

Βιοαντιδραστήρες μεμβρανών για την επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων

**Μπαμπατσούλη Παναγιώτα
Χημικός Μηχανικός**

**Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά**

Στόχοι διδακτορικής διατριβής

- A. η μελέτη της λειτουργίας ενός MBR, που επεξεργάζεται βιομηχανικό απόβλητο στην ΒΙ.ΠΕ του Ηρακλείου. Το απόβλητο αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή αναλογία COD/N και υψηλές διακυμάνσεις στη σύστασή του.
- B. η μελέτη της λειτουργίας ενός αντιδραστήρα προσκολλημένης βιομάζας με σκοπό την επεξεργασία του αποβλήτου που προέρχεται από την τελική έξοδο θαλασσινών υδατοκαλλιεργειών ή και ταυτόχρονα η βελτιστοποίηση της βιολογικής επεξεργασίας που μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα κλειστό κύκλωμα εξυγίανσης οστράκων.

A . Βιοαντιδραστήρας με μεμβράνες

Συστήματα MBR

2 κύριες διεργασίες: α) η βιολογική επεξεργασία και β) η διήθηση του ανάμικτου υγρού διαμέσου μεμβρανών, με σκοπό τον διαχωρισμό του από την επεξεργασμένη εκροή.

Πλεονεκτήματα

- ☐ δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλούς χρόνους παραμονής στερεών
- ☐ επίτευξη υψηλότερων συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών ανάμικτου υγρού
- ☐ μειωμένη παραγωγή λάσπης
- ☐ μικρές απαιτήσεις σε όγκο του βιολογικού αντιδραστήρα
- ☐ υψηλή ποιότητα εκροής

Μειονεκτήματα

- ☐ έμφραξη των μεμβρανών
- ☐ υψηλό κόστος μεμβρανών

Περιγραφή πιλοτικού συστήματος

- ❑ Κατασκευάστηκε από την Euromarket Ltd (Λεμεσός, Κύπρος).
- ❑ Εγκαταστάθηκε στη ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου Κρήτης και τέθηκε σε λειτουργία τον Ιανουάριο του 2012.
- ❑ Διαστάσεις (LxWxH) 2,3 m x 1,4 m x 2,55m
- ❑ Αποτελείται από: (α) Διαμέρισμα νιτροποίησης και (β) Μονάδα μεμβρανών.
- ❑ Τροφοδοτείται απευθείας από το απόβλητο που συλλέγεται στο βιολογικό της ΒΙ.ΠΕ, χωρίς καμμία προεπεξεργασία πέραν της απομάκρυνσης στερεών (εσχάρωσης).
- ❑ Η λάσπη που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για εμβολιασμό προέρχεται από τη Δ.Α του βιολογικού.

Περιγραφή εξοπλισμού

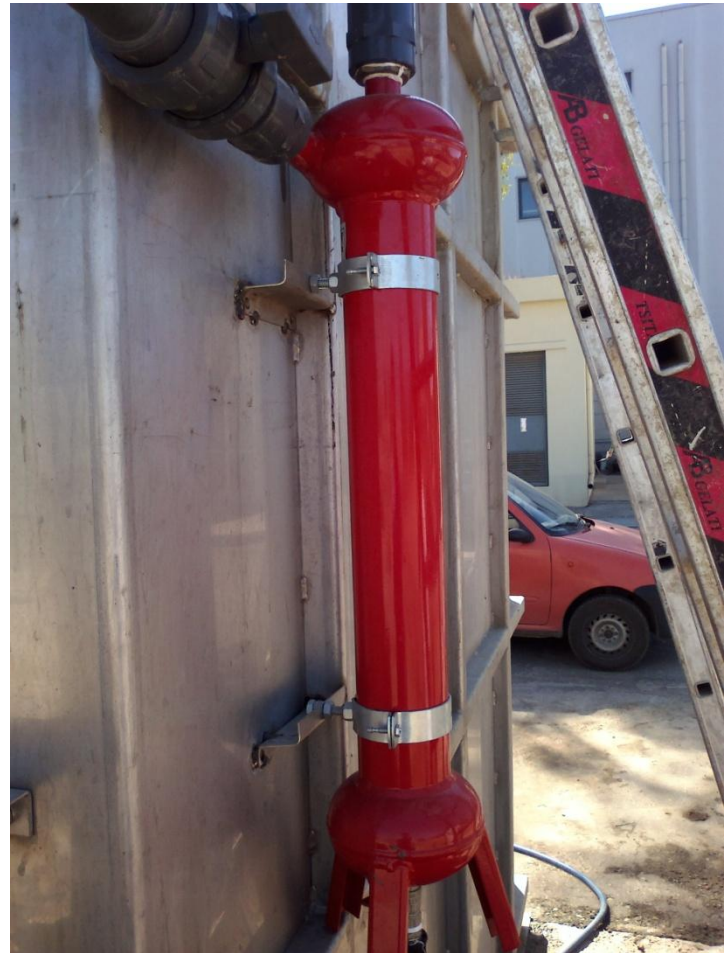
- ❑ Μια μονάδα μεμβρανών
- ❑ 5 διαχυτήρες εξασφαλίζουν τον απαραίτητο αερισμό λεπτών φυσαλίδων, ώστε να μεγιστοποιείται η διάχυση του οξυγόνου στις βιοκροκίδες.
- ❑ δεύτερο σύστημα αερισμού βρίσκεται κάτω από τη μονάδα μεμβρανών και παρέχει απευθείας στη μονάδα χονδρόκοκκες φυσαλίδες με σκοπό τον περιορισμό της έμφραξης.
- ❑ Δύο αντλίες: για την τροφοδοσία και το διήθημα.

Χαρακτηριστικά της μονάδας μεμβρανών

Χαρακτηριστικά	Περιγραφή
Είδος	Εμβαπτιζόμενη επίπεδη
Προέλευση	Ιαπωνία
Κατασκευαστής	Kubota
Αριθμός μεμβρανών	25
Βαθμός διήθησης	0,4 μm
Συνολικό Εμβαδόν επιφάνειας	20 m ²
Ροή	0,5 m ³ /m ² /d

Μικροπλαστικά

- ❑ Το βιομηχανικό απόβλητο περιέχει μεγάλο όγκο μικροπλαστικών (διαστάσεις 0.1 έως 2 mm).
- ❑ Plastika Kritis S.A., μια από τις μεγαλύτερες ελληνικές εταιρίες πλαστικών βρίσκεται στη ΒΙ.ΠΕ.
- ❑ Τα μικροπλαστικά αποτελούν το 30% της λάσπης!
- ❑ Με σκοπό να απομακρυνθούν τα πλαστικά που περιέχονται στη λάσπη αποφασίστηκε η εγκατάσταση ενός κυκλώνα.



Δειγματοληψίες- Υλικά και μέθοδοι

- ✓ 3 δείγματα ανά εβδομάδα: είσοδος, έξοδος , ανάμικτο υγρό.
- ✓ Αναλύσεις στην είσοδο και στην έξοδο :TSS ,VSS, ολικό και διαλυτό COD, BOD, TOC, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, βαρέα μέταλλα, μικροβιολογικοί δείκτες.
- ✓ Αναλύσεις στο ανάμικτο υγρό: MLSS, MLVSS, EPS , SMP.

Λειτουργικές συνθήκες

Παράμετρος	Τιμή
Όγκος αντιδραστήρα (m ³)	8,2
SRT (d)	30/15/20
HRT (h)	24 / 19
Ροή Διήθησης (l/min)	7,5/ 10
pH	7-8



Στόχοι της συγκεκριμένης μελέτης

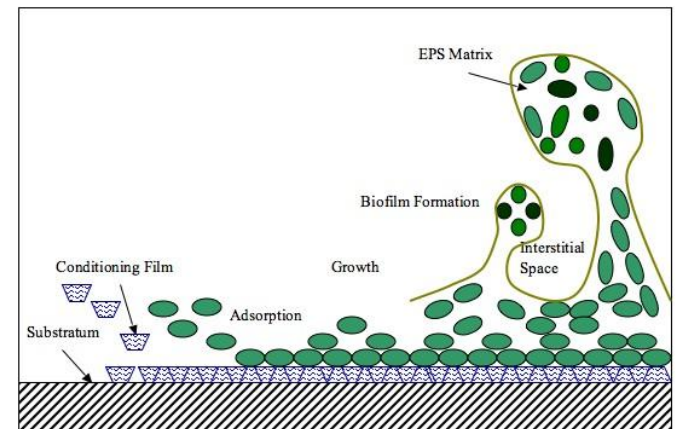
- ✓ Προσδιορισμός τυπικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την τροφοδοσία
- ✓ η επίδραση του SRT στην ποιότητα της εκροής (απομάκρυνση C,N ,P)
- ✓ η επίδραση του SRT στην έμφραξη των μεμβρανών
- ✓ η επίδραση του HRT στην ποιότητα εξόδου της εκροής, όσο και στη συσσώρευση των EPS και SMP σε σταθερό SRT ίσο με 20 ημέρες

Καινοτομία

Δεν υπάρχει προηγούμενη αναφορά μελέτης της λειτουργίας ενός πιλοτικού MBR που τροφοδοτείται με πραγματικό βιομηχανικό απόβλητο με τόση μεγάλη αναλογία COD/N και υψηλές διακυμάνσεις στη σύστασή του, χωρίς καμμία επιπλέον επεξεργασία.

Εξωκυτταρικές πολυμερείς ενώσεις (EPS)

- ❑ αποτελούν συστατικά κατασκευής των μικροβιακών δομών, όπως είναι τα βιοφίλμ και οι βιοκροκίδες, καθώς και κυρίαρχα συστατικά της ενεργού ιλύος.
- ❑ προέρχονται από μικροβιακή δραστηριότητα, λύση κυττάρων και προϊόντα υδρόλυσης.
- ❑ βρίσκονται στην επιφάνεια του κυττάρου ή στο εξωτερικό αυτού και άρα είναι παγιδευμένα στο εξωτερικό χώρο των βιοκροκίδων.
- ❑ διαχωρίζονται στα δεσμευμένα εξωκυτταρικά πολυμερή (EPS) και στα διαλυτά εξωκυτταρικά πολυμερή (ή διαλυτά μικροβιακά προϊόντα-SMP) ανάλογα με το αν βρίσκονται παγιδευμένα στις βιοκροκίδες ή ελεύθερα στο ανάμικτο υγρό.
- ❑ η εκχύλισή τους πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της κατιονικής ρητίνης.



Χαρακτηριστικά βιομηχανικού αποβλήτου

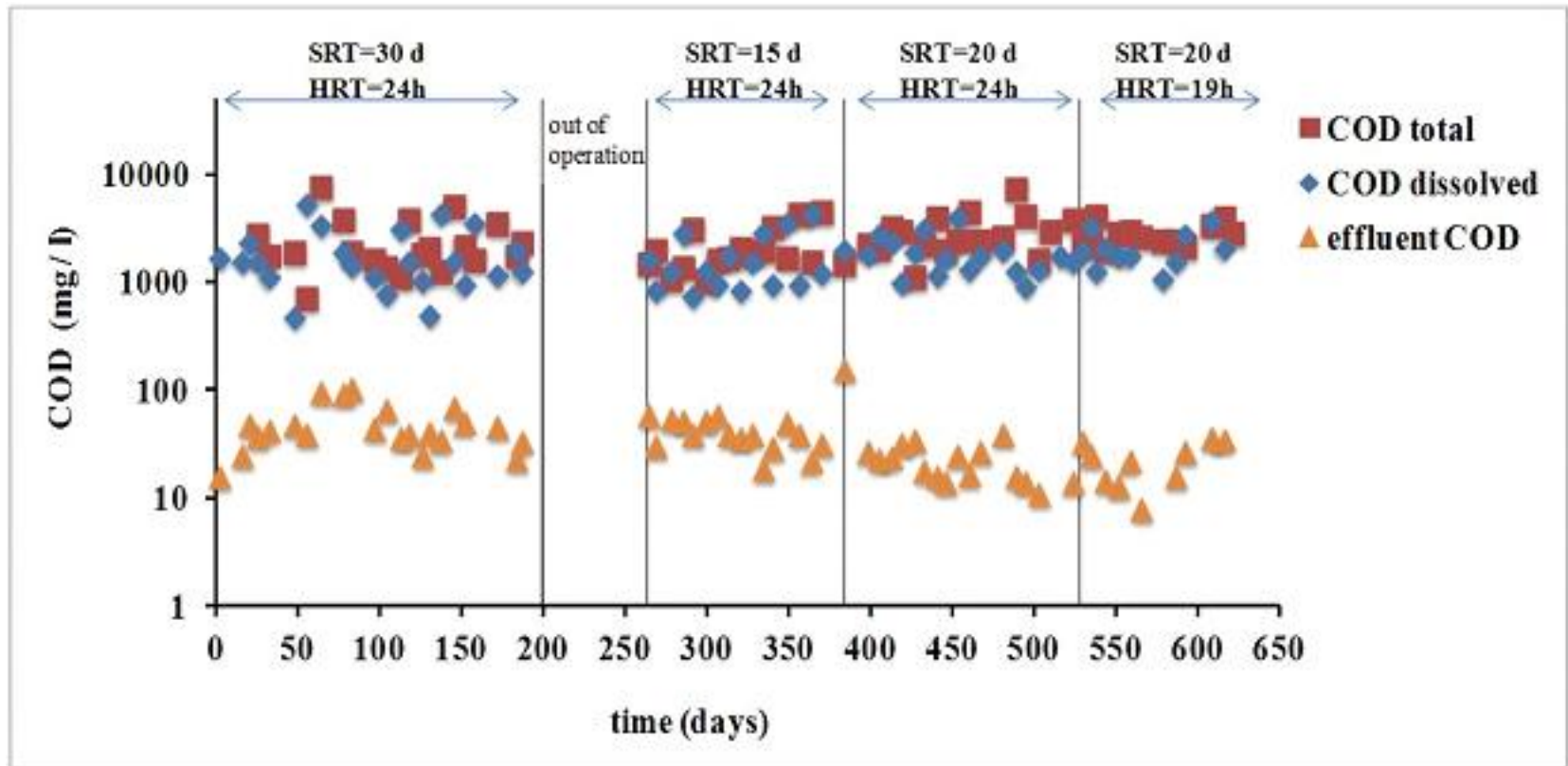
Παράμετρος (mg/l)	Αριθμός μετρήσεων	Μέση τιμή $\pm$ τυπ. απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
COD total	69	2440 $\pm$ 1288	730	7600
COD dissolved	69	1796 $\pm$ 1028	480	5400
BOD₅	31	1289 $\pm$ 530	600	2400
TOC	37	554 $\pm$ 333	145.6	1487.4
TSS	62	936 $\pm$ 634	390	3604
VSS	58	570 $\pm$ 380	25.62	2205
TN	37	30 $\pm$ 13.7	8.86	72.91
NH₄⁺-N	50	13.1 $\pm$ 8.7	0.2	41.65
NO₃⁻-N	50	2.03 $\pm$ 2.38	0.0	12.3
PO₄³⁻-P	50	10.7 $\pm$ 12.7	0.184	54.2

