

ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΦΙΛΤΡΑΝΣΗΣ (SMBF)

A. RÜDIGER
Water Expert Germany
info@water-expert.de

ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας επεξεργασίας λυμάτων για τις παράκτιες τουριστικές περιοχές αποτελεί σημαντική πρόκληση στον αντίστοιχο τομέα. Οι τοπικές συνθήκες στις παράκτιες τουριστικές πόλεις και χωριά χαρακτηρίζεται α) από σημαντικές καθημερινές και εποχιακές διακυμάνσεις στην υδραυλική ροή και τη ρύπανση, β) υψηλές ετήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, γ) τη δυσκολία εύρεσης εκτάσεων για κατασκευή και δ) την υψηλή οικιστική πυκνότητα. Ταυτόχρονα, οι παράκτιες ζώνες πρέπει να πληρούν αυστηρά όρια εκροής καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και χρειάζονται απλές και εύκολες τεχνολογίες όσον αφορά τη λειτουργία.

Το παρόν άρθρο παρουσιάζει την καινοτόμο τεχνολογία της τυποποιημένης βιοφίλτρανσης SMBF ως μιας βέλτιστης λύσης όσον αφορά την επεξεργασία λυμάτων σε ευαίσθητες παράκτιες περιοχές και παρουσιάζει πρακτικά αποτελέσματα σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις.

Λέξεις-κλειδιά: επεξεργασία λυμάτων, τουριστικές περιοχές, βιοφίλτρανση

1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

Ο τουρισμός στην Ελλάδα είναι στοιχείο – κλειδί της εθνικής οικονομικής δραστηριότητας και αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς τομείς της χώρας. Η Ελλάδα έχει υπάρξει ως μείζον τουριστικός προορισμός ακόμα από την αρχαιότητα, αφού διακρίνεται για την πλούσια ιστορία και πολιτισμό της, κάτι που αποδεικνύεται σε μεγάλο βαθμό και από τα 18 μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς σύμφωνα με την UNESCO World Heritage Sites (τα περισσότερα ανά την Ευρώπη αλλά και παγκοσμίως), αλλά και για τις αναρίθμητες ακτές της, τα νησιά της και τις παραλίες της.

Η Ελλάδα υποδέχθηκε 26,5 εκατομμύρια επισκέπτες το 2015 και 30 εκατομμύρια το 2016 [1,2] καθιστώντας την μία από τις πλέον δημοφιλείς χώρες στην Ευρώπη αλλά και στον κόσμο. Ο τουρισμός συνεισέφερε 18% στο εθνικό Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ). Κάποιοι από τους σημαντικότερους τουριστικούς προορισμούς είναι η πρωτεύουσα Αθήνα, όπως επίσης η Σαντορίνη, η Μύκονος, η Ρόδος, η Κέρκυρα, η Κρήτη και η Χαλκιδική.

Η μηνιαία κατανομή της νυχτερινής διαμονής σε τουριστικά καταλύματα στην Ελλάδα δείχνει την κύρια εποχιακή κίνηση να αφορά τους μήνες Ιούνιο ως και Σεπτέμβριο (έως και 350.000 διανυκτερεύσεις, βλ. Σχήμα 1). Αυτή η τουριστική δραστηριότητα σημαίνει για αρκετούς δήμους την αύξηση της παραγωγής λυμάτων κατά έναν συντελεστή 5-10 φορές παραπάνω από αυτήν της υπόλοιπης χρονιάς.

