_{O_2,h}$	0,200			
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Φώσφορος:	·	K _{A_h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		$K_{NO_3 h}$	0,500			
i _{PSI}	0,000	K _{NH4_h}	0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P_h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	α:			
i _{PXs}	0,010	<i>q_{PHA}</i>	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:	·	μ_{PAO}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομε	τρικές Σταθερές	K _{O2} pao	0,200			
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000			
f_{S_I}	0,000	K _{NHA} pao	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροοργ	ανισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y _H	0,600	K_{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτή	ρια: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y_{PO_4}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
$f_{X_{I}PAO}$	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργανι	σμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργα	ανισμοί: Χ _{Διιτ}	μ_{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120			
$f_{X_{1}AUT}$	0,100	K _{O2} aut	0,500			
Υδρόλυση:	,	K_{NH_4} aut	1,000			
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500			
n _{NO3 hyd}	0,600	$K_{P aut}$	0,001			
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:				
$K_{0_2 hyd}$	0,200	K _{PRE}	1,000			
$K_{NO_3 hyd}$	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,03-0,05-0,10	KALK nre	0,500			

4.3.6.1 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής κορεσμού σωματιδιακού COD, K_x, επηρεάζει τις διεργασίες υδρόλυσης και συγκεκριμένα το 'διακόπτη' που ρυθμίζει το ρυθμό της υδρόλυσης ανάλογα με τη σωματιδιακή βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη που έχει προσροφηθεί στην κυτταροπλασματική μεμβράνη των ετεροτροφικών μικροοργανισμών. Επισημαίνεται ότι η υδρόλυση καταλύεται μόνο από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς σύμφωνα με παραδοχή του μοντέλου.

Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή κορεσμού στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,03 έως 0,10, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 0,05.

4.3.6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Καθώς ο συντελεστής κορεσμού σωματιδιακού COD επηρεάζει το ρυθμό της υδρόλυσης σε αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες, η αναμενόμενες μεταβολές του συστήματος είναι αντίστοιχες εκείνων που παρατηρήθηκαν κατά τη μεταβολή της σταθεράς υδρόλυσης.

Πίνακας 4.55: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου K_x.

				Βιοαντιδρ	οαστήρας		
K _x		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS
0,03	-40,00%	2765,39	-0,26%	3389,13	-0,32%	4019,19	0,13%
0,05 0,00%		2772,63 0,00%		3400,03 0,00%		4014,11	0,00%
0,10 100,00%		2797,10	0,88%	3434,37	1,01%	4027,22	0,33%

Πίνακας 4.56: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ_x.

			Δεξαμενή αερισμού									
K _x		SOTR1	COTD1	SOTR2	COTDO	SOTR3	SOTR3		COTDA	SOTR	COTD	
		(kgO ₂ /h)	SOIRI	(kgO ₂ /h)	(kgO ₂ /h)	SUIRZ	(kgO ₂ /h)	SUIR3	(kgO ₂ /h)	SUTR4	(kgO ₂ /h)	SUIR
0,03	-40,00%	948,62	1,63%	724,90	-0,07%	361,67	-1,50%	261,46	-2,96%	2296,81	0,06%	
0,05	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%	
0,10	100,00%	918,74	-1,57%	724,82	-0,08%	371,16	1,09%	276,25	2,53%	2291,04	-0,19%	

Πίνακας 4.57: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κχ.

		Περίσσεια ιλύος					
K _x		VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su
0,03	-40,00%	6136,78	-0,26%	7520,43	-0,32%	8919,50	0,13%
0,05	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%
0,10	100,00%	6206,90	0,88%	7620,38	1,01%	8937,00	0,33%
Στην πραγματικότητα η ευαισθησία του συστήματος στη μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου αποδεικνύεται πολύ μικρότερη, καθώς δεν παρατηρούνται μεταβολές στις συγκεντρώσεις στερεών του ανάμικτου υγρού, της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, καθώς και στις παροχές τους. Κατά συνέπεια, δεν επηρεάζεται η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου και η παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης. Τέλος, δεν εμφανίζονται επιπτώσεις στην παραγωγή και σύσταση των στραγγιδίων της γραμμής επεξεργασίας της ιλύος. Στους Πίνακες 4.55-4.57 και 4.59-4.63 παρατίθενται τα σχετικά αριθμητικά δεδομένα.

Πίνακας 4.58: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

			Δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα										
ł	۲ _×	Qe (m ³ /s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe		
0,03	-40,00%	0,72	0,00%	1,17	4,61%	13,08	-0,94%	2,61	1,83%	15,70	-0,49%		
0,05	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%		
0,10	100,00%	0,72	0,00%	1,07	-4,38%	13,38	1,34%	2,53	-1,41%	15,91	0,89%		
ł	< _x	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI		
0,03	-40,00%	4,40	-3,08%	25,54	0,02%	2,27	-1,56%	62,53	-0,24%	32211,75	-0,87%		
0,05	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%		
0,10	100,00%	4,67	2,98%	25,70	0,67%	2,40	3,65%	63,04	0,58%	32890,11	1,22%		

Πίνακας 4.59: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κχ.

Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος					
K _x		Q _{πρωτ.ιλ.} (m³/d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³) TSS		w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
0,03	-40,00%	1319,74	0,00%	19796,16	0,00%	888,29	0,00%	8919,50	0,13%	7923,09	0,13%
0,05	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
0,10	100,00%	1319,78	0,00%	19796,65	0,00%	887,73	-0,06%	8937,00	0,33%	7933,66	0,26%

Πίνακας 4.60: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Κχ.

			Στραγγίδια									
K _x		Q Q (m ³ /d)		TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄			
0,03	-40,00%	2158,04	0,00%	947,07	0,04%	179,88	0,04%	20,67	-0,25%			
0,05	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%			
0,10	100,00%	2157,49	-0,02%	947,69	0,10%	179,95	0,08%	20,79	0,34%			

Μόνο η ποιότητα εκροής επηρεάζεται από τη μεταβολή του συντελεστή κορεσμού, όχι όμως συνολικά ως ρυπαντικό φορτίο του αποδέκτη, καθώς ο δείκτης EQI ελάχιστα μεταβάλλεται, αλλά ως προς τις συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου και του ολικού φωσφόρου της εκροής, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.58. Πρέπει να σημειωθεί ότι η επίδραση της μεταβολής του

συντελεστή κορεσμού στο σύστημα είναι μικρότερη και εξάγεται το συμπέρασμα ότι συνολικά η ευαισθησία του συστήματος στην παράμετρο αυτή είναι μικρή.

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα											
ł	۲ _x	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)	
0,03	-40,00%	6,70%	-0,01%	10,54%	0,01%	12,97%	0,04%	18,68%	0,23%	8,25%	-0,23%	6,19%	0,04%	
0,05	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%	
0,10	100,00%	6,71%	0,13%	10,55%	0,09%	12,98%	0,05%	18,61%	-0,15%	8,29%	0,29%	6,20%	0,07%	

Πίνακας 4.61: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Κχ.

Πιο αναλυτικά, η αύξηση του συντελεστή κορεσμού επιφέρει μείωση του αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο κατά 4,38% και αύξηση του ολικού αζώτου κατά 2,98% λόγω μείωσης του ρυθμού της υδρόλυσης ανεξαρτήτως συνθηκών περιβάλλοντος. Η μειωμένη υδρόλυση όπως αναπτύχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο μειώνει τη διαθεσιμότητα του διαλυτού οργανικού αζώτου, απ' το οποίο παράγεται το αμμωνιακό άζωτο μέσω της αμμωνιοποίησης. Ταυτόχρονα, η μειωμένη υδρόλυση επιφέρει μείωση στη διαθεσιμότητα της διαλυτής βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης, για την κατανάλωση της οποίας ανταγωνίζονται ετεροτροφικοί και πολυφωσφορικοί μικροοργανισμοί. Οι ετεροτροφικοί επικρατούν λόγω μεγαλύτερου ρυθμού ανάπτυξης σε αερόβιες συνθήκες και η μειωμένη συγκέντρωση των πολυφωσφορικών

1100	ακας ποει παρ	αγομενή και καταναλιοκόμενη ήλεκτρική ενεργεία συναρτήσει της λαραμετρού κχ.								
				Ηλεκτρική	ή ενέργεια					
k	, x	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας			
0,03	-40,00%	25007,91	-0,20%	29089,24	0,16%	85,97%	-0,36%			
0,05	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%			
0,10	100,00%	25122,23	0,26%	29043,36	0,01%	86,50%	0,25%			
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}			
46,92%	0,16%	68,70%	0,14%	892,65%	0,02%	4025,12%	-1,04%			
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%			
46,84%	0,01%	68,65%	0,06%	894,96%	0,27%	4115,82%	1,19%			

Πίνακας 4.62: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κχ.

				Βιοο	ιέριο		
k	, x	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
0,03	-40,00%	61,44	-0,20%	30,72	-0,20%	21,50	-0,20%
0,05	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
0,10	100,00%	61,72	0,26%	30,86	0,26%	21,60	0,26%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,22	-0,20%	10,27	0,00%	20,44	-0,30%	298,97%	-0,20%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,26	0,26%	10,28	0,05%	20,58	0,36%	300,19%	0,20%

Πίνακας 4.63: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κχ.

4.3.7 Σενάριο 7: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ζύμωσης στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.7.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.64 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Συντελεστές Ε	ξισώσεων Συνέχειας	Στοιχειομετρικές Σταθερές				
Άζωτο	<u>, </u>	Ετεροτροφικοί μικροοργα	χνισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{\rm H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	2,00-3,00-4,00			
i _{NSF}	0,030	n _{NO3_h}	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		b _H	0,620			
i _{NXI}	0,030	K _{O2} h	0,200			
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		$K_{NO_3 h}$	0,500			
i _{PSI}	0,000	$K_{NH_4}h$	0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P_h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρ	πα:			
i _{PXs}	0,010	q_{PHA}	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ_{PAO}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομε	ετρικές Σταθερές	K _{O2_} pao	0,200			
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000			
f_{S_I}	0,000	K _{NH4} pao	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροοργ	γανισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I}}H$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτή	ίρια: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y_{PO_A}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
$f_{X_{I}PAO}$	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργα	νισμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργ	ανισμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120			
f _{XI} AUT	0,100	$K_{O_2 aut}$	0,500			
Υδρόλυση:		$K_{NH_{4}}$ aut	1,000			
K _h	3,000	$K_{ALK aut}$	0,500			
n _{NO3_hyd}	0,600	$K_{P aut}$	0,001			
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:	•			
$K_{O_2 hvd}$	0,200	K _{PRE}	1,000			
K _{NO3} hyd	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,050	KALK nre	0,500			

Πίνακας 4.64: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 7 ανάλυσης ευαισθησίας.

4.3.7.1 Στόχος σεναρίου

Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ζύμωσης q_{fe} προσδιορίζει το ρυθμό της ζύμωσης των S_F σε S_A. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του q_{fe} στην απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 2,00 έως 4,00, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 3,00.

4.3.7.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Η μεταβολή της παραμέτρου αναμένεται να επηρεάσει την ανάπτυξη και δυναμική των μικροοργανισμών που καταναλώνουν τα S_F και S_A για την ανάπτυξή τους, δηλαδή τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς και τα πολυφωσφορικά βακτήρια. Επομένως αναμένονται μεταβολές σε διεργασίες που σχετίζονται με τα συγκεκριμένα είδη βιομάζας.

	Βιοαντιδραστήρας											
q _{fe}		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS					
2,00	-33,33%	2760,31	-0,44%	3386,86	-0,39%	3963,86	-1,25%					
3,00	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%					
4,00 33,33%		2779,28	0,24%	3407,14	0,21%	4039,21	0,63%					

Πίνακας 4.65: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

Πίνακας 4.66: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου q_{fe}.

			Δεξαμενή αερισμού										
q _{fe}		SOTR1	COTRA	SOTR2	COTDO	SOTR3	COTRO	SOTR4	COTDA	SOTR	COTO		
		(kgO ₂ /h)	SOIRI	(kgO ₂ /h)	gO ₂ /h)		(kgO ₂ /h)		SOTR4	(kgO ₂ /h)	SOTR		
2,00	-33,33%	930,26	-0,33%	722,46	-0,40%	366,36	-0,22%	269,95	0,19%	2289,04	-0,27%		
3,00	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%		
4,00	33,33%	936,05	0,28%	727,52	0,29%	367,60	0,12%	268,66	-0,29%	2299,99	0,20%		

Πίνακας 4.67: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q_{fe}.

			Περίσσεια ιλύος								
q _{fe}		VSS (g VSS/m ³)		Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su				
2,00	-33,33%	6125,36	-0,44%	7515,14	-0,39%	8796,26	-1,25%				
3,00	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%				
4,00 33,33%		6167,42	0,24%	7560,10	0,21%	8963,75	0,63%				

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μεταβολή της παραμέτρου δεν επηρεάζει τις συγκεντρώσεις στερεών του ανάμικτου υγρού (Πίνακας 4.65), της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος (Πίνακας 4.69) και τις παροχές τους (Πίνακας 4.67). Επομένως δεν επηρεάζεται η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου (Πίνακας 4.73) και η παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης (Πίνακας 4.72). Τέλος, δεν εμφανίζονται επιπτώσεις στην παραγωγή και σύσταση των στραγγιδίων της γραμμής επεξεργασίας της ιλύος (Πίνακες 4.70 και 4.71).

Επιπλέον, δεν επηρεάζεται η απαίτηση οξυγόνου της δεξαμενής αερισμού (Πίνακας 4.66), όπως αναμενόταν, καθώς η ζύμωση αποτελεί διεργασία που λαμβάνει χώρα σε αναερόβιες συνθήκες.

					q	fe•					
				Δ	Δευτεροβα	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	X		
q	lfe	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/I)	SNH₄e	SNO₃e (mg/I)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
2,00	-33,33%	0,72	0,00%	1,13	1,44%	12,84	-2,82%	2,57	0,30%	15,41	-2,31%
3,00	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
4,00	33,33%	0,72	0,00%	1,09	-2,15%	13,44	1,76%	2,55	-0,76%	15,99	1,35%
q	lfe	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
2,00	-33,33%	4,82	6,23%	25,18	-1,38%	2,28	-1,14%	62,52	-0,24%	32335,93	-0,49%
3,00	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
4,00	33,33%	4,36	-3,92%	25,71	0,70%	2,33	0,63%	62,76	0,13%	32567,17	0,23%

Πίνακας 4.68: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

Πίνακας 4.69: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q_{fe}.

Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος					
Q _{fe}		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	Q _{πρωτ.ιλ.} TSS (g/m ³) T		w (m³/d)	w	Su (g/m³)	Su	Su (kg/d)	Su
2,00	-33,33%	1319,41	-0,02%	19791,16	-0,02%	888,47	0,02%	8796,26	-1,25%	7815,22	-1,23%
3,00	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
4,00	33,33%	1319,86	0,01%	19797,92	0,01%	888,16	-0,01%	8963,75	0,63%	7961,24	0,61%

Πίνακας 4 70. Χαρακτροιστικά	στοσυνιδίων	συναοτήσει	της παραιιέτρου	a,
πινακάς 4.70. λαρακτηριστικά	στραγγισιων	υυναρτησει	της παραμετρου	Hte.

			Στραγγίδια										
q _{fe}		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄				
2,00	-33,33%	2158,09	0,00%	943,19	-0,37%	179,20	-0,33%	20,79	0,33%				
3,00	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%				
4,00	33,33%	2157,95	0,00%	948,47	0,19%	180,10	0,16%	20,68	-0,22%				

Μεταβολές των συγκεντρώσεων παρατηρούνται στην εκροή της εγκατάστασης (Πίνακας 4.68), μολονότι συνολικά η επιβάρυνση του αποδέκτη παραμένει αμετάβλητη σε όρους μάζας ρυπαντικού φορτίου ανά ημέρα. Η σημαντικότερη μεταβολή παρατηρείται στον ολικό φώσφορο. Πιο συγκεκριμένα η μείωση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ζύμωσης από 3,00 σε 2,00 επιφέρει 6,23% αύξηση του ολικού φωσφόρου στην έξοδο της εγκατάστασης λόγω της μειωμένης διαθεσιμότητας σε διαλυτή οργανική ύλη, η οποία είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των πολυφωσφορικών βακτηρίων που δεσμεύουν το φώσφορο και απομακρύνονται με την καθίζηση. Σε συνθήκες έλλειψης S_A, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες παραγράφους, επικρατούν οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί του ανταγωνισμού και παρατηρείται αύξηση του φωσφόρου που εκρέει στην έξοδο της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.71: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου q_{fe}.

			2τραγγιοια/Εισερχόμενα λυματά											
q	lfe	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)	
2,00	-33,33%	6,69%	-0,21%	10,50%	-0,32%	12,93%	-0,29%	18,45%	-1,01%	8,30%	0,30%	6,17%	-0,35%	
3,00	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%	
4,00	33,33%	6,71%	0,11%	10,55%	0,16%	12,99%	0,14%	18,72%	0,46%	8,25%	-0,21%	6,20%	0,17%	

Πίνακας 4.72: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q_{fe}.

			Ηλεκτρική ενέργεια									
Q _{fe}		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας					
2,00	-33,33%	25062,86	0,02%	28950,41	-0,31%	86,57%	0,34%					
3,00	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%					
4,00	33,33%	25054,85	-0,01%	29108,52	0,23%	86,07%	-0,24%					
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}					
46,69%	-0,31%	68,37%	-0,34%	883,57%	-1,00%	4156,45%	2,19%					
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%					
46,95%	0,23%	68,77%	0,24%	898,21%	0,64%	4014,76%	-1,29%					

Ως αποτέλεσμα της αύξησης του Ρ που εκρέει από την εγκατάσταση εμφανίζεται και μια μικρή αύξηση του δείκτη της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh ως προς τη μάζα Ρ που απομακρύνεται (Πίνακας 4.72)

				Βιοα	ιέριο		
q _{fe}		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
2,00	-33,33%	61,57	0,02%	30,79	0,02%	21,55	0,02%
3,00	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
4,00	33,33%	61,55	-0,01%	30,78	-0,01%	21,54	-0,01%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,24	0,02%	10,23	-0,45%	20,56	0,25%	300,99%	0,47%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,23	-0,01%	10,28	0,07%	20,49	-0,06%	299,32%	-0,09%

Πίνακας 4.73: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q_{fe}.

4.3.8 Σενάριο 8: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού ζύμωσης στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.8.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.74 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Πίνα	ακας 4.74: Τιμές παραμέ	τρων σεναρίου 8 ανάλυσης ευαια	σθησίας.
Συντελεστές Εξισώ	ύσεων Συνέχειας	Στοιχειο	μετρικές Σταθερές
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργ	ανισμοί:
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000
i _{NSF}	0,030	$n_{NO_3_h}$	1,000
Σωματιδιακό υλικό:		$b_{ m H}$	0,620
i _{NXI}	0,030	K _{O2} h	0,200
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	4,00-10,00-20,00
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000
Διαλυτό υλικό:		K _{NO2} h	0,500
i _{PSI}	0,000	K _{NH4} h	0,050
i _{PXs}	0,010	K _{P h}	0,001
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK h}	0,100
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήμ	οια:
i _{PXs}	0,010	q _{PHA}	3,000
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000
Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ_{PAO}	1,000
i _{TSSX1}	0,750	b _{PAO}	0,200
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200
Στοιχειομετρικ	κές Σταθερές	K ₀₂ pao	0,200
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000
f_{S_I}	0,000	$K_{NH_{A}}$ pao	0,050
Ετεροτροφικοί μικροοργανι	σμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200
Y_H	0,600	K _{P_pao}	0,001
$f_{X_{I}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	: X _{PAO}	K _{PP}	0,010
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340
Y _{PO}	0,400	K _{IPP}	0,020
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010
f _{XI PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργα	ινισμοί:
Αυτοτροφικοί μικροοργανισ	μοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680
Y _{AUT}	0,240	b _{AIIT}	0,120
f _{X1} AUT	0.100	K _{Op} aut	0.500
Υδρόλυση:	,	K _{NH₄} gut	1,000
K _h	3,000	K _{ALK aut}	0,500
n _{NO3 hyd}	0,600	K _{P aut}	0,001
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:	
K _{O2} hyd	0,200	K _{PRE}	1,000
$K_{NO_3 hyd}$	0.500	K _{RED}	0.600
K _X	0,050	K _{ALK} pre	0,500

4.3.8.1 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής κορεσμού ζύμωσης των S_F επηρεάζει το 'διακόπτη' που ελέγχει το ρυθμό της διεργασίας της ζύμωσης σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα της διαλυτής βιοδιασπάσιμης ζυμώσιμης οργανικής ύλης, S_F. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 4,00 έως 20,00, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 10,00.

4.3.8.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Πρέπει να σημειωθεί ότι, η μείωση του συντελεστή κορεσμού συνεπάγεται αύξηση του ρυθμού της ζύμωσης, η οποία επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης της διαλυτής βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης υπό μορφή S_A έναντι της ζυμώσιμης διαλυτής βιοδιασπάσιμης οργανικής ύλης υπό μορφή S_F.

Πινακας 4.75: Συγκεντρωσεις οργανικών και	ι ολικων αιωρουμενω	ν στερεων στο αναμικτο	υγρο συναρτησει	της παραμετρου

	Βιοαντιδραστήρας											
K _{fe}		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS					
4,00	-60,00%	2785,63	0,47%	3413,85	0,41%	4062,90	1,22%					
10,00	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%					
20,00	100,00%	2762,70	-0,36%	3389,55	-0,31%	3971,93	-1,05%					

Πίνακας 4.76: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου K_{fe}.

			Δεξαμενή αερισμού											
K		SOTR1	COTD1	SOTR2	COTDO	SOTR3	COTDO	SOTR4	COTDA	SOTR	COTD			
ĸ	fe	(kgO ₂ /h)	SOIRI	(kgO ₂ /h)	SUIRZ	(kgO ₂ /h)	gO ₂ /h) SOTR3		SUTR4	(kgO ₂ /h)	SOLK			
4,00	-60,00%	939,61	0,67%	730,14	0,65%	368,04	0,24%	267,31	-0,78%	2304,88	0,42%			
10,00	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%			
20,00	100,00%	929,88	-0,38%	722,48	-0,40%	366,60	-0,15%	270,59	0,43%	2289,51	-0,25%			

Όπως έχει αναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους, επικρατούν συνθήκες ανταγωνισμού μεταξύ της ετεροτροφικής βιομάζας και των πολυφωσφορικών βακτηρίων για την κατανάλωση S_A. Επομένως, η αύξηση της ζύμωσης, στην προσομοίωση με τιμή συντελεστή 4,00, επιφέρει ανάπτυξη της βιομάζας λόγω αύξησης της διαθεσιμότητας τροφής, γεγονός που αποτυπώνεται στη μικρή αύξηση των συγκεντρώσεων στερεών στο ανάμικτο υγρό (Πίνακας 4.75) και την περίσσεια ιλύος (Πίνακες 4.77 και 4.79).

Σε προσεκτικότερη παρατήρηση των υπολογισμών, φαίνεται ότι η αύξηση είναι λίγο μεγαλύτερη, παρόλο που δεν ξεπερνά το 1-1.5%, όταν υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις σε όρους ολικών στερεών. Αυτό εξηγείται καθώς, σύμφωνα με τη στοιχειομετρία του μοντέλου, στα ολικά

στερεά υπολογίζονται σωματιδιακά προϊόντα αποθήκευσης των μικροοργανισμών που δεν υπολογίζονται σε όρους COD, όπως είναι οι πολυ-φωσφορικές αλυσίδες.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.76 Η ζήτηση οξυγόνου δεν εμφανίζει αξιόλογες μεταβολές καθώς η ζύμωση είναι αποκλειστικά αναερόβια διεργασία.

			Περίσσεια ιλύος									
K _{fe}		VSS (g VSS/m ³)		Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su					
4,00	-60,00%	6181,53	0,47%	7575,01	0,41%	9016,35	1,22%					
10,00	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%					
20,00	100,00%	6130,65	-0,36%	7521,13	-0,31%	8814,17	-1,05%					

Πίνακας 4.77: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K_{fe}.

Πίνακας 4.78: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Κεο

						16-					
				Δ	Δευτεροβα	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	X		
к	, fe	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/I)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
4,00	-60,00%	0,72	0,00%	1,05	-5,66%	13,69	3,65%	2,51	-2,11%	16,20	2,71%
10,00	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
20,00	100,00%	0,72	0,00%	1,15	2,94%	12,88	-2,50%	2,59	1,01%	15,47	-1,93%
к	, •fe	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
4,00	-60,00%	4,17	-8,15%	25,88	1,36%	2,34	1,31%	62,84	0,26%	32622,25	0,40%
10,00	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
20,00	100,00%	4,75	4,83%	25,24	-1,16%	2,29	-0,98%	62,55	-0,20%	32340,81	-0,47%

Όπως είναι εμφανές στα αποτελέσματα της προσομοίωσης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.78, η αύξηση του ρυθμού της ζύμωσης, για K_{fe} ίσο με 4,00, επιφέρει σημαντική μείωση του ολικού φωσφόρου εκροής έως 8,15% και αμμωνιακού αζώτου έως 5,66%, ενώ αντίθετα αυξάνεται το νιτρικό άζωτο που διαφεύγει σε ποσοστό 3,65%.

	,	•	Πρωτοβά	θμια ιλύς		Περίσσεια ιλύος					
ĸ	, fe	Q _{πρωτ.ιλ.} (m³/d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
4,00	-60,00%	1320,00	0,02%	19800,04	0,02%	888,05	-0,02%	9016,35	1,22%	8006,97	1,19%
10,00	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
20,00	100,00%	1319,46	-0,02%	19791,88	-0,02%	888,43	0,02%	8814,17	-1,05%	7830,73	-1,04%

Πίνακας 4.79: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ_{fe}.

Η μείωση του ολικού φωσφόρου οφείλεται στην αύξηση της διαθεσιμότητας SA που επιφέρει ανάπτυξη των πολυφωσφορικών βακτηρίων τα οποία δεσμεύουν τον Ρ και καθιζάνουν απομακρυνόμενα μέσω της ιλύος. Η αύξηση της βιομάζας συνεπάγεται και φθορά που οδηγεί σε λύση του κυττάρου και παραγωγή σωματιδιακού οργανικού αζώτου, το οποίο υδρολύεται μέσω αμμωνιοποίησης μετατρέπεται σε αμμωνιακό άζωτο.

Σχετικά με την αύξηση του νιτρικού αζώτου, πρέπει να επισημανθεί ότι, καθώς το μοντέλο ASM2 δεν προσομοιώνει την ικανότητα των ΡΑΟ να απονιτροποιούν, η ανοξική δεξαμενή είναι αναερόβια για τους συγκεκριμένους οργανισμούς. Επομένως, εξακολουθούν να αποθηκεύουν S_A ως PHA και να μειώνεται η διαθεσιμότητά του για τους ετεροτροφικούς, με συνέπεια να μειώνεται η απονιτροποίηση και να εμφανίζεται αυξημένο το νιτρικό άζωτο στην έξοδο της εγκατάστασης.

	Π	ίνακας 4.80:	Χαρακτηρια	στικά στραγγ	ιδίων συναρ	τήσει της πα	ραμέτρου Κ	fe•	
					Στραγ	νγίδια			
k	, fe	Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄
4,00	-60,00%	2157,90	-0,01%	950,13	0,36%	180,37	0,32%	20,63	-0,47%
10,00	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%
20,00	100,00%	2158,06	0,00%	943,76	-0,31%	179,30	-0,28%	20,77	0,24%

- 4 00. Vala auto

Πίνακας 4.81: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου K_{fe}.

						Στραγγ	γίδια/Εισε	ρχόμενα λ	ιύματα				
к	, fe	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO₄strag/ SPO₄3	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
4,00	-60,00%	6,72%	0,21%	10,57%	0,32%	13,00%	0,27%	18,80%	0,87%	8,23%	-0,44%	6,21%	0,33%
10,00	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
20,00	100,00%	6,69%	-0,18%	10,51%	-0,27%	12,94%	-0,24%	18,47%	-0,88%	8,29%	0,23%	6,17%	-0,29%

Στα χαρακτηριστικά και την παροχή των παραγόμενων στραγγιδίων (Πίνακες 4.80 και 4.81) δεν παρουσιάζονται αξιόλογες μεταβολές.