Ποιότητα εξόδου σε 3 SRTs

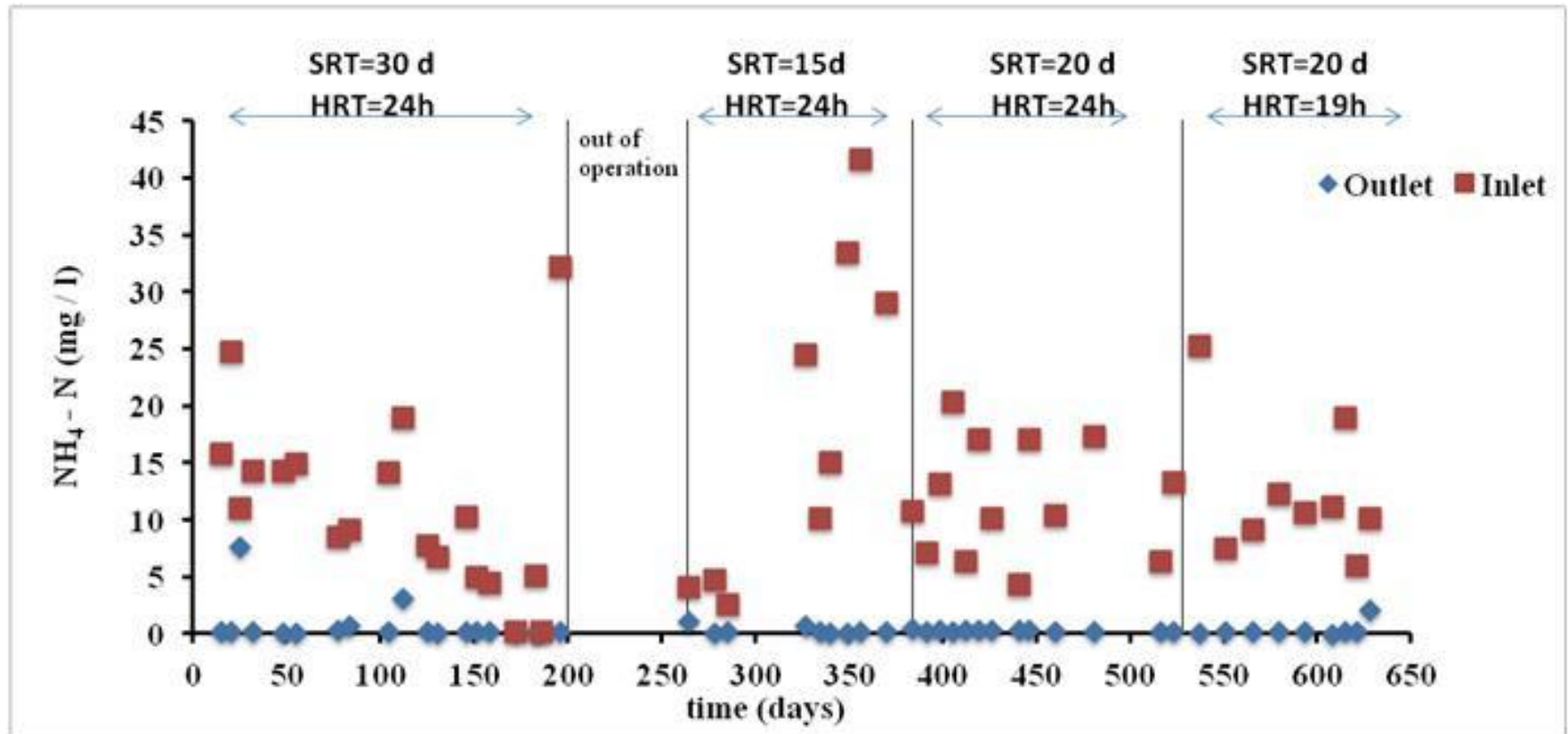
Παράμετρος (mg/l)	SRT					
	30		15		20	
	είσοδος	έξοδος	είσοδος	έξοδος	είσοδος	έξοδος
COD	2415±162	53 ± 30	2036±106	41±13	3087±1460	22.1 ±8.5
BOD ₅	1321±530	<5	1317±811	<5	1355±461	<5
TOC	483±281	16.2±9.8	623±443	17.4±6.6	607±255	9.9±2.3
NH ₄ ⁺ -N	11.51±8	0.8±1.8	17.7±13.7	0.37±0.33	11.96±5.3	0.31±0.07
NO ₃ ⁻ -N	1.86±3.2	0.27±0.36	0.97±1	3.8±7.5	2.29±1.91	0.28±0.19
TN	29.1±11.1	1.61±1.83	32.8±18.4	4.1±4.9	27.4±10.5	1.54±0.7
PO ₄ ³⁻ -P	9.5±12.4	1.69±3.5	11.2±11	1.82±2.8	16.2±19.4	1.74±3.6

Επιτυγχάνεται υψηλής ποιότητας εκροή εντός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία.

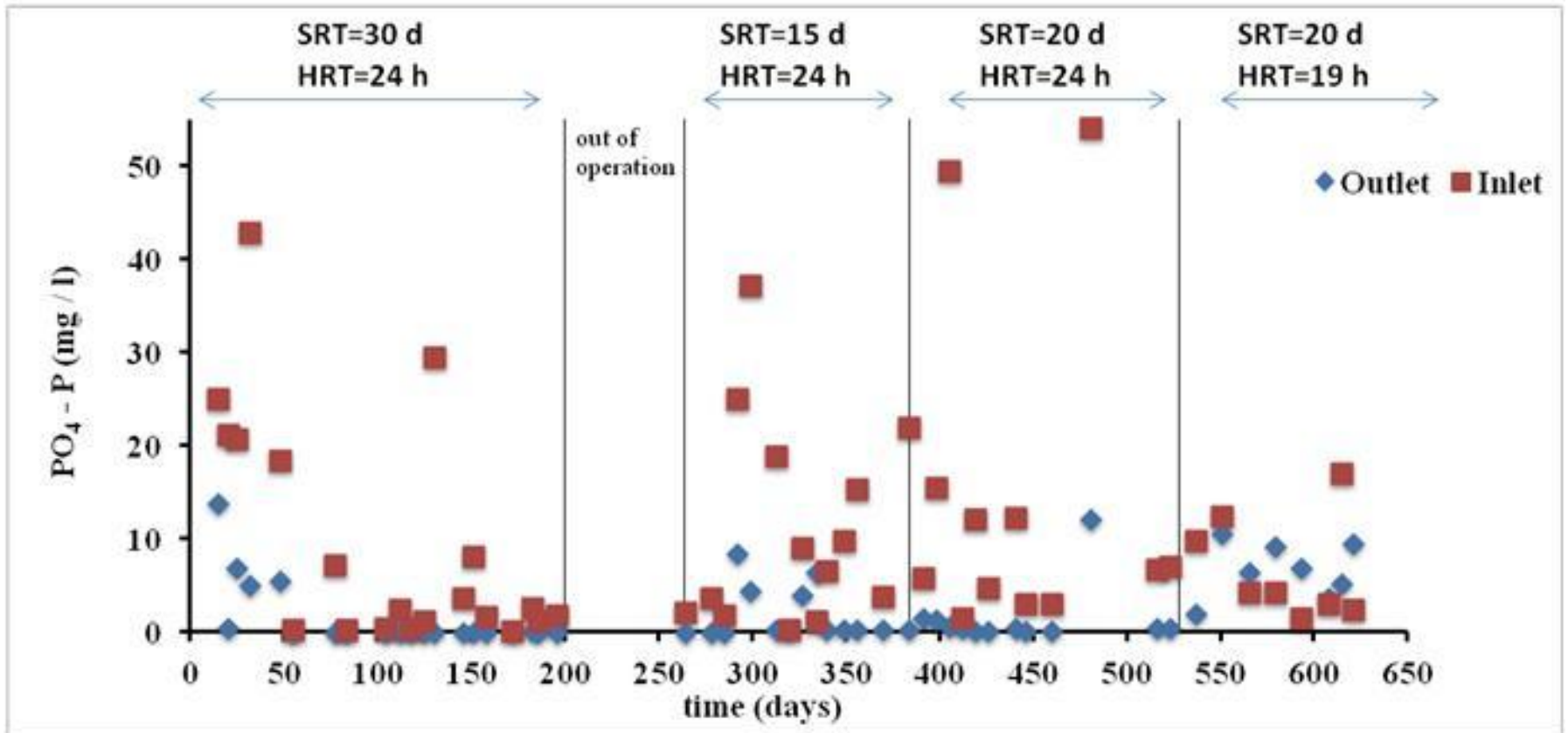
COD εισόδου και εξόδου



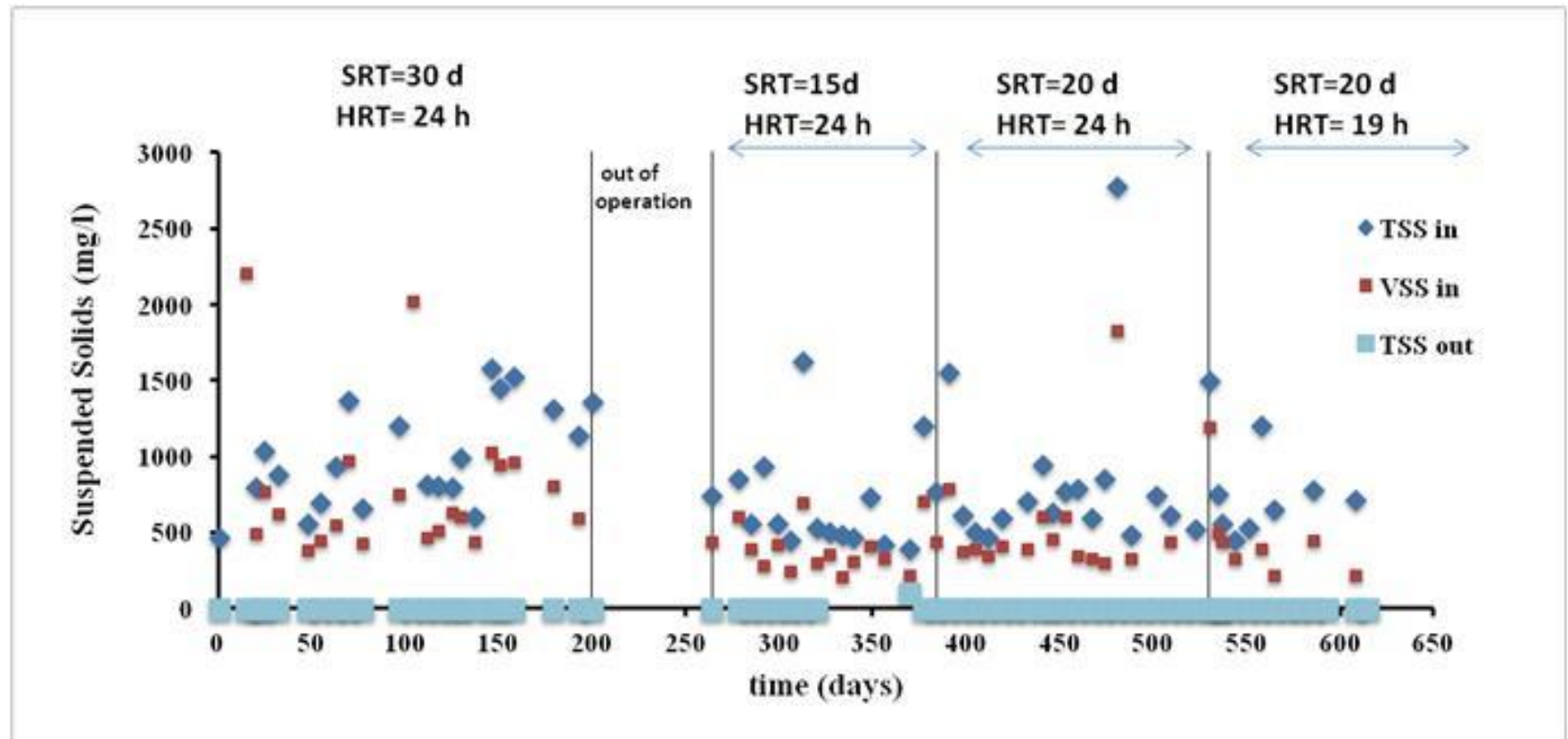
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ εισόδου και εξόδου