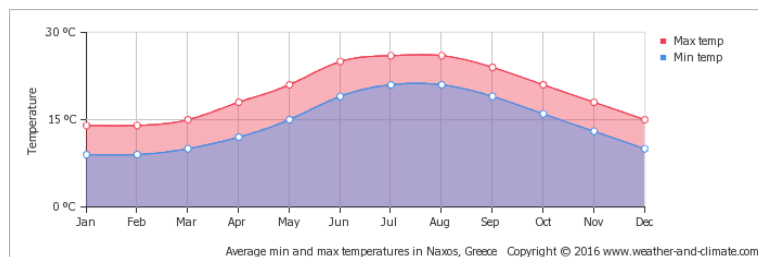
Στην Ελλάδα επικρατεί το μεσογειακό εύκρατο κλίμα. Το καλοκαίρι οι μέγιστες θερμοκρασίες στο κεντρικό Αιγαίο είναι περί τους 28°C κατά μέσο όρο. Τον χειμώνα οι ελάχιστες θερμοκρασίες είναι περί τους 10°C (βλ. Σχήμα 2). Εκτός από τις προαναφερθείσες υδραυλικές και ρυπαντικές διακυμάνσεις, καθώς και τις ετήσιες διακυμάνσεις της

θερμοκρασίας, στον σχεδιασμό της κάθε εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι συγκεντρώσεις των λυμάτων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Παρόλες τις ειδικές συνθήκες όσον αφορά τις ετήσιες διακυμάνσεις στην ποιότητα και ποσότητα των λυμάτων, οι παράκτιες περιοχές πρέπει να πληρούν αυστηρά όρια εκροής καθ'όλη τη διάρκεια του έτους και να διαθέτουν τεχνολογίες απλές και εύκολες στη λειτουργία. Ειδικά για εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μικρής ως μεσαίας δυναμικότητας συνήθως δεν είναι διαθέσιμοι ειδικευμένοι χειριστές για τη λειτουργία τους. Συνεπώς, οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες επεξεργασίας σε αυτές τις περιοχές πρέπει να προσαρμόζονται κατάλληλα σε όρους κόστους επένδυσης και λειτουργικού κόστους, και να είναι (1) απλές στη λειτουργία, (2) πλήρως αυτοματοποιημένες, (3) τυποποιημένες και ευέλικτες για διαφορετικά υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία.



Σχήμα 1. Μηνιαία κατανομή του αριθμού διανυκτερεύσεων σε όλα τα τουριστικά καταλύματα στην Ελλάδα [1]



Σχήμα 2. Μηνιαίος μέσος όρος ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του έτους στη Νάξο - Πηγή: www.weather-and-climate.com

2. ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΒΙΟΦΙΛΤΡΑΝΣΗ SMBF

2.1. Γενικά

Η εφαρμογή της αεριζόμενης βιοφίλτρανσης στην επεξεργασία λυμάτων ξεκινά στις αρχές της δεκαετίας του 80, όταν οι πρώτες δημοτικές εγκαταστάσεις βιοφίλτρανσης υλοποιήθηκαν στις νότιες ακτές της Γαλλίας. Η κεντρική ιδέα της βιοφίλτρανσης είναι η επίτευξη της μηχανικής διήθησης και η απομείωση των διαλυμένων οργανικών και ανόργανων ρυπαντών, όπως το BOD και το άζωτο (νιτροποίηση και απονιτροποίηση) σε έναν ενιαίο αντιδραστήρα. Τα βασικά πλεονεκτήματα της βιοφίλτρανσης είναι (1) η υψηλή απόδοση στον καθαρισμό των λυμάτων σε διαφορετικά υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία και (2) η αυτονομία από τις μεταβολές της θερμοκρασίας των υγρών. Με βάση μακροχρόνια θετικά αποτελέσματα, σήμερα λειτουργούν περισσότερες από 1.000 εγκαταστάσεις βιοφίλτρανσης παγκοσμίως. Στη Γαλλία λειτουργούν περίπου 50 εγκαταστάσεις βιοφίλτρανσης για αστικά λύματα τουριστικών περιοχών για πάνω από 20 χρόνια (βλ. Σχήμα 3).

