

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ-
ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΤΥΠΟΥ SBR**

Γ. Σεϊντής¹, Η. Ντζούρα¹, Ι. Γουδέλη¹, Δ. Θεοδόση-Παλιμέρη¹, Α.Α. Βλυσίδης¹, Α.Γ. Βλυσίδης^{1*}

¹Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα

(*avlys@tee.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αντιδραστήρες τύπου SBR (Sequencing Batch Reactor) αποτελούν τα πλέον διαδεδομένα συστήματα στις διεργασίες βιολογικής απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου από βιομηχανικά απόβλητα^[1]. Η περιοδική τροφοδοσία και η εφαρμογή χρονικά διακριτών φάσεων λειτουργίας, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή επεξεργασία, καθιστούν τις μονάδες αυτές ιδιαίτερα ευέλικτες, και άρα ιδανικές για εγκατάσταση σε βιομηχανίες με μεταβαλλόμενα οργανικά φορτία^[2]. Από την άλλη μεριά, επειδή τα συστήματα αυτά είναι επιρρεπή σε μεταβολές, απαιτούν αυξημένη τεχνογνωσία στον τρόπο λειτουργίας και είναι δύσκολο να προκύψουν μοντέλα που να μπορούν να επαληθευτούν μακροπρόθεσμα. Έτσι κρίνεται αναγκαία η εύρεση των κατάλληλων παραμέτρων, οι οποίες μπορούν να δώσουν άμεσες πληροφορίες για την απόδοση του SBR και να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα των επιμέρους διεργασιών και της ποιότητας της εκροής^[3]. Επίσης θα πρέπει να μπορούν να παρακολουθούνται in situ και να συσχετίζονται με τα βασικά χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας και να ικανοποιούν τα όρια διάθεσης της εκροής. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η αερόβια βιολογική επεξεργασία σε βιομηχανικής κλίμακας αντιδραστήρα SBR για την επεξεργασία αποβλήτων από επεξεργασία πατάτας. Η παράμετρος ελέγχου ολοκλήρωσης των επιμέρους διεργασιών ήταν η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO). Οι παράμετροι ρύθμισης του συνολικού συστήματος ήταν το DO, ο χρόνος αερισμού και ο χρόνος παραμονής των στερεών (SRT) που σχετίζεται με το χρόνο απόρριψης της περίσσειας ενεργού ιλύος (MLVSS_{load}). Με βάση τα παραπάνω κριτήρια πραγματοποιήθηκε ανάλυση της συσχέτισης με όλες τις παραμέτρους του συστήματος, μέσω του συντελεστή συσχέτισης Spearman. Από την ανάλυση παρατηρήθηκε ότι η αγωγιμότητα, η αλκαλικότητα, το pH και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες παρακολούθησης και ελέγχου των διαφόρων σταδίων των διεργασιών του αερόβιου συστήματος. Ακόμη θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη σταθεροποίηση της διεργασίας μεταξύ διαδοχικών κύκλων και στη μείωση του λειτουργικού κόστους της μονάδας λόγω ελαχιστοποίησης των απαιτήσεων σε αερισμό και μειωμένης παραγωγής ενεργού ιλύος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμβατική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του αζώτου από βιομηχανικά ή αστικά απόβλητα είναι αυτή της νιτροποίησης- απονιτροποίησης^[4]. Οι διεργασίες της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης είναι βιολογικές και πραγματοποιούνται από διαφορετικούς πληθυσμούς μικροοργανισμών. Η βιοποικιλότητα που επικρατεί στον αντιδραστήρα απαιτεί τη ρύθμιση των φυσικοχημικών παραμέτρων σε τέτοιο βαθμό ώστε να γίνεται επιτυχής ανάπτυξη όλων των απαραίτητων βακτηρίων που σχετίζονται με αυτές και να εξασφαλίζονται συνθήκες βέλτιστης απόδοσης για κάθε είδος μικροοργανισμών^[5]. Η αναγκαιότητα αυτή είναι ακόμη πιο έντονη στην περίπτωση του αντιδραστήρα SBR (Sequencing Batch Reactor), όπου ο κύκλος επεξεργασίας χωρίζεται χρονικά και όχι χωρικά^[2].

Οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο και τη ρύθμιση της διεργασίας, πρέπει να είναι εύκολα διαχειρίσιμες, για να δίνουν άμεσα αποτελέσματα με τον πιο οικονομικό τρόπο^[3]. Τέτοιες παράμετροι είναι το pH, η αλκαλικότητα, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και η αγωγιμότητα.

Συγκεκριμένα για τα βακτήρια που εμπλέκονται στις διεργασίες νιτροποίησης- απονιτροποίησης, απαιτείται για μέγιστες αποδόσεις, ένα εύρος pH από 7 έως 8.6^{[6][7]}. Ερευνητικά, το pH έχει χρησιμοποιηθεί σαν παράμετρος ελέγχου, ως ποιοτική ένδειξη του χρόνου του κάθε σταδίου της διεργασίας, χωρίς όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα^{[3][8][9]}. Η αλκαλικότητα, από την άλλη, που εκφράζεται ως η διαθεσιμότητα ανόργανου άνθρακα, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διεργασία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκτίμηση για την ομαλή διεκπεραίωση της νιτροποίησης, διότι χαμηλή συγκέντρωση αλκαλικότητα στην είσοδο του συστήματος, μεταφράζεται σε χαμηλό ρυθμό νιτροποίησης, λόγω έλλειψης πηγής ανόργανου άνθρακα για τα αυτότροφα νιτροποιητικά βακτήρια^[6]. Ο έλεγχος της αλκαλικότητας έχει σημασία διότι αντισταθμίζει την αύξηση του pH, που προκαλείται από την παραγωγή H⁺ κατά τη νιτροποίηση, και καθορίζει το τέλος κάθε διεργασίας με την μείωση, κατά τη νιτροποίηση, ή την αύξηση, κατά την απονιτροποίηση, της συγκέντρωσής της^[9].

Όσον αφορά τη θερμοκρασία, για να είναι επιτυχής η διεργασία της νιτροποίησης- απονιτροποίησης σε έναν αντιδραστήρα SBR, πρέπει να διατηρείται πάνω από τους 15°C, αλλιώς θα πρέπει να αυξηθεί ο χρόνος παραμονής της λάσπης (SRT) στον αντιδραστήρα^[10].

Το προφίλ του DO συναρτήσει του χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά για να ανιχνεύει τους χρόνους έναρξης και περάτωσης της νιτροποίησης στις αερόβιες ή ανοξικές συνθήκες.^[8] Επίσης, έχοντας υπόψη ότι η νιτροποίηση λειτουργεί βέλτιστα σε συνθήκες όπου το επίπεδο του DO είναι μεγαλύτερο από 2mg O₂/L^[11], μικρότερες τιμές μπορούν να αναδείξουν κάποιους άλλους μηχανισμούς πέραν της συμβατικής νιτροποίησης- απονιτροποίησης^[8], όπως η διεργασία SND (simultaneous nitrification denitrification) ή PND (partial nitrification denitrification), που οδηγούν σε μικρότερες απαιτήσεις οξυγόνου^{[12][13]}.

Τέλος, η αγωγιμότητα είναι μια παράμετρος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μεταβλητή ελέγχου της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου, σε συστήματα ταυτόχρονης απομάκρυνσης νιτρικών και φωσφορικών συστατικών, όπου η αύξηση ή η μείωση της τιμής της συμπίπτει με την κατανάλωση ή την απελευθέρωση φωσφόρου^[14].

Η παραπάνω βιβλιογραφία στηρίζεται σε έρευνες που γίνονται κυρίως σε εργαστηριακούς αντιδραστήρες. Εντούτοις, ο έλεγχος των συνθηκών και η ρύθμιση των παραμέτρων στην περίπτωση ενός βιολογικού αντιδραστήρα βιομηχανικών προδιαγραφών, όπως αυτός που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, δυσχεραίνεται από την αστάθεια που αναγκαστικά εμπεριέχουν αυτά τα συστήματα, ειδικά ως προς τις παραμέτρους εισόδου.

ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων που μπορούν να μετρηθούν *in situ* σε βιομηχανικής κλίμακας αντιδραστήρα τύπου SBR, με σκοπό την παρακολούθηση της νιτροποίησης- απονιτροποίησης και της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου. Λόγω της τυχαιότητας των δεδομένων και των ακραίων τιμών, που απορρέουν από τα ασταθή χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας, επιλέχθηκε η κανονικοποίηση των δεδομένων και η συσχέτισή τους με συντελεστή συσχέτισης Spearman. Τα αποτελέσματα δεν αποδεικνύουν τη γραμμική εξάρτηση από τις εξεταζόμενες παραμέτρους ή τη δυνατότητα πρόβλεψης των τιμών των επιθυμητών παραμέτρων, αλλά την ύπαρξη μονοτονίας μεταξύ των εξεταζόμενων και των επιθυμητών παραμέτρων. Κριτήριο για την ισχυρή συσχέτιση είναι ο συντελεστής Spearman να ξεπερνά το 0.6 κατά απόλυτη τιμή, ενώ για πολύ ισχυρή συσχέτιση να ξεπερνά το 0.9 κατά απόλυτη τιμή.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου, οι τιμές της αλκαλικότητας, του pH, της θερμοκρασίας, της αγωγιμότητας και τα επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου μετρούνταν και καταγράφονταν *in situ*. Παράλληλα, δείγματα λαμβάνονταν σε κομβικά σημεία της διεργασίας: στο εισερχόμενο υγρό

της τροφοδοσίας, στο ανάμεικτο υγρό στο τέλος του αερισμού, στην λάσπη που απομακρύνονταν στο τέλος της καθίζησης και στο υπερκείμενο υγρό που απομακρύνονταν κατά την απόχυση. Στα υπό εξέταση δείγματα, μετρούνταν οι τιμές των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), των πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS)^[15] και τα πτητικά ως ποσοστό των ολικών αιωρούμενων (%VSS), σε κάθε στάδιο του κύκλου. Παράλληλα μετρούνταν και καταγράφονταν οι τιμές του ολικού και του διαλυτού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (t-COD, s-COD)^[15], του ολικού κατά Kjeldahl αζώτου (TKN) και των συγκεντρώσεων σε νιτρικά, αμμωνιακά και φωσφορικά ιόντα, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} ^[16].

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται τα ιστογράμματα (spider charts) συσχέτισης για τις παραμέτρους ελέγχου που επιλέχθηκαν.

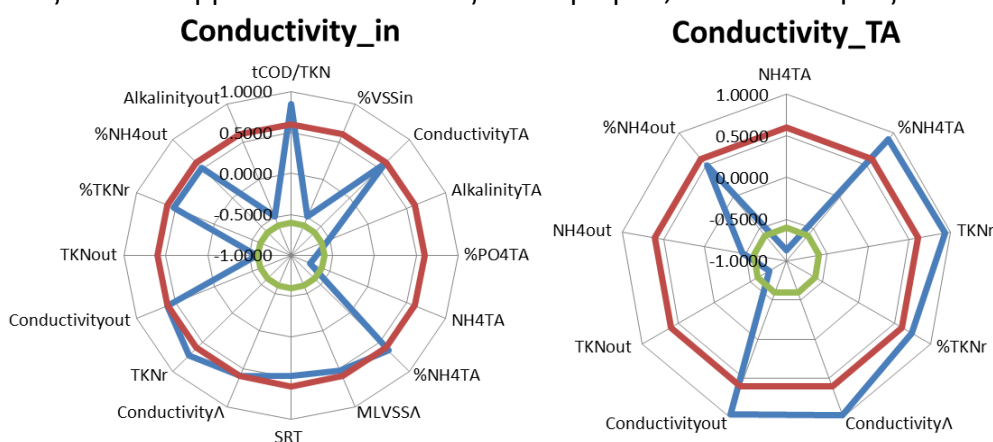
Το μπλε χρώμα αντιστοιχεί στο ιστογράμματα των παραμέτρων και οι κορυφές αυτού στην τιμή του συντελεστή Spearman. Το κόκκινο και το πράσινο χρώμα αναπαριστούν το κατώφλι της σημαντικότητας του βαθμού συσχέτισης, που επιλέχθηκε να είναι το 0.6 για θετικά συσχετιζόμενες παραμέτρους (κόκκινο) και -0.6 για αρνητικά συσχετιζόμενες παραμέτρους (πράσινο).

Αγωγιμότητα

Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των συσχετίσεων των παραμέτρων σε σχέση με την αγωγιμότητα στην τροφοδοσία, στο τέλος του αερισμού, καθώς και στο ρεύμα απόρριψης της περίσσειας ενεργού ιλύος.