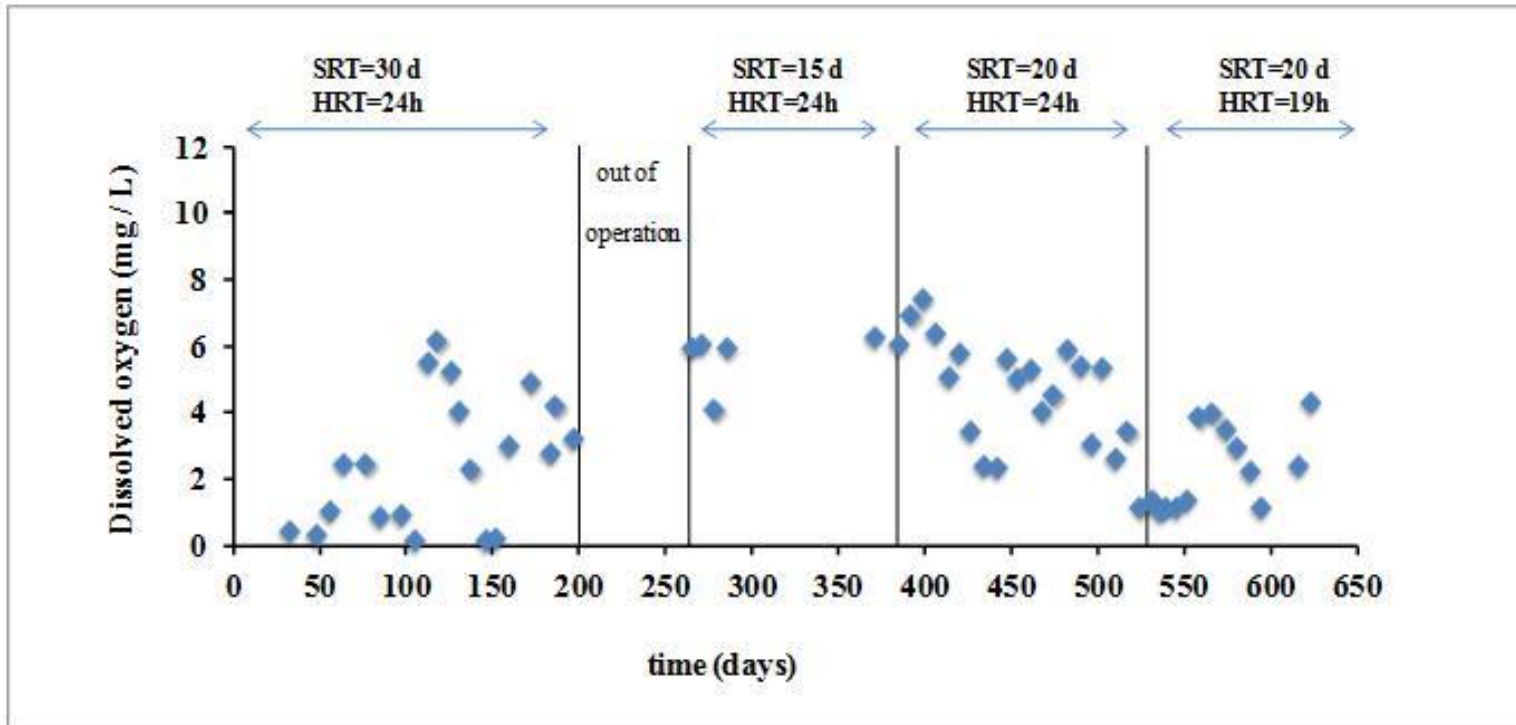
PO_4^{3-} -P εισόδου και εξόδου



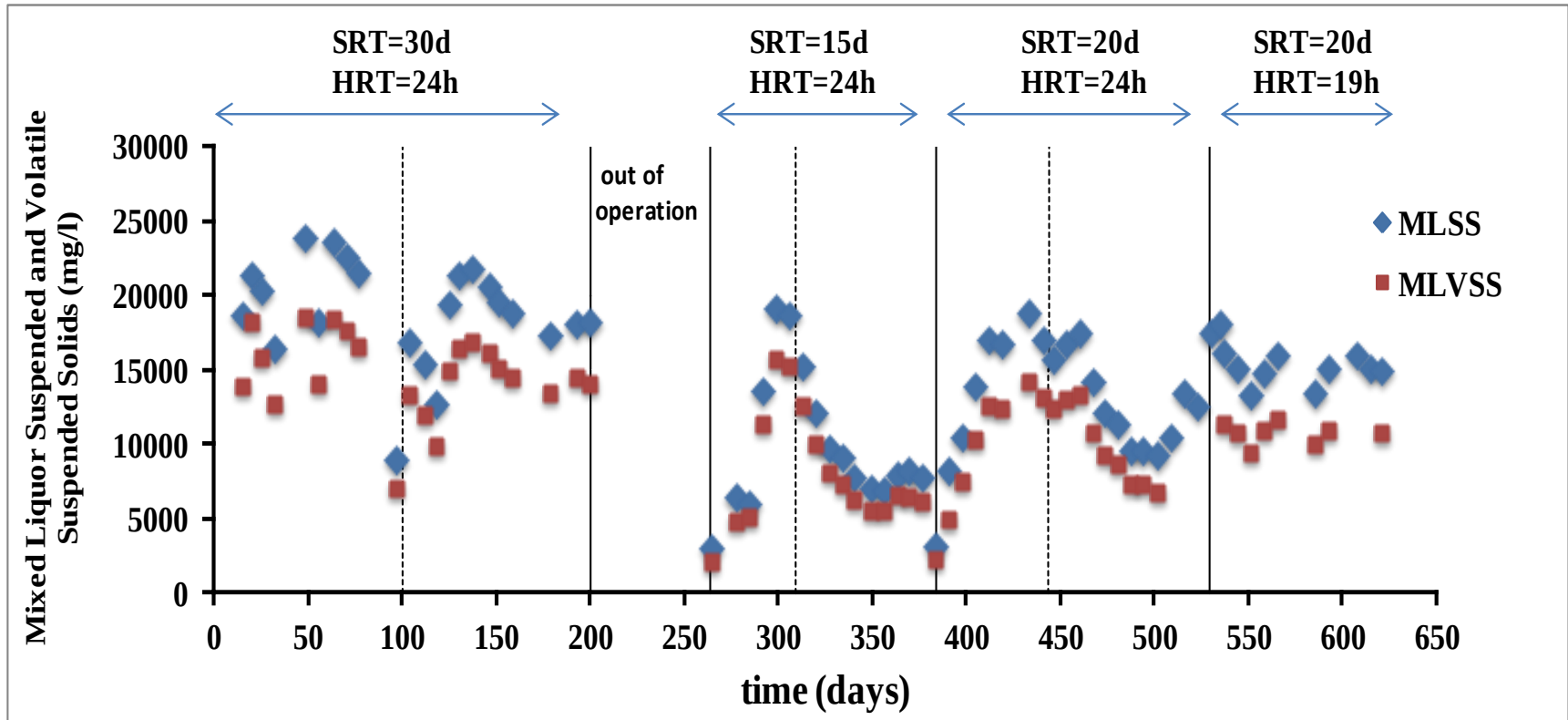
TSS- VSS εισόδου και εξόδου



Διαλυμένο οξυγόνο (DO)



MLSS και MLVSS συγκεντρώσεις



✓ Σε μόνιμη κατάσταση μια μέση τιμή MLSS 9100, 13350, 18340 mg/l σε SRTs των 15, 20, 30d.

Αποδοτικότητα συστήματος

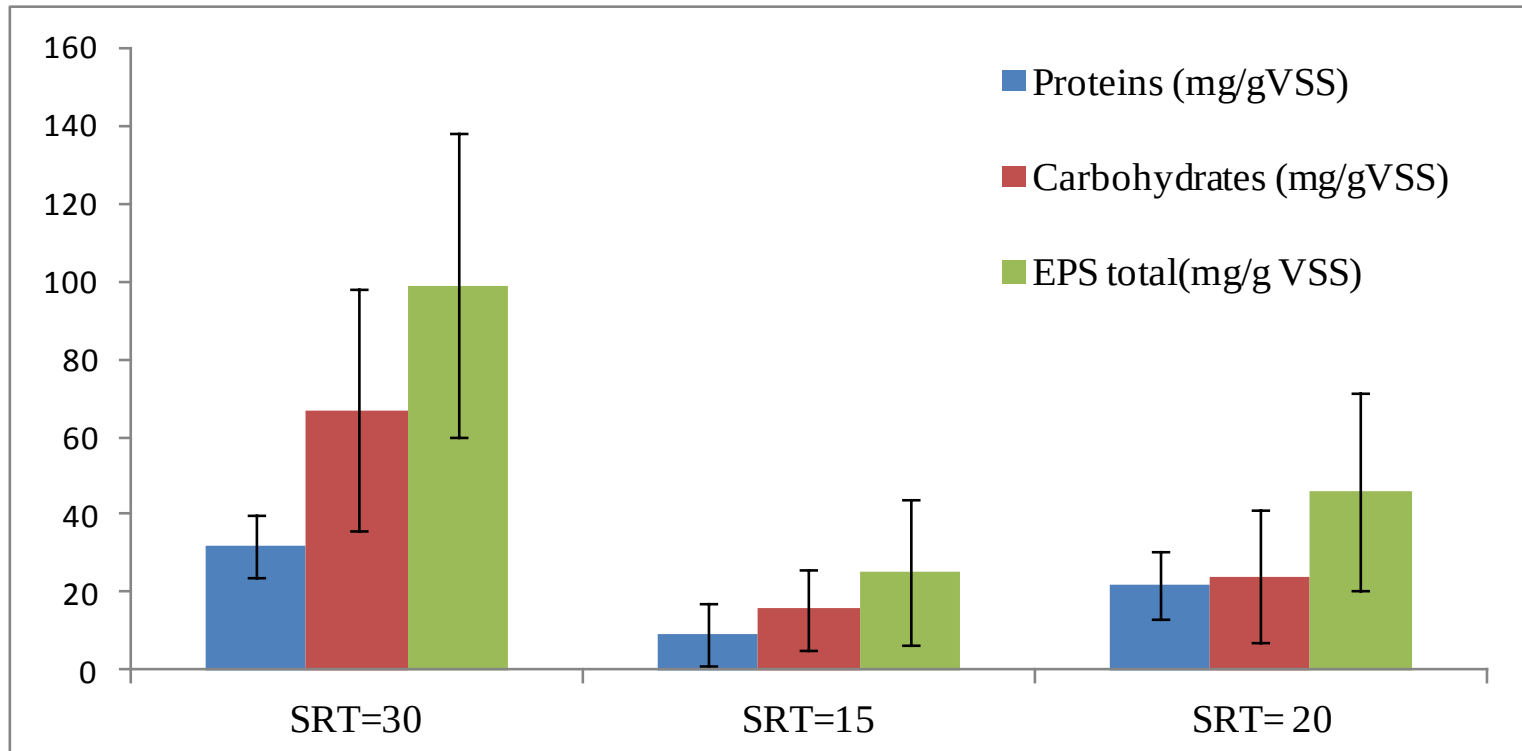
Παράμετρος	% Απομάκρυνση		
	SRT= 30 d	SRT= 15 d	SRT= 20d
COD	97,8	97,9	99,2
NH ₄ ⁺ -N	93	97,9	97,3
NO ₃ ⁻ -N	97,9	79	98,2
TN	94,5	87,5	94,3
PO ₄ ³⁻ -P	82,2	83,8	89,3

Επίδραση του HRT στην ποιότητα της εκροής

Παράμετρος (mg/L)	HRT=24		HRT=19	
	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος
COD	3087±1460	22.1±8.5	2920±703	29.1±14.7
NH ₄ -N	11.96±5.3	0.31±0.07	12.4±6.1	0.33±0.34
NO ₃ -N	2.29±1.91	0.28±0.19	3.1±1.64	2.7±2.3
PO ₄ -P	16.2±19.4	1.74±3.6	6.9±5.6	6.7±3
MLSS	13355±3135		15824±1615	
MLVSS	10288±2435		10745±755	

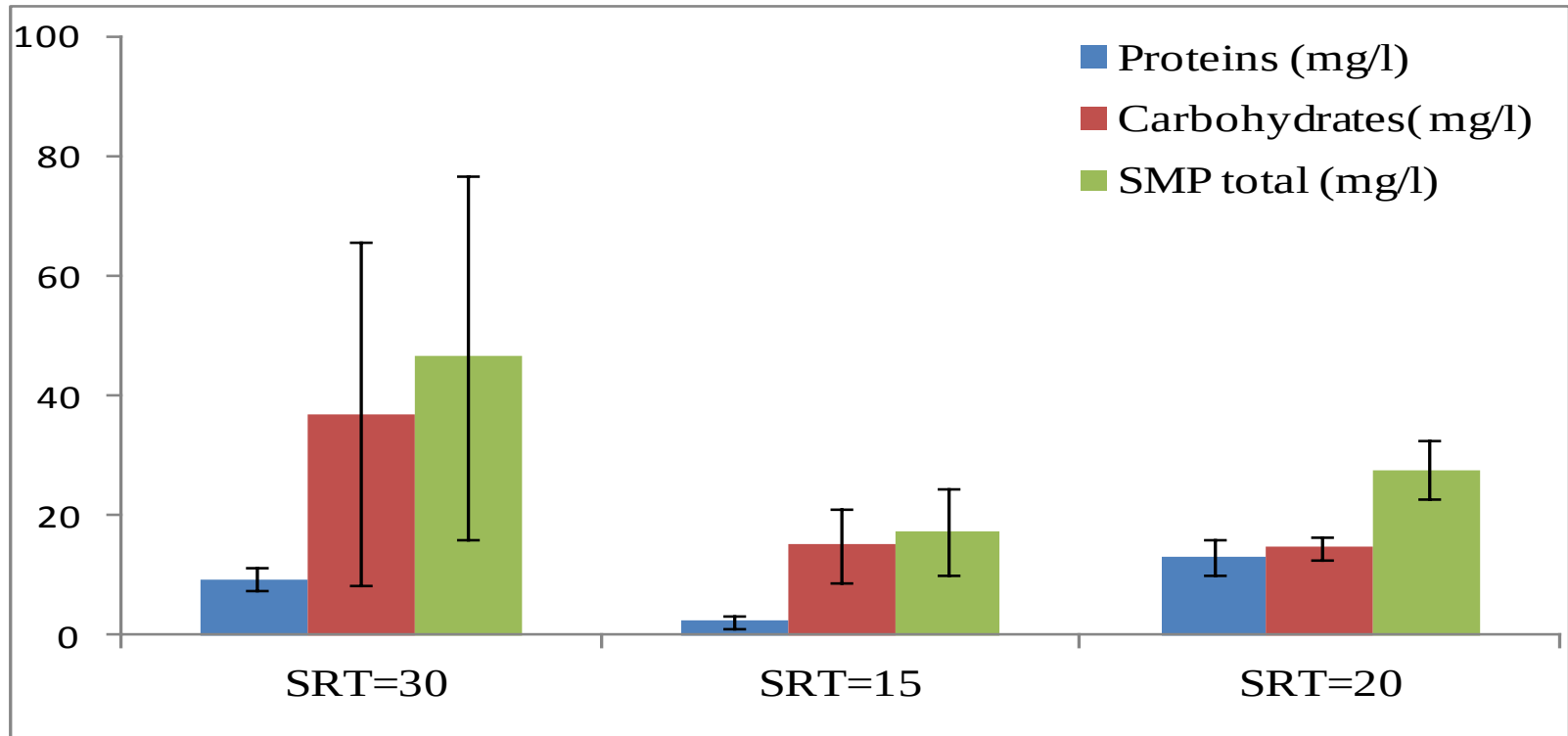
- ✓ Μηδαμινή επίδραση του HRT στην απομάκρυνση του COD και NH₄-N.
- ✓ Όμως : μείωση του ποσοστού απονιτροποίησης και της απομάκρυνσης φωσφόρου.
- ✓ Αύξηση της συγκέντρωσης της βιομάζας στον μικρότερο HRT.