Η σύγχρονη τεχνολογία βιοφίλτρανσης αντιπροσωπεύει σήμερα ένα οικονομικό και τυποποιημένο αεριζόμενο φίλτρο ανοδικής ροής, κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα και γεμάτο με κοκκώδες μη επιπλέον μέσο (φυσική καμένη άργιλος 2-5 mm) (βλ. Σχήμα 4). Η

βιομάζα καθιζάνει ως βιοφίλμ στο υλικό του φίλτρου που έχει ειδική επιφάνεια περίπου 1.000 m²/m³. Κάθε φίλτρο έχει διάμετρο 3,40 m και ύψος 7,0 m, και έχει την ικανότητα επεξεργασίας ρυπαντικού φορτίου 3.000 ισοδύναμων κατοίκων, που περιλαμβάνει την απομάκρυνση του BOD, την απομείωση των αιωρούμενων στερεών, την απομείωση του φωσφόρου, τη νιτροποίηση και την απονιτροποίηση. Η απαίτηση χώρου μιας εγκατάστασης επεξεργασίας με βιοφίλτρανση είναι μόλις το 25% των κλασικών λύσεων. Η μονάδα SMBF είναι πλήρως στεγασμένη εντός κτιρίου και χρησιμοποιείται για μικρές ως μεσαίες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στο εύρος 2.000-20.000 συνδεδεμένων ατόμων.

2.2. Παρουσίαση της τεχνολογίας SMBF

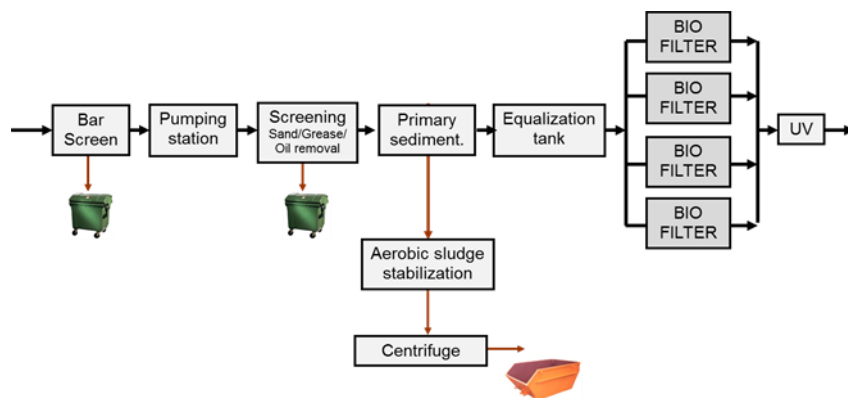
Το κύριο σχήμα λειτουργίας SMBF απεικονίζεται στο Σχήμα 5. Τα λύματα υφίστανται προεπεξεργασία με χονδρή και λεπτή εσχάρωση, που ακολουθείται από πρωτοβάθμια καθίζηση. Προκειμένου να εξισορροπηθούν οι διακυμάνσεις της υδραυλικής παροχής και των ρυπαντικών συγκεντρώσεων, προβλέπεται δεξαμενή εξισορρόπησης. Μετά την εξισορρόπηση τα υγρά αντλούνται προς τις ανεξάρτητες μονάδες αεριζόμενων δεξαμενών βιοφίλτρανσης. Ο καθαρισμός των λυμάτων πραγματοποιείται με τη βιολογική δραστηριότητα και τη μηχανική διήθηση. Το καθαρό και φιλτραρισμένο υγρό με χαμηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών (περίπου 5-10 mg SS / L) εξέρχεται του αντιδραστήρα από την κορυφή του. Δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη δευτεροβάθμιας καθίζησης. Στη συνέχεια τα υγρά απολυμαίνονται μέσω επεξεργασίας με UV. Η παραγόμενη ιλύς οδηγείται σε μονάδα αερόβιας χώνευσης για σταθεροποίηση. Μετά τη σταθεροποίηση η ιλύς αφυδατώνεται με φυγοκεντρικό διαχωριστή και απομακρύνεται. Η συνολική παραγωγή ιλύος μιας μονάδας SMBF είναι περίπου 10-20% χαμηλότερη από αυτή μιας κλασικής λύσης [4]. Κάθε βιοφίλτρο λειτουργεί ως ανεξάρτητη μονάδα και μπορεί να σταματήσει ή να λειτουργήσει ανά πάσα στιγμή και σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες. Έτσι είναι δυνατή μια προσαρμοσμένη λειτουργία των μονάδων βιοφίλτρανσης κατά τη διάρκεια της ημέρας σε όλη τη διάρκεια του έτους (βλ. Σχήμα 6). Η λειτουργία του κάθε φίλτρου ρυθμίζεται αυτόματα μέσω του προγράμματος SCADA σύμφωνα με τις συνεχείς μετρήσεις του πραγματικού υδραυλικού φορτίου της εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και τα πλήρη αποτελέσματα επιτυγχάνονται ανά πάσα στιγμή. Οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας μονάδας SMBF είναι συνήθως κατά περίπου 20% χαμηλότερες από μια κλασική λύση [4]. Αυτή η ενεργειακή εξοικονόμηση προκύπτει ως αποτέλεσμα: (1) του υψηλού βαθμού εκμετάλλευσης του προσδιδόμενου οξυγόνου εντός του φίλτρου, (2) της μη απαίτησης αέρα για την ανάδευση του ανάμικτου υγρού και (3) της προσαρμοσμένης λειτουργίας του βιοφίλτρου ανάλογα με το πραγματικό φορτίο και της στάσης ανάπαυσης κάποιων μονάδων βιοφίλτρανσης.