Όσον αφορά τις παραμέτρους της τροφοδοσίας, η τιμή της αγωγιμότητας στην τροφοδοσία συσχετίζεται ισχυρά και θετικά με το λόγο tCOD/TKN. Η συγκεκριμένη παράμετρος σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα του συστήματος σε άνθρακα και άζωτο, με αποτέλεσμα να κρίνεται σημαντικός ο προσδιορισμός της. Παρολ'αυτά ο προσδιορισμός αυτός είναι χρονοβόρος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η συσχέτιση της αγωγιμότητας στην τροφοδοσία με παραμέτρους που υποδεικνύουν την καλή λειτουργία του σταδίου της νιτροποίησης, όπως η ποσοστιαία μεταβολή των φωσφορικών και των αμμωνιακών, καθώς και η συγκέντρωση των αμμωνιακών. Για τις παραμέτρους εξόδου, ισχυρή κρίνεται η συσχέτιση με την μεταβολή του TKN. Ομοίως η αγωγιμότητα στο τέλος του αερισμού παρουσιάζει ιδιαίτερα ισχυρή θετική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις TKN και αμμωνιακών στο τέλος του αερισμού, αλλά και στην έξοδο.



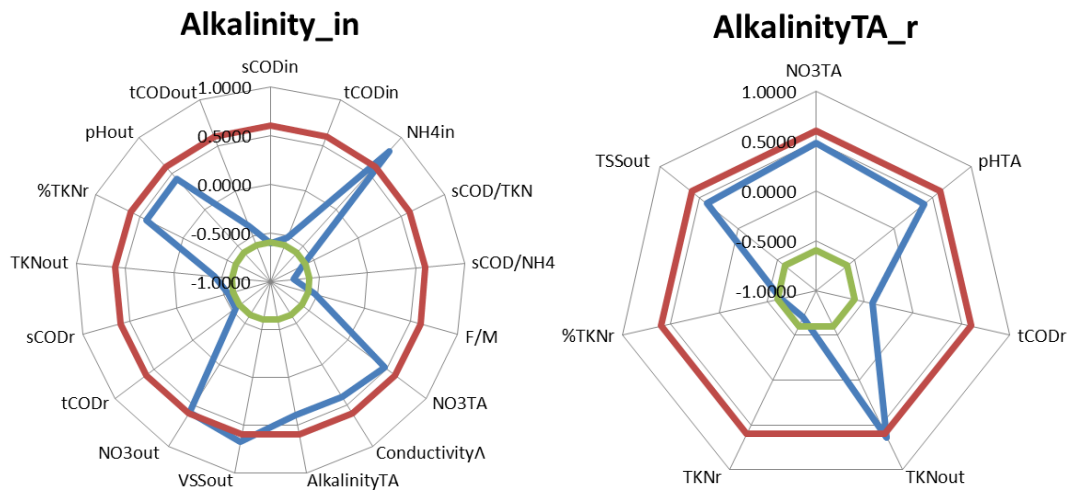
Σχήμα 1. Ιστογράμματα συσχέτισης παραμέτρων με την αγωγιμότητα στην είσοδο, στο τέλος του αερισμού και στο ρεύμα απόρριψης ενεργού ιλύος.

Αλκαλικότητα

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των συσχετίσεων των παραμέτρων σε σχέση με την αλκαλικότητα στην είσοδο και τη μεταβολή αυτής στο τέλος του αερισμού. Παρατηρείται ότι η αλκαλικότητα στην είσοδο έχει ισχυρή θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση των αμμωνιακών

ιόντων στην είσοδο και, προφανώς, ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το λόγο $sCOD/NH_4$. Αυτές οι συσχετίσεις είναι φυσιολογικές, αφού το ρεύμα τροφοδοσίας προέρχεται από την έξοδο του αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης, και άρα έχει αυξημένες τιμές αλκαλικότητας και αμμωνιακών ιόντων. Επίσης υπάρχει θετική ισχυρή συσχέτιση με τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων και των VSS στην έξοδο.