Τέλος, δεν μεταβάλλεται το παραγόμενο βιοαέριο (Πίνακας 4.83), καθώς και η παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Πίνακας 4.82), γεγονός αναμενόμενο, αφού δεν μεταβάλλονται και τα χαρακτηριστικά της ιλύος.

Μόνο ο δείκτης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh προς τη μάζα του P σε kg που απομακρύνεται από την εγκατάσταση, εμφανίζει μείωση 2,70% λόγω της αύξησης του φωσφόρου που δεσμεύεται βιολογικά και απομακρύνεται από τα λύματα, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες παραγράφους.

				Ηλεκτρική	ή ενέργεια		
К	fe	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
4,00	-60,00%	25045,36	-0,05%	29163,36	0,42%	85,88%	-0,47%
10,00	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
20,00	100,00%	25062,27	0,02%	28956,59	-0,29%	86,55%	0,31%
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}
47,04%	0,42%	68,91%	0,44%	903,60%	1,24%	3957,43%	-2,70%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
46,70%	-0,29%	68,39%	-0,31%	884,76%	-0,87%	4133,93%	1,64%

Πίνακας 4.82: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K_{fe}.

Πίνακας 4.83: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K_{fe}.

Г

				BIOO	ιεριο		
к	fe	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
4,00	-60,00%	61,53	-0,05%	30,76	-0,05%	21,54	-0,05%
10,00	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
20,00	100,00%	61,57	0,02%	30,79	0,02%	21,55	0,02%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,23	-0,05%	10,29	0,16%	20,47	-0,15%	298,97%	-0,20%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,24	0,02%	10,23	-0,43%	20,56	0,24%	300,93%	0,45%

4.3.9 Σενάριο 9: Επίδραση της σταθεράς αποθήκευσης PHA από τα πολυφωσφορικά βακτήρια στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.9.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.84 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Συντελεστές Εξισ	ώσεων Συνέχειας	Στοιχ	ειομετρικές Σταθερές
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροο	ργανισμοί:
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{\rm H}$	6,000
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000
i _{NSF}	0,030	n _{NO3_h}	1,000
Σωματιδιακό υλικό:		b _H	0,620
i _{NXI}	0,030	$K_{O_2,h}$	0,200
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000
Διαλυτό υλικό:		$K_{NO_3}h$	0,500
i _{PS1}	0,000	K _{NH4_h}	0,050
i _{PXs}	0,010	K _{P_h}	0,001
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακ	τήρια:
i _{PXs}	0,010	<i>q</i> _{PHA}	1,00-2,00-3,00-4,00-5,00-6,00
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000
Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ_{PAO}	1,000
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200
Στοιχειομετρι	κές Σταθερές	K ₀₂ pao	0,200
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000
f_{S_I}	0,000	K _{NH4} pao	0,050
Ετεροτροφικοί μικροοργαν	ισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200
Y_H	0,600	K _{P_pao}	0,001
$f_{X_{I_}H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	ι: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340
Y _{PO4}	0,400	K _{IPP}	0,020
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010
f _{XI PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροομ	ογανισμοί:
Αυτοτροφικοί μικροοργανια	σμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680
Y _{AUT}	0,240	b _{AIIT}	0,120
$f_{X_{I}AUT}$	0,100	K ₀₂ aut	0,500
Υδρόλυση:	,	K _{NH4} aut	1,000
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500
n _{NO3 hyd}	0,600	K _{P aut}	0,001
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:	
K _{O2} hyd	0,200	K _{PRE}	1,000
$K_{NO_3 hyd}$	0,500	K _{RED}	0,600
K _x	0.050	KALK nra	0.500

Πίνακας 4.84: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 9 ανάλυσης ευαισθησίας.

4.3.9.2 Στόχος σεναρίου

Η σταθερά αποθήκευσης PHA από τα πολυφωσφορικά βακτήρια επηρεάζει την ταχύτητα της διεργασίας αποθήκευσης PHA από τα S_A. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση της σταθεράς στην απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 1,00 έως 6,00, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 3,00.

4.3.9.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Αρχικά πρέπει να σημειωθεί ότι η αύξηση της σταθεράς αποθήκευσης από 3,00 σε 6,00 επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης του PHA μέσα στα κύτταρα των πολυφωσφορικών βακτηρίων, το οποίο οξειδώνεται για την ανάπτυξη των συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Κατά συνέπεια, παρατηρείται ανάπτυξη της βιομάζας και αυξάνεται η συγκέντρωση των MLSS στο βιολογικό αντιδραστήρα (Πίνακας 4.85, Σχήμα 4.13). Η αύξηση είναι μεγαλύτερη σε όρους TSS λόγω του υπολογισμού ως ξεχωριστές σωματιδιακές μεταβλητές από τη βιομάζα που τα αποθηκεύει, των πολυφωσφορικών αλυσίδων PP και των PHA.



Σχήμα 4.13: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό, συναρτήσει της παραμέτρου _{ΦρΗΑ}.

				Βιοαντιδρ	οαστήρας		
q	pha	MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS
1,00	-66,67%	2645,62	-4,58%	3267,80	-3,89%	3459,43	-13,82%
2,00	-33,33%	2687,40	-3,07%	3309,40	-2,67%	3693,51	-7,99%
3,00	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%
4,00	33,33%	2807,36	1,25%	3436,60	1,08%	4150,51	3,40%
5,00	66,67%	2819,77	1,70%	3449,58	1,46%	4194,57	4,50%
6,00	100,00%	2820,85	1,74%	3450,30	1,48%	4203,89	4,73%

Πίνακας 4.85: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

						Δεξαμενή	αερισμοί)			
q	pha	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR1	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR2	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR3	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR4	SOTR (kgO ₂ /h)	SOTR
1,00	-66,67%	952,34	2,03%	698,93	-3,65%	349,81	-4,73%	250,27	-7,11%	2251,17	-1,92%
2,00	-33,33%	928,87	-0,48%	710,16	-2,10%	359,11	-2,19%	262,18	-2,69%	2260,45	-1,52%
3,00	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%
4,00	33,33%	939,27	0,63%	732,49	0,98%	372,03	1,32%	276,80	2,74%	2320,64	1,10%
5,00	66,67%	944,37	1,18%	736,28	1,50%	373,28	1,67%	277,19	2,88%	2330,96	1,55%
6,00	100,00%	945,69	1,32%	737,40	1,65%	373,65	1,77%	277,22	2,89%	2333,93	1,68%

Πίνακας 4.86: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου αΡΗΑ.

Η συνολική ζήτηση οξυγόνου (Πίνακας 4.86) εμφανίζει μικρή μεταβλητότητα σε ποσοστά μικρότερα του 2%, καθώς η συγκεκριμένη διεργασία λαμβάνει χώρα σε αναερόβιο περιβάλλον κυρίως, μολονότι δεν είναι απαγορευτικές και οι αερόβιες ή ανοξικές συνθήκες.



Σχήμα 4.14: Συγκέντρωση στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q_{PHA}.

				Περίσσε	ια ιλύος		
q	bha	VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m³)	Su
1,00	-66,67%	5871,31	-4,57%	7251,64	-3,88%	7676,64	-13,82%
2,00	-33,33%	5962,33	-3,09%	7341,98	-2,68%	8194,90	-8,01%
3,00	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%
4,00	33,33%	6229,48	1,25%	7625,19	1,07%	9208,90	3,38%
5,00	66,67%	6257,30	1,70%	7654,26	1,46%	9306,82	4,48%
6,00	100,00%	6259,69	1,74%	7655,86	1,48%	9327,46	4,71%

Πίνακας 4.87: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου αρηα.

Η συγκέντρωση των στερεών στη βιολογική ιλύ (Πίνακας 4.87, Σχήμα 4.14)) ακολουθεί τις μεταβολές που παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις του ανάμικτου υγρού (Πίνακας 4.85), καθώς δεν μεσολαβούν βιολογικές διεργασίες, γεγονός που αποτυπώνεται και στα ποσοστά της τελευταίας στήλης των πινάκων.



Σχήμα 4.15: Δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει της παραμέτρου q_{PHA}.

Όπως είναι εμφανές στα στοιχεία του Πίνακα 4.88, η μείωση της σταθεράς ρυθμού αποθήκευσης PHA από 3,00 σε 1,00 επιφέρει πολύ μεγάλη αύξηση στον ολικό φώσφορο εξόδου (Σχήμα 4.15), της τάξεως του 97,79%, με ταυτόχρονη μείωση του αμμωνιακού αζώτου εξόδου σε ποσοστό 27,37%. Οι υπόλοιποι δείκτες, επίσης εμφανίζουν μεταβολές, αλλά μικρότερης τάξης μεγέθους, ενώ για το δυσμενέστερο σενάριο ο δείκτης ποιότητας εκροής (Σχήμα 4.14) αυξάνεται μόνο μέχρι 8,39%, καθώς σταθμίζονται πολλές μεταβλητές για τον υπολογισμό του.

Η σημαντική αύξηση του ολικού φωσφόρου της εξόδου είναι αποτέλεσμα του μειωμένου ρυθμού αποθήκευσης ΡΗΑ. Τα πολυφωσφορικά βακτήρια, λοιπόν, δεν διαθέτουν τις απαραίτητες ποσότητες ΡΗΑ για να τα οξειδώσουν, προκειμένου να αποθηκεύσουν φωσφορικά στο κύτταρό τους και να απομακρυνθεί ο Ρ με την καθίζηση της βιομάζας στην δεξαμενή τελικής καθίζησης.



Σχήμα 4.15: Ολικό άζωτο και ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου

Η μείωση του αμμωνιακού αζώτου οφείλεται, όπως έχει προαναφερθεί, στη μειωμένη ανάπτυξη των πολυφωσφορικών, άρα και μειωμένη λύση τους προς παραγωγή σωματιδιακού αζώτου, το οποίο θα καταλήξει στη μορφή του αμμωνιακού αζώτου.

				۵	δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	x		
q	pha	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
1,00	-66,67%	0,72	0,00%	0,81	-27,37%	11,85	-10,30%	2,17	-15,34%	14,02	-11,12%
2,00	-33,33%	0,72	0,00%	0,99	-11,68%	12,08	-8,51%	2,38	-7,28%	14,46	-8,31%
3,00	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
4,00	33,33%	0,72	0,00%	1,29	15,55%	14,70	11,32%	2,76	7,71%	17,47	10,73%
5,00	66,67%	0,72	0,00%	1,30	16,72%	15,25	15,46%	2,79	8,57%	18,03	14,34%
6,00	100,00%	0,72	0,00%	1,30	16,83%	15,44	16,93%	2,79	8,67%	18,23	15,59%
q	oha	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
1,00	-66,67%	8,97	97,79%	21,72	-14,95%	2,03	-12,35%	61,26	-2,27%	35220,47	8,39%
2,00	-33,33%	7,02	54,71%	23,28	-8,82%	2,13	-7,65%	61,79	-1,41%	33588,03	3,37%
3,00	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
4,00	33,33%	2,31	-49,06%	26,50	3,77%	2,39	3,37%	63,09	0,66%	31988,37	-1,56%
5,00	66,67%	1,97	-56,48%	26,81	5,01%	2,42	4,66%	63,24	0,90%	32329,05	-0,51%
6,00	100,00%	1,88	-58,57%	26,87	5,25%	2,42	4,90%	63,26	0,93%	32465,43	-0,09%

Πίνακας 4.88: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου
QPHA.

Πίνακας 4.89: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q_{PHA}.

			Πρωτοβά	ιθμια ιλύς				Περίσσε	α ιλύος		
q	pha	Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
1,00	-66,67%	1316,37	-0,25%	19745,50	-0,25%	889,54	0,14%	7676,64	-13,82%	6828,65	-13,70%
2,00	-33,33%	1317,79	-0,15%	19766,89	-0,15%	889,69	0,16%	8194,90	-8,01%	7290,91	-7,86%
3,00	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
4,00	33,33%	1320,52	0,06%	19807,86	0,06%	887,81	-0,05%	9208,90	3,38%	8175,79	3,32%
5,00	66,67%	1320,79	0,08%	19811,78	0,08%	887,59	-0,08%	9306,82	4,48%	8260,63	4,40%
6,00	100,00%	1320,84	0,09%	19812,63	0,09%	887,60	-0,08%	9327,46	4,71%	8279,08	4,63%

|--|

			Στραγγίδια											
q	oha	Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄					
1,00	-66,67%	2157,97	0,00%	907,97	-4,09%	173,05	-3,76%	21,99	6,10%					
2,00	-33,33%	2158,68	0,03%	924,20	-2,38%	175,89	-2,18%	21,40	3,28%					
3,00	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%					
4,00	33,33%	2157,86	-0,01%	956,18	1,00%	181,49	0,94%	20,04	-3,31%					
5,00 66,67%		2157,74	-0,01%	959,27	1,33%	182,02	1,23%	19,95	-3,73%					
6,00 100,00%		2157,78	-0,01%	959,91	1,39%	182,13	1,30%	19,92	-3,87%					

		,			01001 0100	100000	p a c p c .	a no pare		1000 0131	cap apo cp	ee qriia.	
						Στραγγ	νίδια/Εισε	ρχόμενα λ	ιύματα				
q	pha	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
1,00	-66,67%	6,55%	-2,32%	10,19%	-3,24%	12,54%	-3,29%	16,69%	-10,47%	8,73%	5,57%	5,95%	-3,85%
2,00	-33,33%	6,61%	-1,37%	10,33%	-1,91%	12,73%	-1,87%	17,57%	-5,73%	8,52%	3,03%	6,06%	-2,21%
3,00	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
4,00	33,33%	6,74%	0,57%	10,64%	0,95%	13,07%	0,81%	18,90%	1,42%	8,02%	-3,05%	6,25%	0,93%
5,00	66,67%	6,76%	0,76%	10,67%	1,27%	13,11%	1,06%	19,04%	2,17%	7,99%	-3,44%	6,27%	1,23%
6.00	100.00%	6.76%	0.80%	10.68%	1.34%	13.11%	1.12%	19.08%	2.35%	7.98%	-3.57%	6.27%	1.30%

Πίνακας 4.91: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου αρμα.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.89, η βιολογική ιλύς, ως προς τις συγκεντρώσεις στερεών παρουσιάζει τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν στο ανάμικτο υγρό.

				Ηλεκτρική	ή ενέργεια	,,	-p + w +
qţ	bha	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
1,00	-66,67%	25381,65	1,29%	28446,33	-2,05%	89,23%	3,41%
2,00	-33,33%	25194,45	0,54%	28663,31	-1,30%	87,90%	1,87%
3,00	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
4,00	33,33%	24994,94	-0,25%	29315,25	0,94%	85,26%	-1,18%
5,00	66,67%	24991,09	-0,27%	29417,50	1,29%	84,95%	-1,54%
6,00	100,00%	24939,09	-0,47%	29430,10	1,34%	84,74%	-1,79%
kWh/m ³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)
45,88%	-2,05%	67,06%	-2,25%	845,97%	-5,21%	6475,60%	59,21%
46,23%	-1,30%	67,62%	-1,43%	859,43%	-3,71%	5115,45%	25,77%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
47,28%	0,94%	69,29%	1,00%	930,90%	4,30%	3441,26%	-15,39%
47,45%	1,29%	69,55%	1,38%	944,73%	5,85%	3370,86%	-17,12%
47,47%	1,34%	69,58%	1,42%	948,86%	6,31%	3349,77%	-17,64%

Πίνακας 4.92: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου α_{ΡΗΑ}.

Οι μεταβολές στη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου έχουν επηρεάσει τη σύσταση των στραγγιδίων, όπως φαίνεται και στους Πίνακες 4.90 και 4.91, στους οποίους παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωση φωσφορικών κατά 6,10% για q_{PHA} ίσο με 1,00. Αντίθετα, επέρχεται μείωση στις συγκεντρώσεις ολικών στερεών και αμμωνιακού αζώτου, λόγω της μειωμένης ανάπτυξης των πολυφωσφορικών βακτηρίων που αναφέρθηκε παραπάνω.

Κατά συνέπεια αυξάνονται και οι δείκτες συνεισφορά των στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα, αναφορικά με τον ολικό φώσφορο και τα φωσφορικά (Πίνακας 4.91).

Σχετικά με την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια (Πίνακας 4.92) οι μεταβολές είναι μικρές. Όταν εξετάζονται, όμως, οι δείκτες που συσχετίζουν την καταναλισκόμενη ενέργεια με τη μάζα του φωσφόρου που απομακρύνεται, η αύξηση της σχετικής κατανάλωσης φτάνει το 59,21% λόγω μειωμένης βιολογικής απομάκρυνσης του συγκεκριμένου θρεπτικού.

Το παραγόμενο βιοαέριο, επίσης, εμφανίζει μικρές διαφοροποιήσεις κατά τη μεταβολή της σταθεράς αποθήκευσης PHA, όπως δείχνει ο Πίνακας 4.93.

			availokoperijo	Βιοα	ιέριο	, napaperpoor q	rna•
d ^t	bha	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
1,00	-66,67%	62,36	1,29%	31,18	1,29%	21,82	1,29%
2,00	-33,33%	61,90	0,54%	30,95	0,54%	21,66	0,54%
3,00	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
4,00	33,33%	61,41	-0,25%	30,70	-0,25%	21,49	-0,25%
5,00	66,67%	61,40	-0,27%	30,70	-0,27%	21,49	-0,27%
6,00	100,00%	61,27	-0,47%	30,63	-0,47%	21,44	-0,47%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,35	1,29%	9,85	-4,14%	21,33	4,01%	316,55%	5,67%
9,28	0,54%	10,02	-2,45%	20,92	2,04%	308,77%	3,07%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,21	-0,25%	10,37	0,91%	20,33	-0,83%	296,13%	-1,15%
9,21	-0,27%	10,40	1,23%	20,30	-1,02%	295,15%	-1,48%
9,19	-0,47%	10,40	1,25%	20,23 -1,34%		294,49%	-1,70%

Πίνακας 4.93: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου αρηα.

4.3.10 Σενάριο 10: Επίδραση της σταθεράς αποθήκευσης PP από τα πολυφωσφορικά βακτήρια στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.10.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.94 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Συντελεστές Ε	ξισώσεων Συνέχειας	Στοιχει	ομετρικές Σταθερές
, Άζωτο	, , ,	Ετεροτροφικοί μικροορ	γανισμοί:
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{\rm H}$	6,000
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000
i _{NSF}	0,030	n _{NO3 h}	1,000
Σωματιδιακό υλικό:		b _H	0,620
i _{NXI}	0,030	K _{O2} h	0,200
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000
Φώσφορος:	•	K _{A h}	4,000
Διαλυτό υλικό:		K _{NO3} h	0,500
i _{PSI}	0,000	K _{NH4} h	0,050
i _{PXs}	0,010	K _{P h}	0,001
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτι	jρια:
i _{PXs}	0,010	<i>q_{PHA}</i>	3,000
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	1,50-2,50-3,00-4,00
Ολικά αιωρούμενα στερεά:	•	μ_{PAO}	1,000
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200
Στοιχειομε	τρικές Σταθερές	K _{O2} pao	0,200
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000
f_{S_I}	0,000	K _{NH4} pao	0,050
Ετεροτροφικοί μικροοργ	ανισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001
$f_{X_{I}}H$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100
Πολυ-φωσφορικά βακτή	ρια: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340
Y _{PO}	0,400	K _{IPP}	0,020
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010
f _{XI PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργ	ανισμοί:
Αυτοτροφικοί μικροοργα	χνισμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680
Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120
$f_{X_1 AUT}$	0,100	K _{O2} aut	0,500
Υδρόλυση:	, ,	K _{NH} , aut	1,000
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500
n _{NO3 hvd}	0,600	K _{P aut}	0,001
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:	•
K _{02 hyd}	0,200	K _{PRE}	1,000
$K_{NO_3 hyd}$	0,500	K _{RED}	0,600
K _X	0,050	K _{ALK} pre	0,500

Πίνακας 4.94: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 10 ανάλυσης ευαισθησίας.

4.3.10.1 Στόχος σεναρίου

Η σταθερά ρυθμού αποθήκευσης PP από τα πολυφωσφορικά βακτήρια, q_{pp}, μεταβάλλει το ρυθμό της διεργασίας. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στην απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 1,50 έως 4,00, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 3,00.

4.3.10.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι η αύξηση της σταθεράς επιφέρει αύξηση του ρυθμού της διεργασίας αποθήκευσης των ΡΡ και απελευθέρωσης των ΡΗΑ προκειμένου να οξειδωθούν.

Πρόκειται για διεργασία που λαμβάνει χώρα σε αερόβιες συνθήκες, αλλά δεν μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις στερεών της δεξαμενής αερισμού (Πίνακας 4.95), ούτε η συνολική απαίτηση οξυγόνου (Πίνακας 4.96), καθώς δεν μεταβάλλεται η στοιχειομετρία της αντίδρασης.

Το ίδιο συμβαίνει με τις συγκεντρώσεις της βιολογικής ιλύος (Πίνακες 4.97 και 4.99) καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τις παροχές και συγκεντρώσεις των στραγγιδίων (Πίνακες 4.100 και 4.101).

Чрр.										
				Βιοαντιδρ	οαστήρας					
q	рр	MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS			
1,50	-50,00%	2787,39	0,53%	3417,64	0,52%	3988,62	-0,64%			
2,50	-16,67%	2777,77	0,19%	3406,03	0,18%	4014,22	0,00%			
3,00 0,00%		2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%			
4,00 33,33%		2756,52	-0,58%	3380,98	-0,56%	3999,70	-0,36%			

Πίνακας 4.95: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

Πίνακας 4.96: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου q_{PP}.

						Δεξαμενή	αερισμοί)				
		SOTR1	COTDA	SOTR2	COTDO	SOTR3	COTDO	SOTR4	COTDA	SOTR	COTO	
q _{pp}		(kgO ₂ /h)	SOIRI	(kgO ₂ /h)		(kgO ₂ /h)	SOTR3	(kgO ₂ /h)	SOTR4	(kgO ₂ /h)	SOTR	
1,50	-50,00%	944,56	1,20%	737,78	1,71%	367,92	0,21%	257,41	-4,46%	2307,63	0,54%	
2,50	-16,67%	940,59	0,77%	731,53	0,85%	367,16	0,00%	262,80	-2,46%	2301,95	0,29%	
3,00	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%	
4,00	33,33%	928,12	-0,56%	718,23	-0,99%	365,41	-0,48%	272,57	1,17%	2284,33	-0,48%	

Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 4.98, ο δείκτης ποιότητας εκροής συνολικά παραμένει αμετάβλητος. Η αύξηση του ολικού αζώτου με τη μείωση του ρυθμού της διεργασίας δεν ξεπερνά το 5,50% και οφείλεται στην αργή αποθήκευσή του από τα πολυφωσφορικά βακτήρια.

Πίνακας 4.97: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου qPP.

			Περίσσεια ιλύος										
q	рр	VSS (g VSS/m ³)	VSS VSS/m ³)		Su	Su (g SS/m ³)	Su						
1,50	-50,00%	6185,55	0,53%	7583,54	0,52%	8851,92	-0,63%						
2,50	-16,67%	6164,19	0,19%	7557,78	0,18%	8908,56	0,01%						
3,00	3,00 0,00%		0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%						
4,00	33,33%	6115,60	-0,60%	7500,61	-0,58%	8874,54	-0,38%						

Πίνακας 4.98: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου αPP.

				L	Δευτεροβ	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	α		
q	рр	Qe (m³/s)	Qe	SNH ₄ e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
1,50	-50,00%	0,72	0,00%	0,81	-27,36%	13,30	0,68%	2,27	-11,59%	15,57	-1,32%
2,50	-16,67%	0,72	0,00%	0,94	-15,48%	13,26	0,42%	2,40	-6,62%	15,66	-0,72%
3,00	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
4,00	33,33%	0,72	0,00%	1,25	11,71%	13,19	-0,17%	2,69	4,75%	15,87	0,63%
q	pp	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
1,50	-50,00%	4,78	5,47%	25,42	-0,45%	2,33	0,91%	62,82	0,22%	32540,85	0,14%
2,50	-16,67%	4,59	1,14%	25,55	0,06%	2,32	0,37%	62,73	0,09%	32423,21	-0,22%
3,00	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
4,00	33,33%	4,52	-0,43%	25,39	-0,55%	2,29	-0,95%	62,50	-0,28%	32562,58	0,21%

Πίνακας 4.99: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου q_{PP}.

			Πρωτοβά	θμια ιλύς		Περίσσεια ιλύος						
q _{pp}		Q _{πρωτ.ιλ.} (m³/d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su	
1,50	-50,00%	1319,55	-0,01%	19793,22	-0,01%	887,91	-0,04%	8851,92	-0,63%	7859,72	-0,67%	
2,50	-16,67%	1319,71	0,00%	19795,64	0,00%	888,13	-0,02%	8908,56	0,01%	7911,98	-0,01%	
3,00	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%	
4,00 33,33% 1319		1319,63	-0,01%	19794,51	-0,01%	888,77	0,06%	8874,54	-0,38%	7887,40	-0,32%	

Πίνακας 4.100: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου qpp.

					Στραγ	νγίδια			
q	рр	Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	TSS SNH ₄ (g/m ³)		SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄
1,50	1,50 -50,00%		-0,02%	945,00	-0,18%	179,40	-0,22%	20,82	0,44%
2,50	-16,67%	2157,87	-0,01%	946,75	0,00%	179,75	-0,03%	20,75	0,12%
3,00 0,00%		2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%
4,00	33,33%	2158,47	0,02%	945,61	-0,12%	179,65	-0,08%	20,69	-0,14%

						Στραγγ	γίδια/Εισε	ρχόμενα λ	ιύματα					
q	рр	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH4strag/ SNH43 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)	
1,50	-50,00%	6,70%	-0,05%	10,52%	-0,15%	12,94%	-0,21%	18,46%	-0,97%	8,30%	0,39%	6,18%	-0,19%	
2,50	-16,67%	6,71%	0,01%	10,53%	-0,01%	12,96%	-0,03%	18,62%	-0,08%	8,28%	0,10%	6,19%	0,00%	
3,00	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%	
4,00	33,33%	6,70%	-0,10%	10,53%	-0,07%	12,96%	-0,05%	18,63%	-0,04%	8,26%	-0,11%	6,19%	-0,09%	

Πίνακας 4.101: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου qp.

Και στο συγκεκριμένο σενάριο δεν παρατηρούνται διαφοροποιήσεις ως προς το παραγόμενο βιοαέριο (Πίνακας 4.103), λόγω σταθερής παροχής και συγκέντρωσης στερεών της ιλύος.

Επίσης, η ηλεκτρική ενέργεια παραμένει σχετικά αμετάβλητη (Πίνακας 4.102) με μοναδική μικρή διαφοροποίηση, της τάξης του 2,34%, στο δείκτη της ενέργειας που καταναλώνεται ως προς το φώσφορο που απομακρύνεται λόγω αύξησης του φωσφόρου που δεν απομακρύνεται βιολογικά.

	· ·		· ·	Ηλεκτρική	ί ενέργεια		
q	pp	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
1,50	-50,00%	25126,33	0,27%	29082,78	0,14%	86,40%	0,13%
2,50	-16,67%	25062,06	0,02%	29112,62	0,24%	86,09%	-0,23%
3,00	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
4,00	33,33%	25007,07	-0,20%	28962,20	-0,27%	86,34%	0,07%
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}
46,91%	0,14%	68,72%	0,16%	890,25%	-0,25%	4162,61%	2,34%
46,96%	0,24%	68,78%	0,25%	892,75%	0,03%	4095,64%	0,70%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
46,71%	-0,27%	68,40%	-0,30%	891,76%	-0,08%	4049,35%	-0,44%

Πίνακας 4.102: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q_{PP}.