EPS – επίδραση SRT



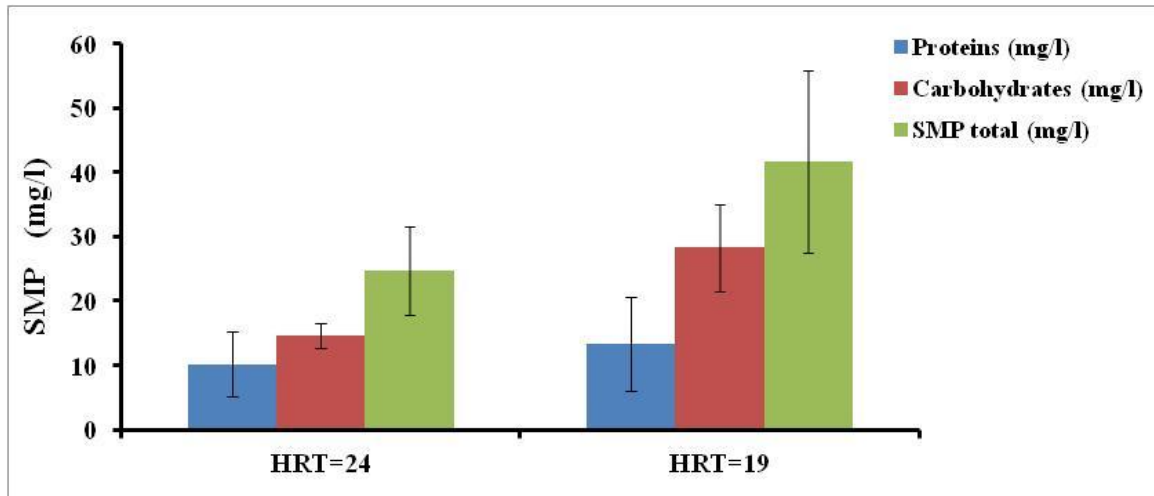
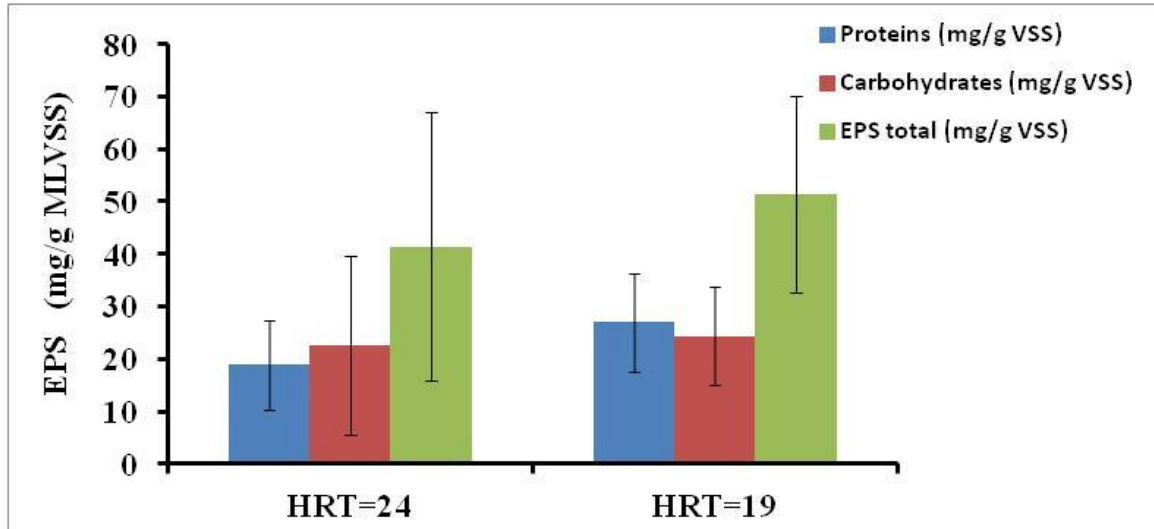
- ✓ Οι υδατάνθρακες αποτελούσαν το κύριο συστατικό των EPS σε όλους τους SRTs.
- ✓ Σε υψηλή αναλογία C/N οι μ/ο χρησιμοποιούν την περίσσεια άνθρακα για σύνθεση κυττάρων και για παραγωγή πολυσακχαριτών.
- ✓ Σε υψηλότερους SRTs παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις EPS.

SMP – επίδραση SRT



- ✓ Οι υδατάνθρακες αποτελούσαν το κύριο συστατικό των SMP σε όλους τους SRTs.
- ✓ Σε υψηλότερους SRTs παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις SMP.

Η επίδραση του HRT στην παραγωγή των EPS και SMP

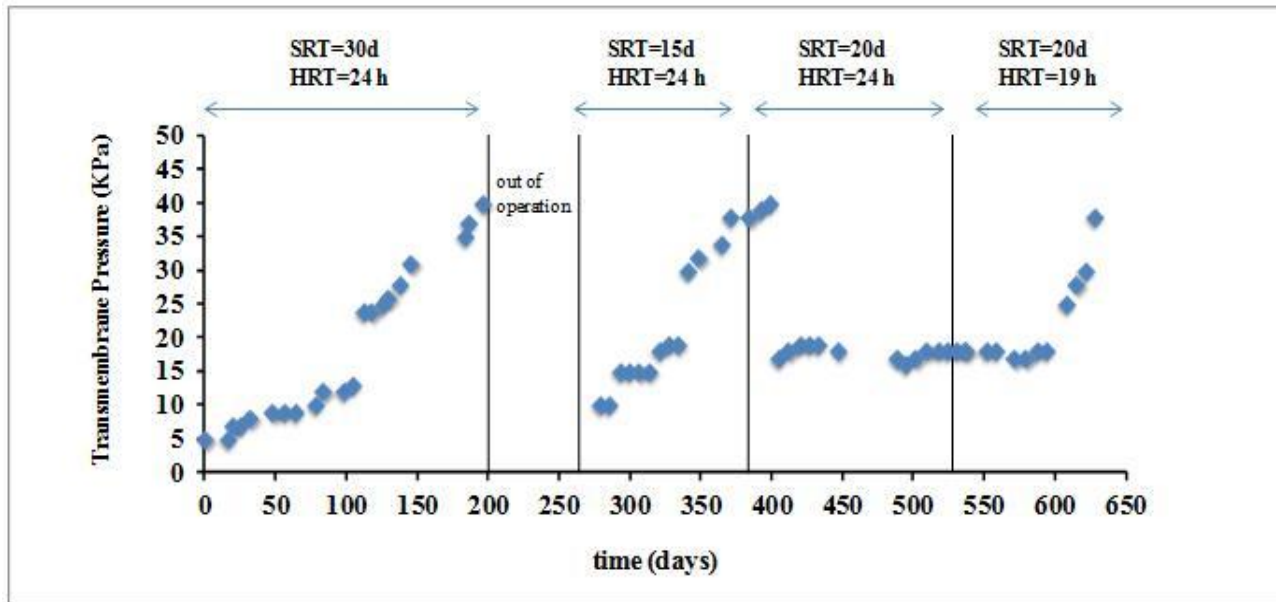


μείωση στον HRT από τις 24 στις 19 h



αύξηση των συγκεντρώσεων των EPS και SMP.

Έμφραξη μεμβρανών



SRT (d)	Ρυθμός αύξησης TMP (KPa/d)	Χρονική Περίοδος (d)
30	0.07	0-100
	0.28	100-200
15	0.13	264-334
	0.33	334-398
20	0.011	405-586
	0.57	586-628

Συμπεράσματα

- ❑ Μια άριστη ποιότητα εκροής επιτεύχθηκε, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις C,N,P σε όλους τους χρόνους παραμονής της λάσπης παρά την υψηλή αναλογία C/N και τις υψηλές διακυμάνσεις στη σύσταση του τροφοδοτούμενου αποβλήτου.
- ❑ Η αλλαγή στον HRT δεν είχε επίδραση στην απομάκρυνση COD και $\text{NH}_4\text{-N}$, αλλά είχε ισχυρή επίδραση στην απονιτροποίηση και την απομάκρυνση φωσφόρου.
- ❑ Οι υδατάνθρακες αποτελούσαν το βασικό συστατικό των EPS και SMP, εξαιτίας της μεγάλης αναλογίας C/N που χαρακτηρίζει το απόβλητο καθώς και των πολλών βιομηχανιών τροφίμων που είναι εγκατεστημένες στη ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου.
- ❑ Οι συγκεντρώσεις των EPS και SMP είναι υψηλότερες σε υψηλότερους SRTs σε αντίθεση με πολλές μελέτες της βιβλιογραφίας, δείχνοντας πως τα βακτήρια παράγουν περισσότερα EPS όταν συνθήκες ενδογενούς μεταβολισμού επικρατούν στον MBR σε υψηλό SRT.

Συμπεράσματα

- ❑ Η μείωση στον HRT από τις 24 στις 19 h είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των συνολικών EPS και SMP συγκεντρώσεων.
- ❑ Δεν υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού αύξησης της διαμεμβρανικής πίεσης και των συγκεντρώσεων των EPS και SMP, αντικατοπτρίζοντας την πολυπλοκότητα της βιολογικής διεργασίας.
- ❑ Τα αντιφατικά αποτελέσματα της βιβλιογραφίας είναι απόρροια των διαφόρων μεθόδων εκχύλισης των EPS και SMP που χρησιμοποιούνται από τον κάθε ερευνητή, του διαφορετικού αποβλήτου, των διαφορετικών διατάξεων αντιδραστήρων μεμβρανών, των διαφορετικών τύπων μεμβρανών και των διαφορετικών λειτουργικών συνθηκών που επικρατούν στον αντιδραστήρα.

Babatsouli, P., Palogos, I., Michalodimitraki, E., Costa, C., & Kalogerakis, N. (2014).

Evaluation of a MBR pilot treating industrial wastewater with a high COD/N ratio. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*.

B ΜΕΡΟΣ

**Βιοαντιδραστήρας
προσκολλημένης βιομάζας**

Απόβλητα υδατοκαλλιεργειών (Recirculating Aquaculture Systems- RAS) – πρόβλημα?

- ❑ Τεράστιοι όγκοι θαλασσινών αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες υδατοκαλλιεργειών αποτελούν σημαντική πηγή θαλάσσιας ρύπανσης.
- ❑ Οι έξοδοι από τις μονάδες υδατοκαλλιεργειών περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις N και P και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (ευτροφισμό, τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς).
- ❑ **Είναι άμεση η ανάγκη** για επεξεργασία των αποβλήτων (υψηλής αλατότητας) που προέρχονται από αυτές τις εγκαταστάσεις πριν την τελική τους διάθεση, ώστε να προστατευτούν και να διατηρηθούν τα φυσικά υδάτινα οικοσυστήματά μας .

Υδατοκαλλιέργειες

- ❑ Μια σημαντική οικονομική δραστηριότητα παγκοσμίως.
- ❑ Μια σημαντική βιομηχανία και ένας από τους ταχέως αναπτυσσόμενους τομείς στην παραγωγή φαγητού.
- ❑ Η Ελλάδα καταλαμβάνει την πρώτη θέση στις θαλάσσιες υδατοκαλλιέργειες ψαριών στην Ευρώπη (50% της συνολικής παραγωγής) &
- ❑ Την πρώτη θέση στις χώρες της Μεσογείου (45% της συνολικής μεσογειακής παραγωγής).

Όμως από την άλλη...

- ❑ Καθώς η παραγωγή συνεχίζει να αυξάνεται με αλματώδεις ρυθμούς οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αποκτούν αρνητικές διαστάσεις
- ❑ Είναι λοιπόν ανάγκη για την υιοθέτηση συστημάτων υδατοκαλλιέργειας με ανακυκλοφορία η οποία έχει διπλό όφελος: μειώνει τη χρήση νερού και ταυτόχρονα προσφέρει τη δυνατότητα για επεξεργασία του αποβλήτου πριν τη διάθεσή του στους υδάτινους αποδέκτες.

Οστρακοειδή – θαλασσινό απόβλητο

- ❑ Απαιτείται συχνά να μεταφέρονται σε εξυγιαντήρες κλειστού βρόχου πριν την τελική τους διάθεση στην αγορά.
- ❑ Σε κάποιες περιπτώσεις συνίσταται να παραμένουν στους εξυγιαντήρες αυτούς για περισσότερο από μια εβδομάδα.
- ❑ Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται η προσθήκη θρεπτικών συστατικών στο κύκλωμα για την διατήρηση της ποιότητας του , με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ενώσεων αζώτου και φωσφόρου στο ρεύμα εξόδου.

Και σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αναγκαία η ανάπτυξη ενός συστήματος επεξεργασίας της τελικής εξόδου το οποίο να αντιμετωπίζει τις αυξημένες συγκεντρώσεις αλατότητας.

ADVANTEX

Ο αντιδραστήρας 'Advantex' περιγράφεται ως μια εξελισσόμενη μορφή ενός αντιδραστήρα σταθερής κλίνης.

- ✓ Χρησιμοποιεί ύφασμα ως μέσο ανάπτυξης μ/ο : **συνθετικές ίνες πολυπροπυλενίου ανθεκτικές στη βιοαποδόμηση.**
- ✓ Περιλαμβάνει ανακυκλοφορία, συχνότερη δοσολογία αποβλήτου, ομοιόμορφη κατανομή.

Βασικά πλεονεκτήματα υφάσματος

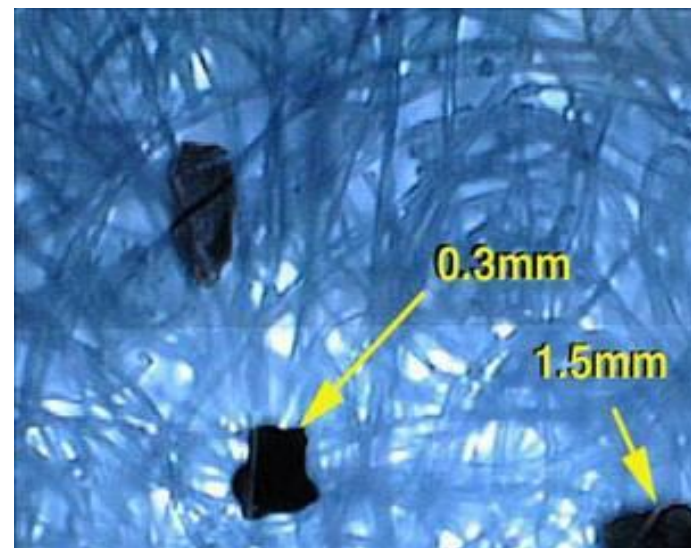
1. Μεγάλο πορώδες

μεγαλύτερη είναι η ικανότητά του για συσσώρευση στερεών και ανάπτυξη της βιομάζας.

2. Μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας:

μεγαλύτερη ικανότητα επαφής του οξυγόνου και του αποβλήτου με τη βιομάζα.

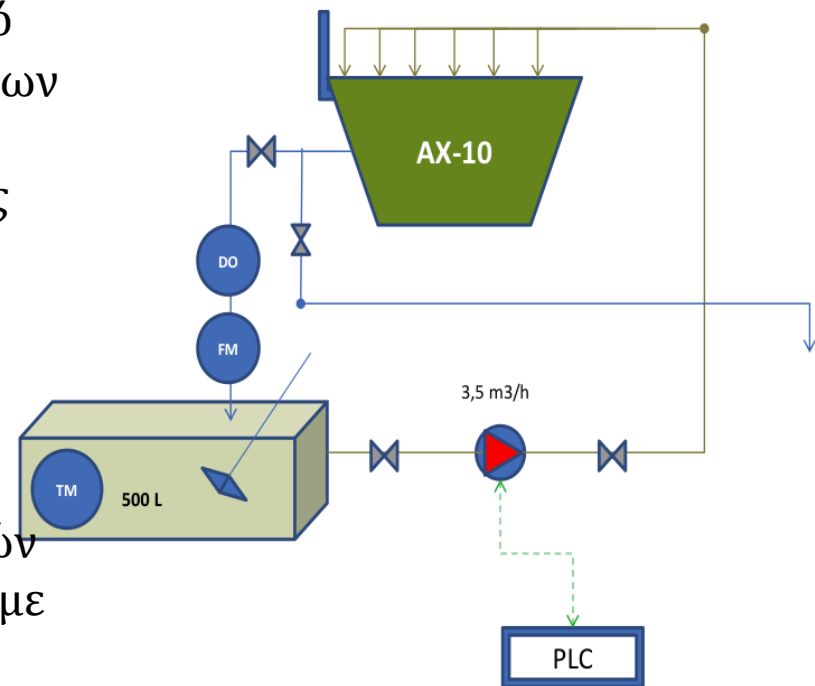
3. Μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού.