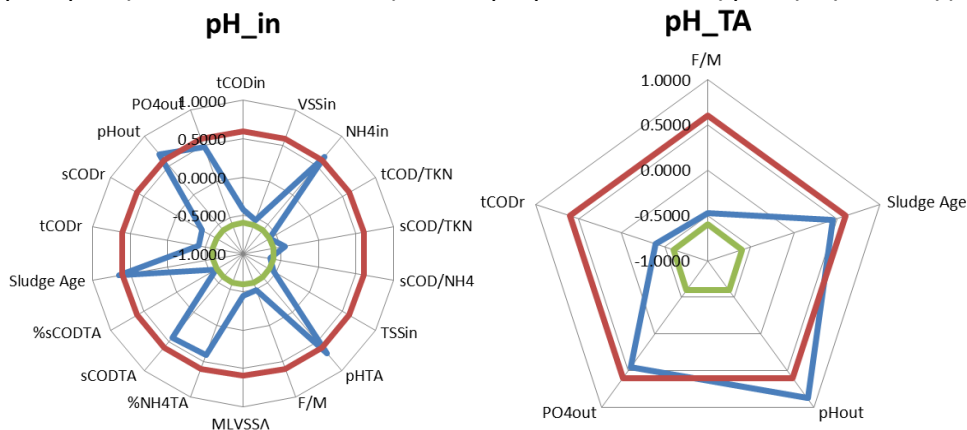
Ο λόγος που επιλέχθηκε η συσχέτιση για τη μεταβολή της αλκαλικότητας στο τέλος του αερισμού αντί για την τιμή της αλκαλικότητας στο τέλος του αερισμού είναι η έλλειψη ισχυρών συσχετίσεων με παραμέτρους που είναι δείκτες ολοκλήρωσης των διεργασιών. Η μεταβολή της αλκαλικότητας φαίνεται να συσχετίζεται ισχυρά και θετικά με τη συγκέντρωση του TKN στην έξοδο και τη συνολική μεταβολή της συγκέντρωσης του TKN στην έξοδο.



Σχήμα 2. Ιστογράμματα συσχέτισης παραμέτρων με την αλκαλικότητα στην είσοδο και με τη μεταβολή της αλκαλικότητας στο τέλος του αερισμού.

pH

Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των συσχετίσεων των παραμέτρων σε σχέση με το pH στην είσοδο και στο τέλος του αερισμού. Το μοναδικό σημείο δειγματοληψίας που το pH συσχετίζεται με σημαντικές παραμέτρους είναι η είσοδος. Εκεί παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση με παραμέτρους που αναφέρθηκαν στο ιστογράμμα συσχέτισης της αλκαλικότητας εισόδου (NH_{4in} , $sCOD/NH_4$), με τη διαφορά ότι προστίθενται παράμετροι που συναντώνται στο στάδιο της ολοκλήρωσης της νιτροποίησης. Συγκεκριμένα υπάρχει αρνητική ισχυρή συσχέτιση με την ποσοστιαία μεταβολή του $sCOD$ στο τέλος του αερισμού και θετική με την ηλικία της λάσπης.

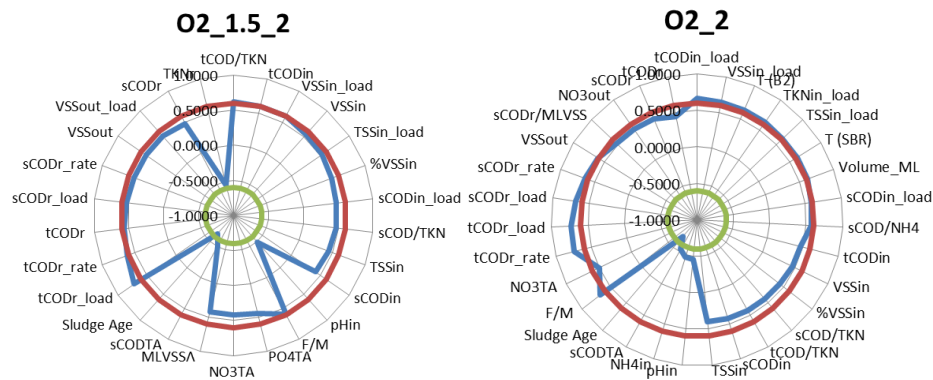


Σχήμα 3. Ιστογράμματα συσχέτισης παραμέτρων με το pH στην είσοδο και στο τέλος του αερισμού.