				Βιοα	ιέριο		
q	pp	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
1,50	-50,00%	61,73	0,27%	30,86	0,27%	21,60	0,27%
2,50	-16,67%	61,57	0,02%	30,79	0,02%	21,55	0,02%
3,00	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
4,00	33,33%	61,44	-0,20%	30,72	-0,20%	21,50	-0,20%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,26	0,27%	10,25	-0,26%	20,62	0,54%	301,17%	0,53%
9,24	0,02%	10,27	0,00%	20,51	0,03%	299,63%	0,02%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,22	-0,20%	10,25	-0,19%	20,46	-0,21%	299,55%	-0,01%

Πίνακας 4.103: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου q_{PP}.

4.3.11 Σενάριο 11: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης πολυφωσφορικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.11.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.104 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Πίνακ	ας 4.104: Τιμές παραμέ	τρων σεναρίου 11 ανάλυσης ευαι	σθησίας.
Συντελεστές Εξισώ	σεων Συνέχειας	Στοιχειοι	ιετρικές Σταθερές
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργα	ινισμοί:
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000
i _{NSF}	0,030	$n_{NO_{3}}h$	1,000
Σωματιδιακό υλικό:		b_{H}	0,620
i _{NXI}	0,030	$K_{O_2,h}$	0,200
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000
Διαλυτό υλικό:		K _{NO2} h	0,500
i _{PSI}	0,000	K _{NH4_h}	0,050
i _{PXs}	0,010	K _{P_h}	0,001
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρ	ια:
i _{PXs}	0,010	<i>q</i> _{PHA}	3,000
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000
Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ_{PAO}	0,50-1,00-2,00
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200
Στοιχειομετρικ	ές Σταθερές	K _{02_} pao	0,200
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000
f_{S_I}	0,000	K _{NH4} pao	0,050
Ετεροτροφικοί μικροοργανισ	σμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001
$f_{X_{I_}H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια:	X _{PAO}	K _{PP}	0,010
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340
Y _{PO4}	0,400	K _{IPP}	0,020
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010
$f_{X_{I}PAO}$	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργα	πσμοί:
Αυτοτροφικοί μικροοργανισι	ιοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,680
Y _{AUT}	0,240	b _{4IIT}	0,120
f _{XL} AUT	0.100	K _{Op} aut	0.500
Υδρόλυση:	-,	K _{NH} , aut	1.000
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500
n _{NO3 hyd}	0,600	K _{P aut}	0,001
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:	· · · ·
K _{O2} hyd	0,200	K _{PRE}	1,000
K _{NO3} hyd	0,500	K _{RED}	0,600
K _X	0,050	KALK nre	0,500

4.3.11.2 Στόχος σεναρίου

Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των πολυφωσφορικών βακτηρίων ελέγχει το ρυθμό με τον οποίο αναπτύσσονται οι PAO σε αερόβιες συνθήκες. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης των PAO στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμώ από 0,50 έως 2,00, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 1,00.

4.3.11.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Αρχικά πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση του συντελεστή επιφέρει μείωση της ανάπτυξης των PAO. Έτσι, όπως φαίνεται στα δεδομένα του Πίνακα 4.105, για μέγιστο ειδικό ρυθμό ίσο με 0,50 συγκέντρωση των αιωρούμενων ολικών στερεών στο βιολογικό αντιδραστήρα μειώνεται κατά 13,10% (Σχήμα 4.16) λόγω της μειωμένης συγκέντρωσης των PAO στο σύστημα, που επιφέρει μείωση της συγκέντρωσης των άλλων δύο σωματιδιακών μεταβλητών που αποθηκεύουν οι PAO, των PP και PHA.

Αντίστοιχη μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών στερεών παρουσιάζει η δευτεροβάθμια ιλύς (Πίνακες 4.107 και 4.109, Σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.16: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου μ_{PAO}.

Πίνακας 4.105: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

	Βιοαντιδραστήρας								
μ_{pao}		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS		
0,50	-50,00%	2642,56	-4,69%	3286,23	-3,35%	3488,40	-13,10%		
1,00 0,00%		2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%		
2,00 100,00%		2787,02	0,52%	3416,63	0,49%	3984,64	-0,73%		

							1			· [] · ···p· ··p···			
			Δεξαμενή αερισμού										
μ_{pao}		SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR1	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR2	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR3	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR4	SOTR (kgO ₂ /h)	SOTR		
0,50	-50,00%	929,44	-0,42%	694,26	-4,29%	351,45	-4,28%	257,38	-4,47%	2232,65	-2,73%		
1,00	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%		
2,00	100,00%	1019,26	9,20%	718,71	-0,92%	338,82	-7,72%	235,33	-12,65%	2312,08	0,73%		

Πίνακας 4.106: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου μραο.

Μικρή μείωση παρουσιάζει η ολική απαίτηση οξυγόνου της δεξαμενής αερισμού (Πίνακας 4.106), καθώς λιγότερο PHA οξειδώνεται για την αποθήκευση PP από τα πολυφωσφορικά βακτήρια.



Σχήμα 4.17: Συγκέντρωση στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ_{PAO}.

				Περίσσε	ια ιλύος		
μ	090	VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su
0,50	-50,00%	5861,99	-4,72%	7290,00	-3,37%	7738,94	-13,12%
1,00	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%
2,00	100,00%	6184,81	0,52%	7581,65	0,49%	8841,76	-0,74%
16,00 15,80 15,60 15,40 15,20 15,20 15,00 14,80 14,60 14,40 14,20 14,20 14,00 10,50 10,50 10,50 10,50 10,50	70 090 110	130 150	(/)	9,00 8,50 8,00 7,50 6,50 5,50 5,00 4,50		- The (mg/	

Πίνακας 4.107: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ_{ΡΑΟ}.

Σχήμα 4.18: Συγκέντρωση ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου μ_{ΡΑΟ}.

				۵	Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	X		
μ	pao	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/I)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,50	-50,00%	0,72	-0,41%	0,93	-17,26%	11,87	-10,17%	2,27	-11,57%	14,14	-10,34%
1,00	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
2,00	100,00%	0,72	-0,41%	0,79	-29,67%	13,33	0,89%	2,25	-12,64%	15,57	-1,25%
μ	pao	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /l)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,50	-50,00%	8,91	96,72%	21,94	-14,08%	2,15	-6,71%	61,59	-1,74%	35361,02	8,82%
1,00	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
2,00	100,00%	4,83	6,52%	25,38	-0,57%	2,33	0,87%	62,81	0,20%	32597,50	0,32%

Πίνακας 4.108: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου μρας.

Στα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα (Πίνακας 4.108) η μείωση του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης των PAO επιφέρει, όπως αναμενόταν, αύξηση κατά 96,72% του ολικού φωσφόρου στην έξοδο (Σχήμα 4.18), καθώς οι PAO αποτελούν τη βιομάζα που σχετίζεται με τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου στην εγκατάσταση.

Προφανώς τα ολικά στερεά στην έξοδο μειώνονται κατά 14,08%, λόγω μείωσης της βιομάζας των ΡΑΟ και αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζουν τόσο το αμμωνιακό, όσο και το νιτρικό άζωτο με μειώσεις της τάξης του 10-17,50%.

Σχετικά με τις μεταβολές των συγκεντρώσεων των διαφόρων μορφών αζώτου, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως αρκετές φορές, η μείωση της σχετικής συγκέντρωσης των ΡΑΟ στο σύστημα αλλάζει τη δυναμική μεταξύ των διαφόρων μορφών βιομάζας και επιφέρει τις μεταβολές που παρατηρούνται.

·	πνακας 4.1	о <u>э.</u> ларакт		ιρωτορασμ	Γερορασμ							
Πρωτοραθμια ιλυς							Περισσεια ιλύος					
μ _{pao}		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su	
0,50	-50,00%	1316,54	-0,24%	19748,11	-0,24%	889,66	0,16%	7738,94	-13,12%	6885,03	-12,99%	
1,00	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%	
2,00	100,00%	1319,51	-0,02%	19792,62	-0,02%	887,45	-0,09%	8841,76	-0,74%	7846,66	-0,84%	

Πίνακας 4.109: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ_{ΡΑΟ}.

Πίνακας 4.110: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου μ_{PAO}.

			Στραγγίδια									
μ _{pao}		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³) SNH ₄		SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄			
0,50	-50,00%	2158,16	0,01%	909,91	-3,89%	173,41	-3,55%	21,96	5,97%			
1,00	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%			
2,00 100,00%		2157,11	-0,04%	944,74	-0,21%	179,35	-0,25%	20,83	0,51%			

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα										
μ	pao	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,50	-50,00%	6,56%	-2,17%	10,21%	-3,14%	12,57%	-3,10%	16,85%	-9,62%	8,72%	5,46%	5,97%	-3,65%
1,00	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
2,00	100,00%	6,70%	-0,08%	10,52%	-0,19%	12,94%	-0,25%	18,43%	-1,09%	8,31%	0,43%	6,18%	-0,23%

Πίνακας 4.111: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου μ_{ΡΑΟ}.

Τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.110 και 4.111 και πρέπει να σημειωθεί ότι παρουσιάζουν μεταβολές στις συγκεντρώσεις των φωσφορικών και του ολικού αζώτου που συνεισφέρουν στα εισερχόμενα λύματα λόγω της αλλαγής του ρυθμού ανάπτυξης των ΡΑΟ που είναι υπεύθυνοι για τη δέσμευση του φωσφόρου σε αερόβιες συνθήκες.

Η μειωμένη απομάκρυνση φωσφόρου, όπως αναμένεται, επηρεάζει και το δείκτη της καταναλισκόμενης ενέργειας στην εγκατάσταση προς τη μάζα του φωσφόρου που απομακρύνεται. Ο, εν λόγω, δείκτης παρουσιάζει αύξηση σχεδόν 57% για μέγιστο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης των ΡΑΟ ίσο με 0,50.

	, ,			Ηλεκτρική	ή ενέργεια		
μ	ao	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
0,50	-50,00%	25308,78	1,00%	28279,74	-2,62%	89,49%	3,72%
1,00	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
2,00	100,00%	25178,40	0,48%	29123,77	0,28%	86,45%	0,20%
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}
45,61%	-2,62%	66,70%	-2,78%	842,88%	-5,56%	6385,13%	56,99%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
46,97%	0,28%	68,81%	0,30%	891,63%	-0,10%	4184,13%	2,87%

Πίνακας 4.112: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μ_{ΡΑΟ}.

Το παραγόμενο βιοαέριο δεν μεταβάλλεται σημαντικά με τη μεταβολή του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης των πολυφωσφορικών βακτηρίων (Πίνακας 4.113).

				Βιοα	ιέριο		
μ _{pao}		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
0,50	-50,00%	62,18	1,00%	31,09	1,00%	21,76	1,00%
1,00	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
2,00	100,00%	61,86	0,48%	30,93	0,48%	21,65	0,48%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,33	1,00%	9,86	-4,05%	21,23	3,53%	315,34%	5,26%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,28	0,48%	10,25	-0,27%	20,68	0,86%	301,85%	0,76%

Πίνακας 4.113: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μΡΑΟ.

4.3.12 Σενάριο 12: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού αμμωνιακού αζώτου των πολυφωσφορικών βακτηρίων στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.12.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.114 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Πίνα	κας 4.114: Τιμές παραμέ	ρων σεναρίου 12 ανάλυσης ευαισθησίας.				
Συντελεστές Εξισι	ώσεων Συνέχειας	Στοιχεια	ρμετρικές Σταθερές			
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργ	ανισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000			
i _{NSF}	0,030	$n_{NO_{3}-h}$	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		$b_{ m H}$	0,620			
i _{NXI}	0,030	K _{O2} h	0,200			
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000			
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		K _{NO2} h	0,500			
i _{PSI}	i _{PS1} 0,000		0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	K _{ALK h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτή	οια:			
i _{PXs}	0,010	q_{PHA}	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:	,	μ _{ΡΑΟ}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομετρι	κές Σταθερές	$K_{O_2 pao}$	0,200			
Υδρόλυση:		K _{A nao}	4,000			
f_{S_I}	0,000	K_{NH_4} pao	0,01-0,05-0,10			
Ετεροτροφικοί μικροοργανι	σμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια	:: X _{PAO}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y _{PO}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
f _{XI PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργα	ανισμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργανια	σμοί: Χ _{Αυτ}	μ _{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120			
f _{X1} AUT	0,100	K _{O2} aut	0,500			
Υδρόλυση:	,	K _{NH} , aut	1.000			
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500			
n _{NO3 hyd}	0,600	K _{P aut}	0,001			
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:				
K _{O2} hyd	0,200	K _{PRE}	1,000			
$K_{NO_3 hyd}$	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,050	K _{ALK pre}	0,500			

4.3.12.2 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής κορεσμού αμμωνιακού αζώτου των πολυφωσφορικών βακτηρίων ρυθμίζει το 'διακόπτη' αμμωνιακού αζώτου που επηρεάζει το ρυθμό αερόβιας ανάπτυξης των ΡΑΟ. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στην απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,01 έως 0,10, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 0,05.

4.3.12.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία των Πινάκων 4.115-4.123, το σύστημα δεν επηρεάζεται καθόλου από τις μεταβολές της συγκεκριμένης παραμέτρου. Κατά συνέπεια, οι τιμές του συντελεστή κορεσμού που εξετάζονται είναι μικρές σχετικά με τις συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου, με αποτέλεσμα να μην ασκείται καμία επίδραση στο ρυθμό ανάπτυξης των πολυφωσφορικών βακτηρίων.

Πίνακας 4.115: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

Βιοαντιδραστήρας								
K _{NH4_PAO}		MLVSS (g VSS/m ³)		MLSS (g COD/m ³)	MLSS (g COD/m ³)		MLSS	
0,01	-80,00%	2772,73	0,00%	3400,09	0,00%	4014,12	0,00%	
0,05	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%	
0,10	100,00%	2772,52	0,00%	3399,97	0,00%	4014,07	0,00%	

Πίνακας 4.116: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου

	NH4_pao.										
			Δεξαμενή αερισμού								
K _{NH}	4_PAO	SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR1	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR2	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR3	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR4	SOTR (kgO ₂ /h)	SOTR
0,01	-80,00%	933,78	0,04%	725,60	0,03%	367,06	-0,03%	269,11	-0,12%	2295,47	0,01%
0,05	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%
0,10	100,00%	932,95	-0,05%	725,18	-0,03%	367,27	0,03%	269,76	0,12%	2295,14	-0,01%

Πίνακας 4.117: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ_{ΝΗ4_pao}.

			Περίσσεια ιλύος								
K _{NH4_PAO}		VSS (g VSS/m ³)		Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su				
0,01	-80,00%	6152,90	0,00%	7544,50	0,00%	8908,05	0,00%				
0,05	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%				
0,10	100,00%	6152,45	0,00%	7544,21	0,00%	8907,98	0,00%				

				۵	δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	X		
K _{NH}	4_PAO	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/I)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,01	-80,00%	0,72	0,00%	1,11	-0,14%	13,21	0,01%	2,56	-0,06%	15,77	0,00%
0,05	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
0,10	100,00%	0,72	0,00%	1,12	0,10%	13,21	-0,01%	2,57	0,04%	15,77	0,00%
K _{NH}	4_PAO	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /l)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,01	-80,00%	4,54	0,02%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32494,76	0,00%
0,05	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
0,10	100,00%	4,53	-0,01%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32492,31	0,00%

Πίνακας 4.118: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

Πίνακας 4.119: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου KNH4_pao.

	Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος					
K _{NH} 4	4_PAO	Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	¥	Su (g/m³)	Su	Su (kg/d)	Su	
0,01	-80,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,72	0,00%	
0,05	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%	
0,10	100,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,28	0,00%	8907,98	0,00%	7912,75	0,00%	

Πίνακας 4.120: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Κ_{NH4_pao}.

			Στραγγίδια								
K _{NH} 4	1_PAO	Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH_4	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄		
0,01	-80,00%	2158,00	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%		
0,05	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%		
0,10	100,00%	2158,01	0,00%	946,71	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%		

Πίνακας 4.121: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ_{NH4_pao}.

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα										
K _{NH}	4_PAO	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,01	-80,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
0,05	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
0,10	100,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%

		Ηλεκτρική ενέργεια								
K _{NH4_PAO}		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας			
0,01	-80,00%	25058,03	0,00%	29045,42	0,01%	86,27%	-0,01%			
0,05	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%			
0,10	100,00%	25057,89	0,00%	29041,55	0,00%	86,28%	0,00%			
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}			
46,85%	0,01%	68,61%	0,01%	892,62%	0,01%	4068,08%	0,02%			
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%			
46,84%	0,00%	68,60%	0,00%	892,49%	0,00%	4067,09%	0,00%			

Πίνακας 4.122: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ_{ΝΗ4_pao}.

Πίνακας 4.123: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ_{NH4_pao}.

				Βιοα	έριο		
K _{NH4_PAO}		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
0,01	-80,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
0,05	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
0,10	100,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%

4.3.13 Σενάριο 13: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού Ρ για την αποθήκευση ΡΡ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.13.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.124 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Πίνακ	ας 4.124: Τιμές παραμέ	ων σεναρίου 13 ανάλυσης ευαισθησίας.					
Συντελεστές Εξισώ	σεων Συνέχειας	Στοιχειο	Στοιχειομετρικές Σταθερές				
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργι	χνισμοί:				
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000				
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000				
i _{NSF}	0,030	$n_{NO_{3}}h$	1,000				
Σωματιδιακό υλικό:		$b_{ m H}$	0,620				
i _{NXI}	0,030	$K_{O_2,h}$	0,200				
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000				
i _{NBM}	0,070	K _{fe}	10,000				
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000				
Διαλυτό υλικό:		K _{NO2} h	0,500				
i _{PSI}	0,000	K _{NH4_h}	0,050				
i _{PXs}	0,010	K _{P_h}	0,001				
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100				
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρ	$\sigma(\alpha)$				
i _{PXs}	0,010	<i>q_{PHA}</i>	3,000				
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000				
Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ _{ΡΑΟ}	1,000				
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200				
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200				
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200				
Στοιχειομετρικε	ές Σταθερές	K _{02_pao}	0,200				
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000				
f_{S_I}	0,000	K _{NHA} pao	0,050				
Ετεροτροφικοί μικροοργανισ	μοί: Χ _Η	K _{PS}	0,10-0,20-0,30				
Y_H	0,600	K _{P_pao}	0,001				
$f_{X_{I_}H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100				
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια:	X _{PAO}	K _{PP}	0,010				
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340				
Y _{PO4}	0,400	K _{IPP}	0,020				
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010				
f _{XI PAO}	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργα	νισμοί:				
Αυτοτροφικοί μικροοργανισι	ιοί: Χ _{ΑΠΤ}	μ_{AUT}	0,680				
Y _{AUT}	0,240	b _{AIIT}	0,120				
$f_{X_I AUT}$	0,100	K _{O2} aut	0,500				
Υδρόλυση:	,	K _{NH4} aut	1,000				
K _h	3,000	K _{ALK aut}	0,500				
n _{NO3 hyd}	0,600	K _{P aut}	0,001				
n _{fe}	0,100	Κατακρήμνιση:	· · · ·				
K _{O2} hyd	0,200	K _{PRE}	1,000				
K _{NO3} hyd	0,500	K _{RED}	0,600				
K _X	0,050	KALK pre	0,500				
4.3.13.2 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής κορεσμού Ρ για την αποθήκευση ΡΡ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια συμμετέχει στη διαμόρφωση του ρυθμού αποθήκευσης ΡΡ και συγκεκριμένα μεταβάλλει την τιμή του 'διακόπτη' φωσφορικών. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,50 έως 0,67, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 0,60.

4.3.13.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία των Πινάκων 4.125-4.133, το σύστημα δεν είναι ευαίσθητο στις μεταβολές της συγκεκριμένης παραμέτρου. Ενδεχομένως, οι τιμές του συντελεστή κορεσμού που εξετάζονται είναι να είναι μικρές σχετικά με τις συγκεντρώσεις φωσφορικών, με αποτέλεσμα να μην ασκείται καμία επίδραση στο ρυθμό αποθήκευσής τους από τα πολυφωσφορικά βακτήρια.

Πίνακας 4.125: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

	Np5.											
		Βιοαντιδραστήρας										
K _{PS}		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS					
0,10	-50,00%	2741,93	-1,11%	3363,65	-1,07%	3979,78	-0,86%					
0,20	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%					
0,30	50,00%	2778,53	0,21%	3406,95	0,20%	4017,99	0,10%					

Πίνακας 4.126: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου K_{PS}.

			Δεξαμενή αερισμού									
к		SOTR1	SOTP1	SOTR2	SOTPO	SOTR3	SOTDS	SOTR4	SOTP4	SOTR	SOTE	
IX.	PS	(kgO ₂ /h)	SOIKI	(kgO ₂ /h)	30182	(kgO ₂ /h)	30183	(kgO ₂ /h)	30184	(kgO ₂ /h)	SUIK	
0,10	-50,00%	921,15	-1,31%	717,55	-1,08%	365,66	-0,41%	273,29	1,43%	2277,64	-0,77%	
0,20	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%	
0,30	50,00%	944,84	1,23%	731,75	0,88%	366,10	-0,29%	260,54	-3,30%	2303,24	0,34%	

Πίνακας 4.127: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K_{PS}.

			Περίσσεια ιλύος							
K _{PS}		VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su			
0,10	-50,00%	6082,13	-1,15%	7460,94	-1,11%	8829,42	-0,88%			
0,20	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%			
0,30	50,00%	6165,90	0,21%	7559,85	0,21%	8916,82	0,10%			

Παρόλο που η επεξεργασμένη εκροή της εγκατάστασης παρουσιάζει μεταβολές των παραμέτρων (Πίνακας 1.28), εντούτοις αν εξετάσουμε τα αποτελέσματα ως προς το ολικό

άζωτο, τον ολικό φώσφορο, το COD και τον σταθμισμένο δείκτη ποιότητας EQI οι παρατηρούμενες μεταβολές δεν ξεπερνούν το 1%.

				Ĺ	Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	x		
K _{PS}		Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,10	-50,00%	0,72	0,00%	1,27	14,22%	13,20	-0,08%	2,71	5,53%	15,90	0,83%
0,20	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%
0,30	50,00%	0,72	0,00%	0,90	-18,92%	13,28	0,53%	2,36	-8,10%	15,63	-0,88%
К	PS	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,10	-50,00%	4,57	0,67%	25,22	-1,22%	2,27	-1,78%	62,34	-0,53%	32629,68	0,42%
0,20	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%
0,30	50,00%	4,56	0,56%	25,57	0,17%	2,32	0,42%	62,75	0,11%	32364,79	-0,40%

Πίνακας 4.128: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου K_{PS}.

Πίνακας 4.129: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K_{PS}.

		Πρωτοβάθμια ιλύς				Περίσσεια ιλύος					
K _{PS}		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	¥	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
0,10	-50,00%	1319,52	-0,01%	19792,85	-0,01%	889,25	0,11%	8829,42	-0,88%	7851,54	-0,77%
0,20	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
0,30	50,00%	1319,73	0,00%	19795,97	0,00%	888,10	-0,02%	8916,82	0,10%	7918,99	0,08%

Πίνακας 4.130: Χαρακτι	ηριστικά στραγγιδίων	ν συναρτήσει	της παραμέτρου K _{PS}
	The second second second second		- I J

			Στραγγίδια								
K _{PS}		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄		
0,10	-50,00%	2158,91	0,04%	944,13	-0,27%	179,41	-0,22%	20,70	-0,13%		
0,20	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%		
0,30	50,00%	2157,84	-0,01%	947,01	0,03%	179,78	-0,01%	20,74	0,07%		

Πίνακας 4.131: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου K_{PS}.

						Στραγγ	γίδια/Εισε	ρχόμενα λ	\ύματα				
к	PS	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,10	-50,00%	6,69%	-0,21%	10,52%	-0,17%	12,95%	-0,15%	18,60%	-0,21%	8,26%	-0,08%	6,18%	-0,22%
0,20	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
0,30	50,00%	6,71%	0,03%	10,54%	0,00%	12,97%	-0,02%	18,63%	-0,02%	8,28%	0,06%	6,19%	0,02%

				Ηλεκτρική	ή ενέργεια		
K _{PS}		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
0,10	-50,00%	24991,89	-0,26%	28921,14	-0,42%	86,41%	0,15%
0,20	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
0,30	50,00%	25059,88	0,01%	29115,62	0,25%	86,07%	-0,25%
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}
46,65%	-0,42%	68,29%	-0,46%	891,03%	-0,17%	4061,13%	-0,15%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
46,96%	0,25%	68,79%	0,26%	892,43%	-0,01%	4086,61%	0,48%

Πίνακας 4.132: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K_{PS}.

Πίνακας 4.133: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου K_{PS}.

	Βιοαέριο						
K _{PS}		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
0,10	-50,00%	61,40	-0,26%	30,70	-0,26%	21,49	-0,26%
0,20	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
0,30	50,00%	61,56	0,01%	30,78	0,01%	21,55	0,01%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,21	-0,26%	10,25	-0,27%	20,45	-0,26%	299,60%	0,01%
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,23	0,01%	10,27	0,00%	20,51	0,01%	299,59%	0,00%

4.3.14 Σενάριο 14: Επίδραση του συντελεστή κορεσμού Ρ για την ανάπτυξη των τριών ειδών βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.14.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.134 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Πίνακ	ας 4.134: Τιμές παραμέ	ρων σεναρίου 14 ανάλυσης ευαισθησίας.				
Συντελεστές Εξισώ	σεων Συνέχειας	Στοιχειο	μετρικές Σταθερές			
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικροοργ	ανισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		$\mu_{ m H}$	6,000			
i _{NSI}	0,010	q_{fe}	3,000			
i _{NSF}	0,030	n _{NO3-h}	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		$b_{ m H}$	0,620			
i _{NXI}	0,030	K _{O2} h	0,200			
i _{NXs}	0,040	K _F	4,000			
i _{NBM}	0,070	Kfe	10,000			
Φώσφορος:		K _{A h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		K _{NO2} h	0,500			
i _{PSI}	0,000	K _{NH4} h	0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P h}	0,001-0,05-0,10			
Σωματιδιακό υλικό:		K _{ALK_h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήμ	οια:			
i _{PXs}	0,010	q _{PHA}	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:		μ _{ΡΑΟ}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομετρικα	ές Σταθερές	K _{O2} pao	0,200			
Υδρόλυση:	· · · ·	K _{A nao}	4,000			
f_{S_I}	0,000	K_{NH_4} pao	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροοργανισ	μοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001-0,05-0,10			
$f_{X_{I}-H}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτήρια:	X _{PAO}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y _{PO} ,	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
$f_{X_L PAO}$	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργα	ανισμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργανισι	ιοί: ΧΔΙΙΤ	μ_{AUT}	0,680			
Y _{AUT}	0.240	baur	0.120			
f _{x, AUT}	0.100	Ko- aut	0.500			
Υδρόλυση:	-)	K _{NH} , gut	1.000			
Kh	3.000	KALK aut	0.500			
n _{NO2} hyd	0.600	K _{P aut}	0,001-0.05-0.10			
n _{fe}	0.100	Κατακρήμνιση:	-,,,			
K ₀ , hyd	0,200	K _{PRE}	1,000			
$K_{NO_2 hyd}$	0.500	K _{RED}	0.600			
K _X	0,050	KALK nre	0,500			

4.3.14.2 Στόχος σεναρίου

Ο συντελεστής κορεσμού Ρ για την ανάπτυξη ετεροτροφικών και αυτοτροφικών μικροοργανισμών και πολυφωσφορικών βακτηρίων συμμετέχει στη διαμόρφωση του 'διακόπτη' των φωσφορικών που ενσωματώνεται στις εξισώσεις ρυθμού και επηρεάζει την ανάπτυξη των διαφορετικών μορφών βιομάζας σε αερόβιες, ανοξικές και αναερόβιες συνθήκες. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του συντελεστή στην απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,001 έως 0,100, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 0,001.

4.3.14.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση του συντελεστή κορεσμού μειώθηκε σημαντικά η ανάπτυξη των αυτοτροφικών μικροοργανισμών, μειώθηκε η ανάπτυξη των ετεροτροφικών αλλά αυξήθηκαν σημαντικά οι συγκεντρώσεις των πολυφωσφορικών βακτηρίων και των σωματιδιακών προϊόντων που αποθηκεύουν στα κύτταρά τους.



Σχήμα 4.19: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.



Σχήμα 4.20: Συγκέντρωση στερεών της περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ.