Πιλοτική μονάδα: ADVANTEX AX-10

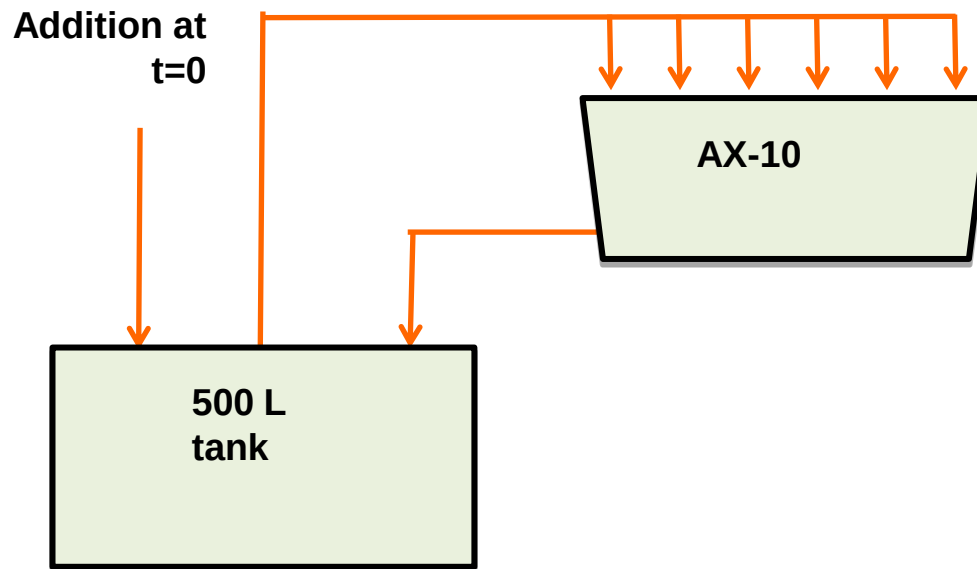
Η πιλοτική μονάδα αποτελείται από:

- ☐ Τον αντιδραστήρα (Bed reactor) με το συνθετικό ύφασμα πολυπροπυλενίου ως μέσο ανάπτυξης των μικροοργανισμών.
- ☐ Μια δεξαμενή τροφοδοσίας – ανακυκλοφορίας συνολικού όγκου 500 L.
- ☐ Έναν κεντρικό πίνακα ελέγχου.
- ☐ Μια λάμπα φθορισμού, η οποία προστέθηκε κατόπιν στο σύστημα για την ανάπτυξη των αυτότροφων μικροοργανισμών.
- ☐ Μια παγίδα ενεργού άνθρακα δέσμευσης οσμών, από την οποία εισέρχεται ο αέρας στο σύστημα με εφελκυσμό.
- ☐ Ένα φίλτρο πολυπροπυλενίου μεγέθους πόρων 10 μm τοποθετημένο πριν την αντλία τροφοδοσίας, ώστε να την προστατεύει από τη βιομάζα που αφαιρείται από το βιοφίλμ.



Τρόπος λειτουργίας συστήματος

- ❑ Το απόβλητο τροφοδοτείται στην δεξαμενή τροφοδοσίας – ανακυκλοφορίας και ψεκάζεται στο ύφασμα μέσω αντλίας η οποία λειτουργεί διακοπτόμενα.
- ❑ Κάθε φορά που το φίλτρο ψεκάζεται, το απόβλητο διεισδύει μέσα από τα ‘φύλλα’ του υφάσματος (και μεταξύ αυτών), όπου έρχεται σε επαφή με την αναπτυχθείσα βιομάζα.
- ❑ Εφόσον το επεξεργασμένο απόβλητο περάσει το φίλτρο επιστρέφει και πάλι στην δεξαμενή τροφοδοσίας - ανακυκλοφορίας.



Πειραματική διαδικασία

Σύσταση συνθετικού αποβλήτου:

- α) $C_{12}H_{22}O_{11}$ ως πηγή οργανικού άνθρακα
- β) $NH_4SO_4 + NaNO_3$, ως πηγή N
- γ) $KH_2PO_4 + K_2HPO_4$, ως πηγή P

- ❑ Η λειτουργία του αντιδραστήρα εξετάστηκε χρησιμοποιώντας 3 τύπους συνθετικού αποβλήτου που διέφεραν μεταξύ τους στην οργανική τους φόρτιση: ένα υψηλής (COD=600 mg/l), ένα μεσαίας (COD=200 mg/l) και ένα χαμηλής (COD=100 mg/l) οργανικής φόρτισης.
- ❑ Κάθε μία από τις παραπάνω οργανικές φορτίσεις εξετάστηκε με δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις NH_4^+-N , μια χαμηλή (10 mg/l) και μία υψηλή συγκέντρωση (100mg/l).
- ❑ Η περίοδος φωτισμού ήταν 16 ώρες το φως ανοιχτό και 8 ώρες κλειστό.
- ❑ Το pH διατηρήθηκε μεταξύ 6.5-7.5, με προσθήκη υδροξειδίου του νατρίου (NaOH).
- ❑ Το θαλασσινό νερό στην δεξαμενή τροφοδοσίας ανανεωνόταν κάθε 15-20 ημέρες.
- ❑ Δεν υπήρξε εξωτερική προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα στο σύστημα.



Χρονική εξέλιξη ανάπτυξης βιοφιλμ στο ύφασμα

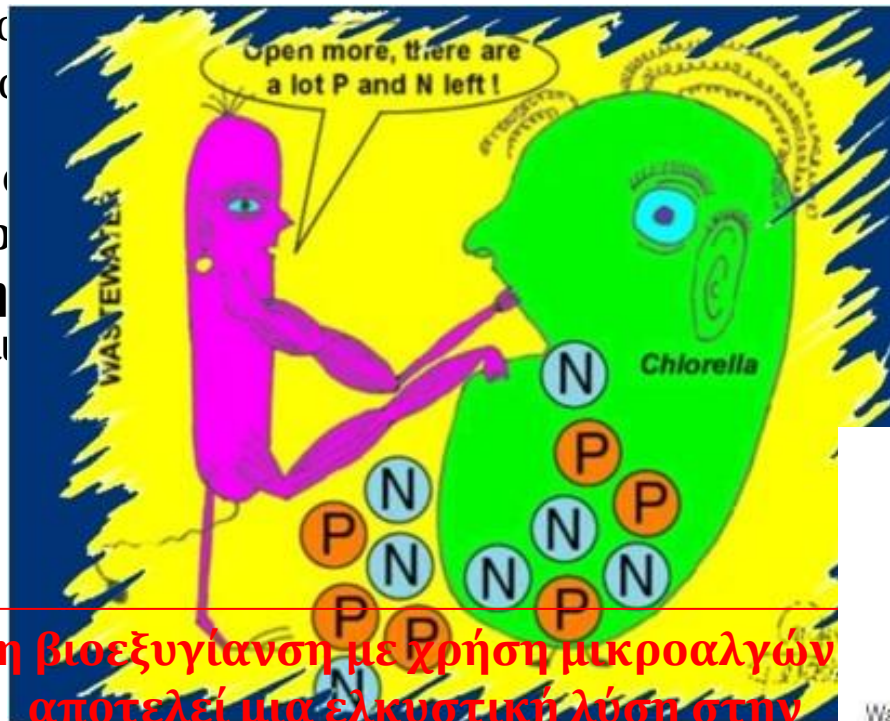


Γιατί προσθήκη *Picochlorum*?

- ❑ Βασικό χαρακτηριστικό των μικροαλγών είναι η ικανότητά τους να αφομοιώνουν/συσσωρεύουν θρεπτικά όπως το άζωτο και ο φώσφορος.

- ❑ *Picochlorum* γένος μικροαλγών που εφαρμόζεται από

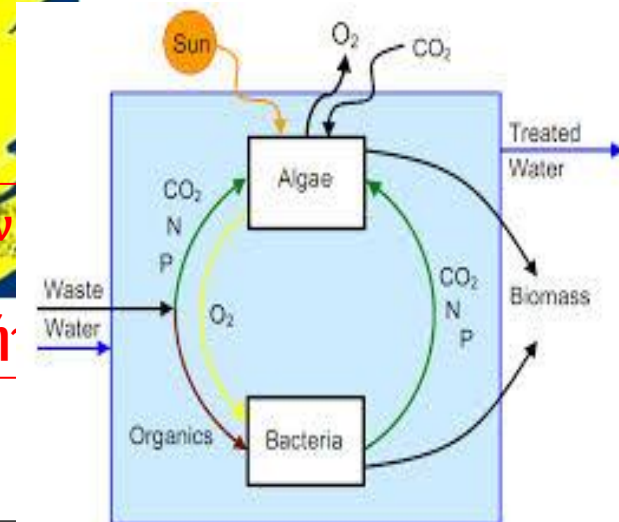
- ❑ Τα μικροάλγη οξειδώνουν οργανικά απόβλητα τα οποία με τη βοήθειά τους έτσι τις συνολικά



η βιοεξυγίανση με χρήση μικροαλγών αποτελεί μια ελκυστική λύση στην επεξεργασία των συγκεκριμένων αποβλήτων.

ωροφύτων και έχει την ικανότητα να ανθίζει σε νερό με μεγάλη αλατότητα

Τα βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούνται μαζί με τα μικροάλγη, μειώνοντας την αλκαλικότητα του νερού.



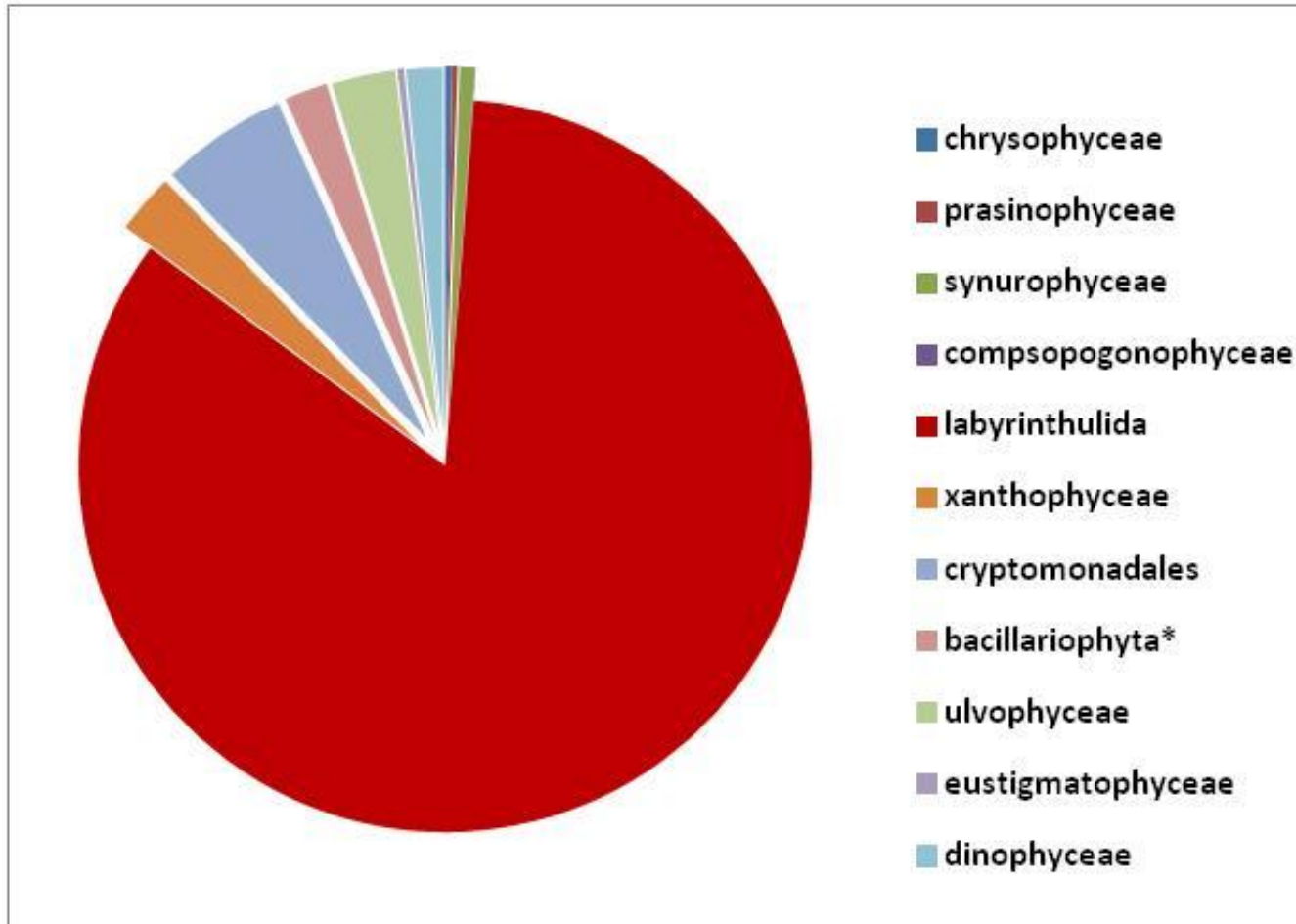
Επιμέρους στόχοι

1. την περιγραφή της μικροβιακής κοινότητας που αποτελούσε το βιοφίλμ
2. την εύρεση βέλτιστου χρόνου λειτουργίας αντλίας.
3. την αποδοτικότητα του συστήματος (απομάκρυνση COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, PO_4) σε διάφορες αναλογίες C/N του τροφοδοτούμενου αποβλήτου.
4. την σύνδεση συγκεκριμένων ομάδων μικροοργανισμών με την επεξεργασία του αποβλήτου.