Αερισμός

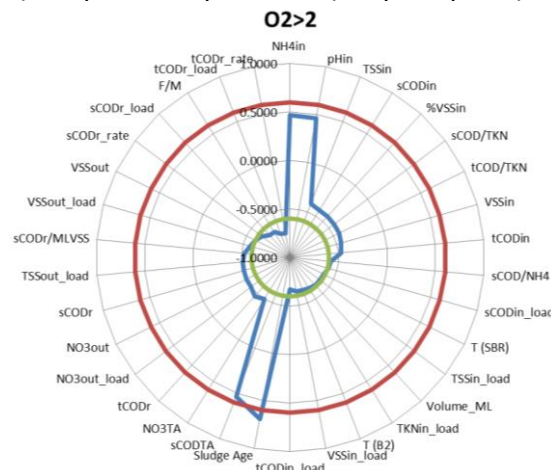
Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα των συσχετίσεων των παραμέτρων σε σχέση με τα ποσοστά εμφάνισης διαφόρων τιμών DO από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση του

αερισμού. Από τα ιστογράμματα του σχήματος 4 γίνεται αντιληπτό ότι η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου συσχετίζεται θετικά με μεγάλο πλήθος παραμέτρων που συναντώνται στην είσοδο, στο τέλος του αερισμού και στην έξοδο του συστήματος. Εξαιρέση αποτελούν το pH στην είσοδο, η συγκέντρωση του sCOD στο τέλος του αερισμού, η ηλικία της λάσπης και η μεταβολή του TKN στην έξοδο, οι οποίες συσχετίζονται αρνητικά. Ωστόσο, το πλήθος των παραμέτρων που έχουν ισχυρή συσχέτιση είναι μικρό και στα δύο προφίλ αερισμού. Έτσι όταν στο προφίλ του αερισμού επικρατεί συγκέντρωση DO μέχρι 2 mg/L είναι δύσκολο να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες που είναι διαμορφωμένες στην είσοδο και στην έξοδο του συστήματος.



Σχήμα 4. Ιστογράμματα συσχέτισης παραμέτρων με τα ποσοστά εμφάνισης εύρους τιμών DO 1.5-2 mg/L και μέχρι 2 mg/L, από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση του αερισμού.

Μια διαφορετική κατάσταση παρατηρείται όταν στο προφίλ αερισμού επικρατεί συγκέντρωση DO μεγαλύτερη από 2 mg/L (Σχήμα 5). Το μεγαλύτερο πλήθος των παραμέτρων συσχετίζεται αρνητικά και μόνο η συγκέντρωση των αμμωνιακών στην είσοδο, το pH στην είσοδο, η ηλικία της λάσπης και η συγκέντρωση του sCOD στο τέλος του αερισμού συσχετίζονται θετικά. Ομοίως με τα παραπάνω προφίλ, το πλήθος των παραμέτρων με ισχυρή συσχέτιση είναι μικρή. Τέλος παρατηρείται ότι οι συσχετιζόμενες παράμετροι συνδέονται με τη φόρτιση σε στερεά και θρεπτικά στην είσοδο, καθώς και με τα στερεά και τη συγκέντρωση των νιτρικών στην έξοδο.



Σχήμα 5. Ιστόγραμμα συσχέτισης παραμέτρων με τα ποσοστά εμφάνισης εύρους τιμών DO άνω των 2 mg/L, από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση του αερισμού.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε ο προσδιορισμός των παραμέτρων που μπορούν να μετρηθούν in situ σε βιομηχανικής κλίμακας αντιδραστήρα τύπου SBR, με σκοπό την παρακολούθηση της νιτροποίησης- απονιτροποίησης και της βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου. Με βάση την ανάλυση συσχέτισης Spearman συμπεραίνεται ότι η αγωγιμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος ελέγχου για διάφορες παραμέτρους σε όλα τα στάδια λειτουργίας του αερόβιου συστήματος. Βρέθηκε ότι μπορεί να δώσει πληροφορίες για