Το άθροισμα των μεταβολών που πραγματοποιούνται στις συγκεντρώσεις των μικροοργανισμών και των προϊόντων τους έχει θετικό πρόσημο ως προς τις συγκεντρώσεις των στερεών στο ανάμικτο υγρό (Πίνακας 4.125, Σχήμα 4.19) και τη βιολογική ιλύ (Πίνακες 4.127 και 4.129, Σχήμα 4.20), με την αύξηση να κυμαίνεται λίγο κάτω από 8% σε όλες τις περιπτώσεις.

	кр.										
			Βιοαντιδραστήρας								
K _P		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS				
0,001	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,00%				
0,050	4900,00%	2909,84	4,95%	3691,70	8,58%	4317,76	7,56%				
0,100	9900,00%	2919,27	5,29%	3730,44	9,72%	4328,06	7,82%				

Πίνακας 4.125: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Κρ.

Πίνακας 4.126: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.

			Δεξαμενή αερισμού										
K _P		SOTR1	COTD1	SOTR2	COTDO	SOTR3	COTDO	SOTR4	COTD4	SOTR	COTD		
		(kgO ₂ /h)	SUIRI	(kgO ₂ /h)	SUIRZ	(kgO ₂ /h)	50183	(kgO ₂ /h)	SUTR4	(kgO ₂ /h)	SUIR		
0,001	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%		
0,050	4900,00%	757,63	-18,83%	532,96	-26,53%	170,17	-53,65%	154,52	-42,65%	1615,33	-29,63%		
0,100	9900,00%	745,39	-20,14%	547,23	-24,56%	165,57	-54,91%	126,30	-53,12%	1584,36	-30,97%		

Σημαντική μείωση, σε ποσοστό 30,97% παρατηρήθηκε στην απαίτηση οξυγόνου της δεξαμενής αερισμού (Πίνακας 4.126, Σχήμα 4.21) λόγω μείωσης της νιτροποίησης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών και του αερόβιου μεταβολισμού των ετεροτροφικών.



Σχήμα 4.21: Απαίτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες, ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Κ.

	<u>,</u>				,,	1				
		Περίσσεια ιλύος								
ŀ	ζ _p	VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su			
0,001	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%			
0,050	4900,00%	6455,35	4,92%	8188,40	8,54%	9577,64	7,52%			
0,100	9900,00%	6474,34	5,23%	8271,88	9,64%	9598,55	7,75%			

Πίνακας 4.127: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου K_P.

Η αύξηση του συντελεστή κορεσμού επιφέρει μεγάλη επιδείνωση στο ρυπαντικό φορτίο της επεξεργασμένης εκροής (Πίνακας 4.128, Σχήμα 4.22) με την αύξηση του δείκτη EQI να φτάνει το 98,9%. Η επιδείνωση της εκροής οφείλεται στη μεγάλη συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου (Σχήμα 4.23) που αυξάνεται έως και 3428,67% λόγω του μεγάλου περιορισμού των νιτροποιητών. Ο ολικός φώσφορος μειώνεται σε ποσοστό 62,65% λόγω της ανάπτυξης των πολυφωσφορικών βακτηρίων (Σχήμα 4.24).

Πίνακας 4.128: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

		Np.											
					Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματα	X				
	К _Р	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe		
0,001	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%		
0,050	4900,00%	0,72	0,00%	39,11	3404,31%	2,13	-83,90%	40,73	1487,62%	42,85	171,70%		
0,100	9900,00%	0,72	0,00%	39,38	3428,67%	2,16	-83,63%	41,09	1501,86%	43,26	174,25%		
К _Р		TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI		
0,001	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%		
0,050	4900,00%	1,65	-63,66%	28,30	10,86%	4,57	97,69%	72,02	14,90%	63672,26	95,95%		
0,100	9900,00%	1,69	-62,65%	28,48	11,56%	5,60	142,37%	76,09	21,40%	64628,57	98,90%		



Σχήμα 4.22: Δείκτης ποιότητας εκροής συναρτήσει της παραμέτρου $K_{P}.$

Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος						
ł	۲ _Р	Q _{πρωτ.ιλ.} (m³/d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	W	Su (g/m³)	Su	Su (kg/d)	Su	
0,001	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%	
0,050	4900,00%	1321,47	0,13%	19822,04	0,13%	885,64	-0,30%	9577,64	7,52%	8482,32	7,20%	
0,100	9900,00%	1321,52	0,14%	19822,76	0,14%	885,33	-0,33%	9598,55	7,75%	8497,89	7,39%	

Πίνακας 4.129: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.



Σχήμα 4.23: Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου Κ.

Πίνακας 4.130: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.

			Στραγγίδια									
K _P		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH_4	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄			
0,001	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%			
0,050	4900,00%	2156,06	-0,09%	967,95	2,24%	196,42	9,24%	19,95	-3,76%			
0,100	9900,00%	2155,77	-0,10%	968,64	2,32%	196,62	9,35%	19,96	-3,69%			



Σχήμα 4.24: Συγκεντρώσεις ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου K_P.

Πίνακας 4.131: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα										
	K _P	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,001	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%
0,050	4900,00%	6,84%	1,96%	11,05%	4,86%	13,99%	7,86%	19,17%	2,85%	7,98%	-3,54%	6,32%	2,01%
0,100	9900,00%	6,85%	2,16%	11,05%	4,89%	14,00%	7,95%	19,17%	2,85%	7,98%	-3,49%	6,32%	2,07%

Αντιστοίχως, στα στραγγίδια της εγκατάστασης (Πίνακες 4.130 και 4.131) παρατηρείται αύξηση του αμμωνιακού αζώτου και της συνεισφοράς τους στο αμμωνιακό άζωτο των εισερχόμενων λυμάτων. Ταυτόχρονα μειωμένη είναι η συγκέντρωση των φωσφορικών.



Σχήμα 4.25: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.

				Ηλεκτρική	η ενέργεια		
К _Р 0,001 0,00%		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
0,001	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
0,050	4900,00%	25125,59	0,27%	24598,70	-15,30%	102,14%	18,38%
0,100	9900,00%	25181,63	0,49%	24400,58	-15,98%	103,20%	19,61%
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
39,68%	-15,30%	58,91%	-14,13%	1560,58%	74,85%	2754,94%	-32,27%
39,36%	-15,98%	58,80%	-14,30%	1572,79%	76,22%	2741,50%	-32,60%

Πίνακας 4.132: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.

Τέλος, ενώ στο βιοαέριο (Πίνακας 4.132) δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές, εντούτοις η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται σημαντικά, σε ποσοστό 15,98% λόγω περιορισμένης απαίτησης αερισμού του βιολογικού αντιδραστήρα (Σχήμα 4.25).

Κατά συνέπεια επηρεάζονται θετικά και οι δείκτες της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ως προς το COD που διασπάται και το P που απομακρύνεται από τα λύματα και μειώνονται κατά 14,30% και 32,60%, αντίστοιχα.

Αντίθετα, λόγω της μεγάλης αύξησης της συγκέντρωσης αμμωνιακού αζώτου, ο δείκτης καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το Ν που απομακρύνεται, αυξάνεται σε ποσοστό 76,22%.

				Βιοα	ιέριο		
К _Р 0,001 0,00%		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο
0,001	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%
0,050	4900,00%	61,73	0,27%	30,86	0,27%	21,60	0,27%
0,100	9900,00%	61,86	0,49%	30,93	0,49%	21,65	0,49%
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%
9,26	0,27%	10,48	2,02%	20,38	-0,61%	294,43%	-1,72%
9,28	0,49%	10,49	2,07%	20,44	-0,30%	294,95%	-1,55%

Πίνακας 4.133: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Κ_P.

4.3.15 Σενάριο 15: Επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικής βιομάζας στην απόδοση της εγκατάστασης

4.3.15.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.134 παρουσιάζει τις τιμές των στοιχειομετρικών και κινητικών παραμέτρων του σεναρίου.

Συντελεστές Εξια	σώσεων Συνέχειας	Στοιχειομετοικές Σταθερές				
Άζωτο		Ετεροτροφικοί μικρορογα	χνισμοί:			
Διαλυτό υλικό:		μ _H	6.000			
i _{NS} ,	0.010	q_{fe}	3.000			
i _{NSE}	0,030	n _{NO2} h	1,000			
Σωματιδιακό υλικό:		b _H	0,620			
i _{NX} ,	0,030	Ko- h	0,200			
i _{NXs}	0,040	K_F	4,000			
i _{NBM}	0,070	K _f e	10,000			
Φώσφορος:	· ·	K _{A h}	4,000			
Διαλυτό υλικό:		$K_{NO_2 h}$	0,500			
i _{PSI}	0,000	K _{NH4} h	0,050			
i _{PXs}	0,010	K _{P h}	0,001			
Σωματιδιακό υλικό:	•	K _{ALK h}	0,100			
i _{PXI}	0,010	Πολυ-φωσφορικά βακτήρ	οια:			
i _{PXs}	0,010	q _{PHA}	3,000			
i _{PBM}	0,020	q_{PP}	3,000			
Ολικά αιωρούμενα στερεά:	·	μ_{PAO}	1,000			
i _{TSSXI}	0,750	b _{PAO}	0,200			
i _{TSSXs}	0,750	b _{PP}	0,200			
i _{TSSBM}	0,900	b _{PHA}	0,200			
Στοιχειομετρ	οικές Σταθερές	K _{O2} pao	0,200			
Υδρόλυση:		K _{A pao}	4,000			
f_{S_I}	0,000	K _{NH4} pao	0,050			
Ετεροτροφικοί μικροοργα	νισμοί: Χ _Η	K _{PS}	0,200			
Y _H	0,600	K _{P_pao}	0,001			
$f_{X_{I_H}}$	0,100	K _{ALK_pao}	0,100			
Πολυ-φωσφορικά βακτήρι	ια: Χ _{ΡΑΟ}	K _{PP}	0,010			
Y _{PAO}	0,630	K _{MAX}	0,340			
Y _{PO4}	0,400	K _{IPP}	0,020			
Y _{PHA}	0,200	K _{PHA}	0,010			
$f_{X_{I}PAO}$	0,100	Αυτοτροφικοί μικροοργα	νισμοί:			
Αυτοτροφικοί μικροοργαν	ισμοί: Χ _{Αυτ}	μ_{AUT}	0,60-0,68-0,80			
Y _{AUT}	0,240	b _{AUT}	0,120			
$f_{X_I AUT}$	0,100	$K_{O_2 aut}$	0,500			
Υδρόλυση:	· ·	$K_{NH_{4}}$ aut	1,000			
K _h	3,000	K _{ALK} aut	0,500			
n _{NO3_hyd}	0,600	K_{P_aut}	0,001			
n _{fe}	0,100	- Κατακρήμνιση:	•			
K _{O2 hyd}	0,200	K _{PRE}	1,000			
K _{NO3_hyd}	0,500	K _{RED}	0,600			
K _X	0,050	K _{ALK} pre	0,500			

Πίνακας 4.134: Τιμές παραμέτρων σεναρίου 15 ανάλυσης ευαισθησίας.

4.3.15.2 Στόχος σεναρίου

Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης της αυτοτροφικής βιομάζας καθορίζει το ρυθμό ανάπτυξης των νιτροποιητών. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης μ_{AUT} στη λειτουργία της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,60 έως 0,80, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 0,68.

4.3.15.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί αποτελούν μικρό ποσοστό της συνολικής βιομάζας του συστήματος, άρα είναι μικρός ο βαθμός συνεισφοράς τους στις συγκεντρώσεις στερεών.

Πράγματι, όπως προκύπτει απ' τα αριθμητικά στοιχεία για τον βιοαντιδραστήρα (Πίνακας 4.135) και την παραγόμενη ιλύ (Πίνακες 4.137 και 4.139) οι συγκεντρώσεις των στερεών δεν διαφοροποιούνται σημαντικά κατά τη μεταβολή της, υπό μελέτη, παραμέτρου.

Πίνακας 4.135: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου μ_{Αυτ}.

				Βιοαντιδρ	οαστήρας		
μ _{aut}		MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS
0,60	-11,76%	2770,05	-0,09%	3395,93	-0,12%	4064,73	0,0126
0,68	0,00%	2772,63	0,00%	3400,03	0,00%	4014,11	0,0000
0,80	17,65%	2779,44	0,25%	3408,45	0,25%	4010,27	-0,0010

Σχετικά με τα αριθμητικά στοιχεία της ζήτησης οξυγόνου, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.136, η ζήτηση οξυγόνου μειώνεται κατά 4,11% για μείωση του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης των αυτοτροφικών από 0,68 σε 0,60.

Πινακάς 4.136: Ζητήση οξυνονού σε τυπικές συνθήκες ανα διαμερίσμα δεξαμένης αερίσμου συναρτήσει της παραμέτρου μ		1 01		, ,	,
	Πινακας 4.136: Ζητηση οξυγονου	σε τυπικες συνθηκες ανα	α διαμερισμα δεξαμενης	; αερισμου συναρτησει της	ς παραμετρου μ _{Αυτ} .

			Δεξαμενή αερισμού										
п.		SOTR1	COTDA	SOTR2	COTRO	SOTR3	COTDO	SOTR4	COTDA	SOTR	COTD		
μ	aut	(kgO ₂ /h)	SOIRI	(kgO ₂ /h)	SOTRZ	(kgO ₂ /h)	50183	(kgO ₂ /h)	SOTR4	(kgO ₂ /h)	SOIR		
0,60	-11,76%	856,92	-8,19%	677,84	-6,56%	360,79	-1,74%	305,48	13,38%	2200,95	-4,11%		
0,68	0,00%	933,39	0,00%	725,39	0,00%	367,16	0,00%	269,42	0,00%	2295,34	0,00%		
0,80	17,65%	1033,55	10,73%	768,81	5,98%	336,99	-8,22%	195,13	-27,57%	2334,43	1,70%		

Κατ' αναλογία, δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή στη συγκέντρωση των στερεών της εκροής της εγκατάστασης (Πίνακας 4.138).

Αντίθετα, σημαντικές διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις της αζωτούχας ύλης των λυμάτων. Η μείωση του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης των αυτοτροφικών επιφέρει

μειωμένη αερόβια ανάπτυξή τους, κατά την οποία το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται σε νιτρικό. Κατά συνέπεια, η μειωμένη νιτροποίηση αυξάνει κατά 455,67% το αμμωνιακό άζωτο της εκροής και κατά 21,76% το ολικό άζωτο (Πίνακας 4.138, Σχήμα 4.26).

		Περίσσεια ιλύος								
μ_{aut}		VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su			
0,60	-11,76%	6146,73	-0,10%	7534,95	-0,12%	9020,06	1,26%			
0,68	0,00%	6152,69	0,00%	7544,35	0,00%	8908,05	0,00%			
0,80	17,65%	6167,77	0,25%	7562,95	0,25%	8899,72	-0,09%			

Πίνακας 4.137: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ_{AUT}.



Σχήμα 4.26: Αμμωνιακό άζωτο στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου μ_{Αυτ}.

Κατ' αναλογία μεταβάλλεται και ο δείκτης ποιότητας εκροής, που λόγω της συνεισφοράς του αμμωνιακού αζώτου εμφανίζεται αυξημένος κατά 11,13%.

Αντίθετα, η συγκέντρωση του ολικού αζώτου μειώνεται έως 12,06% με τη μείωση του μ_{Αυτ}. Η μείωση αυτή οφείλεται στην δέσμευση του Ρ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια, τα οποία αυξάνονται σε αερόβιες συνθήκες λόγω της μείωσης των αυτοτροφικών.

Αναφορικά με τα στραγγίδια της γραμμής ιλύος, όπως προκύπτει απ' τα στοιχεία των Πινάκων 4.140 και 4.141 δεν μεταβάλλονται ως προς την παροχή και τα χαρακτηριστικά τους, όπως συμβαίνει και με την περίσσεια ιλύος.

Τέλος, η παραγωγή βιοαερίου και η παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Πίνακες 4.142 και 4.143) δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις κατά τη μεταβολή της παραμέτρου μ_{AUT}.

	μαυτ. Δευτεορβάθωα επεξεργασμένα λύματα												
					ευτερορι	τομία επε	ςεργασμε	να λυματό	l i				
μ _{aut}		Qe (m ³ /s)	Qe	SNH ₄ e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe		
0,60	-11,76%	0,72	0,00%	6,20	455,67%	11,55	-12,52%	7,65	198,26%	19,20	21,76%		
0,68	0,00%	0,72	0,00%	1,12	0,00%	13,21	0,00%	2,57	0,00%	15,77	0,00%		
0,80	17,65%	0,72	0,00%	0,23	-79,82%	13,52	2,37%	1,68	-34,47%	15,20	-3,62%		
μ _{aut}		TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI		
0,60	-11,76%	3,99	-12,06%	25,84	1,22%	2,32	0,46%	62,69	0,02%	36109,31	11,13%		
0,68	0,00%	4,53	0,00%	25,53	0,00%	2,31	0,00%	62,68	0,00%	32493,74	0,00%		
0,80 17,65% 4,66		2,72%	25,53	-0,01%	2,34	1,46%	62,86	0,28%	31954,21	-1,66%			

Πίνακας 4.138: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

Πίνακας 4.139: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου μ_{Αυτ}.

Πρωτοβάθμια ιλύς						Περίσσεια ιλύος					
μ	aut	Q _{πρωτ.ιλ.} (m³/d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m ³)	Su	Su (kg/d)	Su
0,60	-11,76%	1320,03	0,02%	19800,49	0,02%	888,76	0,06%	9020,06	1,26%	8016,71	1,31%
0,68	0,00%	1319,71	0,00%	19795,68	0,00%	888,27	0,00%	8908,05	0,00%	7912,77	0,00%
0,80	17,65%	1319,68	0,00%	19795,25	0,00%	888,06	-0,02%	8899,72	-0,09%	7903,49	-0,12%

Πίνακας 4.140: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου μ_{AUT}.

			Στραγγίδια									
μ _{aut}		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄			
0,60	-11,76%	2158,62	0,03%	950,16	0,36%	182,15	1,30%	20,55	-0,82%			
0,68	0,00%	2158,01	0,00%	946,72	0,00%	179,80	0,00%	20,72	0,00%			
0,80	17,65%	2157,78	-0,01%	946,48	-0,02%	179,45	-0,19%	20,77	0,22%			

Πίνακας 4.141: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου μ_{AUT} .

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα											
	μ_{aut}	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN3 (μεταβ.)	SNH4strag/ SNH43	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)	
0,60	-11,76%	6,72%	0,18%	10,61%	0,72%	13,12%	1,16%	18,86%	1,21%	8,21%	-0,73%	6,22%	0,37%	
0,68	0,00%	6,71%	0,00%	10,54%	0,00%	12,97%	0,00%	18,64%	0,00%	8,27%	0,00%	6,19%	0,00%	
0,80	17,65%	6,71%	0,01%	10,53%	-0,08%	12,95%	-0,18%	18,60%	-0,20%	8,29%	0,19%	6,19%	-0,03%	

				Ηλεκτρική	ή ενέργεια		
μ _{aut}		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας
0,60	-11,76%	24939,83	-0,47%	28452,01	-2,03%	87,66%	1,59%
0,68	0,00%	25057,89	0,00%	29041,81	0,00%	86,28%	0,00%
0,80	17,65%	25071,59	0,05%	29328,19	0,99%	85,49%	-0,92%
kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ}
45,89%	-2,03%	67,21%	-2,03%	935,51%	4,82%	3804,21%	-6,47%
46,84%	0,00%	68,61%	0,00%	892,51%	0,00%	4067,29%	0,00%
47,30%	0,99%	69,30%	1,01%	891,62%	-0,10%	4151,85%	2,08%

Πίνακας 4.142: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μ_{Αυτ}.

Πίνακας 4.143: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου μ_{Αυτ}.

	,	Βιοαέριο								
Haut		Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο			
0,60	-11,76%	61,27	-0,47%	30,64	-0,47%	21,44	-0,47%			
0,68	0,00%	61,56	0,00%	30,78	0,00%	21,55	0,00%			
0,80	17,65%	61,59	0,05%	30,80	0,05%	21,56	0,05%			
Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή (10 ⁶ kcal/d)	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας (10 ⁶ kcal/d)	Περίσσεια Θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)			
9,19	-0,47%	10,31	0,33%	20,33	-0,87%	297,19%	-0,80%			
9,23	0,00%	10,27	0,00%	20,51	0,00%	299,58%	0,00%			
9,24	0,05%	10,27	-0,01%	20,52	0,09%	299,79%	0,07%			

4.4 Επίδραση λειτουργικών παραμέτρων στην απόδοση της ΕΕΛ

α/α	Σενάριο μεταβολής λειτουργικών παραμέτρων	Παράμετρος	Μικρότερες τιμές ελέγχου	Τιμή αναφοράς	Μεγαλύτερες τιμές ελέγχου
1	Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών στην απόδοση της εγκατάστασης	Θ _c	2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9	10	11 - 12 - 13 - 14 - 15
2	Επίδραση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ στην απόδοση της εγκατάστασης	s_r	0,30 - 0,40 - 0,50	0,60	0,70 - 0,80 - 0,90
3	Επίδραση του υδραυλικού χρόνου παραμονής αναερόβιας δεξαμενής στην απόδοση της εγκατάστασης	HRTanaer	0,50 - 1,00 - 1,50	1,94	2,00 - 2,50
4	Επίδραση του όγκου της ανοξικής 2 δεξαμενής στην απόδοση της εγκατάστασης	Vanox2	0 - 1000 - 2000	3000	4000 - 5000

Πίνακας 4.144: Έλεγχος λειτουργικών παραμέτρων.

Στα πλαίσια της ανάλυσης και σύγκρισης διαφορετικών στρατηγικών ελέγχου μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, γίνονται διαδοχικές προσομοιώσεις, μεταβάλλοντας λειτουργικές παραμέτρους του συστήματος, ώστε να εκτιμηθεί η σημασία τους στον έλεγχο και τη λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

Για να εκτιμηθεί η επίδραση κάθε παραμέτρου διατηρούνται σταθερές όλες οι παράμετροι, πλην εκείνης που μελετάται, και συγκρίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το σενάριο αναφοράς που έχει προσδιοριστεί στην αρχή του τρέχοντος κεφαλαίου. Οι πίνακες που παρατίθενται παρουσιάζουν τις τιμές των μεταβλητών του μοντέλου και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε διάφορες θέσεις ενδιαφέροντος, καθώς και την ποσοστιαία μεταβολή κάθε τιμής συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς, ώστε να είναι εμφανής η επίδραση της παραμέτρου στο σύστημα.

Στον Πίνακα 4.144 παρουσιάζονται συνοπτικά τα σενάρια που περιλαμβάνει η ανάλυση ευαισθησίας. Γίνεται παράθεση των λειτουργικών παραμέτρων που θα διερευνηθούν, οι τιμές αναφοράς τους και το εύρος μεταβολής τους στα πλαίσια της προσομοίωσης.

4.4.1 Σενάριο 1: Επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών στην απόδοση της εγκατάστασης

4.4.1.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.144 παρουσιάζει τις τιμές των λειτουργικών παραμέτρων του σεναρίου.

Παράμετρος		Τιμή	
Θερμοκρασία λυμάτων	Т	20,00	°C
Χρόνος παραμονής στερεών	Θc	2,00-15,00	d
Βαθμός απομάκρυνσης στερεών ΔΠΚ	s_r	60,00	%
Υδραυλικός χρόνος παραμονής αναερόβιας δεξαμενής	HRTanaer	1,94	h
Όγκος αναερόβιας δεξαμενής	V(6)	5000,00	m ³
Όγκος ανοξικής 1 δεξαμενής	V(8)	7880,00	m ³
Όγκος δεξαμενής αερισμού	V(9-13)	15559,00	m ³
Όγκος ανοξικής 2 δεξαμενής	V(25)	3000,00	m ³
Συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού	r_in	2,00	-
Συντελεστής εξωτερικής ανακυκλοφορίας ιλύος	r_ex	0,80	-
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας πάχυνσης	CR_thick	95,00	%
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας αφυδάτωσης	CR_dew	95,00	%

Πίνακας 4 144: Τιμές λειτουονικών παραμέτοων σεναρίου 1

4.4.1.2 Στόχος σεναρίου

Επισημαίνεται ότι στα συστήματα ενεργού ιλύος που πραγματοποιείται, δηλαδή, επανακυκλοφορία της ιλύος, ο χρόνος παραμονής στερεών στο σύστημα διαφέρει από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής στις δεξαμενές του βιολογικού αντιδραστήρα και πιο συγκεκριμένα είναι μεγαλύτερος. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του χρόνου παραμονής στερεών στη λειτουργία και απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος από 2 έως 15 ημέρες, με τιμή σεναρίου αναφοράς τις 10 ημέρες.

4.4.1.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Είναι γνωστό ότι η αύξηση του χρόνου παραμονής στερεών οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών, ανεξάρτητα από τους όρους, COD, VSS ή TSS, με τους οποίους εκφράζεται η συγκέντρωσή τους. Αυτό δείχνουν και τα αριθμητικά στοιχεία του Πίνακα 4.145 ως προς τις συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών (Σχήμα 4.27).

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, για αύξηση του Θc από 10 σε 15 ημέρες η αύξηση των MLSS εμφανίζεται να είναι κάτι περισσότερο από 25%, ενώ για αντίστοιχη μείωση του Θς από 10 σε 5 ημέρες, η μείωση ξεπερνά το 36% και φτάνει πάνω από 74% για Θς 2 ημέρες. Το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο, καθώς είναι γνωστό ότι οι τιμές του μέγιστου ειδικού

ρυθμού ανάπτυξης των νιτροποιητών είναι, εν γένει, μια τάξη μεγέθους μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές των ετεροτροφικών. Κατά συνέπεια απαιτείται μεγάλος χρόνος παραμονής για την ανάπτυξή τους και σε χαμηλούς χρόνους παραμονής στερεών δεν αναπτύσσονται.



Σχήμα 4.27: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου Θς.

Ανάλογες μεταβολές παρατηρούνται και στην περίσσεια ιλύος (Πίνακας 4.147, Σχήματα 4.29 και 4.30) ως προς τις συγκεντρώσεις ολικών και οργανικών στερεών που μειώνονται σημαντικά, σε ποσοστά μεγαλύτερα του 70%, όταν ο χρόνος παραμονής πέφτει στις 2 ημέρες.