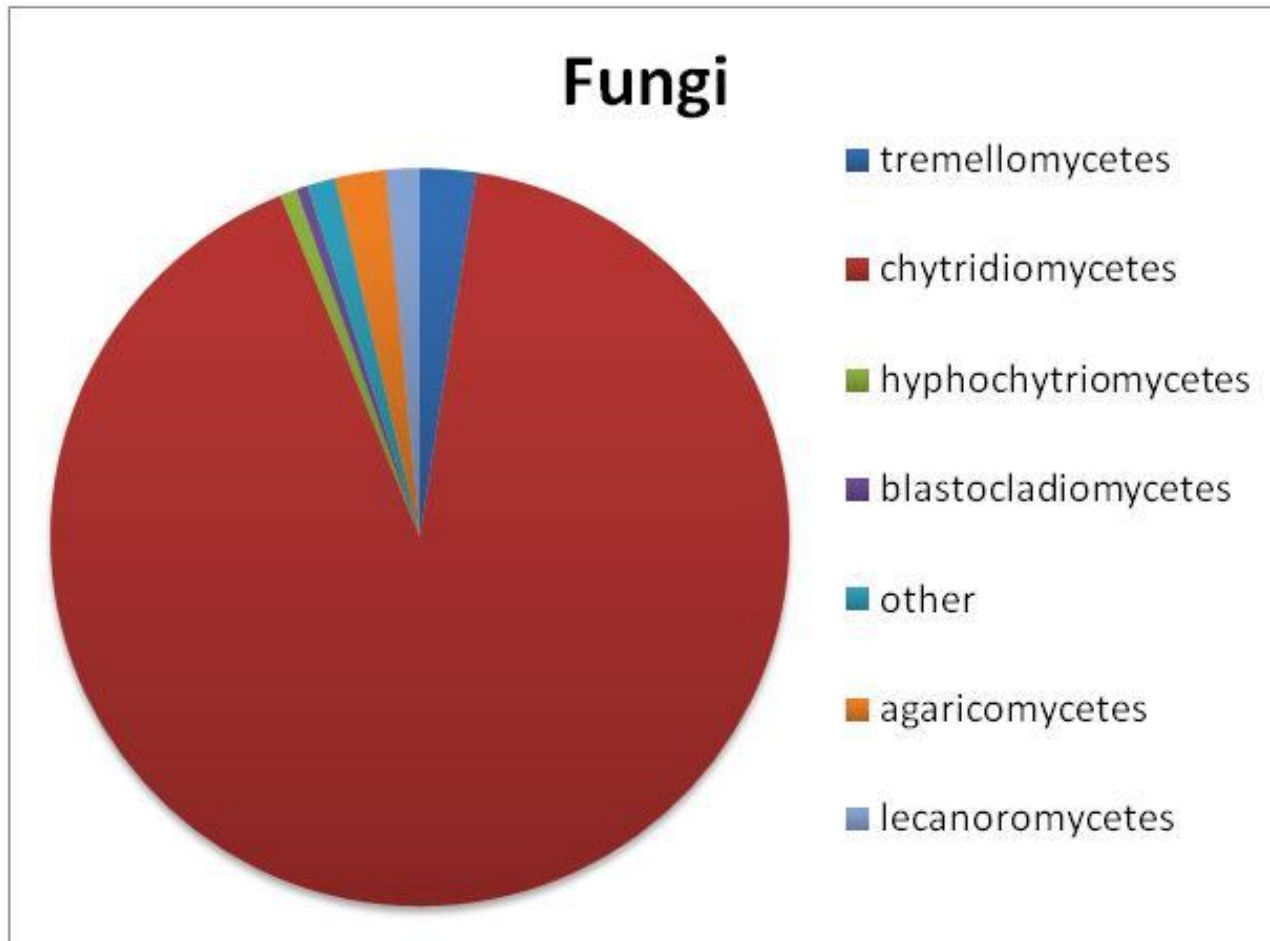
Αποτελέσματα – Σύσταση μικροβιακής κοινότητας

- ❑ Η σύσταση της μικροβιακής κοινότητας προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του Pyrosequencing από το MrDNA εργαστήριο στο Τέξας.
- ❑ Το Pyrosequencing είναι μια νέα τεχνική που δίνει πολύ μεγάλο αριθμό αλληλουχιών σε πολύ μικρό χρόνο.
- ❑ Οι ευκαρυωτικοί εκκινητές που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν, ώστε να πολλαπλασιάζουν τους περισσότερους ευκαρυωτικούς οργανισμούς (>93%), αλλά όχι τις οικογένειες του *Stichococcus* και του *Picochlorum*.
- ❑ Τα μικροάλλα αυτά απομονώθηκαν ξεχωριστά και οι πυκνότητες των κυττάρων τους προσδιορίστηκαν μικροσκοπικά.

Σύσταση μικροβιακής κοινότητας φωτοσυνθετικοί μ/ο

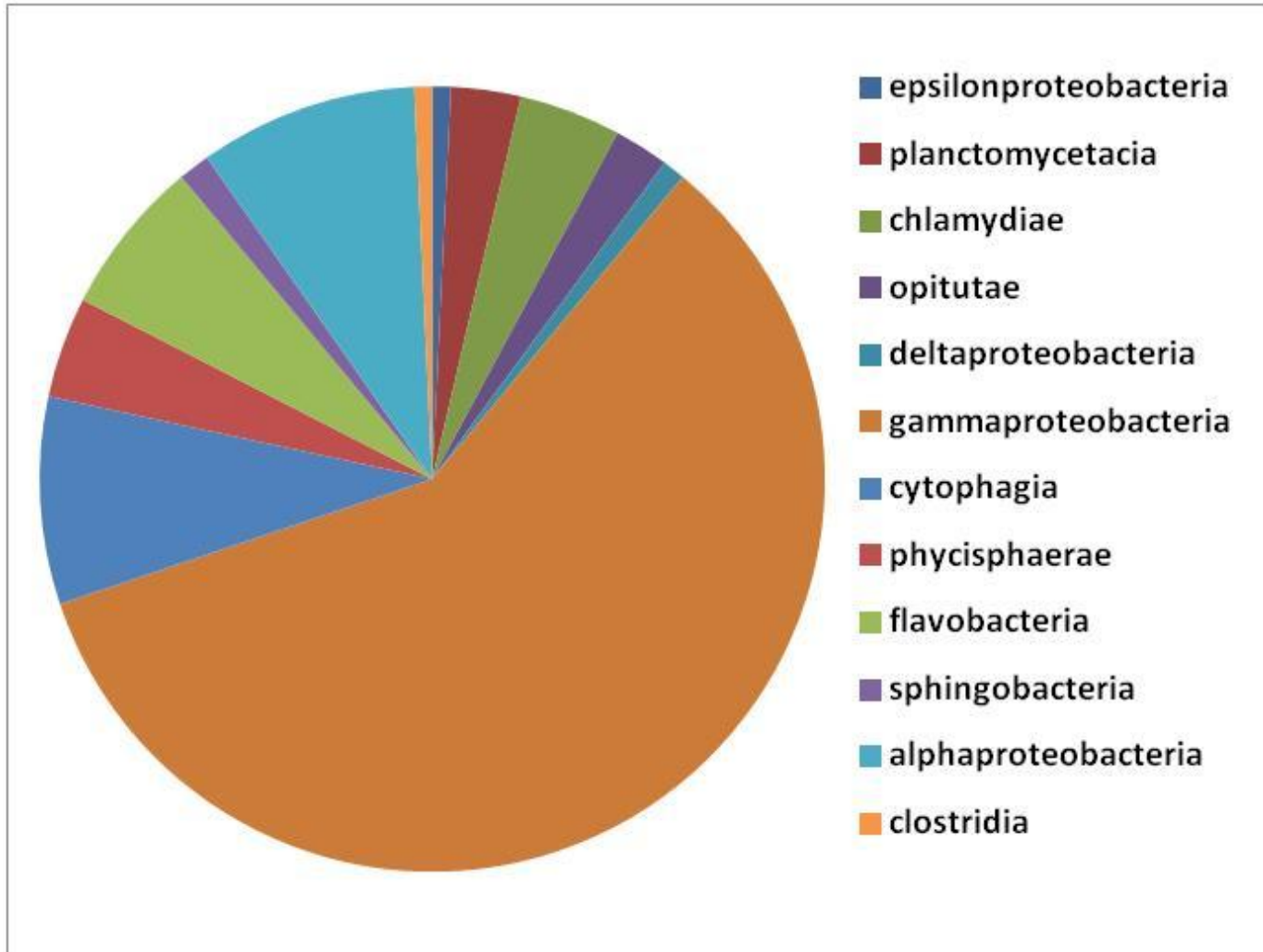


Σύσταση μικροβιακής κοινότητας - Μύκητες

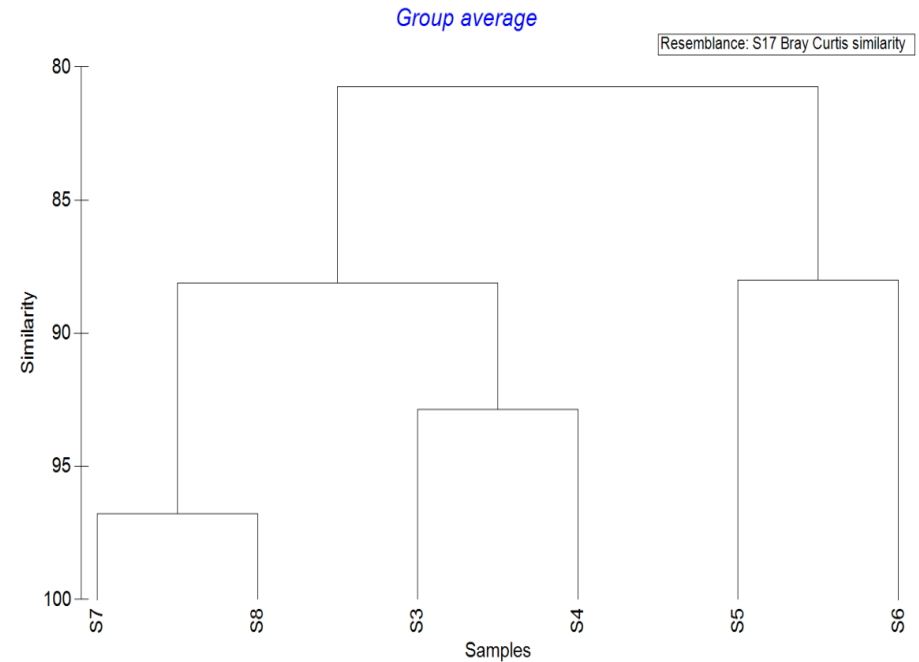
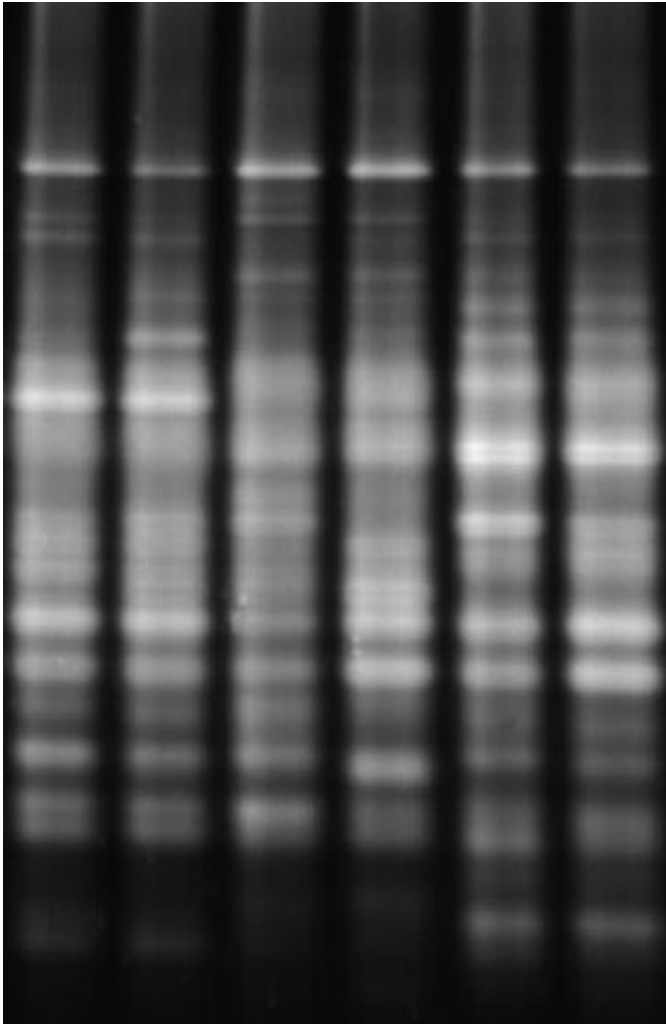


chytridiomycetes: συναντώνται κυρίως σε υδάτινα περιβάλλοντα και χαρακτηρίζονται ως σαπρόφυτα ή παράσιτα των αλγών.

Σύσταση μικροβιακής κοινότητας - Βακτήρια

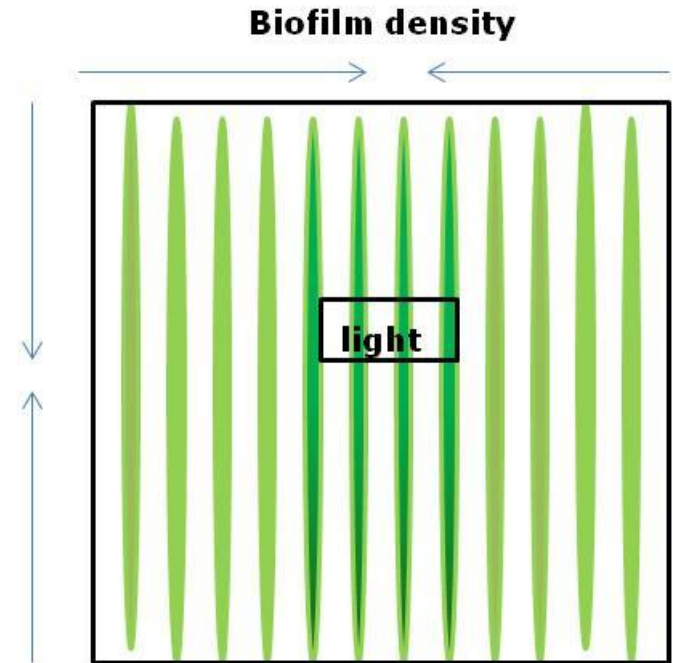
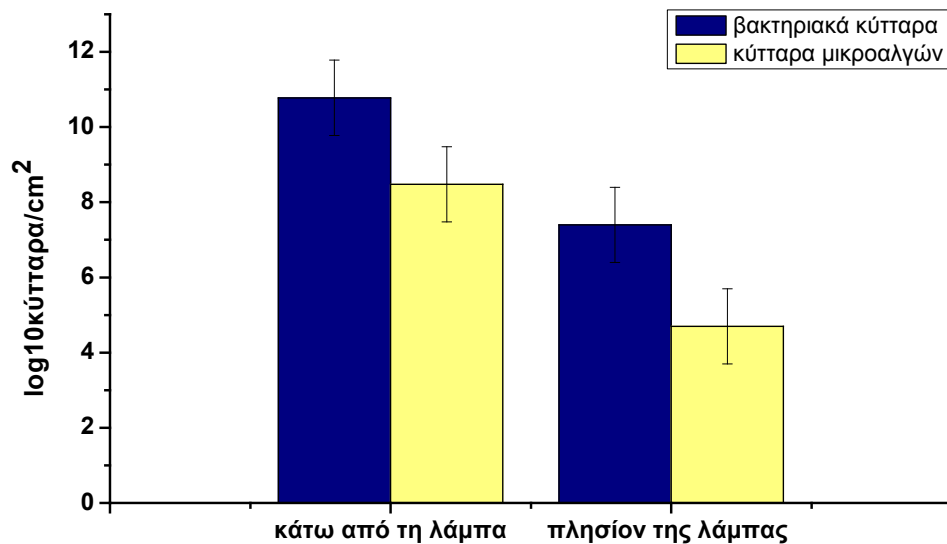