Σχήμα 3. Παραδείγματα εγκαταστάσεων βιοφίλτρανσης σε τουριστικές περιοχές της Γαλλίας

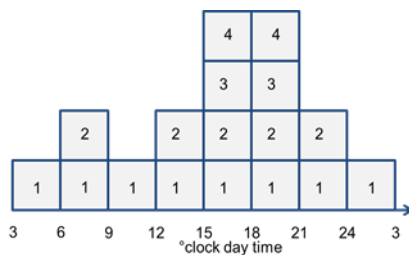


Σχήμα 4. Δεξαμενή βιοφίλτρανης SMBF που εξυπηρετεί 3.000 ισοδύναμους κατοίκους

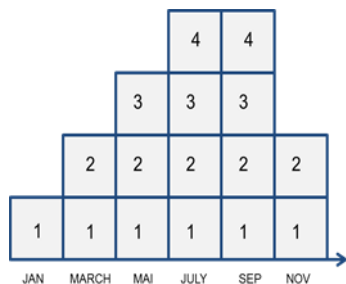


Χονδροεσχάρωση (BS) -> Αντλιοστάσιο (Pst) ->
 Εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση ->
 Πρωτοβάθμια καθίζηση (PSed) -> Δεξαμενή εξισορρόπησης (Eq) -> Βιόφιλτρο -> UV
 Αερόβια σταθεροποίηση ιλύος (aer.sl.st) -> Αφυδάτωση (φυγοκεντρική)

Σχήμα 5. Σχήμα επεξεργασίας SMBF που εξυπηρετεί 12.000 ισοδύναμους κατοίκους



Ωρα της ημέρας



Jan Mar Mai Iουλ Σεπ Νοε

Σχήμα 6. Λειτουργία μονάδων βιοφίλτρανσης σε τουριστικές περιοχές κατά τη διάρκεια της ημέρας και του χρόνου