	Θ _c .											
				Βιοαντιδρ	οαστήρας							
G	9 _c	MLVSS (g VSS/m ³)	MLVSS	MLSS (g COD/m ³)	MLSS	MLSS (g TSS/m ³)	MLSS					
2,00	-80,00%	841,28	-69,65%	998,66	-70,62%	1021,93	-74,56%					
3,00	-70,00%	1213,13	-56,23%	1505,81	-55,70%	1647,20	-58,99%					
4,00	-60,00%	1551,16	-44,04%	1897,97	-44,17%	2184,72	-45,60%					
5,00	-50,00%	1751,39	-36,82%	2109,55	-37,94%	2536,86	-36,84%					
6,00	-40,00%	1997,16	-27,95%	2411,64	-29,06%	2868,05	-28,59%					
7,00	-30,00%	2212,18	-20,19%	2687,52	-20,94%	3132,11	-22,02%					
8,00	-20,00%	2433,93	-12,19%	2970,72	-12,61%	3454,84	-13,98%					
9,00	-10,00%	2649,64	-4,41%	3246,42	-4,50%	3782,51	-5,82%					
10,00	0,00%	2771,86	0,00%	3399,36	0,00%	4016,40	0,00%					
11,00	10,00%	2903,68	4,76%	3566,63	4,92%	4233,62	5,41%					
12,00	20,00%	3018,03	8,88%	3710,73	9,16%	4424,04	10,15%					
13,00	30,00%	3151,66	13,70%	3881,59	14,19%	4630,49	15,29%					
14,00	40,00%	3292,83	18,79%	4064,39	19,56%	4851,70	20,80%					
15,00	50,00%	3446,58	24,34%	4265,58	25,48%	5074,25	26,34%					

Πίνακας 4.145: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

						Δεξαμενή	αερισμοι	ύ			
G	Ð _c	SOTR1	SOTR1	SOTR2	SOTR2	SOTR3	SOTR3	SOTR4	SOTR4	SOTR	SOTR
		(kgO ₂ /n)		(kgO ₂ /n)		(KgO ₂ /11)		(kgO ₂ /n)		(KgO ₂ /n)	
2,00	-80,00%	659,61	-29,51%	296,97	-59,16%	136,12	-62,96%	115,52	-56,96%	1208,27	-47,44%
3,00	-70,00%	556,98	-40,48%	323,04	-55,57%	168,99	-54,02%	149,91	-44,15%	1198,86	-47,85%
4,00	-60,00%	555,49	-40,64%	373,43	-48,64%	191,40	-47,92%	176,46	-34,26%	1296,81	-43,59%
5,00	-50,00%	644,77	-31,10%	450,89	-37,99%	230,05	-37,40%	209,30	-22,02%	1534,90	-33,23%
6,00	-40,00%	774,25	-17,26%	616,56	-15,21%	335,41	-8,73%	292,86	9,11%	2019,01	-12,17%
7,00	-30,00%	832,12	-11,08%	661,22	-9,06%	355,27	-3,33%	303,04	12,90%	2151,80	-6,39%
8,00	-20,00%	874,97	-6,50%	689,86	-5,13%	363,10	-1,20%	294,72	9,80%	2222,73	-3,31%
9,00	-10,00%	908,99	-2,86%	711,24	-2,19%	366,58	-0,25%	281,47	4,87%	2267,88	-1,34%
10,00	0,00%	935,77	0,00%	727,13	0,00%	367,50	0,00%	268,41	0,00%	2298,78	0,00%
11,00	10,00%	953,79	1,93%	737,77	1,46%	368,12	0,17%	261,02	-2,75%	2320,68	0,95%
12,00	20,00%	975,36	4,23%	749,78	3,11%	367,46	-0,01%	250,53	-6,66%	2342,92	1,92%
13,00	30,00%	994,27	6,25%	759,98	4,52%	366,25	-0,34%	241,65	-9,97%	2362,19	2,76%
14,00	40,00%	1006,77	7,59%	766,20	5,37%	364,94	-0,70%	236,00	-12,07%	2373,92	3,27%
15,00	50,00%	1016,94	8,67%	771,17	6,06%	363,40	-1,12%	231,05	-13,92%	2382,56	3,64%

Πίνακας 4.146: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου Θ_c.



Σχήμα 4.28: Απαίτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες στο βιοαντιδραστήρα συναρτήσει της παραμέτρου Θς.



Σχήμα 4.29: Παροχή περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Θc.

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών συνδέεται με την απαίτηση οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού (Πίνακας 4.146, Σχήμα 4.28). Ενώ όμως η αύξηση του Θc από 10 σε 15 ημέρες επιφέρει αύξηση της απαίτησης οξυγόνου της τάξης του 3,64%, η μείωση του χρόνου από τις 10 στις 5 ημέρες έχει ως αποτέλεσμα μείωση του απαιτούμενου οξυγόνου κατά 36,84%. Αιτία είναι οι σημαντικά μειωμένες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη δεξαμενή λόγω της μείωσης του χρόνου παραμονής στερεών. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι νιτροποιητές απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο παραμονής από τους ετεροτροφικούς μικροοργανισμούς για να αναπτυχθούν και, καθώς είναι υπεύθυνοι για την οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό όζωτο, η μείωση της συγκέντρωσής τους επιφέρει μείωση της κατανάλωσης οξυγόνου προς οξείδωση του θρεπτικού.



Σχήμα 4.30: Συγκέντρωση και μάζα περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Θς.

		- 1			11/1		
	$\Delta \Delta M \alpha M R M R M R M R M R M R M R M R M R$	O A I K(.)\/	ALE UE (1)/1	περισσείας		συναοτησει	$TDC \pi \alpha \alpha \alpha \mu c T \alpha \alpha \mu (-)$
		UNLING V	ULCDCWV	περισσείας	υίους	oovupujoci	m_{α}
/ / /							1/ 1 1 V

				Περίσσεια ιλύος					
e) _c	VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su		
2,00	-80,00%	1780,88	-71,05%	2113,60	-71,98%	2163,99	-75,72%		
3,00	-70,00%	2618,44	-57,43%	3249,36	-56,92%	3558,01	-60,08%		
4,00	-60,00%	3380,59	-45,04%	4135,21	-45,18%	4761,52	-46,58%		
5,00	-50,00%	3839,83	-37,57%	4623,76	-38,70%	5561,91	-37,60%		
6,00	-40,00%	4398,50	-28,49%	5310,73	-29,59%	6316,68	-29,13%		
7,00	-30,00%	4885,32	-20,57%	5934,72	-21,32%	6916,67	-22,40%		
8,00	-20,00%	5386,27	-12,43%	6573,86	-12,85%	7645,34	-14,22%		
9,00	-10,00%	5873,40	-4,51%	7195,83	-4,60%	8384,20	-5,93%		
10,00	0,00%	6150,86	0,00%	7542,73	0,00%	8912,94	0,00%		
11,00	10,00%	6450,10	4,86%	7922,19	5,03%	9404,42	5,51%		
12,00	20,00%	6709,75	9,09%	8249,16	9,37%	9834,65	10,34%		
13,00	30,00%	7010,28	13,97%	8633,08	14,46%	10299,43	15,56%		
14,00	40,00%	7326,99	19,12%	9043,10	19,89%	10796,96	21,14%		
15,00	50,00%	7672,26	24,73%	9494,80	25,88%	11296,24	26,74%		

Τα αποτελέσματα της αναστολής της ανάπτυξης των νιτροποιητών σε χαμηλούς χρόνους παραμονής είναι εμφανή στα χαρακτηριστικά της εκροής. Όπως φαίνεται στα αριθμητικά δεδομένα των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων (Πίνακας 4.148), το αμμωνιακό άζωτο στα λύματα που εκρέουν από την ΔΤΚ (Σχήμα 4.31) φτάνει σε μεγάλες συγκεντρώσεις όσο μικραίνει το Θς και το ολικό άζωτο παρουσιάζει συγκέντρωση μεγαλύτερη από 15mg/l για Θς μικρότερο των 6 ημερών.



Σχήμα 4.31: COD και αμμωνιακό άζωτο εξόδου συναρτήσει της παραμέτρου Θς.

Η συγκέντρωση ολικού φωσφόρου στην εκροή παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα για Θε μικρότερους των 10 ημερών. Αναλυτικότερα, φαίνεται ότι η μείωση του χρόνου παραμονής στερεών κάτω από 10 ημέρες αρχικά επιφέρει μείωση της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου εκροής, κάτι που οφείλεται στη συνεισφορά του ως θρεπτικό συστατικό στη σύνθεση της βιομάζας. Με τη μείωση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών μειώνεται και ο οργανικός φώσφορος που εκρέει από την εγκατάσταση. Όταν, όμως, το Θc πέφτει κάτω από τις 4 ημέρες τότε ο ολικός φώσφορος εξόδου αρχίζει να αυξάνεται, με την αύξηση να καταγράφεται έως και 75,46% για χρόνο παραμονής 2 ημέρες. Η κατακόρυφη αύξηση του ολικού φωσφόρου στην έξοδο οφείλεται στην αύξηση των φωσφορικών που φεύγουν με τα επεξεργασμένα λύματα, λόγω της σταδιακής μείωσης της ανάπτυξης των πολυφωσφορικών βακτηρίων σε τόσο χαμηλούς χρόνους παραμονής (Σχήμα 4.32).



Σχήμα 4.32: Ολικό άζωτο και ολικός φώσφορος στην έξοδο συναρτήσει της παραμέτρου Θς

					Θ	C.	(
					Δευτεροβά	ιθμια επε	ξεργασμε	να λυματ	α		
e	D _c	Qe (m ³ /s)	Qe	SNH ₄ e (mg/l)	SNH ₄ e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
2,00	-80,00%	0,72	-0,01%	53,44	4833,26%	0,02	-99,88%	54,20	2041,83%	54,22	242,15%
3,00	-70,00%	0,72	-0,01%	52,03	4703,38%	0,09	-99,34%	52,89	1989,98%	52,98	234,32%
4,00	-60,00%	0,72	-0,01%	48,70	4395,99%	0,52	-96,11%	49,70	1864,11%	50,22	216,94%
5,00	-50,00%	0,72	-0,01%	39,64	3559,47%	2,42	-81,79%	40,72	1509,14%	43,15	172,28%
6,00	-40,00%	0,72	-0,01%	11,98	1006,15%	9,85	-26,01%	13,13	418,95%	22,99	45,05%
7,00	-30,00%	0,72	0,00%	5,05	365,77%	11,91	-10,59%	6,27	147,73%	18,17	14,70%
8,00	-20,00%	0,72	0,00%	2,51	131,55%	12,75	-4,26%	3,82	50,78%	16,56	4,53%
9,00	-10,00%	0,72	0,00%	1,54	42,58%	13,12	-1,44%	2,94	16,14%	16,06	1,37%
10,00	0,00%	0,72	0,00%	1,08	0,00%	13,32	0,00%	2,53	0,00%	15,85	0,00%
11,00	10,00%	0,72	0,00%	0,90	-17,15%	13,41	0,72%	2,40	-5,06%	15,81	-0,20%
12,00	20,00%	0,72	0,00%	0,70	-35,21%	13,51	1,48%	2,26	-10,68%	15,77	-0,46%
13,00	30,00%	0,72	0,01%	0,57	-47,07%	13,59	2,03%	2,20	-13,26%	15,78	-0,41%
14,00	40,00%	0,72	0,01%	0,51	-53,15%	13,65	2,51%	2,20	-13,19%	15,85	0,01%
15,00	50,00%	0,72	0,01%	0,45	-58,05%	13,64	2,47%	2,22	-12,29%	15,86	0,12%
G	9 _c	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mg BOD/I)	BODe	CODe (mg COD/l)	CODe	EQI (kgpol/ d)	EQI
2,00	-80,00%	8,86	75,46%	5,54	-78,30%	1,24	-46,09%	49,57	-20,78%	82054,37	147,02%
3,00	-70,00%	3,17	-37,25%	9,12	-64,28%	1,76	-23,75%	52,68	-15,80%	74165,04	123,27%
4,00	-60,00%	0,71	-86,04%	12,36	-51,61%	2,11	-8,65%	54,75	-12,49%	68272,92	105,53%
5,00	-50,00%	0,86	-83,04%	14,52	-43,14%	1,99	-13,78%	55,05	-12,01%	59968,40	80,53%
6,00	-40,00%	2,77	-45,20%	16,78	-34,31%	1,86	-19,23%	56,11	-10,32%	37690,54	13,46%
7,00	-30,00%	4,01	-20,68%	18,72	-26,72%	1,95	-15,52%	57,72	-7,74%	33616,92	1,20%
8,00	-20,00%	4,48	-11,31%	21,14	-17,24%	2,07	-10,17%	59,61	-4,73%	32640,27	-1,74%
9,00	-10,00%	4,74	-6,08%	23,72	-7,13%	2,20	-4,44%	61,59	-1,56%	32806,91	-1,24%
10,00	0,00%	5,05	0,00%	25,54	0,00%	2,31	0,00%	62,56	0,00%	33217,98	0,00%
11,00	10,00%	5,25	4,00%	27,36	7,12%	2,41	4,27%	63,76	1,92%	33741,50	1,58%
12,00	20,00%	5,44	7,63%	29,01	13,57%	2,50	8,49%	64,83	3,62%	34200,05	2,96%
13,00	30,00%	5,62	11,18%	30,91	21,02%	2,60	12,87%	66,23	5,86%	34767,44	4,66%
14,00	40,00%	5,78	14,39%	33,05	29,38%	2,70	16,95%	67,82	8,40%	35425,68	6,65%
15,00	50,00%	5,80	14,85%	35,39	38,53%	2,79	20,97%	69,69	11,38%	35893,03	8,05%

Πίνακας 4.148: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου Θc

Συνολικά, σε όρους μάζας ρυπαντικού φορτίου που καταλήγουν στον αποδέκτη στη μονάδα του χρόνου, η ποιότητα της εκροής είναι ευνοϊκότερη, συγκριτικά με το σενάριο αναφοράς, για Θς μεταξύ 8 και 10 ημερών, ενώ για χρόνους παραμονής μικρότερους των 5 ημερών το EQI αυξάνεται πάνω από 80%.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 4.129, η πρωτοβάθμια ιλύς δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από τις μεταβολές του χρόνου παραμονής στερεών, καθώς το Θς αφορά το σύστημα ενεργού ιλύος, δηλαδή τις διεργασίες και διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Παρόλα αυτά παρατηρούνται μικρές διαφοροποιήσεις, έως 1,1% στις παροχές και συγκεντρώσεις της πρωτοβάθμιας ιλύος, που οφείλονται στη συνεισφορά των στραγγιδίων, στα οποία θα γίνει αναφορά παρακάτω.

			Πρωτοβό	ιθμια ιλύς				Περίσσε	α ιλύος		
e	D _c	Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m³)	Su	Su (kg/d)	Su
2,00	-80,00%	1334,03	0,98%	20010,43	0,98%	5432,19	511,55%	2163,99	-75,72%	11755,21	48,48%
3,00	-70,00%	1335,33	1,08%	20029,97	1,08%	3510,79	295,24%	3558,01	-60,08%	12491,41	57,78%
4,00	-60,00%	1334,08	0,98%	20011,18	0,98%	2571,78	189,53%	4761,52	-46,58%	12245,55	54,67%
5,00	-50,00%	1330,69	0,73%	19960,41	0,73%	2010,08	126,29%	5561,91	-37,60%	11179,88	41,21%
6,00	-40,00%	1328,19	0,54%	19922,89	0,54%	1630,04	83,51%	6316,68	-29,13%	10296,45	30,05%
7,00	-30,00%	1325,74	0,35%	19886,13	0,35%	1364,36	53,60%	6916,67	-22,40%	9436,80	19,20%
8,00	-20,00%	1324,18	0,23%	19862,74	0,23%	1165,44	31,20%	7645,34	-14,22%	8910,20	12,54%
9,00	-10,00%	1322,84	0,13%	19842,56	0,13%	1010,40	13,75%	8384,20	-5,93%	8471,41	7,00%
10,00	0,00%	1321,09	0,00%	19816,38	0,00%	888,27	0,00%	8912,94	0,00%	7917,07	0,00%
11,00	10,00%	1319,44	-0,13%	19791,54	-0,13%	787,49	-11,35%	9404,42	5,51%	7405,87	-6,46%
12,00	20,00%	1317,84	-0,25%	19767,60	-0,25%	703,51	-20,80%	9834,65	10,34%	6918,79	-12,61%
13,00	30,00%	1316,48	-0,35%	19747,27	-0,35%	631,55	-28,90%	10299,43	15,56%	6504,57	-17,84%
14,00	40,00%	1315,31	-0,44%	19729,69	-0,44%	568,98	-35,95%	10796,96	21,14%	6143,22	-22,41%
15,00	50,00%	1314,21	-0,52%	19713,15	-0,52%	513,47	-42,19%	11296,24	26,74%	5800,27	-26,74%

Πίνακας 4.149: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου Θ_c.

Η περίσσεια ιλύος (Πίνακας 4.149), ως προς τη συγκέντρωση στερεών ακολουθεί τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν στο ανάμικτο υγρό. Όπως είναι αναμενόμενο, η παροχή και η ροή μάζας της ιλύος μεταβάλλεται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Δηλαδή, όσο μεγαλώνει ο χρόνος παραμονής τόσο μειώνεται η παροχή και η μάζα στερεών της βιολογικής ιλύος και αυξάνει η συγκέντρωσή της. Το αποτέλεσμα είναι ακριβώς αντίθετο για χαμηλούς χρόνους παραμονής. Επισημαίνεται ότι για Θc 15 ημερών η βιολογική ιλύς θεωρείται σταθεροποιημένη ως προς το οργανικό υλικό που περιέχει.

					Στραγ	γίδια	· · ·		
e) _c	Q (m ³ /d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄
2,00	-80,00%	6704,46	210,84%	358,11	-62,82%	127,74	-31,62%	16,33	-52,27%
3,00	-70,00%	4784,75	121,84%	508,59	-47,20%	147,79	-20,88%	23,82	-30,38%
4,00	-60,00%	3845,86	78,31%	624,61	-35,15%	166,70	-10,76%	29,75	-13,06%
5,00	-50,00%	3282,97	52,21%	705,93	-26,71%	172,92	-7,43%	32,88	-3,90%
6,00	-40,00%	2901,69	34,53%	777,14	-19,32%	168,30	-9,91%	33,85	-1,07%
7,00	-30,00%	2634,80	22,16%	832,62	-13,56%	172,74	-7,53%	33,16	-3,07%
8,00	-20,00%	2435,20	12,91%	884,85	-8,14%	178,83	-4,27%	33,59	-1,82%
9,00	-10,00%	2279,62	5,69%	930,48	-3,40%	184,46	-1,25%	34,13	-0,24%
10,00	0,00%	2156,85	0,00%	963,22	0,00%	186,80	0,00%	34,21	0,00%
11,00	10,00%	2055,53	-4,70%	990,55	2,84%	189,02	1,19%	34,16	-0,17%
12,00	20,00%	1971,05	-8,61%	1012,77	5,14%	190,43	1,94%	33,95	-0,77%
13,00	30,00%	1898,65	-11,97%	1033,54	7,30%	191,90	2,73%	33,68	-1,56%
14,00	40,00%	1835,70	-14,89%	1053,03	9,32%	193,14	3,39%	33,33	-2,58%
15,00	50,00%	1779,81	-17,48%	1070,60	11,15%	194,23	3,98%	32,74	-4,30%

Πίνακας 4.150: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου Θ_c.

						Στραγγ	γίδια/Εισε	ρχόμενα λ	\ύματα				
G	Ðc	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN4 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
2,00	-80,00%	8,06%	22,19%	18,82%	73,91%	24,75%	84,70%	35,32%	42,24%	0,18	39,61%	7,20%	14,45%
3,00	-70,00%	7,90%	19,71%	16,33%	50,89%	21,36%	59,39%	35,32%	42,24%	18,68%	44,27%	7,29%	15,89%
4,00	-60,00%	7,65%	16,05%	15,21%	40,52%	19,76%	47,44%	36,02%	45,06%	18,74%	44,71%	7,20%	14,50%
5,00	-50,00%	7,30%	10,75%	13,93%	28,67%	17,90%	33,58%	34,40%	38,52%	17,87%	38,00%	6,97%	10,75%
6,00	-40,00%	7,12%	8,00%	12,66%	16,94%	15,79%	17,86%	31,61%	27,31%	16,53%	27,62%	6,79%	7,96%
7,00	-30,00%	6,97%	5,66%	12,00%	10,88%	14,88%	11,03%	28,55%	14,97%	14,98%	15,65%	6,62%	5,23%
8,00	-20,00%	6,85%	3,84%	11,57%	6,91%	14,33%	6,93%	27,01%	8,77%	14,16%	9,31%	6,51%	3,48%
9,00	-10,00%	6,74%	2,23%	11,23%	3,72%	13,90%	3,76%	25,92%	4,40%	13,56%	4,71%	6,41%	1,97%
10,00	0,00%	6,60%	0,00%	10,82%	0,00%	13,40%	0,00%	24,83%	0,00%	12,95%	0,00%	6,29%	0,00%
11,00	10,00%	6,47%	-1,83%	10,49%	-3,09%	12,98%	-3,10%	23,85%	-3,97%	12,40%	-4,26%	6,17%	-1,87%
12,00	20,00%	6,36%	-3,55%	10,18%	-5,92%	12,60%	-5,98%	22,93%	-7,64%	11,89%	-8,21%	6,06%	-3,68%
13,00	30,00%	6,27%	-4,96%	9,92%	-8,31%	12,27%	-8,39%	22,10%	-11,01%	11,42%	-11,82%	5,96%	-5,21%
14,00	40,00%	6,19%	-6,21%	9,69%	-10,45%	11,98%	-10,56%	21,31%	-14,17%	10,98%	-15,21%	5,88%	-6,55%
15,00	50,00%	6,11%	-7,32%	9,48%	-12,40%	11,72%	-12,53%	20,47%	-17,56%	10,51%	-18,82%	5,80%	-7,80%

Πίνακας 4.151: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου Θ_c.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων (Πίνακες 4.150 και 4.152) παρατηρείται μείωση της παροχής τους για μεγάλους χρόνους παραμονής, καθώς η βιολογική ιλύς εξέρχεται σταθεροποιημένη και με μικρότερη παροχή, απ' το βιολογικό αντιδραστήρα. Επιπλέον, η συνεισφορά των στραγγιδίων σε οργανικό άνθρακα και θρεπτικά, στα προεπεξεργασμένα λύματα είναι μικρότερη, όσο μεγαλώνει ο χρόνος παραμονής. Ο περιορισμός της συνεισφοράς τους σχετίζεται με την καλύτερη σταθεροποίηση της βιολογικής ιλύος, η οποία εμφανίζει ίδιες συγκεντρώσεις συστατικών με τα στραγγίδια.

				Ηλεκτρική	ί ενέργεια		
G) _c	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (μεταβ.)
2,00	-80,00%	30350,78	18,46%	23188,76	-20,66%	130,89%	49,31%
3,00	-70,00%	29417,74	14,82%	23213,23	-20,57%	126,73%	44,56%
4,00	-60,00%	28997,18	13,18%	23737,75	-18,78%	122,16%	39,35%
5,00	-50,00%	28057,78	9,51%	25042,75	-14,31%	112,04%	27,81%
6,00	-40,00%	27486,16	7,28%	28079,95	-3,92%	97,89%	11,66%
7,00	-30,00%	26916,32	5,06%	28702,91	-1,79%	93,78%	6,97%
8,00	-20,00%	26491,56	3,40%	29019,72	-0,71%	91,29%	4,14%
9,00	-10,00%	26116,87	1,94%	29210,40	-0,05%	89,41%	1,99%
10,00	0,00%	25620,16	0,00%	29225,80	0,00%	87,66%	0,00%
11,00	10,00%	25245,70	-1,46%	29191,83	-0,12%	86,48%	-1,35%
12,00	20,00%	24884,67	-2,87%	29165,75	-0,21%	85,32%	-2,67%
13,00	30,00%	24628,81	-3,87%	29157,16	-0,23%	84,47%	-3,64%
14,00	40,00%	24366,33	-4,89%	29140,19	-0,29%	83,62%	-4,61%
15,00	50,00%	24137,87	-5,79%	29067,57	-0,54%	83,04%	-5,27%

Πίνακας 4.152: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Θ_c.

				· ·	Ηλεκτρική	ενέργεια			
Θ _c		kWh/m ³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)
2,00	-80,00%	0,37	-20,66%	0,54	-22,14%	26,56	195,36%	52,00	21,35%
3,00	-70,00%	0,37	-20,57%	0,54	-21,71%	24,44	171,76%	29,07	-32,17%
4,00	-60,00%	0,38	-18,78%	0,55	-19,70%	21,19	135,59%	24,95	-41,77%
5,00	-50,00%	0,40	-14,31%	0,59	-15,25%	16,07	78,66%	26,59	-37,95%
6,00	-40,00%	0,45	-3,92%	0,66	-4,82%	10,00	11,21%	34,10	-20,43%
7,00	-30,00%	0,46	-1,79%	0,67	-2,48%	9,24	2,77%	38,44	-10,30%
8,00	-20,00%	0,47	-0,71%	0,68	-1,13%	9,05	0,67%	40,45	-5,61%
9,00	-10,00%	0,47	-0,05%	0,69	-0,20%	9,03	0,36%	41,67	-2,77%
10,00	0,00%	0,47	0,00%	0,69	0,00%	8,99	0,00%	42,85	0,00%
11,00	10,00%	0,47	-0,12%	0,69	0,06%	8,98	-0,18%	43,60	1,75%
12,00	20,00%	0,47	-0,21%	0,69	0,13%	8,96	-0,34%	44,32	3,42%
13,00	30,00%	0,47	-0,23%	0,69	0,30%	8,96	-0,36%	45,06	5,16%
14,00	40,00%	0,47	-0,29%	0,69	0,48%	8,97	-0,29%	45,75	6,76%
15,00	50,00%	0,47	-0,54%	0,69	0,51%	8,95	-0,50%	45,74	6,73%

Πίνακας 4.153: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου Θ_c.

Πίνακας 4.154: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου Θ_c.

				Βιοαέριο			
Θ _c	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (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
2,00	74,56	37,28	26,10	11,18	11,76	25,52	317,07%
3,00	72,27	36,14	25,29	10,84	12,04	24,10	300,13%
4,00	71,24	35,62	24,93	10,69	11,95	23,67	298,16%
5,00	68,93	34,46	24,13	10,34	11,55	22,92	298,49%
6,00	67,53	33,76	23,63	10,13	11,20	22,56	301,42%
7,00	66,13	33,06	23,14	9,92	10,86	22,20	304,41%
8,00	65,08	32,54	22,78	9,76	10,66	21,88	305,29%
9,00	64,16	32,08	22,46	9,62	10,49	21,59	305,90%
10,00	62,94	31,47	22,03	9,44	10,28	21,19	306,14%
11,00	62,02	31,01	21,71	9,30	10,07	20,94	307,81%
12,00	61,13	30,57	21,40	9,17	9,88	20,68	309,26%
13,00	60,51	30,25	21,18	9,08	9,73	20,53	311,04%
14,00	59,86	29,93	20,95	8,98	9,59	20,34	312,15%
15,00	59,30	29,65	20,75	8,89	9,45	20,20	313,74%



Σχήμα 4.33: Ενεργειακή κατανάλωση στις μονάδες της ΕΕΛ συναρτήσει της παραμέτρου Θς.

Πίνακας 4.155: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου
Θc.

					Βιοαέριο			
Θ _c 2,00 -80,00%		Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
2,00	-80,00%	18,46%	18,46%	18,46%	18,46%	14,38%	20,45%	3,57%
3,00	-70,00%	14,82%	14,82%	14,82%	14,82%	17,12%	13,71%	-1,96%
4,00	-60,00%	13,18%	13,18%	13,18%	13,18%	16,21%	11,71%	-2,60%
5,00	-50,00%	9,51%	9,51%	9,51%	9,51%	12,32%	8,15%	-2,50%
6,00	-40,00%	7,28%	7,28%	7,28%	7,28%	8,96%	6,47%	-1,54%
7,00	-30,00%	5,06%	5,06%	5,06%	5,06%	5,66%	4,77%	-0,56%
8,00	-20,00%	3,40%	3,40%	3,40%	3,40%	3,69%	3,26%	-0,28%
9,00	-10,00%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	2,02%	1,90%	-0,08%
10,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
11,00	10,00%	-1,46%	-1,46%	-1,46%	-1,46%	-2,00%	-1,20%	0,55%
12,00	20,00%	-2,87%	-2,87%	-2,87%	-2,87%	-3,85%	-2,40%	1,02%
13,00	30,00%	-3,87%	-3,87%	-3,87%	-3,87%	-5,38%	-3,13%	1,60%
14,00	40,00%	-4,89%	-4,89%	-4,89%	-4,89%	-6,73%	-4,01%	1,96%
15,00	50,00%	-5,79%	-5,79%	-5,79%	-5,79%	-8,07%	-4,68%	2,48%

Όπως παρατηρείται στους Πίνακες 4.152-4.155, ο χρόνος παραμονής στερεών Θς σχετίζεται με την παραγωγή βιοαερίου και την παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης (Σχήμα 4.33). Πιο αναλυτικά, για μικρούς χρόνους παραμονής το παραγόμενο βιοαέριο αυξάνεται έως και 18,46% περισσότερο από το σενάριο αναφοράς, ως αποτέλεσμα της αυξημένης συγκέντρωσης της βιολογικής ιλύος σε οργανικό υλικό που στη συνέχεια εισέρχεται στον αναερόβιο χωνευτή. Ταυτόχρονα αυξάνονται και οι ανάγκες θέρμανσης της ιλύος, συνολικά όμως το πρόσημο είναι υπέρ της ανάκτησης της θερμικής ενέργειας έως 317,07%. Για μικρούς χρόνους παραμονής μειώνεται και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης λόγω μειωμένης απαίτησης αερισμού των λυμάτων.