σημαντικές παραμέτρους της τροφοδοσίας που είναι δύσκολο να προσδιοριστούν *in situ*, όπως ο λόγος tCOD/TKN. Επίσης δείχνει να σχετίζεται ισχυρά και θετικά με την τιμή και τη μεταβολή των αμμωνιακών και του οργανικού αζώτου σε όλα τα στάδια της διεργασίας. Η αλκαλικότητα συνδέεται με τις διάφορες μορφές του αζώτου στην είσοδο, αλλά και στην έξοδο, ενώ μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα στερεά στην έξοδο. Η αλκαλικότητα στο τέλος του αερισμού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος ελέγχου ολοκλήρωσης της νιτροποίησης και για το λόγο αυτό προτιμάται η μεταβολή της αλκαλικότητας στο τέλος του αερισμού, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της κατανάλωσης του TKN και την τιμή αυτού στην έξοδο. Αντίθετα το pH δεν αποτελεί ισχυρό δείκτη για την παρακολούθηση της διεργασίας και συσχετίζεται με παραμέτρους όμοιες με την αλκαλικότητα. Τέλος το προφίλ αερισμού είναι από τους κυριότερους παράγοντες παρακολούθησης της διεργασίας, αφού συσχετίζεται με την παραγωγή και κατανάλωση των θρεπτικών και της παραγωγής βιομάζας. Για το λόγο αυτό δεν αποτελεί ικανό δείκτη παρακολούθησης της διεργασίας. Η επικράτηση της συγκέντρωσης DO σε επίπεδα μέχρι 2 mg/L διαμορφώνει διαφορετικές συνθήκες από την επικράτηση επιπέδων DO άνω των 2 mg/L. Στην πρώτη περίπτωση είναι δύσκολο να εξαχθούν πληροφορίες για τα θρεπτικά της τροφοδοσίας, την ποιότητα της ενεργού ιλύος και τις συγκεντρώσεις των παραμέτρων εξόδου. Στη δεύτερη περίπτωση είναι δυνατόν να βγουν συμπεράσματα, τόσο για τη φόρτιση της τροφοδοσίας σε θρεπτικά και στερεά, όσο και για την ποιότητα της ενεργού ιλύος και την ποσότητα των στερεών στην έξοδο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J. Guo, Q. Yang, Y. Peng, A. Yang, S. Wang. *Enzyme Microb Tech* 40(6) (2007) 1564–1569
- [2] L. Fan, Y. Xie. *Procedia Environ Sci* 10(A) (2011) 20-25
- [3] F. Jaramillo, M. Orchard, C. Muñoz, C. Antileo, D. Sáez, P. Espinoza. *Chem Eng J* 331 (2017) 114–123
- [4] E. Kotlar, B. Tartakovskiy, Y. Argaman, M. Sheintuch. *J Biotechnol* 51(3) (1996) 251–258
- [5] Z. Yuan & L. L. Blackall. *Water Res* 36 (2002) 482–490
- [6] E. Raper, R. Fisher, D. R. Anderson, T. Stephenson. *Environ Technol* 0(0) (2018) 1–12
- [7] K. Yoo, K. H. Ahn, H. J. Lee, K. H. Lee, Y. J. Kwak, K. G. Song. *Wat. Res.* 33(1) (1999) 145-154
- [8] B. S. Akin & A. Ugurlu. *Process Biochem* 40(8) (2005) 2873–2878
- [9] B. Li & S. Irvin. *Biochem Eng J* 34(3) (2007) 248–255
- [10] M. Komorowska-kaufman, H. Majcherek & E. Klaczyn. *Process Biochem* 41(3) (2006) 1015–1021
- [11] R. Y. Surampalli, R. D. Tyagi, O. K. Scheible & J. A. Heidman. *Bioresour Technol* 61(2) (1997) 151–157
- [12] E. V. Münch, P. Lant & J. Keller. *Wat. Res.* 30(2) (1996) 277–284
- [13] G. Ciudad, O. Rubilar, P. Muñoz, G. Ruiz, R. Chamy, C. Vergara & D. Jeison. *Process Biochem* 40(5) (2005) 1715–1719
- [14] M. Maurer & W. Gujer. *Wat. Res.* 29 (1995) 2613–2617
- [15] APHA, WEF, AWWA (1998)
- [16] BUCHI: Application Note No. 252/2016, Selective nitrogen determination methods related to Kjeldahl. https://static1.buchi.com/sites/default/files/2016_252_AN_Selective_nitrogen_determination_0.pdf. (2016). Accessed 14 May 2018