



# Ανάπτυξη τεχνολογίας για την επεξεργασία αστικών λυμάτων με μειωμένο αποτύπωμα άνθρακα

Δρ. Μπεζιργιαννίδης Θανάσης  
Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων καθηγητής:  
Μελίδης Παράσχος



# Περιεχόμενα



01. Εισαγωγή

02. Χημικά ενισχυμένη  
πρωτοβάθμια επεξεργασία  
βιολογικό φίλτρο

03. Βιοαντιδραστήρας  
μεμβρανών

04. Αναερόβια  
χώνευση

05. Οικονομική  
αποτίμηση

06. Συμπεράσματα





# 01

## Εισαγωγή

Θα αναφερθούν προβλήματα στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, το φαινόμενο της λειψυδρίας καθώς και θέματα της νομοθεσίας



# Υγρά απόβλητα



Κάθε ανθρώπινη κοινότητα παράγει ως αποτέλεσμα της δραστηριότητάς της

**Απόβλητα**

Τα παραπροϊόντα της ανθρώπινης δραστηριότητας που πρέπει να διατεθούν στο περιβάλλον





# Υγρά απόβλητα



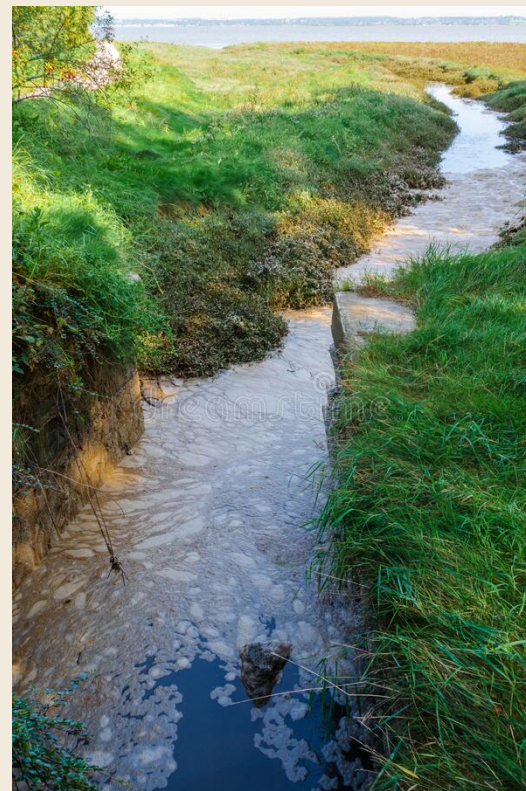
- Ταχεία και ανεξέλεγκτη αστικοποίηση – μεγάλη ανησυχία
- Ο υπερπληθυσμός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής λυμάτων
- Μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα η επεξεργασία και διάθεση λυμάτων



- Σε περίπτωση απουσίας αποτελεσματικής επεξεργασίας λυμάτων
- Πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στον άνθρωπο

# Υγρά απόβλητα

- Υψηλό ποσοστό λυμάτων σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες που απορρίπτονται ανεπαρκώς επεξεργασμένα ή ακατέργαστα
- Προκαλείται ρύπανση ποταμών, λιμνών και παράκτιων περιοχών
- Η μόλυνση των υπόγειων υδάτων, επηρεάζει την ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος και μπορεί να αποτελέσει απειλή για τη δημόσια υγεία



# Βιομηχανικά υγρά απόβλητα

- Η αύξηση των νέων βιομηχανιών είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή βιομηχανικών λυμάτων – υψηλές συγκεντρώσεις επικίνδυνων ρύπων
- Τα βιομηχανικά απόβλητα μεταφέρουν σημαντικό ρυπαντικό φορτίο



- Περιέχουν μεγάλη ποικιλία ουσιών όπως: οξέα, τοξικές ουσίες, μικροοργανισμούς, χρώματα, ραδιενεργά υλικά



# Λειψυδρία

- Το νερό είναι ένας από τους πιο ζωτικούς φυσικούς πόρους, απαραίτητος για τη διατήρηση του οικοσυστήματος
- Η λειψυδρία προκαλείται από:
  1. την ταχεία επέκταση του παγκόσμιου πληθυσμού
  2. την αυξανόμενη αρδευόμενη γεωργία
  3. την οικονομική ανάπτυξη
  4. την κλιματική αλλαγή