Συνεπώς, αν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είχαν ως κύριο σκοπό την παραγωγή ενέργειας, η λειτουργία τους θα βασιζόταν στους μικρούς χρόνους παραμονής των λυμάτων στο σύστημα ενεργού ιλύος. Όμως, η απαίτηση για επίτευξη συγκεκριμένων ορίων στις επεξεργασμένες εκροές καθιστά αναγκαίους μεγαλύτερους χρόνους παραμονής, ώστε να εξελίσσονται τα βιολογικά φαινόμενα που οδηγούν στην απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και θρεπτικών.

4.4.2 Σενάριο 2: Επίδραση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης στην απόδοση της εγκατάστασης

4.4.2.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.156 παρουσιάζει τις τιμές των λειτουργικών παραμέτρων του σεναρίου.

Παράμετρος		Τιμή	
Θερμοκρασία λυμάτων	Т	20,00	°C
Χρόνος παραμονής στερεών	Θc	10,00	d
Βαθμός απομάκρυνσης στερεών ΔΠΚ	s_r	30,00-90,00	%
Υδραυλικός χρόνος παραμονής αναερόβιας δεξαμενής	HRTanaer	1,94	h
Όγκος αναερόβιας δεξαμενής	V(6)	5000,00	m ³
Όγκος ανοξικής 1 δεξαμενής	V(8)	7880,00	m ³
Όγκος δεξαμενής αερισμού	V(9-13)	15559,00	m ³
Όγκος ανοξικής 2 δεξαμενής	V(25)	3000,00	m ³
Συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού	r_in	2,00	-
Συντελεστής εξωτερικής ανακυκλοφορίας ιλύος	r_ex	0,80	-
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας πάχυνσης	CR_thick	95,00	%
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας αφυδάτωσης	CR_dew	95,00	%

Πίνακας 4.156: Τιμές λειτουργικών παραμέτρων σεναρίου 2.

4.4.2.2 Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης, στη λειτουργία και απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 30% έως 90%, με τιμή σεναρίου αναφοράς το 60%.

4.4.2.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης καθορίζει το ποσοστό των στερεών που θα απομακρυνθεί από την πρωτοβάθμια επεξεργασία και θα οδηγηθεί στον αναερόβιο χωνευτή για καύση και παραγωγή ενέργειας και το ποσοστό των στερεών που θα οδηγηθεί στη δευτεροβάθμια επεξεργασία.

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 4.157 και 4.159 καθώς αυξάνεται ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ μειώνονται αναλογικά οι συγκεντρώσεις στερεών στο ανάμικτο υγρό και τη βιολογική ιλύ.

Συγκρίνοντας την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια ιλύ (Πίνακας 4.161) φαίνεται ότι η αύξηση της συγκέντρωσης στερεών της πρωτοβάθμιας ιλύος, ως αποτέλεσμα μεγαλύτερου βαθμού απομάκρυνσης, επιφέρει μείωση της συγκέντρωσης στη βιολογική ιλύ, και αντίστροφα. Σχετικά με τις παροχές μπορεί να παρατηρηθεί ότι η αύξηση του βαθμού απομάκρυνσης επιφέρει αύξηση της παροχής τόσο της πρωτοβάθμιας, όσο και της δευτεροβάθμιας ιλύος, παρόλο που η μεταβολή της παροχής εμφανίζεται πολύ μεγαλύτερη στην πρώτη. Αυτό σχετίζεται με τη μειωμένη συγκέντρωση στερεών στη βιολογική ιλύ που συντελεί στη μικρότερη συμπύκνωσή της στη ΔΤΚ (Σχήμα 4.34).



Σχήμα 4.34: Παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος και συγκέντρωση ολικών στερεών συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ.

	<u> </u>										
		Βιοαντιδραστήρας									
		MLVSS		MLSS	MICC	MLSS	MICC				
S_	_r	(g VSS/m ³)	IVILV SS	(g COD/m ³)	IVILSS	(g TSS/m ³)	IVILSS				
30,00%	-50,00%	3897,28	40,60%	4788,47	40,86%	5907,59	47,09%				
40,00%	-33,33%	3482,06	25,62%	4269,36	25,59%	5231,94	30,26%				
50,00%	-16,67%	3102,35	11,92%	3799,38	11,77%	4611,46	14,82%				
60,00%	0,00%	2771,86	0,00%	3399,36	0,00%	4016,40	0,00%				
70,00%	16,67%	2417,45	-12,79%	2966,61	-12,73%	3366,81	-16,17%				
80,00%	33,33%	1958,53	-29,34%	2396,32	-29,51%	2629,56	-34,53%				
90,00%	50,00%	1490,86	-46,21%	1813,32	-46,66%	1878,93	-53,22%				

Πίνακας 4.157: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου

Πίνακας 4.158: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου s_r.

			Δεξαμενή αερισμού											
s_r		SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR1	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR2	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR3	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR4	SOTR (kgO ₂ /h)	SOTR			
30,00%	-50,00%	1159,96	23,96%	920,70	26,62%	473,40	28,82%	363,94	35,59%	2918,24	26,95%			
40,00%	-33,33%	1086,77	16,14%	857,10	17,87%	438,79	19,40%	333,62	24,30%	2716,20	18,16%			
50,00%	-16,67%	1012,07	8,15%	792,94	9,05%	404,10	9,96%	302,83	12,82%	2512,07	9,28%			
60,00%	0,00%	935,77	0,00%	727,13	0,00%	367,50	0,00%	268,41	0,00%	2298,78	0,00%			
70,00%	16,67%	861,71	-7,91%	663,79	-8,71%	332,08	-9,64%	234,82	-12,51%	2092,31	-8,98%			
80,00%	33,33%	784,36	-16,18%	599,17	-17,60%	296,96	-19,19%	203,07	-24,34%	1883,50	-18,07%			
90,00%	50,00%	698,75	-25,33%	531,98	-26,84%	265,14	-27,85%	181,62	-32,33%	1677,48	-27,03%			

		Περίσσεια ιλύος									
s_r		VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su				
30,00%	-50,00%	8641,60	40,49%	10616,67	40,75%	13099,42	46,97%				
40,00%	-33,33%	7722,27	25,55%	9467,29	25,52%	11602,74	30,18%				
50,00%	-16,67%	6883,69	11,91%	8429,50	11,76%	10231,94	14,80%				
60,00%	0,00%	6150,86	0,00%	7542,73	0,00%	8912,94	0,00%				
70,00%	16,67%	5366,01	-12,76%	6584,72	-12,70%	7472,73	-16,16%				
80,00%	33,33%	4347,64	-29,32%	5319,40	-29,48%	5837,21	-34,51%				
90,00% 50,00%		3309,49	-46,19%	4025,30	-46,63%	4171,44	-53,20%				

Πίνακας 4.159: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου s_r.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η μεγαλύτερη απομάκρυνση στερεών στην πρωτοβάθμια επεξεργασία επιφέρει μείωση της συγκέντρωσης στη βιολογική βαθμίδα και περιορισμό της απαίτησης οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού (Πίνακας 4.158)

Πίνακας 4.160: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου

				L	Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματο	χ		
S_	_r	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/I)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO ₃ e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
30,00%	-50,00%	0,72	0,02%	1,44	33,40%	12,32	-7,50%	3,54	39,75%	15,85	0,04%
40,00%	-33,33%	0,72	0,01%	1,38	26,99%	12,58	-5,56%	3,20	26,60%	15,78	-0,42%
50,00%	-16,67%	0,72	0,01%	1,26	16,64%	12,87	-3,37%	2,88	13,87%	15,75	-0,62%
60,00%	0,00%	0,72	0,00%	1,08	0,00%	13,32	0,00%	2,53	0,00%	15,85	0,00%
70,00%	16,67%	0,72	-0,01%	0,91	-16,23%	13,98	4,97%	2,19	-13,41%	16,17	2,03%
80,00%	33,33%	0,72	-0,01%	0,77	-29,18%	14,82	11,31%	1,87	-26,27%	16,69	5,31%
90,00%	50,00%	0,72	-0,01%	0,80	-26,57%	16,11	21,00%	1,72	-31,84%	17,84	12,56%
s_	_r	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mg BOD/l)	BODe	CODe (mg COD/l)	CODe	EQI (kgpol/ d)	EQI
30,00%	-50,00%	2,87	-43,09%	44,41	73,86%	3,74	62,05%	74,09	18,42%	33764,57	1,65%
40,00%	-33,33%	3,04	-39,85%	36,67	43,55%	3,19	38,39%	69,10	10,44%	32537,93	-2,05%
50,00%	-16,67%	4,56	-9,80%	30,59	19,77%	2,73	18,34%	65,30	4,36%	33332,36	0,34%
60,00%	0,00%	5,05	0,00%	25,54	0,00%	2,31	0,00%	62,56	0,00%	33217,98	0,00%
70,00%	16,67%	5,47	8,27%	20,54	-19,60%	1,92	-16,70%	59,80	-4,42%	33293,84	0,23%
80,00%	33,33%	6,21	22,84%	15,26	-40,26%	1,54	-33,23%	56,14	-10,27%	33919,57	2,11%
90,00%	50,00%	7,01	38,73%	10,41	-59,25%	1,20	-47,98%	52,71	-15,75%	35480,83	6,81%

Αναφορικά με την ποιότητα των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων παρατηρείται σχετική σταθερότητα του δείκτη EQI για διαφορετικούς βαθμούς απομάκρυνσης και μόνο για s_r ίσο με 90% επιδεινώνεται περισσότερο, όχι όμως σε ποσοστό μεγαλύτερο του 6,81%.

Μεμονωμένα τα συστατικά των λυμάτων διαφοροποιούνται ως προς τη μεταβολή των συγκεντρώσεών τους. Συγκεκριμένα το αμμωνιακό άζωτο στην έξοδο αυξάνεται με τη μείωση

του s_r ενώ το νιτρικό άζωτο μειώνεται. Το TN όμως παραμένει σχετικά αμετάβλητο, αλλά για βαθμούς απομάκρυνσης μεγαλύτερους του 80% αυξάνεται μέχρι και 12,56% ως προς το σενάριο αναφοράς. Ο ολικός φώσφορος εξόδου αυξάνεται με την αύξηση του s_r, καθώς αυξάνονται τα φωσφορικά λόγω μειωμένης ανάπτυξης των ΡΑΟ στο σύστημα.

			-	0	,							
			Πρωτοβο	ιθμια ιλυς		Περισσειά Ιλυος						
s_r		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	¥	Su (g/m³)	Su	Su (kg/d)	Su	
30,00%	-50,00%	650,79	-50,74%	9761,86	-50,74%	858,25	-3,38%	13099,42	46,97%	11242,59	42,00%	
40,00%	-33,33%	872,01	-33,99%	13080,15	-33,99%	871,99	-1,83%	11602,74	30,18%	10117,45	27,79%	
50,00%	-16,67%	1095,48	-17,08%	16432,20	-17,08%	881,52	-0,76%	10231,94	14,80%	9019,67	13,93%	
60,00%	0,00%	1321,09	0,00%	19816,38	0,00%	888,27	0,00%	8912,94	0,00%	7917,07	0,00%	
70,00%	16,67%	1548,31	17,20%	23224,67	17,20%	894,38	0,69%	7472,73	-16,16%	6683,43	-15,58%	
80,00%	33,33%	1776,77	34,49%	26651,49	34,49%	901,89	1,53%	5837,21	-34,51%	5264,51	-33,50%	
90,00%	50,00%	2006,60	51,89%	30098,92	51,89%	908,31	2,26%	4171,44	-53,20%	3788,97	-52,14%	

Πίνακας 4.161: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου s_r.

Πίνακας 4.162: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου s_r.

					Στραγ	γγίδια			
s_r		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH_4	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄
30,00%	-50,00%	1468,04	-31,94%	1082,90	12,43%	241,09	29,06%	58,03	69,62%
40,00%	-33,33%	1699,10	-21,22%	1030,30	6,96%	218,53	16,98%	47,73	39,50%
50,00%	-16,67%	1928,21	-10,60%	992,95	3,09%	200,69	7,43%	40,27	17,70%
60,00%	0,00%	2156,85	0,00%	963,22	0,00%	186,80	0,00%	34,21	0,00%
70,00%	16,67%	2386,99	10,67%	933,53	-3,08%	174,57	-6,55%	29,38	-14,11%
80,00%	33,33%	2620,23	21,48%	902,44	-6,31%	161,48	-13,56%	25,19	-26,36%
90,00%	50,00%	2854,18	32,33%	873,62	-9,30%	149,95	-19,73%	22,10	-35,40%

Πίνακας 4.163: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου s_r.

			Στραγγίδια/Εισερχόμενα λύματα										
5 <u>-</u>	_r	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TN strag /TN 3	TNstrag /TN4 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
30,00%	-50,00%	4,71%	-28,63%	9,32%	-13,91%	11,97%	-10,70%	26,80%	7,92%	14,66%	13,19%	4,89%	-22,33%
40,00%	-33,33%	5,34%	-18,96%	9,85%	-9,03%	12,48%	-6,87%	26,16%	5,36%	14,05%	8,51%	5,35%	-14,89%
50,00%	-16,67%	5,97%	-9,51%	10,33%	-4,53%	12,94%	-3,44%	25,57%	2,98%	13,54%	4,52%	5,83%	-7,38%
60,00%	0,00%	6,60%	0,00%	10,82%	0,00%	13,40%	0,00%	24,83%	0,00%	12,95%	0,00%	6,29%	0,00%
70,00%	16,67%	7,19%	9,00%	11,27%	4,10%	13,79%	2,95%	24,08%	-3,01%	12,39%	-4,34%	6,72%	6,77%
80,00%	33,33%	7,70%	16,72%	11,55%	6,75%	13,98%	4,31%	23,12%	-6,88%	11,75%	-9,30%	7,10%	12,84%
90,00%	50,00%	8,18%	24,03%	11,81%	9,15%	14,12%	5,34%	22,45%	-9,58%	11,28%	-12,87%	7,46%	18,53%

Στους Πίνακες 4.162 και 4.163 παρουσιάζονται τα αριθμητικά στοιχεία για τα στραγγίδια.

				Ηλεκτρική	ή ενέργεια		
5 <u>-</u>	_r	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (μεταβ.)
30,00%	-50,00%	17584,58	-31,36%	33358,61	14,14%	52,71%	-39,87%
40,00%	-33,33%	20074,11	-21,65%	32010,78	9,53%	62,71%	-28,46%
50,00%	-16,67%	22741,20	-11,24%	30669,49	4,94%	74,15%	-15,42%
60,00%	0,00%	25620,16	0,00%	29225,80	0,00%	87,66%	0,00%
70,00%	16,67%	28614,81	11,69%	27769,93	-4,98%	103,04%	17,54%
80,00%	33,33%	31604,08	23,36%	26245,85	-10,20%	120,42%	37,36%
90,00%	50,00%	34744,10	35,61%	24724,45	-15,40%	140,53%	60,30%

Πίνακας 4.164: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου s_r.



Σχήμα 4.35: Ενέργεια βιοαερίου συναρτήσει του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στην ΔΠΚ.

Σχετικά με το παραγόμενο βιοαέριο και την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται και καταναλώνεται απ' την εγκατάσταση, η μελέτη των αριθμητικών στοιχείων (Πίνακες 4.164-4.167) επιβεβαιώνει αυτό που είχε προβλεφθεί. Η μεγαλύτερη απομάκρυνση στερεών στην πρωτοβάθμια επεξεργασία επιφέρει αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου (Σχήμα 4.35). Η παράλληλη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για τη θέρμανση της ιλύος δεν ακολουθεί

αναλογικά το ενεργειακό όφελος, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ποσοστό ανάκτησης της θερμικής ενέργειας. Ταυτόχρονα με την αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο, μειώνονται οι απαιτήσεις αερισμού των λυμάτων στη βιολογική βαθμίδα και, κατά συνέπεια, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης. Τελικά το ποσοστό ανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να φτάσει μέχρι 140% για βαθμό απομάκρυνσης 90% στην πρωτοβάθμια καθίζηση.

Πίνακας 4.165: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου s_r.

					Ηλεκτρική	ή ενέργεια			
s_r		kWh/m ³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)
30,00%	-50,00%	0,54	14,14%	0,80	16,10%	10,27	14,16%	40,84	-4,70%
40,00%	-33,33%	0,52	9,53%	0,76	10,59%	9,84	9,39%	39,68	-7,40%
50,00%	-16,67%	0,49	4,94%	0,73	5,36%	9,42	4,75%	43,03	0,43%
60,00%	0,00%	0,47	0,00%	0,69	0,00%	8,99	0,00%	42,85	0,00%
70,00%	16,67%	0,45	-4,98%	0,65	-5,37%	8,60	-4,40%	42,32	-1,23%
80,00%	33,33%	0,42	-10,20%	0,61	-11,03%	8,21	-8,74%	42,99	0,31%
90,00%	50,00%	0,40	-15,40%	0,58	-16,61%	7,91	-12,07%	44,08	2,87%

Πίνακας 4.166: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου s_r.

				Βιοαέριο			
s_r	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (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
30,00%	43,20	21,60	15,12	6,48	7,78	13,82	277,70%
40,00%	49,32	24,66	17,26	7,40	8,60	16,06	286,87%
50,00%	55,87	27,93	19,55	8,38	9,42	18,51	296,55%
60,00%	62,94	31,47	22,03	9,44	10,28	21,19	306,14%
70,00%	70,30	35,15	24,60	10,54	11,08	24,07	317,13%
80,00%	77,64	38,82	27,17	11,65	11,83	26,99	328,13%
90,00%	85,36	42,68	29,87	12,80	12,55	30,13	340,03%

Συμπερασματικά, τα οφέλη είναι τέτοια που στόχος κάθε εγκατάστασης είναι η επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου βαθμού απομάκρυνσης στερεών στην πρωτοβάθμια καθίζηση.

				<u> </u>	Βιοσέοιο			
s_r		Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο	λεκτρική Ενεργειακέ ενέργεια ς απώλεις από από βιοαέριο βιαέριο		Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
30,00%	-50,00%	-31,36%	-31,36%	-31,36%	-31,36%	-24,34%	-34,77%	-9,29%
40,00%	-33,33%	-21,65%	-21,65%	-21,65%	-21,65%	-16,38%	-24,20%	-6,29%
50,00%	-16,67%	-11,24%	-11,24%	-11,24%	-11,24%	-8,37%	-12,63%	-3,13%
60,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
70,00%	16,67%	11,69%	11,69%	11,69%	11,69%	7,82%	13,57%	3,59%
80,00%	33,33%	23,36%	23,36%	23,36%	23,36%	15,09%	27,37%	7,18%
90,00%	50,00%	35,61%	35,61%	35,61%	35,61%	22,10%	42,17%	11,07%

Πίνακας 4.167: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου

4.4.3 Σενάριο 3: Επίδραση του υδραυλικού χρόνου παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής στην απόδοση της εγκατάστασης

4.4.3.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.168 παρουσιάζει τις τιμές των λειτουργικών παραμέτρων του σεναρίου.

Παράμετρος		Τιμή	
Θερμοκρασία λυμάτων	Т	20,00	°C
Χρόνος παραμονής στερεών	Θc	10,00	d
Βαθμός απομάκρυνσης στερεών ΔΠΚ	s_r	60,00	%
Υδραυλικός χρόνος παραμονής αναερόβιας δεξαμενής	HRTanaer	0,50-2,50	h
Όγκος αναερόβιας δεξαμενής	V(6)	1291,67-6458,33	m³
Όγκος ανοξικής 1 δεξαμενής	V(8)	7880,00	m ³
Όγκος δεξαμενής αερισμού	V(9-13)	15559,00	m ³
Όγκος ανοξικής 2 δεξαμενής	V(25)	3000,00	m³
Συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού	r_in	2,00	-
Συντελεστής εξωτερικής ανακυκλοφορίας ιλύος	r_ex	0,80	-
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας πάχυνσης	CR_thick	95,00	%
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας αφυδάτωσης	CR_dew	95,00	%

4.4.3.2 Στόχος σεναρίου

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής υπολογίζεται ως ο λόγος του όγκου της δεξαμενής σε m³ προς την παροχή των εισερχόμενων λυμάτων εκφρασμένη σε m³ στη μονάδα του χρόνου. Δηλαδή, η μεταβολή του όγκου της δεξαμενής είναι εκείνο το χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τον υδραυλικό χρόνο παραμονής, καθώς η παροχή εισερχόμενων λυμάτων θεωρείται σταθερή. Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του υδραυλικού χρόνου παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής στη λειτουργία και απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0,50 έως 2,50 ώρες, με τιμή σεναρίου αναφοράς τις 1,94 ώρες, υδραυλικός χρόνος παραμονής που αντιστοιχεί σε αναερόβια δεξαμενή όγκου 5000 m³.

4.4.3.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Η αναερόβια δεξαμενή είναι η πρώτη δεξαμενή του βιολογικού αντιδραστήρα, όπου απουσία οξυγόνου και νιτρικών ευνοούνται τα πολυφωσφορικά βακτήρια να απελευθερώσουν φωσφορικά από τα κύτταρά τους, προκειμένου να αποκτήσουν την απαιτούμενη ενέργεια για την αποθήκευση οργανικού υλικού με τη μορφή των ΡΗΑ. Τα ΡΗΑ οξειδώνουν, στη συνέχεια, μέσα στη δεξαμενή αερισμού, όπου δεν επικρατούν ευνοϊκές για τα πολυφωσφορικά βακτήρια συνθήκες, πραγματοποιώντας την αντίστροφη διεργασία και αποθηκεύοντας φωσφορικά στα κύτταρά τους, δημιουργώντας πολυ-φωσφορικές αλυσίδες. Η ύπαρξη, λοιπόν, της αναερόβιας δεξαμενής είναι σημαντική για την επίτευξη των διεργασιών που έχουν ως αποτέλεσμα τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου και η μεταβολή του όγκου της δεξαμενής αναμένεται να επηρεάσει τις συγκεντρώσεις του Ρ στις εξόδους της εγκατάστασης.

Threader.											
		Βιοαντιδραστήρας									
HRTanaer		MLVSS	MLVSS	MLSS	MLSS	MLSS	MLSS				
		(g VSS/m ³)		(g COD/m³)		(g TSS/m³)					
0,50	-74,23%	2774,78	0,11%	3410,64	0,33%	3699,04	-7,90%				
1,00	-48,45%	2766,67	-0,19%	3398,90	-0,01%	3794,69	-5,52%				
1,50	-22,68%	2772,61	0,03%	3402,77	0,10%	3922,64	-2,33%				
1,94	0,00%	2771,86	0,00%	3399,36	0,00%	4016,40	0,00%				
2,00	3,09%	2772,38	0,02%	3399,63	0,01%	4029,75	0,33%				
2,50	28,87%	2764,31	-0,27%	3388,39	-0,32%	4099,84	2,08%				

Πίνακας 4.169: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

Οι συγκεντρώσεις στερεών στο ανάμικτο υγρό (Πίνακας 4.169) μολονότι εμφανίζουν μικρή μεταβλητότητα, εντούτοις παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα MLSS σε όρους COD και VSS εμφανίζονται πρακτικά αμετάβλητα, όμως καθώς αυξάνεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής ευνοούνται οι PAO έναντι των άλλων ετεροτροφικών και αλλάζει η μεταξύ τους δυναμική στο σύστημα, παρόλο που αθροιστικά δεν παρουσιάζεται μεταβολή. Αυτό μπορεί να φανεί σε όρους TSS, καθώς οι PAO διαθέτουν τις αποθήκες PHA και PP που, για το συγκεκριμένο μοντέλο, υπολογίζονται ως ξεχωριστές σωματιδιακές μεταβλητές. Συγκεκριμένα τα PP δεν υπολογίζονται σε όρους VSS και COD, αλλά P και η αύξησή τους στο σύστημα, ως αποτέλεσμα του μεγαλύτερου όγκου αναερόβιας δεξαμενής, εμφανίζεται ως μεταβολή των TSS.

		Δεξαμενή αερισμού										
HRTanaer		SOTR1	SOTR1	SOTR2	SOTR2	SOTR3	SOTR3	SOTR4	SOTR4	SOTR	SOTR	
		(1602/11)	xgO ₂ /11/	(KgO2/11)		(1602/11)	,	(1602/11)		(1602/11)		
0,50	-74,23%	975,81	4,28%	723,86	-0,45%	343,47	-6,54%	220,88	-17,71%	2264,25	-1,50%	
1,00	-48,45%	956,75	2,24%	725,08	-0,28%	353,66	-3,77%	238,24	-11,24%	2273,73	-1,09%	
1,50	-22,68%	941,96	0,66%	725,52	-0,22%	362,15	-1,46%	256,53	-4,42%	2286,11	-0,55%	
1,94	0,00%	935,77	0,00%	727,13	0,00%	367,50	0,00%	268,41	0,00%	2298,78	0,00%	
2,00	3,09%	935,82	0,01%	727,94	0,11%	368,34	0,23%	269,78	0,51%	2301,87	0,13%	
2,50	28,87%	923,95	-1,26%	726,18	-0,13%	374,78	1,98%	289,77	7,96%	2314,62	0,69%	

Πίνακας 4.170: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

Η ζήτηση οξυγόνου εμφανίζει πολύ μικρές μεταβολές (Πίνακας 4.170). Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παραπάνω παράγραφο για μεγαλύτερους όγκους αναερόβιας δεξαμενής, οι PAO αποθηκεύουν περισσότερο PHA, το οποίο στη συνέχεια οξειδώνουν μέσα στη δεξαμενή αερισμού για να αποθηκευόσουν φωσφορικά. Έτσι εμφανίζεται μια μικρή αύξηση στην κατανάλωση οξυγόνου στους μεγαλύτερους χρόνους παραμονής. Η αύξηση δεν ξεπερνά το 0,69% για HRT ίσο με 2,5 ώρες καθώς ταυτόχρονα με την ανάπτυξη των PAO έχει περιοριστεί η συγκέντρωση των υπόλοιπων ετεροτροφικών, οι οποίοι επιτελούν αερόβιο μεταβολισμό.
		Περίσσεια ιλύος									
HRTanaer		VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su				
0,50	-74,23%	6157,27	0,10%	7567,88	0,33%	8207,68	-7,91%				
1,00	-48,45%	6139,67	-0,18%	7542,19	-0,01%	8420,63	-5,52%				
1,50	-22,68%	6152,60	0,03%	7550,43	0,10%	8704,43	-2,34%				
1,94	0,00%	6150,86	0,00%	7542,73	0,00%	8912,94	0,00%				
2,00	3,09%	6152,02	0,02%	7543,34	0,01%	8942,61	0,33%				
2,50	28,87%	6133,94	-0,28%	7518,13	-0,33%	9098,06	2,08%				

Πίνακας 4.171: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

Στην περίσσεια ιλύος (Πίνακες 4.171 και 4.173) παρουσιάζονται οι μεταβολές συγκέντρωσης που αναλύθηκαν για το ανάμικτο υγρό.

Πίνακας 4.172: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

				L	Δευτεροβο	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματο	α		
HRTa	anaer	Qe (m ³ /s)	Qe	SNH ₄ e (mg/l)	SNH₄e	SNO₃e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,50	-74,23%	0,72	0,00%	0,44	-59,53%	12,19	-8,43%	1,88	-25,75%	14,07	-11,19%
1,00	-48,45%	0,72	0,00%	0,60	-44,31%	12,33	-7,41%	2,04	-19,32%	14,37	-9,31%
1,50	-22,68%	0,72	0,00%	0,86	-20,50%	12,65	-4,97%	2,31	-8,87%	14,96	-5,59%
1,94	0,00%	0,72	0,00%	1,08	0,00%	13,32	0,00%	2,53	0,00%	15,85	0,00%
2,00	3,09%	0,72	0,00%	1,11	2,29%	13,46	1,10%	2,56	1,01%	16,02	1,08%
2,50	28,87%	0,72	0,00%	1,70	56,82%	14,50	8,86%	3,14	24,27%	17,64	11,32%
HRTa	anaer	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mgBOD /I)	BODe	CODe (mgCOD /I)	CODe	EQI (kgpol/d)	EQI
0,50	-74,23%	8,07	59,73%	23,55	-7,81%	2,25	-2,43%	62,63	0,10%	34508,54	3,89%
1,00	-48,45%	7,09	40,27%	24,13	-5,53%	2,26	-2,18%	62,53	-0,06%	33727,19	1,53%
1,50	-22,68%	5,84	15,51%	24,95	-2,30%	2,29	-0,84%	62,58	0,02%	33015,91	-0,61%
1,94	0,00%	5,05	0,00%	25,54	0,00%	2,31	0,00%	62,56	0,00%	33217,98	0,00%
2,00	3,09%	4,92	-2,69%	25,63	0,34%	2,31	0,16%	62,57	0,01%	33274,12	0,17%
2,50	28,87%	3,73	-26,09%	26,05	1,97%	2,32	0,52%	62,49	-0,12%	33867,14	1,95%



Σχήμα 4.36: Ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει του υδραυλικού χρόνου παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής.