2.3. Παράδειγμα εγκαταστάσεων επεξεργασίας με SMBF treatment plants

Το SMBF έχει σημαντική εξοικονόμηση όγκου και χώρου. Για παράδειγμα, ο χώρος που απαιτείται για μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων μπορεί να μειωθεί στο 25% σε σύγκριση με τον απαιτούμενο χώρο για εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος ή για μονάδες SBR. Η χαμηλή απαίτηση χώρου για μονάδες SMBF καθιστά οικονομικά εφικτή μια πλήρως στεγασμένη εγκατάσταση επεξεργασίας. Σε αυτή την περίπτωση (πλήρως στεγασμένη λύση χωρίς θόρυβο ή κακοσμία), η εγκατάσταση μπορεί να κατασκευαστεί κοντά ή ακόμα και μέσα σε χωριά και πόλεις ή και τουριστικές περιοχές. Η πλήρως στεγασμένη λύση προστατεύει την εγκατάσταση από συνθήκες πολύ ψυχρών ή θερμών κλιμάτων, καθώς και από οποιαδήποτε ανεπιθύμητη είσοδο. Βάσει των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας SMBF έχει υλοποιηθεί πληθώρα ανάλογων εγκαταστάσεων σε τουριστικές περιοχές, και είναι σε λειτουργία για περισσότερα από 15 χρόνια. Το σχήμα 7 δείχνει μονάδα SMBF σε τουριστική περιοχή της Γαλλίας με 5.000 συνδεδεμένα άτομα. Η αρχιτεκτονική του κτιρίου έχει αφομοιώσει το φυσικό περιβάλλον, και βέβαια δεν προκαλείται ούτε θόρυβος ούτε κακοσμία, οπότε είναι δυνατή η απροβλημάτιστη γειτονία ακόμα και με οικιστική ανάπτυξη.

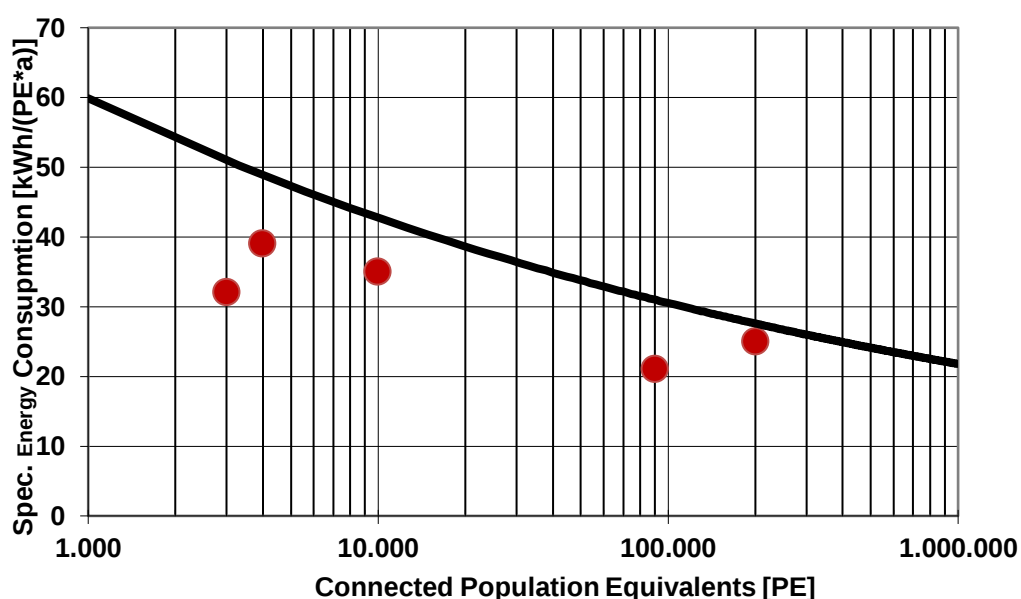
3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Οι ενεργειακές απαιτήσεις των εγκαταστάσεων βιοφίλτρανσης προσδιορίζονται κυρίως από την ενεργειακή κατανάλωση (1) των αντλιών τροφοδοσίας της βιοφίλτρανσης και (2) των φυσητήρων που παρέχουν αέρα στη διαδικασία επεξεργασίας. Η κύρια διαφορά με τις κλασικές εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος είναι ότι (1) η απαραίτητη παροχή αέρα για τη βιοφίλτρανση καθορίζεται μόνο από την απαίτηση βιολογικής οξυγόνωσης για τις μικροβιολογικές διαδικασίες και όχι (2) για την ανάμιξη της δεξαμενής αερισμού. Ειδικά σε περιόδους χαμηλής φόρτισης (π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε χαμηλές περιόδους, low season) οι κλασικές εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος απαιτούν μεγάλη παροχή αέρα μόνο για την ανάμιξη των δεξαμενών. Ως αποτέλεσμα η ενεργειακή κατανάλωση στις εγκαταστάσεις βιοφίλτρανσης είναι περίπου 20-30% χαμηλότερη από αυτές της ενεργού ιλύος (βλ. Σχήμα 8).