Εξέταση της σταθερότητας της βακτηριακής κοινότητας - DGGE



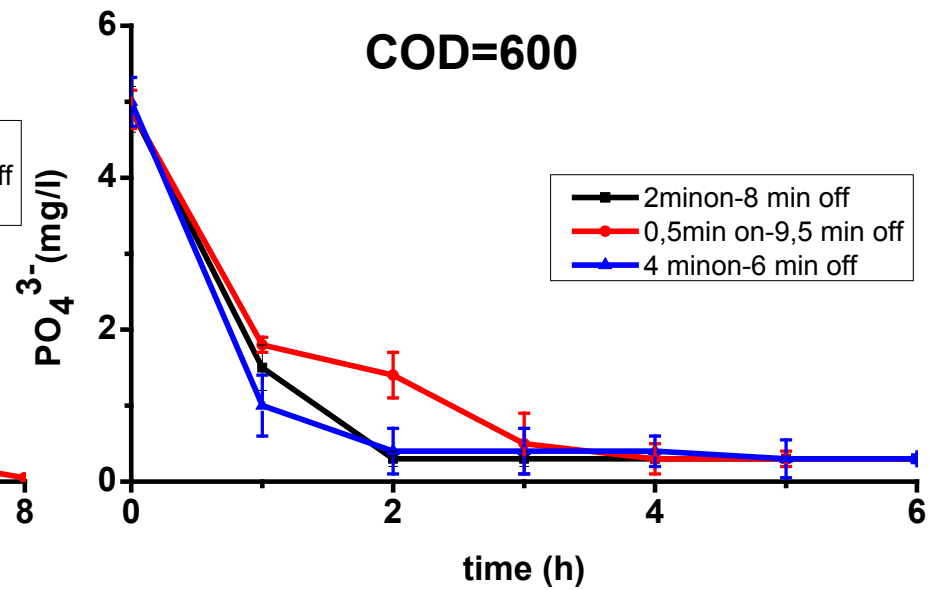
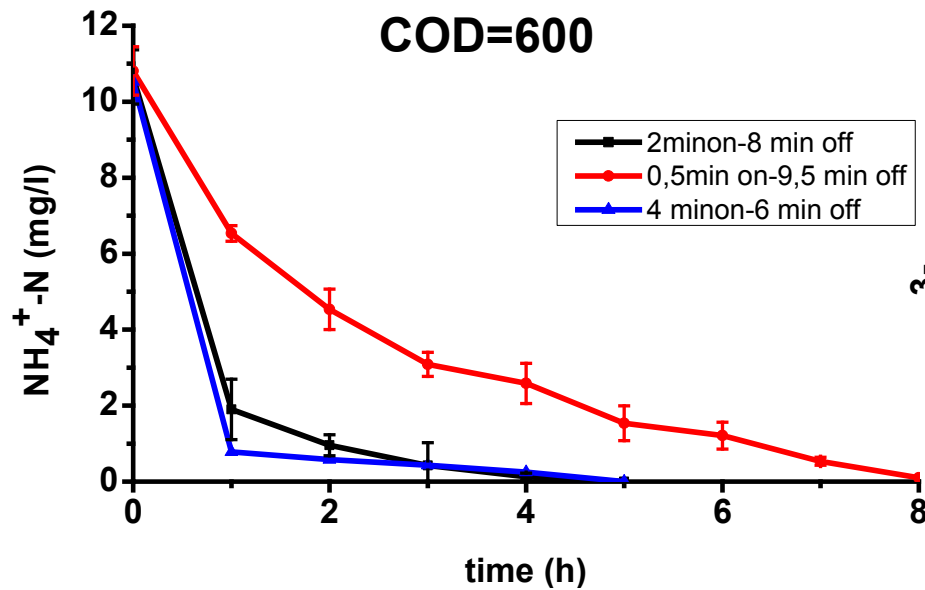
- ❑ Μεγάλη ομοιότητα ανάμεσα στα δείγματα (80,8% μ.ο)
- ❑ Μεγαλύτερη έως και 96,8% ανάμεσα σε S3-S4, S5-S6, S7-S8

Πυκνότητα βακτηρίων και μικροαλγών στο βιοφίλμ



- ❑ Ο αριθμός των κυττάρων των βακτηρίων είναι 2-3 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος από τον αριθμό των μικροαλγών.
- ❑ Ο αριθμός κυττάρων των μικροαλγών είναι 4 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος στη περιοχή κάτω από το φως από γειτονικές περιοχές της λάμπας.
- ❑ Ομοίως ο αριθμός των βακτηρίων είναι 3 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος κάτω από το φως, δείχνοντας τη συνεργιστική σχέση μεταξύ βακτηρίων – μικροαλγών.
- ❑ Η πυκνότητα τόσο των βακτηρίων όσο και των μικροαλγών αυξάνεται καθώς πλησιάζουμε την περιοχή στην οποία είναι τοποθετημένη η λάμπα.

Προσδιορισμός βέλτιστου χρόνου λειτουργίας της αντλίας

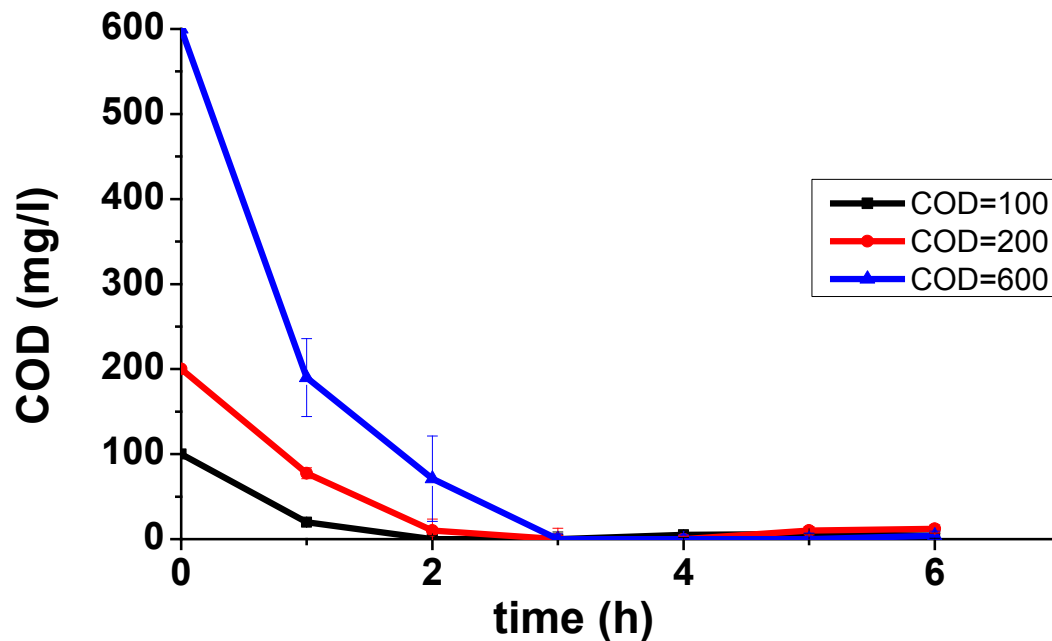


❑ Ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας επηρεάζει τον ρυθμό απομάκρυνσης κυρίως του NH_4^+-N .

❑ Βέλτιστος χρόνος λειτουργίας της αντλίας είναι τα 2 λεπτά ανά διαστήματα των 10 λεπτών.

❑ Πολύ μικρός ημερήσιος χρόνος λειτουργίας της αντλίας που υποδηλώνει χαμηλές απαιτήσεις του συγκεκριμένου συστήματος σε ηλεκτρική ενέργεια.

Απομάκρυνση COD

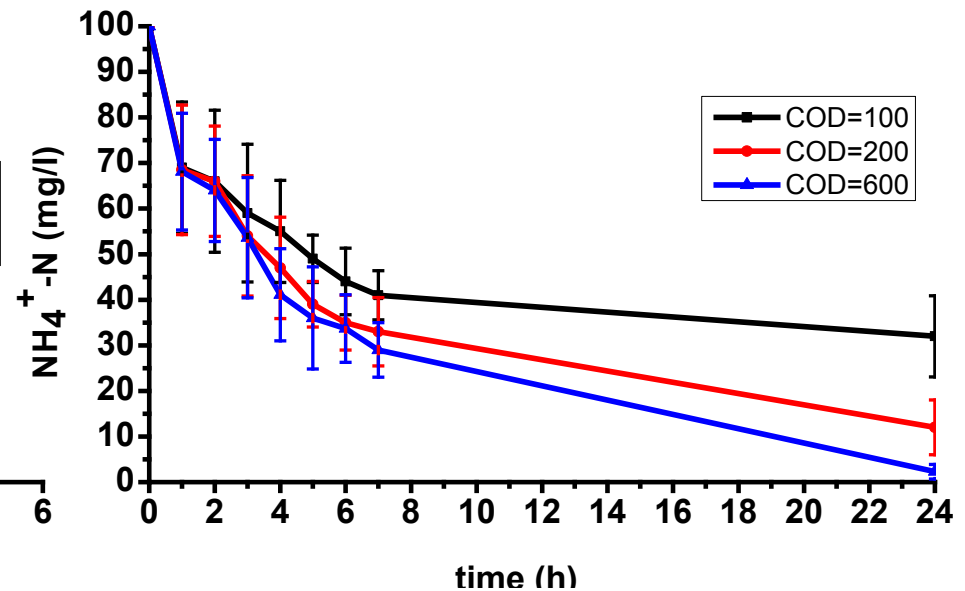
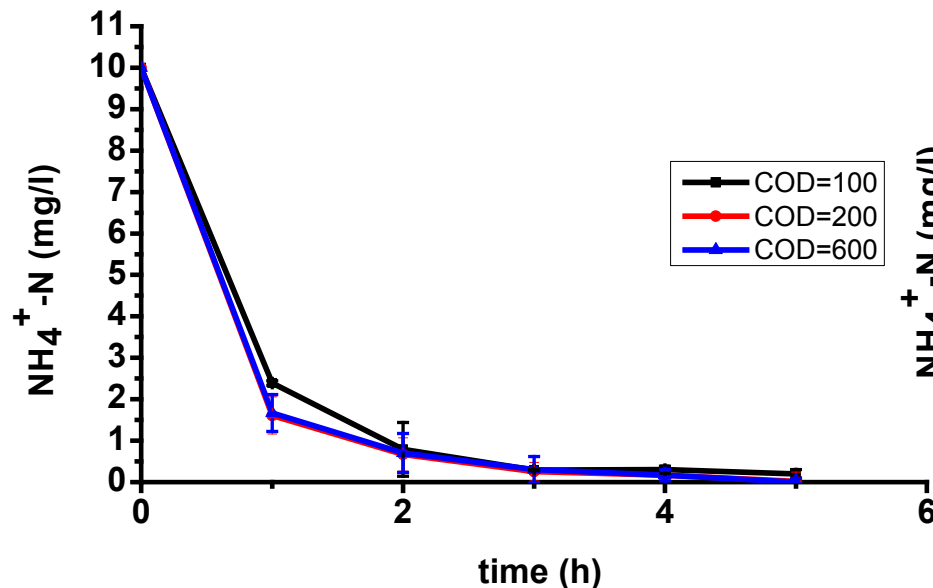


□ Γρήγορη απομάκρυνση του COD (99%) του αποβλήτου μέσα σε 3h ανεξαρτήτως της αρχικής συγκέντρωσης τροφοδοσίας, που οφείλεται στην συνεργιστική σχέση των βακτηρίων -μικροαλγών.

□ Πολλά μικροάλγη έχουν την ικανότητα να βρίσκονται στην μικτότροφη κατάσταση και να αντλούν ενέργεια τόσο από τη φωτοσύνθεση, όσο και από την ετερότροφη κατάσταση.

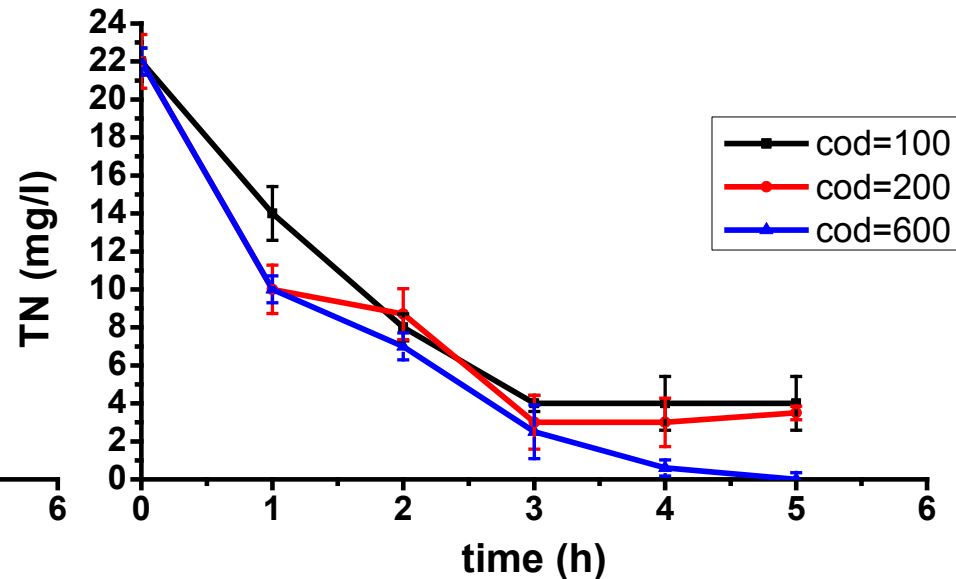
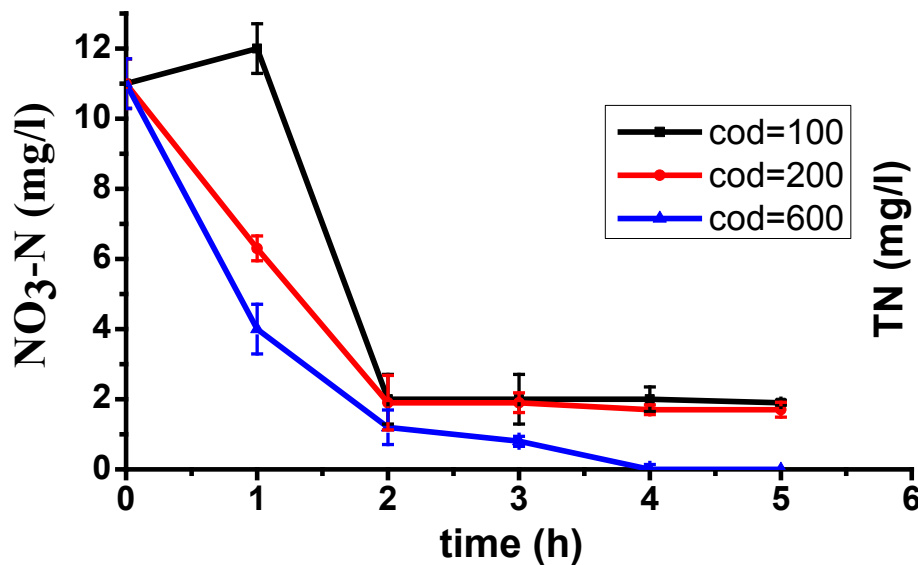
□ Η ταυτόχρονη έκθεση στο φως οδηγεί σε μεγαλύτερη απομάκρυνση του COD από μικτές κοινότητες βακτηρίων-μικροαλγών, ένα αποτέλεσμα που αποδίδεται στον μικτοτροφικό τρόπο ζωής των μικροαλγών αλλά και την καλύτερη οξυγόνωση του αποβλήτου.

Απομάκρυνση $\text{NH}_4^+\text{-N}$



- ❑ Υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης του $\text{NH}_4^+\text{-N}$ επιτυγχάνονται με μηδαμινές αλλαγές στις διαφορετικές οργανικές φορτίσεις του συστήματος.
- ❑ Όταν η συγκέντρωση του $\text{NH}_4^+\text{-N}$ αυξήθηκε στα 100 mg/l, η απομάκρυνση παρατηρήθηκε να αυξάνεται με αυξανόμενη την οργανική φόρτιση.