Στον Πίνακα 4.172 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της δευτεροβάθμιας εκροής της εγκατάστασης. Η προσομοίωση έδειξε ότι μόνο για HRT που έφτασε τη 0,50 ώρα ο δείκτης EQI επιδεινώθηκε σε ποσοστό 3,89%. Παρατηρώντας ανεξάρτητα τις συγκεντρώσεις θρεπτικών φαίνεται ότι ο ολικός φώσφορος εξόδου αυξάνεται συνεχώς όσο μειώνεται ο όγκος της αναερόβιας δεξαμενής (Σχήμα 4.36), ενώ το ολικό άζωτο μειώνεται.

Τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.174 και 4.175, ενώ τα στοιχεία για το παραγόμενο βιοαέριο και την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια παρατίθενται στους Πίνακες 4.176 έως 4.179.

Πίνακας 4.173: Χαρακτηριστικά πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

			Πρωτοβό	ιθμια ιλύς		Περίσσεια ιλύος						
HRTa	anaer	Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m³)	Su	Su (kg/d)	Su	
0,50	-74,23%	1319,81	-0,10%	19797,16	-0,10%	887,26	-0,11%	8207,68	-7,91%	7282,37	-8,02%	
1,00	-48,45%	1320,19	-0,07%	19802,80	-0,07%	887,75	-0,06%	8420,63	-5,52%	7475,44	-5,58%	
1,50	-22,68%	1320,71	-0,03%	19810,69	-0,03%	887,96	-0,03%	8704,43	-2,34%	7729,18	-2,37%	
1,94	0,00%	1321,09	0,00%	19816,38	0,00%	888,27	0,00%	8912,94	0,00%	7917,07	0,00%	
2,00	3,09%	1321,15	0,00%	19817,21	0,00%	888,29	0,00%	8942,61	0,33%	7943,65	0,34%	
2,50	28,87%	1321,42	0,02%	19821,26	0,02%	888,82	0,06%	9098,06	2,08%	8086,51	2,14%	

Πίνακας 4.174: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

		Στραγγίδια								
HRTanaer		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄	
0,50	-74,23%	2154,52	-0,11%	949,39	-1,44%	185,85	-0,51%	26,16	-23,55%	
1,00	-48,45%	2155,43	-0,07%	953,36	-1,02%	185,88	-0,49%	28,73	-16,03%	
1,50	-22,68%	2156,15	-0,03%	959,13	-0,42%	186,49	-0,17%	31,79	-7,10%	
1,94	0,00%	2156,85	0,00%	963,22	0,00%	186,80	0,00%	34,21	0,00%	
2,00	3,09%	2156,94	0,00%	963,82	0,06%	186,86	0,03%	34,54	0,94%	
2,50 28,87%		2157,77	0,04%	966,58	0,35%	187,01	0,11%	36,36	6,26%	

Πίνακας 4.175: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

						Στραγγ	νίδια/Εισε	ρχόμενα λ	\ύματα				
HRTa	anaer	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN4 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO4strag/ SPO43	SPO₄strag/ SPO₄3 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,50	-74,23%	6,59%	-0,03%	10,76%	-0,63%	13,33%	-0,54%	19,27%	-22,40%	10,20%	-21,22%	6,20%	-1,45%
1,00	-48,45%	6,59%	-0,07%	10,76%	-0,57%	13,33%	-0,48%	21,08%	-15,11%	11,10%	-14,30%	6,23%	-1,02%
1,50	-22,68%	6,59%	-0,01%	10,80%	-0,25%	13,38%	-0,17%	23,19%	-6,61%	12,14%	-6,26%	6,26%	-0,43%
1,94	0,00%	6,60%	0,00%	10,82%	0,00%	13,40%	0,00%	24,83%	0,00%	12,95%	0,00%	6,29%	0,00%
2,00	3,09%	6,60%	0,01%	10,83%	0,05%	13,40%	0,03%	25,05%	0,88%	13,06%	0,82%	6,29%	0,06%
2,50	28,87%	6,59%	-0,04%	10,86%	0,29%	13,42%	0,14%	26,31%	5,94%	13,66%	5,45%	6,31%	0,37%

				Ηλεκτρική	ί ενέργεια		
HRTanaer 0,50 -74,23%		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (μεταβ.)
0,50	-74,23%	25619,66	0,00%	28363,49	-2,95%	90,33%	3,04%
1,00	-48,45%	25616,74	-0,01%	28667,65	-1,91%	89,36%	1,93%
1,50	-22,68%	25619,93	0,00%	28969,79	-0,88%	88,44%	0,88%
1,94	0,00%	25620,16	0,00%	29225,80	0,00%	87,66%	0,00%
2,00	3,09%	25620,70	0,00%	29272,20	0,16%	87,53%	-0,16%
2,50	28,87%	25619,70	0,00%	29577,20	1,20%	86,62%	-1,19%

Πίνακας 4.176: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

Πίνακας 4.177: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

			· ·	· · ·	Ηλεκτρική	ί ενέργεια			
HRTanaer		kWh/m³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)
0,50	-74,23%	0,46	-2,95%	0,67	-2,94%	8,44	-6,13%	57,29	33,69%
1,00	-48,45%	0,46	-1,91%	0,68	-1,91%	8,58	-4,59%	51,56	20,32%
1,50	-22,68%	0,47	-0,88%	0,68	-0,87%	8,77	-2,52%	45,73	6,72%
1,94	0,00%	0,47	0,00%	0,69	0,00%	8,99	0,00%	42,85	0,00%
2,00	3,09%	0,47	0,16%	0,69	0,16%	9,04	0,49%	42,40	-1,06%
2,50	28,87%	0,48	1,20%	0,70	1,19%	9,42	4,79%	38,73	-9,62%

Πίνακας 4.178: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

				Βιοαέριο			
HRTanaer	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (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
0,50	62,94	31,47	22,03	9,44	10,03	21,44	313,78%
1,00	62,93	31,47	22,03	9,44	10,11	21,36	311,28%
1,50	62,94	31,47	22,03	9,44	10,20	21,27	308,62%
1,94	62,94	31,47	22,03	9,44	10,28	21,19	306,14%
2,00	62,94	31,47	22,03	9,44	10,28	21,19	306,08%
2,50	62,94	31,47	22,03	9,44	10,34	21,13	304,37%

Πίνακας 4.179: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου HRTanaer.

					Βιοαέριο			
HRTanaer		Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
0,50	-74,23%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-2,44%	1,18%	2,50%
1,00	-48,45%	-0,01%	-0,01%	-0,01%	-0,01%	-1,66%	0,79%	1,68%
1,50	-22,68%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-0,80%	0,39%	0,81%
1,94	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2,00	3,09%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	-0,01%	-0,02%
2,50	28,87%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,58%	-0,28%	-0,58%

Δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες μεταβολές στη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει του όγκου της αναερόβιας δεξαμενής.

4.4.4 Σενάριο 4: Επίδραση του όγκου της ανοξικής 2 δεξαμενής στην απόδοση της εγκατάστασης

4.4.4.1 Δεδομένα προσομοίωσης

Ο Πίνακας 4.180 παρουσιάζει τις τιμές των λειτουργικών παραμέτρων του σεναρίου.

Παράμετρος		Τιμή	
Θερμοκρασία λυμάτων	Т	20,00	°C
Χρόνος παραμονής στερεών	Θc	10,00	d
Βαθμός απομάκρυνσης στερεών ΔΠΚ	s_r	60,00	%
Υδραυλικός χρόνος παραμονής αναερόβιας δεξαμενής	HRTanaer	1,94	h
Όγκος αναερόβιας δεξαμενής	V(6)	5000,00	m ³
Όγκος ανοξικής 1 δεξαμενής	V(8)	7880,00	m ³
Όγκος δεξαμενής αερισμού	V(9-13)	15559,00	m ³
Όγκος ανοξικής 2 δεξαμενής	V(25)	0-5000,00	m ³
Συντελεστής εσωτερικής ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού	r_in	2,00	-
Συντελεστής εξωτερικής ανακυκλοφορίας ιλύος	r_ex	0,80	-
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας πάχυνσης	CR_thick	95,00	%
Βαθμός συγκράτησης στερεών μονάδας αφυδάτωσης	CR_dew	95,00	%

Πίνακας 4.180: Τιμές λειτουργικών παραμέτρων σεναρίου 4

4.4.4.2 Στόχος σεναρίου

Ο στόχος του σεναρίου είναι να εκτιμηθεί η επίδραση του όγκου της 2^{ης} ανοξικής δεξαμενής στη λειτουργία και απόδοση της εγκατάστασης. Στα πλαίσια του σεναρίου μεταβάλλεται η ελεγχόμενη παράμετρος σε ένα εύρος τιμών από 0 m³ έως 5000 m³, με το 0 να αντιστοιχεί σε απουσία της ανοξικής 2 δεξαμενής. Η τιμή του σεναρίου αναφοράς είναι 3000 m³.

4.4.4.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Η προσθήκη της 2^{ης} ανοξικής δεξαμενής στο σύστημα ενεργού ιλύος έχει σκοπό να απονιτροποιήσει το νιτρικό άζωτο της εξωτερικής ανακυκλοφορίας ιλύος ώστε να μην εισάγονται νιτρικά στην αναερόβια δεξαμενή.

Κατά την προσομοίωση παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή του όγκου της ανοξικής 2 δεξαμενής αναδεικνύει τη δυναμική μεταξύ των διαφορετικών ειδών μικροοργανισμών που διαβιούν στο σύστημα.

Με την αύξηση του όγκου της 2^{ης} ανοξικής δεξαμενής ευνοούνται τα πολυφωσφορικά βακτήρια έναντι των υπολοίπων ετεροτροφικών και αυτοτροφικών που μειώνονται οι συγκεντρώσεις τους. Συνολικά, οι συγκεντρώσεις στερεών στο ανάμικτο υγρό και την περίσσεια ιλύος

εμφανίζουν μείωση όσο μεγαλώνει η ανοξική (Πίνακες 4.181, 4.183 και 4.185, Σχήμα 4.35). Αντίθετα, όπως αναμενόταν, καμία μεταβολή δεν παρατηρείται στην παροχή και τη συγκέντρωση της πρωτοβάθμιας ιλύος.

	٧(٢٥).												
		Βιοαντιδραστήρας											
V(25)		MLVSS		MLSS	MICC	MLSS	MICC						
		(g VSS/m ³) ((g COD/m ³)	IVILSS	(g TSS/m ³)	IVILSS						
0,00	-100,00%	3001,43	8,28%	3666,79	7,87%	4171,79	3,87%						
1000,00	-66,67%	2921,20	5,39%	3573,01	5,11%	4128,03	2,78%						
2000,00	-33,33%	2842,20	2,54%	3481,19	2,41%	4073,26	1,42%						
3000,00	0,00%	2771,86	0,00%	3399,36	0,00%	4016,40	0,00%						
4000,00	33,33%	2701,42	-2,54%	3317,64	-2,40%	3944,68	-1,79%						
5000,00	66,67%	2648,25	-4,46%	3257,12	-4,18%	3885,49	-3,26%						

Πίνακας 4.181: Συγκεντρώσεις οργανικών και ολικών αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό συναρτήσει της παραμέτρου



Σχήμα 4.35: Οργανικά και ολικά αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού συναρτήσει του όγκου της ανοξικής δεξαμενής

Πίνακας 4.182: Ζήτηση οξυγόνου σε τυπικές συνθήκες ανά διαμέρισμα δεξαμενής αερισμού συναρτήσει της παραμέτρου												
V(25).												
		Δεξαμενή αερισμού										
	SOTR1	SOTR1 SOTR2 SOTR3 SOTR4 SOTR										

			Δεξαμενή αερισμού									
V(25)		SOTR1 (kgO ₂ /h)	SOTR1	SOTR2 (kgO ₂ /h)	SOTR2	SOTR3 (kgO ₂ /h)	SOTR3	SOTR4 (kgO ₂ /h)	SOTR4	SOTR (kgO ₂ /h)	SOTR	
0,00	-100,00%	1022,88	9,31%	759,37	4,43%	336,96	-8,31%	198,08	-26,20%	2317,40	0,81%	
1000,00	-66,67%	992,06	6,02%	750,36	3,19%	351,78	-4,28%	220,87	-17,71%	2315,04	0,71%	
2000,00	-33,33%	960,00	2,59%	737,47	1,42%	361,75	-1,57%	246,59	-8,13%	2305,82	0,31%	
3000,00	0,00%	935,77	0,00%	727,13	0,00%	367,50	0,00%	268,41	0,00%	2298,78	0,00%	
4000,00	33,33%	907,24	-3,05%	713,89	-1,82%	371,44	1,07%	292,20	8,86%	2284,69	-0,61%	
5000,00	66,67%	884,40	-5,49%	703,57	-3,24%	373,54	1,64%	308,71	15,02%	2270,02	-1,25%	

Παράλληλα με τη μικρή μείωση της συγκέντρωσης των στερεών στο ανάμικτο υγρό, παρατηρείται και μείωση της συνολικής απαίτησης οξυγόνου, όχι μεγαλύτερη του 1,25% (Πίνακας 4.182).

		Περίσσεια ιλύος									
V(25)	VSS (g VSS/m ³)	VSS	Su (g COD/m ³)	Su	Su (g SS/m ³)	Su				
0,00	-100,00%	6661,49	8,30%	8137,89	7,89%	9258,22	3,87%				
1000,00	-66,67%	6482,68	5,39%	7928,63	5,12%	9160,60	2,78%				
2000,00	-33,33%	6306,94	2,54%	7724,37	2,41%	9038,99	1,41%				
3000,00	0,00%	6150,86	0,00%	7542,73	0,00%	8912,94	0,00%				
4000,00	33,33%	5994,33	-2,54%	7361,10	-2,41%	8753,68	-1,79%				
5000,00	66,67%	5876,85	-4,45%	7227,42	-4,18%	8622,98	-3,25%				

Πίνακας 4.183: Συγκέντρωση οργανικών και ολικών στερεών περίσσειας ιλύος συναρτήσει της παραμέτρου V(25).



Σχήμα 4.36: Ολικός φώσφορος εξόδου συναρτήσει του όγκου της ανοξικής 2 δεξαμενής.

Πίνακας 4.184: Χαρακτηριστικά δευτεροβάθμιων επεξεργασμένων λυμάτων και ποιότητα εκροής συναρτήσει της παραμέτρου
V(25).

				Ĺ	Δευτεροβά	άθμια επε	ξεργασμέ	να λύματο	α		
V(25)	Qe (m³/s)	Qe	SNH₄e (mg/l)	SNH₄e	SNO ₃ e (mg/l)	SNO₃e	TKNe (mg/l)	TKNe	TNe (mg/l)	TNe
0,00	-100,00%	0,72	0,00%	0,26	-75,70%	13,83	3,90%	1,84	-27,12%	15,68	-1,05%
1000,00	-66,67%	0,72	0,00%	0,42	-61,30%	13,72	3,00%	1,95	-22,84%	15,67	-1,12%
2000,00	-33,33%	0,72	0,00%	0,70	-35,36%	13,54	1,66%	2,19	-13,56%	15,72	-0,77%
3000,00	0,00%	0,72	0,00%	1,08	0,00%	13,32	0,00%	2,53	0,00%	15,85	0,00%
4000,00	33,33%	0,72	0,00%	1,88	73,10%	12,99	-2,44%	3,28	29,75%	16,27	2,70%
5000,00	66,67%	0,72	0,00%	3,03	179,82%	12,60	-5,37%	4,41	74,26%	17,01	7,35%
V(:	25)	TPe (mg/l)	TPe	TSSe (mgSS/I)	TSSe	BODe (mg BOD/l)	BODe	CODe (mg COD/l)	CODe	EQI (kgpol/ d)	EQI
0,00	-100,00%	5,80	14,85%	27,27	6,78%	2,64	14,57%	65,15	4,12%	34355,87	3,43%
1000,00	-66,67%	5,41	7,06%	26,72	4,62%	2,52	9,33%	64,21	2,64%	33714,34	1,49%
2000,00	-33,33%	5,22	3,39%	26,12	2,26%	2,40	4,22%	63,33	1,22%	33409,23	0,58%
3000,00	0,00%	5,05	0,00%	25,54	0,00%	2,31	0,00%	62,56	0,00%	33217,98	0,00%
4000,00	33,33%	4,98	-1,46%	24,88	-2,58%	2,21	-4,03%	61,82	-1,18%	33517,94	0,90%
5000,00	66,67%	4,92	-2,62%	24,37	-4,61%	2,15	-7,02%	61,30	-2,01%	34252,98	3,12%

Στα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα (Πίνακας 4.184) μεταβολή του ολικού φωσφόρου στην κατεύθυνση που αναμενόταν, δηλαδή η μείωση του όγκου της αναερόβιας δεξαμενής

επιφέρει αύξηση του ολικού φωσφόρου εκροής. Αναφορικά με το άζωτο παρατηρείται ότι για μεγάλους όγκους αναερόβιας δεξαμενής αυξάνεται το ολικό άζωτο λόγω της μεταβολής του αμμωνιακού αζώτου.

			Πρωτοβά	βάθμια ιλύς Περίσσεια ιλύος							
V(25)		Q _{πρωτ.ιλ.} (m ³ /d)	Q _{πρωτ.ιλ.}	TSS (g/m ³)	TSS	w (m³/d)	w	Su (g/m³)	Su	Su (kg/d)	Su
0,00	-100,00%	1322,07	0,07%	19831,03	0,07%	882,39	-0,66%	9258,22	3,87%	8169,34	3,19%
1000,00	-66,67%	1321,77	0,05%	19826,61	0,05%	884,52	-0,42%	9160,60	2,78%	8102,69	2,34%
2000,00	-33,33%	1321,43	0,03%	19821,49	0,03%	886,52	-0,20%	9038,99	1,41%	8013,21	1,21%
3000,00	0,00%	1321,09	0,00%	19816,38	0,00%	888,27	0,00%	8912,94	0,00%	7917,07	0,00%
4000,00	33,33%	1320,68	-0,03%	19810,17	-0,03%	890,05	0,20%	8753,68	-1,79%	7791,23	-1,59%
5000,00	66,67%	1320,32	-0,06%	19804,84	-0,06%	891,37	0,35%	8622,98	-3,25%	7686,23	-2,92%

Πίνακας 4.185: Χαρακτηριστικά π	ρωτοβάθμιας και δευτ	εροβάθμιας ιλύος συν	ναρτήσει της παραμέτρα	ου V(25).

Τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων (Πίνακες 4.186 και 4.187) παρουσιάζουν μεταβολές των συγκεντρώσεων, μικρότερες του 5% από το σενάριο αναφοράς, όταν απουσιάζει η ανοξική 2 δεξαμενή.

Πίνακας 4.186: Χαρακτηριστικά στραγγιδίων συναρτήσει της παραμέτρου	V(25).
---	--------

		Στραγγίδια										
V(25)		Q (m³/d)	Q	TSS (g/m ³)	TSS	SNH ₄ (g/m ³)	SNH ₄	SPO ₄ (g/m ³)	SPO ₄			
0,00	-100,00%	2151,11	-0,27%	977,14	1,44%	194,40	4,07%	33,08	-3,32%			
1000,00	-66,67%	2153,23	-0,17%	972,75	0,99%	191,73	2,64%	33,74	-1,39%			
2000,00	-33,33%	2155,18	-0,08%	967,91	0,49%	189,10	1,23%	34,11	-0,29%			
3000,00	0,00%	2156,85	0,00%	963,22	0,00%	186,80	0,00%	34,21	0,00%			
4000,00	33,33%	2158,51	0,08%	957,68	-0,57%	184,62	-1,17%	34,01	-0,60%			
5000,00	66,67%	2159,72	0,13%	953,03	-1,06%	183,15	-1,96%	33,86	-1,03%			

Πίνακας 4.187: Συνεισφορά στραγγιδίων στα προεπεξεργασμένα λύματα συναρτήσει της παραμέτρου V(25).

			Στραγγιοια/εισερχομενά λυματά										
∨(25)	CODstrag/ COD3	CODstrag/ COD3 (μεταβ.)	TNstrag /TN3	TNstrag /TN4 (μεταβ.)	SNH₄strag/ SNH₄3	SNH₄strag/ SNH₄3 (μεταβ.)	TPstrag/ TP3	TPstrag/ TP3 (μεταβ.)	SPO₄strag/ SPO₄3	SPO4strag/ SPO43 (μεταβ.)	TSSstrag/ TSS3	TSSstrag/ TSS3 (μεταβ.)
0,00	-100,00%	6,71%	1,76%	11,16%	3,10%	13,84%	3,26%	23,93%	-3,64%	12,55%	-3,12%	6,36%	1,10%
1000,00	-66,67%	6,67%	1,15%	11,04%	2,03%	13,68%	2,13%	24,42%	-1,65%	12,78%	-1,36%	6,34%	0,77%
2000,00	-33,33%	6,63%	0,54%	10,93%	0,96%	13,53%	1,00%	24,72%	-0,46%	12,91%	-0,32%	6,31%	0,38%
3000,00	0,00%	6,60%	0,00%	10,82%	0,00%	13,40%	0,00%	24,83%	0,00%	12,95%	0,00%	6,29%	0,00%
4000,00	33,33%	6,56%	-0,55%	10,72%	-0,93%	13,27%	-0,95%	24,74%	-0,36%	12,89%	-0,45%	6,26%	-0,47%
5000,00	66,67%	6,53%	-0,96%	10,65%	-1,60%	13,19%	-1,59%	24,68%	-0,61%	12,85%	-0,78%	6,24%	-0,87%

Δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές ως προς το παραγόμενο βιοαέριο και την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Πίνακες 4.188-4.191). Η μικρή μείωση της συνολικής βιομάζας που επιφέρει η αύξηση του όγκου της ανοξικής δεξαμενής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του παραγόμενου βιοαερίου στον αναερόβιο χωνευτή αλλά τα ποσοστά δεν υπερβαίνουν το 1% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

				Ηλεκτρική	ί ενέργεια		
V(25)		Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Παραγόμεν η ηλεκτρική ενέργεια	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh/d)	Καταναλισκ όμενη ηλεκτρική ενέργεια	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (μεταβ.)
0,00	-100,00%	26046,06	1,66%	29084,93	-0,48%	89,55%	2,15%
1000,00	-66,67%	25929,15	1,21%	29168,64	-0,20%	88,89%	1,40%
2000,00	-33,33%	25757,36	0,54%	29183,93	-0,14%	88,26%	0,68%
3000,00 0,00%		25620,16	0,00%	29225,80	0,00%	87,66%	0,00%
4000,00	33,33%	25485,94	-0,52%	29234,41	0,03%	87,18%	-0,55%
5000,00	66,67%	25416,43	-0,80%	29207,63	-0,06%	87,02%	-0,73%

Πίνακας 4.188: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου V(25).

Πίνακας 4.189: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά m³λυμάτων και ανά kg COD, kg N, kg P που απομακρύνονται, συναρτήσει της παραμέτρου V(25).

			Ηλεκτρική ενέργεια									
V(25)		kWh/m ³	kWh/m ³ (μεταβ.)	kWh/ kg COD _{διασπ}	kWh/ kg COD _{διασπ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ν _{απομ}	kWh/ kg Ν _{απομ} (μεταβ.)	kWh/ kg Ρ _{απομ}	kWh/ kg Ρ _{απομ} (μεταβ.)			
0,00	-100,00%	0,47	-0,48%	0,69	-0,11%	8,92	-0,80%	45,76	6,79%			
1000,00	-66,67%	0,47	-0,20%	0,69	0,05%	8,95	-0,53%	44,20	3,15%			
2000,00	-33,33%	0,47	-0,14%	0,69	-0,03%	8,96	-0,38%	43,47	1,44%			
3000,00	0,00%	0,47	0,00%	0,69	0,00%	8,99	0,00%	42,85	0,00%			
4000,00	33,33%	0,47	0,03%	0,69	-0,08%	9,07	0,85%	42,58	-0,63%			
5000,00	66,67%	0,47	-0,06%	0,69	-0,25%	9,19	2,21%	42,32	-1,25%			

Πίνακας 4.190: Παραγόμενη και καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια συναρτήσει της παραμέτρου V(25).

				Βιοαέριο			
V(25)	Ενέργεια από βιαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου (10 ⁶ kcal/d)	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο (10 ⁶ kcal/d)	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο (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
0,00	63,99	31,99	22,40	9,60	10,37	21,62	308,53%
1000,00	63,70	31,85	22,30	9,56	10,36	21,49	307,45%
2000,00	63,28	31,64	22,15	9,49	10,31	21,33	306,88%
3000,00	62,94	31,47	22,03	9,44	10,28	21,19	306,14%
4000,00	62,61	31,31	21,91	9,39	10,22	21,08	306,22%
5000,00	62,44	31,22	21,85	9,37	10,19	21,03	306,43%

Πίνακας 4.191: Ποσοστιαία μεταβολή παραγόμενης και καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας συναρτήσει της παραμέτρου V(25).

		Βιοαέριο						
V(25)		Ενέργεια από βιαέριο	Θερμική ενέργεια από καύση βιοαερίου	Ηλεκτρική ενέργεια από βιοαέριο	Ενεργειακέ ς απώλεις από βιαέριο	Απαιτήσεις θέρμανσης ιλύος και κάλυψης απωλειών χωνευτή	Περίσσεια θερμικής ενέργειας	Ποσοστό ανάκτηση ς θερμικής ενέργειας (μεταβ.)
0,00	-100,00%	1,66%	1,66%	1,66%	1,66%	0,87%	2,05%	0,78%
1000,00	-66,67%	1,21%	1,21%	1,21%	1,21%	0,77%	1,42%	0,43%
2000,00	-33,33%	0,54%	0,54%	0,54%	0,54%	0,29%	0,65%	0,24%
3000,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4000,00	33,33%	-0,52%	-0,52%	-0,52%	-0,52%	-0,55%	-0,51%	0,03%
5000,00	66,67%	-0,80%	-0,80%	-0,80%	-0,80%	-0,89%	-0,75%	0,10%

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική είχε ως στόχο την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης της λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων με απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών. Η απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών σε μια ΕΕΛ επιτυγχάνεται με μονάδες που δίνουν τη δυνατότητα βιολογικής και φυσικοχημικής απομάκρυνσης.

Για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας προηγήθηκε συστηματική μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας και επιλέχθηκαν τα κατάλληλα υπο-μοντέλα, τα οποία τροποποιήθηκαν και συνδυάστηκαν μεταξύ τους για τη διατύπωση του τελικού ολοκληρωμένου μοντέλου. Η ανάπτυξη του νέου μοντέλου βασίστηκε σε υπάρχον, το οποίο είχε δημιουργηθεί για τις ερευνητικές ανάγκες του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας, και στο οποίο ενσωματώθηκε το Μοντέλο Ενεργού Ιλύος Νο. 2 (ASM2) για τη λειτουργία του βιολογικού αντιδραστήρα, υπομοντέλο καθίζησης που βασίζεται στη θεωρία ζωνικής καθίζησης, υπομοντέλο αναερόβιας χώνευσης που βασίζεται στο ADM1, καθώς και ισοζύγια μαζών που υπολογίζονται σύμφωνα με το βαθμό απόδοσης των επιμέρους μονάδων της εγκατάσταση.