Ταυτόχρονα η λειτουργία της κάθε μονάδας βιοφίλτρανσης προσαρμόζεται, όπως προαναφέρθηκε, στο πραγματικό φορτίο. Ως αποτέλεσμα η ενεργειακή κατανάλωση μιας τυποποιημένης μονάδας είναι μια γραμμική συνάρτηση του εφαρμοζόμενου φορτίου. Στην περίπτωση εγκατάστασης επεξεργασίας που σχεδιάζεται για 10.000 ισοδύναμους κατοίκους σε πλήρη φόρτιση η ενεργειακή κατανάλωση θα είναι περίπου 1.000 kwh/day. Η ίδια εγκατάσταση με 30% του φορτίου θα χρειαστεί μόνο το 30% της ανωτέρω ενέργειας, οπότε προκύπτουν περίπου 300 kwh/day.



Σχήμα 7: Μονάδα SMBF σε τουριστική περιοχή που εξυπηρετεί 5.000 ισοδ.κατοίκους



Ειδική ενεργειακή κατανάλωση [kwh/(PE*a)]
Συνδεδεμένοι ισοδύναμοι κάτοικοι [PE]

Σχήμα 8: Ειδική ενεργειακή κατανάλωση [kwh/(PE*a)] μονάδων βιοφίλτρανσης (σημεία σε κόκκινο) και όλων των άλλων μεθόδων επεξεργασίας (μαύρη γραμμή) ως συνάρτηση των συνδεδεμένων ισοδύναμων κατοίκων

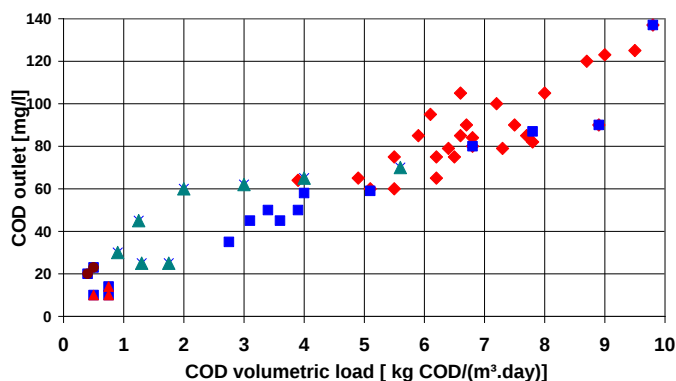
4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΕΚΡΟΗΣ COD

Ενώ στις εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος η βιολογική απόδοση της διαδικασίας εξαρτάται κυρίως από την ηλικία ιλύος και αντίστοιχα από τη φόρτιση της ιλύος σε BOD (σε kg BOD/(kgDS.d), η συγκέντρωση εκροής σε COD των μονάδων βιοφίλτρανσης εξαρτάται κυρίως από την ογκομετρική φόρτιση σε COD του υλικού βιοφίλτρανσης. Ανάλογα με την ογκομετρική φόρτιση σε COD ανάμεσα σε 0,5 και 10 kg COD/(m³.d) η συγκέντρωση εκροής σε COD των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων είναι αντίστοιχα στο εύρος μεταξύ 20 και 120 mg/l COD (βλ. Σχήμα 9).