Απομάκρυνση NO_3^- -N και TN

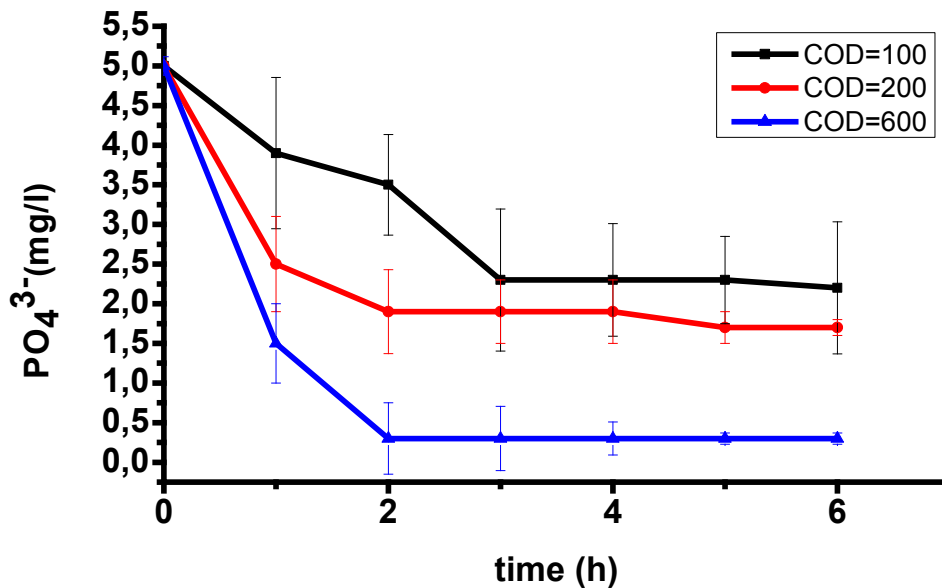


❑ Στα υψηλότερα COD υψηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης NO_3^- -N και TN επιτεύχθηκαν.

❑ Οι απομακρύνσεις αυτές μπορεί να οφείλονται τόσο στην αφομοίωση NO_3^- -N από τα μικροάλλα, αλλά και στην ετερότροφη απονιτροποίηση.

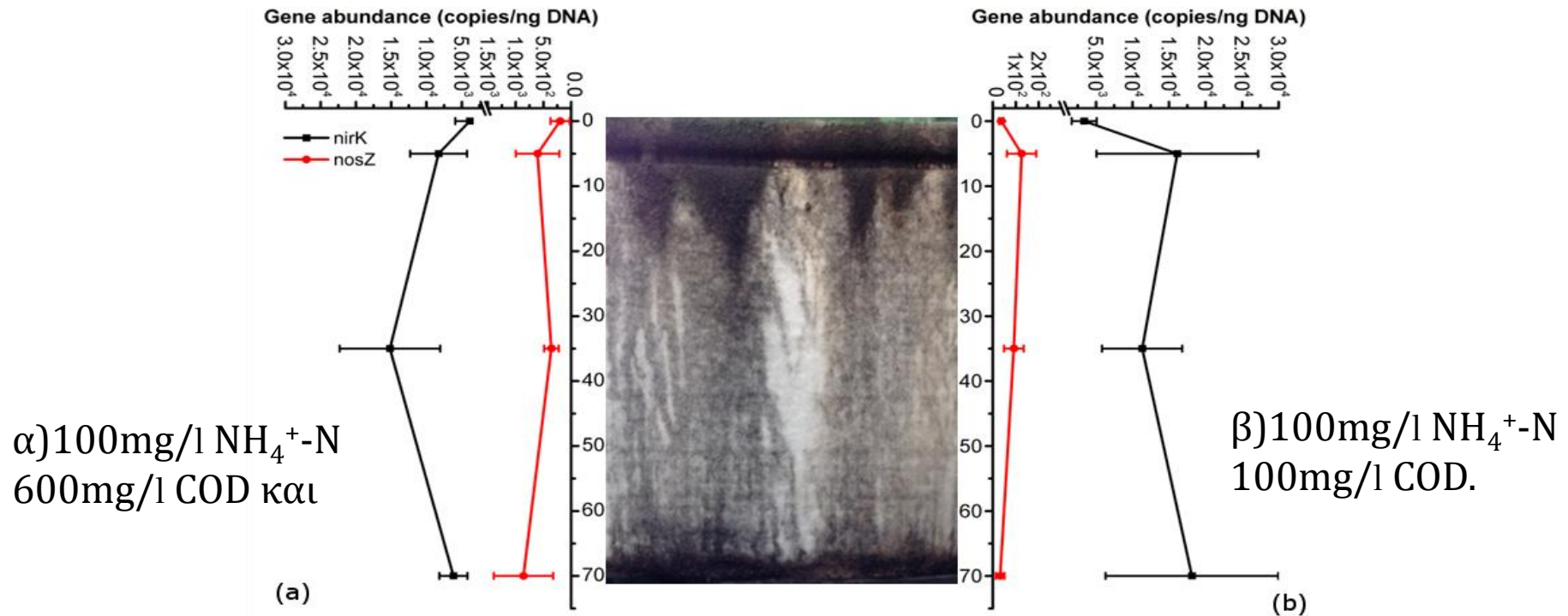
❑ Ο λόγος C/N αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ετερότροφη απονιτροποίηση και καθορίζει το αν υπάρχει πλήρης απομάκρυνση του N και το πόσο γρήγορα θα ολοκληρωθεί η απομάκρυνση αυτή. Αντιθέτως, μια χαμηλή αναλογία C/N οδηγεί σε ατελή απονιτροποίηση.

Απομάκρυνση φωσφορικών



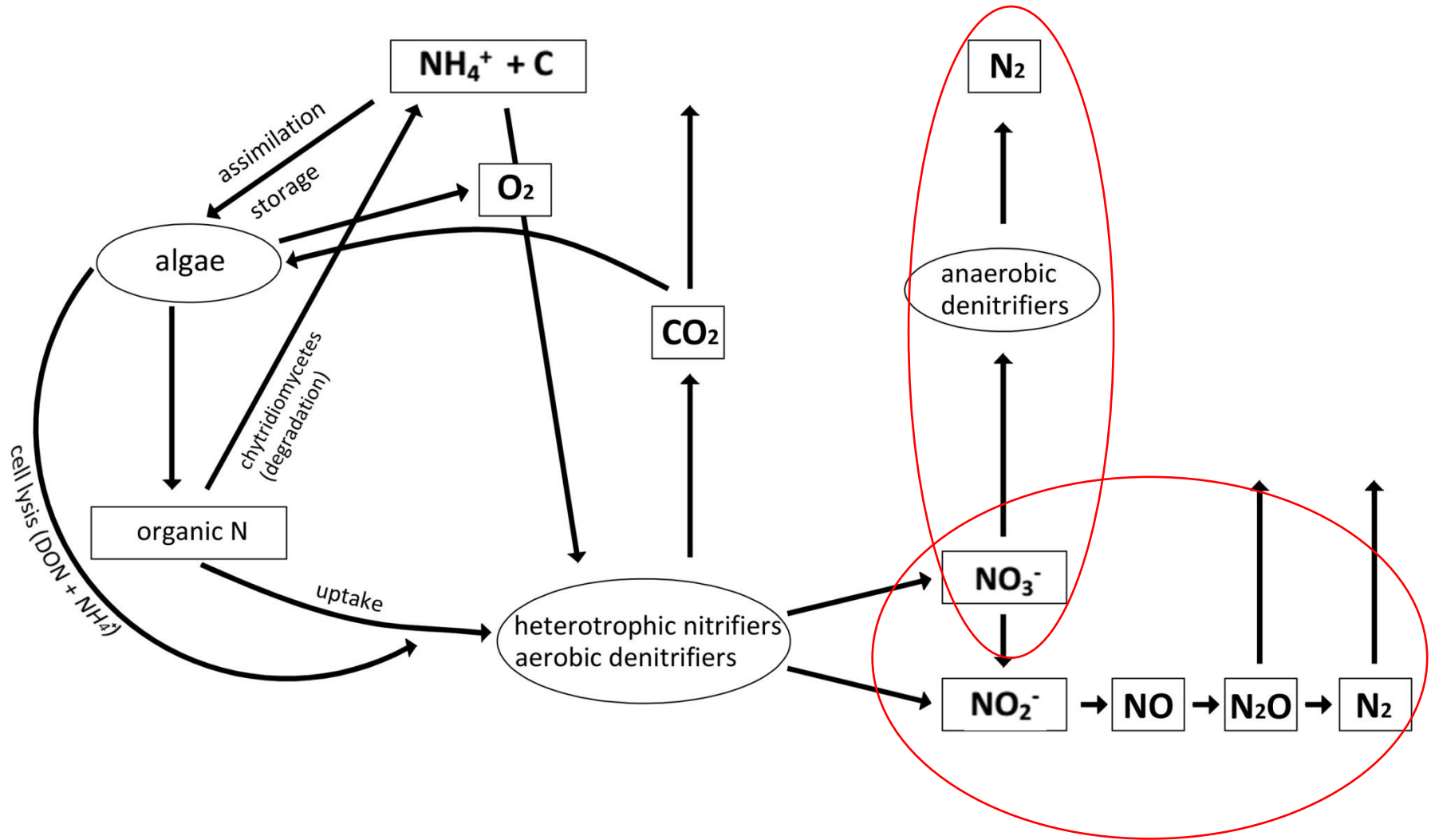
- παρατηρείται απομάκρυνση PO_4^{3-} που οφείλεται σε βιολογική απομάκρυνση .
- συγκεκριμένες ομάδες μικροοργανισμών (μικροάλγη) αφομοιώνουν P στα κύτταρά τους σε ποσοστό πολλαπλάσιο από το απαιτούμενο για τις μεταβολικές τους ανάγκες για ανάπτυξη. Η αφομοίωση αυτή αναφέρεται ως εκτεταμένη δέσμευση P <<luxury uptake>>.
- Η αφομοίωση του P εξαρτάται ισχυρά από τη συγκέντρωση του διαθέσιμου οργανικού άνθρακα και είναι υψηλότερη στις υψηλές συγκεντρώσεις COD.
- Η διαδικασία πρόσληψης P είναι ενεργή και επομένως απαιτεί ενέργεια. Η αφομοίωσή του εξαρτάται ισχυρά από την αφομοίωση του C από τα μικροάλγη και ως εκ τούτου από την ανάπτυξη των μικροαλγών .

Ποσοτικοποίηση αριθμού γονιδίων (amoA, nirK, nirS, nosZ) μέσω της Real time PCR



- ❑ Απουσία αντιγράφων γονιδίων που οξειδώνουν την αμμωνία τόσο για τα βακτήρια όσο και για τα αρχαία σε όλες τις φορτίσεις C και N εφαρμόστηκαν στο σύστημα.
- ❑ Αυξανόμενος αριθμός nirK αντιγράφων γονιδίων και απουσία ταυτόχρονα των nirS
- ❑ Ο αριθμός των nosZ γονιδίων παρέμεινε σχεδόν 2 τάξεις μεγέθους μικρότερος από τα nirK γονίδια κάτι που ίσως δηλώνει αυξημένες συγκεντρώσεις N_2O .
- ❑ Ο αριθμός των γονιδίων δεν ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη τάση κατά μήκος του υφάσματος και η αφθονία τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την σύνθεση του αποβλήτου.

Προτεινόμενος μηχανισμός απομάκρυνσης N στο σύστημα



Συμπεράσματα

- ❑ Μια σύνθετη μικροβιακή κοινότητα που δομεί το βιοφίλμ και αποτελείται από βακτήρια, φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς και μύκητες παρατηρήθηκε στο ύφασμα του αντιδραστήρα με υψηλή σταθερότητα στη σύνθεση των βακτηριακών κοινοτήτων.
- ❑ Γρήγορη απομάκρυνση του COD (99%) του αποβλήτου μέσα σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα λίγων ωρών (3h) ανεξαρτήτως της αρχικής συγκέντρωσης τροφοδοσίας της μονάδας επεξεργασίας, που πιθανότατα οφείλεται στην συνεργιστική σχέση των βακτηρίων και μικροφυκών.
- ❑ Υψηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης $\text{NO}_3\text{-N}$, TN και PO_4^{3-} επιτεύχθηκαν στα υψηλότερα COD.
- ❑ Η πυκνότητα τόσο των βακτηρίων όσο και των μικροαλγών αυξάνεται κοντά στην περιοχή στην οποία είναι τοποθετημένη η λάμπα, δείχνοντας τη συνεργιστική σχέση μεταξύ βακτηρίων- μικροαλγών.
- ❑ Η ικανότητα που έχουν τα μικροάλγη να αφομοιώνουν με γρήγορους ρυθμούς το $\text{NH}_4^+\text{-N}$ μέσα στα κύτταρά τους αποτελεί μια πολύ σημαντική ιδιότητα των συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που κάνουν χρήση μικτών κοινοτήτων βακτηρίων- μικροαλγών και επιτρέπει την αποτελεσματική επεξεργασία αποβλήτων με μεγάλες διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Συμπεράσματα

- ❑ Πλήρης απουσία του γονιδιακού τύπου *amoA* από τη μικροβιακή κοινότητα, τόσο για τα βακτήρια όσο και για τα αρχαία κάτω από όλες τις οργανικές και αμμωνιακές φορτίσεις που εφαρμόστηκαν στο σύστημα.
- ❑ Η ετερότροφη νιτροποίηση ακολουθούμενη από αερόβια απονιτροποίηση ήταν η κύρια διεργασία που ήταν υπεύθυνη για την απομάκρυνση του N, αν λάβει κανείς υπόψη τη δυνατότητα της μονάδας επεξεργασίας για απομάκρυνση του N από τη μία και την πλήρη απουσία οξειδωτών αμμωνίας από την άλλη. Ο ισχυρισμός αυτός ενισχύεται από τον αυξανόμενο αριθμό των *nirK* γονιδίων που προσδιορίστηκαν στη μικροβιακή κοινότητα και ταυτόχρονα την απουσία των *nirS* γονιδίων.
- ❑ **Το συγκεκριμένο σύστημα φαίνεται πως αποτελεί έναν εναλλακτικό και αποτελεσματικό τρόπο επεξεργασίας αποβλήτων από υδατοκαλλιέργειες, αλλά και πως μπορεί να ενσωματωθεί στη βιολογική επεξεργασία ενός κλειστού κυκλώματος εξυγίανσης οστράκων.**

Panagiota Babatsouli; Stylianos Fodelianakis; Nikolaos Paranychianakis, Danae Venieri, Manolis Dialynas, Nicolas Kalogerakis, Treatment of Saline Wastewater with a Marine Microbial Consortium. Under review, Bioresource Technology.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- ☐ Περισσότερη κατανόηση των μηχανισμών απομάκρυνσης του N στο σύστημα. Συγκεκριμένες αναλύσεις σε συσσωρευμένων υποστρωμάτων για να αποσαφηνιστούν τα μονοπάτια ανακύκλωσης N και C.
- ☐ Δυνατότητα μοντελοποίησης του συστήματος.
- ☐ Ποιος ο ρόλος των μυκήτων στο σύστημα;
- ☐ Μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος σε άλλους τύπους αποβλήτων, όπως αστικά ή αγροβιομηχανικά απόβλητα.

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος ΙΙ. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