Η εφαρμογή του νέου μοντέλου παρέχει αριθμητικά δεδομένα για τα χαρακτηριστικά και τις παροχές των λυμάτων, της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος και των παραγόμενων στραγγιδίων σε όλες τις θέσεις ενδιαφέροντος της εγκατάστασης και υπολογίζει μεγέθη που σχετίζονται με την παραγωγή και κατανάλωση βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκέντρωση των πληροφοριών αυτών επιτρέπει την παρακολούθηση της λειτουργίας της εγκατάστασης, την πλήρη κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις δεξαμενές της και δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της επίδρασης που έχει η εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών ελέγχου στις παραγόμενες εκροές της ΕΕΛ, ανάλογα με τους εκάστοτε στόχους που έχουν τεθεί.

Την ανάπτυξη του μοντέλου ακολούθησε ανάλυση ευαισθησίας, κατά την οποία έγιναν προσομοιώσεις της λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μεταβάλλοντας τις στοιχειομετρικές και κινητικές παραμέτρους του συστήματος και συγκρίνοντας την επίδραση των μεταβολών στην απόδοση της, υπό μελέτη, εγκατάστασης.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε σειρά εφαρμογών με στόχο την εξαγωγή μετρήσιμων συμπερασμάτων ως προς την επίδραση βασικών λειτουργικών παραμέτρων στην απόδοση του συστήματος. Έμφαση δόθηκε στις λειτουργικές παραμέτρους που επηρεάζουν τις διεργασίες που σχετίζονται με τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος.

Από την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

 Η απόδοση της εγκατάστασης επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το συντελεστή απόδοσης της ετεροτροφικής βιομάζας Υ_H. Καθώς οι ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί αποτελούν το μεγαλύτερο κλάσμα της συνολικής βιομάζας του συστήματος ενεργού ιλύος, η μεταβολή της αναλογίας τους ως προς την οργανική ύλη που καταναλώνεται επηρέασε σημαντικά τις παραγόμενες εκροές της εγκατάστασης.

Συγκεκριμένα, με την αύξηση του Y_H παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση στερεών στο ανάμικτο υγρό και την περίσσεια ιλύος, ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης περισσότερων μικροοργανισμών. Παράλληλα, μειώθηκε η απαίτηση οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού καθώς μικρότερες ποσότητες οργανικής ύλης οξειδώθηκαν σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, ενώ μεγαλύτερα ποσοστά αυτής χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση νέας βιομάζας. Η περιορισμένη ανάγκη αερισμού των λυμάτων μείωσε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης.

Η αυξημένη συγκέντρωση οργανικών στερεών της βιολογικής ιλύος, που οδηγείται στη συνέχεια στον αναερόβιο χωνευτή, αύξησε την παραγωγή βιοαερίου και, κατά συνέπεια, την παραγόμενη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάσταση. Καθώς δεν υπήρξε σημαντική μεταβολή στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση της ιλύος, αυξήθηκε το ποσοστό ανάκτησης για την θερμική και την ηλεκτρική ενέργεια.

Σχετικά με την ποιότητα των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων, η αύξηση του Υ_Η είχε δυσμενή επίδραση στο δείκτη EQI λόγω της αύξησης των στερεών που εκρέουν από την υπερχείλιση της δεξαμενής τελικής καθίζησης.

- Η απόδοση της εγκατάστασης δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή του συντελεστή απόδοσης αυτοτροφικής βιομάζας Υ_{Αυτ} καθώς οι αυτοτροφικοί μικροοργανισμοί νιτροποιητές αποτελούν μικρό ποσοστό της συνολικής βιομάζας. Η αύξηση του αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο, ως αποτέλεσμα της μείωσης του συντελεστή απόδοσης, αντισταθμίστηκε από τις μεταβολές των άλλων μορφών αζώτου με αποτέλεσμα το ολικό άζωτο εξόδου να μην εμφανίζει αξιόλογη μεταβολή.
- Οι μεταβολές του συντελεστή απόδοσης πολυφωσφορικής βιομάζας Υ_{PAO} επηρεάζουν την απόδοση της εγκατάστασης. Η αύξηση των πολυφωσφορικών βακτηρίων και των αποθηκευμένων προϊόντων τους, PP και PHA, επέφερε αύξηση της συγκέντρωσης στερεών στη δεξαμενή αερισμού, τη βιολογική ιλύ και στα επεξεργασμένα λύματα που εκρέουν από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης.

Παρόλο που ο δείκτης EQI εμφανίζει μικρή μεταβλητότητα, εντούτοις, αυξήθηκε το ολικό άζωτο και μειώθηκε ο ολικός φώσφορος στην εκροή της εγκατάστασης με την αύξηση του συντελεστή Υ_{PAO}.

- Ο συντελεστής απαιτούμενου PHA για αποθήκευση PP, Y_{PHA}, επηρεάζει τις συγκεντρώσεις των επιμέρους συστατικών στην εκροή της εγκατάστασης. Η μείωση του συντελεστή Y_{PHA} δεν είχε επίδραση στο δείκτη EQI αλλά προκάλεσε σημαντική μείωση του ολικού φωσφόρου στην έξοδο. Μικρότερη επίδραση παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση ολικού αζώτου, η οποία εμφάνισε αύξηση.
- Η σταθερά ρυθμού υδρόλυσης K_h επηρεάζει την απόδοση της εγκατάστασης ως προς τα χαρακτηριστικά της δευτεροβάθμιας εκροής. Συγκεκριμένα, η αύξηση της σταθεράς μείωσε το ρυπαντικό φορτίο που δέχεται ο αποδέκτης, όπως αυτό υπολογίζεται από το δείκτη EQI, και μείωσε σημαντικά τη συγκέντρωση ολικού φωσφόρου στην έξοδο. Το αμμωνιακό άζωτο, αντίθετα, εμφάνισε αύξηση της συγκέντρωσής του, η οποία αντισταθμίστηκε από τις μεταβολές των άλλων μορφών αζώτου, οργανικού και ανόργανου, με αποτέλεσμα να παρουσιαστεί τελικά μικρή μείωση του ολικού αζώτου εξόδου.

Η εγκατάσταση δεν επηρεάζεται σημαντικά από ενδεχόμενες μεταβολές του συντελεστή κορεσμού σωματιδιακού COD, K_x. Κατά την προσομοίωση δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή στις συγκεντρώσεις και παροχές των λυμάτων, της ιλύος και των στραγγιδίων. Επιπλέον, δεν επηρεάστηκε η παραγωγή βιοαερίου και η παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης.

Στη δευτεροβάθμια εκροή παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του συντελεστή κορεσμού K_x αύξησε σε μικρό βαθμό τον ολικό φώσφορο εξόδου. Το αμμωνιακό άζωτο, και σε αυτή την περίπτωση, εμφάνισε αύξηση της συγκέντρωσής του, η οποία αντισταθμίστηκε από τις μεταβολές των άλλων μορφών αζώτου, οργανικού και ανόργανου, με αποτέλεσμα να το ολικό άζωτο εξόδου να εμφανίζει πολύ μικρή αύξηση συγκέντρωσης.

- Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ζύμωσης q_{fe} δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της εγκατάστασης. Η μείωση της παραμέτρου επέφερε αύξηση του ολικού φωσφόρου στην έξοδο της εγκατάστασης.
- Ο συντελεστής κορεσμού ζύμωσης Kfe επηρεάζει την απόδοση της ΕΕΛ ως προς τον ολικό φώσφορο στην έξοδο. Συγκεκριμένα, η μείωση της παραμέτρου μείωσε τον ολικό φώσφορο.
 Μικρή μείωση της συγκέντρωσης παρουσίασε και το ολικό άζωτο.
- Η λειτουργία της εγκατάστασης επηρεάζεται από τη μεταβολή της σταθεράς αποθήκευσης PHA από τα πολυφωσφορικά βακτήρια, q_{PHA}. Πιο αναλυτικά η μείωση της παραμέτρου οδήγησε σε μείωση της συγκέντρωσης στερεών στο βιολογικό αντιδραστήρα και τη βιολογική ιλύ.

Σχετικά με την ποιότητα εκροής, παρατηρήθηκε επιδείνωση του δείκτη EQI των επεξεργασμένων λυμάτων με τη μείωση του αρμα, φαινόμενο που συνδέεται με την πολύ μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης ολικού φωσφόρου στην έξοδο της εγκατάστασης. Ταυτόχρονα αυξήθηκε η συγκέντρωση φωσφορικών στα στραγγίδια της γραμμής ιλύος.

- Η σταθερά αποθήκευσης PP, q_{PP}, δεν επηρεάζει την απόδοση της ΕΕΛ. Παρατηρήθηκε μόνο μικρή μεταβολή του ολικού φωσφόρου στην έξοδο της εγκατάστασης, ως αποτέλεσμα της μείωσης της παραμέτρου.
- Ο μέγιστος ειδικός ρυθμός ανάπτυξης πολυφωσφορικής βιομάζας μ_{PAO} έχει σημαντική επίδραση στη λειτουργία της εγκατάστασης. Η μείωση του ρυθμού ανάπτυξης οδήγησε σε μείωση της συγκέντρωσης στερεών στις διάφορες θέσεις του συστήματος λόγω μειωμένης ανάπτυξης της βιομάζας των πολυφωσφορικών βακτηρίων. Επιπλέον, επιδεινώθηκε ο δείκτης EQI λόγω της μεγάλης αύξησης του ολικού φωσφόρου στην έξοδο της εγκατάστασης.
- Η εγκατάσταση δεν επηρεάζεται ως προς την απόδοσή της από τις μεταβολές του συντελεστή κορεσμού αμμωνιακού αζώτου των πολυφωσφορικών βακτηρίων, Κ_{NH4_pao}. Σε κανένα σημείο του συστήματος δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες μεταβολές.
- Η μεταβολή του συντελεστή κορεσμού Ρ για αποθήκευση ΡΡ από τα πολυφωσφορικά βακτήρια, K_{PS}, δεν επιδρά στη λειτουργία και απόδοση της ΕΕΛ.
- Μεγάλες μεταβολές στη λειτουργία της εγκατάστασης παρατηρούνται όταν μεταβάλλεται ο συντελεστής κορεσμού Ρ για την ανάπτυξη βιομάζας, Κ_P. Καθώς ο συγκεκριμένος συντελεστής επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης ετεροτροφικών και αυτοτροφικών μικροοργανισμών και πολυφωσφορικών βακτηρίων, οι μεταβολές που παρατηρούνται είναι σημαντικές.

Η αύξηση του συντελεστή K_P αύξησε τη συγκέντρωση στερεών στο ανάμικτο υγρό και τη βιολογική ιλύ και ταυτοχρόνως μειώθηκε η συνολική απαίτηση οξυγόνου της δεξαμενής αερισμού λόγω του περιορισμού των διεργασιών του αερόβιου μεταβολισμού και της νιτροποίησης. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, επίσης, μειώθηκε λόγω της μειωμένης απαίτησης αερισμού των λυμάτων.

Στην έξοδο της εγκατάστασης παρατηρήθηκε πολύ μεγάλη επιδείνωση της ποιότητας εκροής και το ρυπαντικό φορτίο που δέχτηκε ο αποδέκτης αυξήθηκε σημαντικά, λόγω του υψηλού αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο που οφείλεται στην αναστολή της νιτροποίησης και ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Εντούτοις ο ολικός φώσφορος των επεξεργασμένων λυμάτων μειώνεται.

Η αύξηση του αμμωνιακού αζώτου παρατηρήθηκε και στη γραμμή των στραγγιδίων και αυξήθηκε η συνεισφορά τους στο αμμωνιακό άζωτο των λυμάτων.

Μεταβολές του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης αυτοτροφικής βιομάζας μ_{Αυτ} επηρεάζουν την ποιότητα εκροής της εγκατάστασης ως προς τις συγκεντρώσεις της αζωτούχας ύλης των λυμάτων. Η μείωση του μ_{Αυτ} αύξησε κατά πολύ το αμμωνιακό άζωτο στην έξοδο της εγκατάστασης, συνέπεια της μειωμένης νιτροποίησης. Αντίθετα το ολικό άζωτο παρουσίασε μείωση.

Από τον έλεγχο των λειτουργικών παραμέτρων προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

 Ο χρόνος παραμονής στερεών Θc αποτελεί τη σημαντικότερη λειτουργική παράμετρο της ΕΕΛ και καθορίζει απόλυτα την απόδοσή της.

Η μείωση του χρόνου παραμονής μείωσε σημαντικά τις συγκεντρώσεις στερεών στη δεξαμενή αερισμού και την περίσσεια ιλύος, καθώς και την ζήτηση οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού. Αναφορικά με τις παροχές ιλύος και στραγγιδίων, η μείωση του χρόνου παραμονής στερεών είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιολογικής ιλύος με μεγάλες παροχές και χαμηλές συγκεντρώσεις στερεών, η οποία οδηγούμενη στη γραμμή επεξεργασίας ιλύος παρήγαγε στραγγίδια με τα ίδια χαρακτηριστικά.

Ταυτόχρονα, επιδεινώθηκε η ποιότητα εκροής της εγκατάστασης. Σημειώνεται ότι, οι νιτροποιητές εμφανίζουν μέγιστο ειδικό ρυθμό ανάπτυξης μια τάξη μεγέθους μικρότερο από τον αντίστοιχο ρυθμό των ετεροτροφικών και η ανάπτυξή τους απαιτεί περισσότερο χρόνο στο σύστημα. Πρακτικά, οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί δεν αναπτύσσονται σε εγκαταστάσεις με χαμηλό χρόνο παραμονής στερεών, με αποτέλεσμα να αναστέλλεται η διεργασία της νιτροποίησης. Όπως παρατηρήθηκε, το ολικό άζωτο της εκροής αυξήθηκε σημαντικά με την μείωση του Θc. Αντίθετα, ο ολικός φώσφορος παρουσίασε μείωση για τις ίδιες συνθήκες. Συνολικά, ο δείκτης ποιότητας εκροής επιδεινώθηκε σημαντικά για Θc μικρότερα από 6 ημέρες.

Σχετικά με το βιοαέριο, παρατηρήθηκε ότι σε χαμηλούς χρόνους παραμονής η παραγωγή του παρουσίασε αύξηση, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης οργανικών στην ιλύ. Επισημαίνεται ότι για χρόνους παραμονής μεγαλύτερους των 15 ημερών η βιολογική λάσπη είναι σταθεροποιημένη. Επιπλέον, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης μειώθηκε λόγω της μειωμένης απαίτησης αερισμού των λυμάτων.

 Ο βαθμός απομάκρυνσης στερεών στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελεί εκείνη την λειτουργική παράμετρο που ο έλεγχός της σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας από την εγκατάσταση. Αναλυτικότερα, με την αύξηση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ, αυξήθηκε η παροχή και η συγκέντρωση της πρωτοβάθμιας ιλύος, η οποία πλούσια σε οργανικό υλικό οδηγείται στον αναερόβιο χωνευτή για να σταθεροποιηθεί. Η αυξημένη συγκέντρωση της πρωτοβάθμιας ιλύος είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας βιοαερίου, ενώ αυξήθηκε και το ποσοστό ανάκτησης της θερμικής ενέργειας.

Η αύξηση του βαθμού απομάκρυνσης στερεών στη ΔΠΚ, επίσης αύξησε την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και το ποσοστό ανάκτησής της. Σημειώνεται ότι, η απομάκρυνση του μεγαλύτερου κλάσματος των στερεών στην πρωτοβάθμια επεξεργασία μείωσε τη φόρτιση της βιολογικής βαθμίδας και την απαίτηση αερισμού των λυμάτων, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην εγκατάσταση.

Αναφορικά με την ποιότητα της δευτεροβάθμια επεξεργασμένης εκροής, για βαθμούς απομάκρυνσης μεγαλύτερους του 80% παρατηρήθηκε σημαντική επιβάρυνση του αποδέκτη λόγω της αύξησης του ολικού φωσφόρου και, κυρίως, του ολικού αζώτου.

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής της αναερόβιας δεξαμενής αποτελεί σημαντική λειτουργική παράμετρο για την ανάπτυξη των πολυφωσφορικών βακτηρίων. Παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλύτερος ήταν ο όγκος της δεξαμενής, που συνεπάγεται μεγαλύτερο υδραυλικό χρόνο παραμονής, τόσο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των πολυφωσφορικών βακτηρίων παρατηρήθηκαν στο σύστημα. Το αποτέλεσμα της ανάπτυξης των PAO ήταν η μείωση του ολικού φωσφόρου της εκροής.

Το δυσμενέστερο σενάριο προέβλεπε υδραυλικό χρόνο παραμονής 0,5 ώρας. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης έδειξε επιδείνωση της ποιότητας εκροής λόγω της πολύ μεγάλης συγκέντρωσης ολικού φωσφόρου. Οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων στοιχείων που συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη EQI εμφανίστηκαν μειωμένες.

Η τοποθέτηση 2^{ης} ανοξικής δεξαμενής στο σύστημα ενεργού ιλύος και συγκεκριμένα στη γραμμή εξωτερικής ανακυκλοφορίας της ιλύος, σχετίζεται με τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για τη λειτουργία της αναερόβιας δεξαμενής, καθώς μειώνει τη συγκέντρωση των νιτρικών που εισέρχονται στη δεξαμενή αυτή ώστε να μην επικρατήσουν ανοξικές συνθήκες. Ο όγκος της ανοξικής 2 δεξαμενής αποτελεί λειτουργική παράμετρο του συστήματος που σχετίζεται με την ανάπτυξη των πολυφωσφορικών βακτηρίων, τα οποία ευνοούνται περισσότερο από τη λειτουργία δεξαμενών μεγάλου όγκου. Η προσομοίωση έδειξε ότι αυξάνοντας τον όγκο της ανοξικής 2, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αυξήθηκαν οι συγκεντρώσεις στερεών στο ανάμικτο υγρό και την περίσσεια ιλύος, αποτέλεσμα της ανάπτυξης των ΡΑΟ. Τα χαρακτηριστικά της εκροής βελτιώθηκαν λόγω της μείωσης του ολικού φωσφόρου.

Τα αποτελέσματα των εφαρμογών, που εξετάστηκαν στα πλαίσια της ανάλυσης ευαισθησίας και του ελέγχου των λειτουργικών παραμέτρων μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων με απομάκρυνση θρεπτικών, καταδεικνύουν ότι, το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ικανό να περιγράψει τη λειτουργία μιας υπάρχουσας ΕΕΛ και να προβλέψει τις επιδράσεις της εφαρμογής νέων στρατηγικών ελέγχου στις παραγόμενες εκροές της. Πρέπει να σημειωθεί πως η ενσωμάτωση στο μοντέλο διαφορετικών υπο-μοντέλων τα οποία έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί ανεξάρτητα ενέχει τον κίνδυνο, εξαιτίας τον παραδοχών στις οποίες βασίζονται, όταν εφαρμόζονται σε συνδυασμό, να μην παράγουν ρεαλιστικές εκτιμήσεις για κάθε διεργασία που λαμβάνει χώρα στην εγκατάσταση και για όλες τις συνθήκες λειτουργίας της. Συνεπώς, προκειμένου να τεκμηριωθεί πλήρως η προγνωστική ικανότητα του συγκεκριμένου μαθηματικού μοντέλου προτείνεται να ελεγχθεί σε περισσότερα σενάρια μεταβολής των λειτουργικών παραμέτρων, όπως είναι η επίδραση της ποιότητας των εισερχόμενων λυμάτων, η επίδραση των επιπέδων οξυγόνου της δεξαμενής αερισμού, η επίδραση της εξωτερικής ανακυκλοφορίας ιλύος και της εσωτερικής ανακυκλοφορίας νιτρικών, η επίδραση του βαθμού σταθεροποίησης που επιτυγχάνεται στον αναερόβιο χωνευτή και η επίδραση της θερμοκρασίας. Αναφορικά με τη θερμοκρασία, πρέπει να ενσωματωθούν στο μαθηματικό μοντέλο εξισώσεις που επιτρέπουν την προσομοίωση θερμοκρασιακών μεταβολών των εισερχόμενων λυμάτων,

Κεφάλαιο 6: Βιβλιογραφία

6.1 Ελληνικές αναφορές

- Ανδρεαδάκης Α. (1986). Σημειώσεις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας και Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων. Τομέας Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
- Ανδρεαδάκης Α. (2011-12). Σημειώσεις Μαθήματος Υγειονομική Τεχνολογία, Επεξεργασία Λυμάτων-Βασικές Αρχές και Διεργασίες. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
- Ανδρεαδάκης Α., Νουτσόπουλος Κ. (2002). Σημειώσεις για το μάθημα: Προχωρημένες μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων: Περιγραφή Μοντέλου ΙΑWQ. ΔΠΜΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών πόρων». ΕΜΠ, Αθήνα.
- Βασιλοπούλου Μ. (1999). Μαθηματική προσομοίωση βιολογικού αντιδραστήρα και δεξαμενής τελικής καθίζησης συστήματος ενεργού ιλύος. Διπλωματική εργασία. Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κόκκινος Η. (2017). Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου αναερόβιας χώνευσης ιλύος. Διπλωματική εργασία. Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κολλινιάτης Π. (2013). Μαθηματική προσομοίωση συστημάτων αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας υπογείων υδάτων για την απομάκρυνση εξασθενούς χρωμίου. Μεταπτυχιακή εργασία. ΔΠΜΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών πόρων». ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μαστραντωνάς Ν. (2012). Έλεγχος επάρκειας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων μέσω μαθηματικής προσομοίωσης. Διπλωματική εργασία. Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μπούκας Ν. (2008). Μαθηματική προσομοίωση ανάπτυξης νηματοειδών μικροοργανισμών σε σύστημα ενεργού ιλύος. Μεταπτυχιακή εργασία. ΔΠΜΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών πόρων». ΕΜΠ, Αθήνα.
- Σαραντόπουλος Β. (2015). Ανάπτυξη και εφαρμογή ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Σούρλα Φ. (2013). Έλεγχος επάρκειας συστημάτων ενεργού ιλύος με απομάκρυνση θρεπτικών μέσω μαθηματικής προσομοίωσης. Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

6.2 Ξενόγλωσσες αναφορές

 Alex J., Magdeburg V., Benedetti L., Copp J., Gernaey K.V., Jeppsson U., Nopens I., Pons M.N., Rosen C., Steyer J.P., Vanrolleghem P.A. (2008). Benchmark Simulation Model no. 1 (BSM1).
Prepared by the IWA Taskgroup on Benchmarking of Control Stategies for WWTPs.

- Batstone D.J., Keller J., Angelidaki I., Kalyuzhnyi S.V., Pavlostathis S.G., Rozzi A., Sanders W.T.M., Siegrist H., Vavilin V.A. (2002). The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Science & Technology. 10 (Vol 45): 65–73. IWA Publishing.*
- Bozkurt H., Quaglia A., Gernaey K. V., Gürkan S. (2015). A mathematical programming framework for early stage design of wastewater treatment plants. *Environmental Modelling & Software 64: 164-176.*
- Cadet C., Martins V. D. S., Dochain D. (2015). Dynamic modeling of clarifier-thickeners for the control of wastewater treatment plants: a critical analysis. *19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC).*
- Copp B.J. (2001). The COST Simulation Benchmark: Description and Simulator Manual (a product of COST Action 624 & COST Action 682). COST: European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research.
- Copp B.J., Jeppsson U., Vanrolleghem P. (2008). The Benchmark Simulation Models A Valuable Collection of Modelling Tools. 4th International Congress on Environmental Modelling and Software - Barcelona, Catalonia, Spain.
- Fanga F., Nia B., Li W., Shenga G., Yua H. (2011). A simulation-based integrated approach to optimize the biological nutrient removal process in a full-scale wastewater treatment plant. *Chemical Engineering Journal 174: 635–643.*
- Flores-Alsina X., Arnell M., Amerlinckd Y., Corominas L., Gernaey K. V., Guo L., Lindblom E., Nopens I., Porrod J., Shawi A., Snip L., Vanrolleghem P. A., Jeppsson U. (2014). Balancing effluent quality, economic cost and greenhouse gas emissions during the evaluation of (plant-wide) control/operational strategies in WWTPs. Science of the Total Environment 466–467, 616–624.
- Flores-Alsina X., Corominas L., Snip L., Vanrolleghem P. A. (2011). Including greenhouse gas emissions during benchmarking of wastewater treatment plant control strategies. *Water Research* 45:4700 -4710.
- Flores-Alsina X., Ikumi D., Batstone D., Gernaey K. V., Brouckaert C., Ekama G. A., Jeppsson U. (2012). Towards a plant-wide Benchmark Simulation Model with simultaneous nitrogen and phosphorus removal wastewater treatment processes.
- Grau P., Vanrolleghem P., Ayesa E. (2007). Plant-Wide Model construction and comparative analysis with other methodologies for integrated modeling. *Water Science & Technology 8* (Vol 56): 57–65, IWA Publishing.
- Henze M., Gujer W., Mino T., Loosdrecht M. V. (2000) Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. Edited by IWA task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment. *IWA Publishing Scientific and Technical Report series.*
- Iacopozzi I., Innocenti V., Marsili-Libelli S., Giusti E. (2007). A modified Activated Sludge Model No. 3 (ASM3) with two-step nitrificationedenitrification. *Environmental Modelling & Software 22: 847-861.*
- Jeppsson U. (2004). A General Description of the IAWQ Activated Sludge Model No. 1. Lund Institute of Technology, Sweden.

- Jeppsson U. (2005). Towards a benchmark simulation model for plant-wide control strategy performance evaluation of WWTPs. Dept of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University, Sweden. Presented at Benchmark meeting, Busan, Korea.
- Jeppsson U. (2008). *General Description of the BSMs and of the Plant Designs Used*. Dept of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University, Sweden. Presented at IWA TG on Benchmarking of Control Strategies for WWTPs, Vienna, Austria.
- Jeppsson U., Pons M.N., Nopens I., Alex J., Copp J., Gernaey K.V., Rosen C., Steyer J.P., Vanrolleghem P.A. (2007). Benchmark Simulation Model No 2 –General Protocol and Exploratory Case Studies. *Water Sci Technol. 56 (8): 67-78.*
- Keene A. N., Reusser R.S., Scarborough J.M., Grooms A.L., Seib M., Domingo J. S., Noguera D. R. (2017). Pilot plant demonstration of stable and efficient high rate biological nutrient removal with low dissolved oxygen conditions. *Water Research 121: 72-85.*
- Koumaki E., Noutsopoulos C., Sarantopoulos V., Antoniou K., Malamis S.1, Mamais D., Andreadakis A., Gioldasi M., Rosso D., Baeza J.A., Guisasola A., Gabriel D., Colón J., Lafuente J., Katsou E., Massara T., Prado O., Krieg G. (2017). *C-FOOT CTRL-tool: Development of an integrated tool for the assessment of the greenhouse gas emissions in wastewater treatment plants.* 15th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece (Oral paper).
- Lee H., Yun Z. (2014). Comparison of biochemical characteristics between PAO and DPAO sludges. Journal of Environmental Sciences 26: 1340–1347.
- Nopens I., Benedetti L., Jeppsson U., Pons M.-N., Alex J., Copp J. B., Gernaey K. V., Rosen C., Steyer J.-P., Vanrolleghem P. A. (2010). Benchmark Simulation Model No 2: Finalisation of plant layout and default control strategy. *Water Science & Technology 62.9, IWA Publishing.*
- Rosen C., Jeppsson U. (2006). *Aspects on ADM1 implementation within the BSM2 framework*. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Sweden.
- Rosen C., Jeppsson U., Vanrolleghem P.A. (2004). Towards a common benchmark for long-term process control and monitoring performance evaluation. *Water Science and Technology 11* (Vol 50): 41–49, IWA Publishing.
- Takacs I., Patryioand G.G., Nolasco D. (1991). A dynamic model of the clarification-thickening process. *Wat. Res., 10 (Vol. 25): 1263-1271.*
- Xu H., Vilanova R. (2015). PI and Fuzzy Control for P-removal in Wastewater Treatment Plant. International Journal of Computers Communications & Control. 10(6): 936-951.
- Zhang R., Xie W., Yu H., Li W. (2014). Optimizing municipal wastewater treatment plants using an improved multi-objective optimization method. *Bioresource Technology 157: 161–165.*
- Zhao H. & Kümmel M. (1995). State and parameter estimation for phosphorus removal in an alternating activated sludge process. J. Proc. Cont. 5 (Vol. 5): 341-351.