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

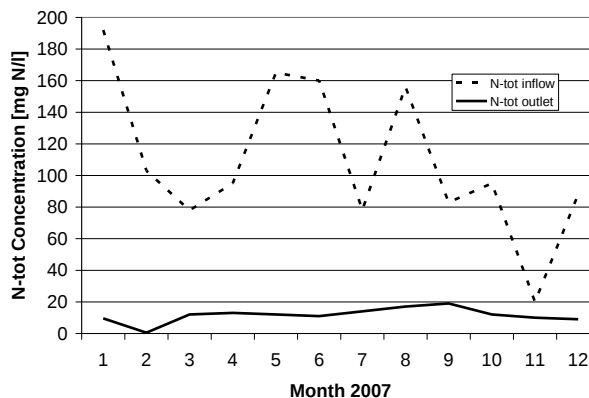
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε εγκατάσταση αστικών λυμάτων σε τουριστική περιοχή και με μονάδα SMBF κατά τη διάρκεια ενός χρόνου λειτουργίας παρουσιάζονται στα σχήματα 10 και 11. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στην είσοδο της εγκατάστασης μπορεί να

παρατηρηθούν υψηλές διακυμάνσεις όσον αφορά τις συγκεντρώσεις ολικού αζώτου και BOD. Αυτές οι υψηλές διακυμάνσεις είναι συνήθεις για τουριστικές περιοχές λόγω (1) της εποχιακής πληθυσμιακής διαφοράς, (2) της κατανάλωσης νερού και (3) των εισροών. Όμως, και παρά τις υψηλές διακυμάνσεις στην είσοδο, επιτυγχάνονται στην εκροή σταθερές συγκεντρώσεις σε BOD και ολικό άζωτο (Tot-N). Η συγκέντρωση BOD εκροής είναι συνήθως χαμηλότερη από 10 - 15 mg BOD/L. Η συγκέντρωση Tot-N εκροής είναι συνήθως χαμηλότερη από 5 - 10 mg N/l. Η συγκέντρωση COD εκροής που επιτυγχάνεται είναι < 60 mg/l.



Συγκέντρωση εκροής COD (mg/l)
Ογκομετρικό φορτίο COD (kgCOD/m³.day)

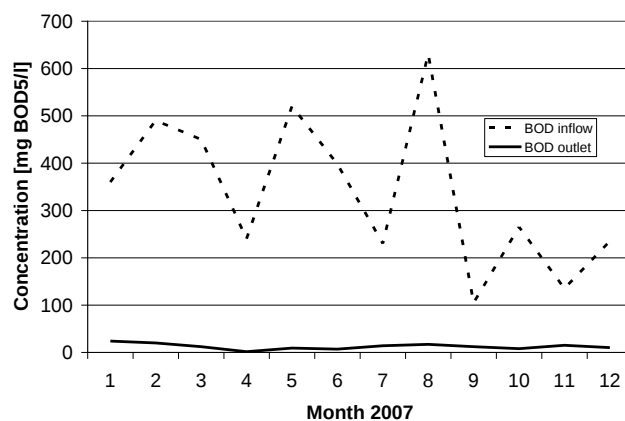
Σχήμα 9: Συγκέντρωση εκροής COD συναρτήσει του ογκομετρικού φορτίου σε COD στην SMBF



Συγκεντρώσεις Tot-N (mgN/l)
 - - - - N-tot εισόδου
 _____ N-tot εκροής

Μήνας 2007

Σχήμα 10: Συγκεντρώσεις εισόδου και εκροής Tot-N σε εγκατάσταση λυμάτων τουριστικής περιοχής με SMBF



Συγκεντρώσεις BOD (mgBOD₅/l)

---- BOD εισόδου

_____ BOD εκροής

Μήνας 2007

Σχήμα 11: Συγκεντρώσεις εισόδου και εκροής BOD σε εγκατάσταση λυμάτων τουριστικής περιοχής με SMBF

6. REFERENCES

1. "Great record: 30 million tourists in 2016 (Μεγάλο ρεκόρ: Άγγιξαν τα 30 εκατ. οι τουρίστες το 2016)". imerisia.gr. 30 April 2017.
2. "Historic records for tourism (Ιστορικό ρεκόρ για τον τουρισμό)". topontiki.gr. 6 March 2017
3. "For a Sustainable Tourism Industry". 6 March 2017
4. Barjenbruch, M.: Benchmarking of BAF plants: Operational Experience on 40 Full-Scale Installations in Germany, *Water Science & Technology* 55 (8-9): 91-8 (2007)