# Λειψυδρία

- Οι πόροι του γλυκού νερού δεν επαρκούν για να ικανοποιήσουν τις αυξανόμενες ανάγκες των ανθρώπων
- Παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητας λόγω των απορρίψεων λυμάτων στους υδροφόρους ορίζοντες
- Είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για τη διατήρηση της διαθεσιμότητας και της ποιότητας του νερού

**1** Θέσπιση νομοθεσίας με αυστηρά όρια στις συγκεντρώσεις λυμάτων

**2** Συνεχής έρευνα για στρατηγικές επεξεργασίας λυμάτων

# Νομοθεσία για την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

- Το πρώτο βήμα για τη θέσπιση φραγμών στα όρια απόρριψης λυμάτων ήταν η Οδηγία για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων (91/271/EEC)
- Κατέστη υποχρεωτική η συλλογή και η επεξεργασία των λυμάτων σε αστικές περιοχές με ισοδύναμο πληθυσμό άνω των 2.000
- Επιβλήθηκε πιο προχωρημένη επεξεργασία σε «ευαίσθητες περιοχές» με ισοδύναμο πληθυσμό άνω των 10.000

Table 4: Number of agglomerations and organic loads expressed in population equivalents (p.e.)  
— situation 1992-95 (1)

Member State	Population (1 000 hab.)	Normal areas		Sensitive areas		Less sensitive areas		Total	
		agglomer.	1 000 p.e.	agglomer.	1 000 p.e.	agglomer.	1 000 p.e.	agglomer.	1 000 p.e.
Belgium	10 131	119	1 775	245	7 389	0	0	364	9 164
Denmark	5 216	0	0	382	8 393	0	0	382	8 393
Germany	81 533	1 172	27 397	3 650	79 143	0	0	4 822	106 540
Greece	10 442	169	6 189	60	2 101	86	1 913	315	10 203
Spain	39 170	2 611	47 263	253	4 659	356	22 517	3 220	74 439
France	58 027	2 359	49 927	1 137	20 583	0	0	3 496	70 510
Ireland	3 577	137	3 748	9	170	0	0	146	3 918
Luxembourg	407	0	0	42	914	0	0	42	914
Netherlands	15 423	0	0	414	17 218	0	0	414	17 218
Austria	8 040	703	18 569	0	0	0	0	703	18 569
Portugal	9 912	598	12 651	114	1 814	34	1 806	746	16 271
Finland	5 099	0	0	201	4 007	0	0	201	4 007
Sweden	8 816	0	0	454	7 496	0	0	454	7 496
United Kingdom	58 276	1 764	61 816	127	4 187	155	10 523	2 046	76 526
<b>Total</b>	<b>314 069</b>	<b>9 632</b>	<b>229 335</b>	<b>7 088</b>	<b>158 073</b>	<b>631</b>	<b>36 759</b>	<b>17 351</b>	<b>424 361</b>

(1) The reference year for the data in this table varies, according to the Member States, between 1992 and 1995



# Νομοθεσία για την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων



- Όλες οι χώρες της ΕΕ οφείλουν να συμμορφωθούν με την Οδηγία, ενώ σε περίπτωση αποτυχίας τους επιβάλλονται οικονομικές κυρώσεις
- Παρόλο που υπάρχει βελτίωση την τελευταία δεκαετία στην επεξεργασία των λυμάτων, υπάρχει ακόμη δρόμος για να επιτευχθεί πλήρης συμμόρφωση με την Οδηγία
- Ακόμη και σήμερα επιβάλλονται κυρώσεις οικονομικές σε πολλές χώρες

# Νομοθεσία για την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

- Η Ευρωπαϊκή Οδηγία ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 5673/400/1997
- Με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 145116/2011 θεσπίστηκαν νομοθετικά όρια και για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στην Ελλάδα, μετά από κατάλληλη επεξεργασία
- Ανάλογα με τις μικροβιολογικές παραμέτρους, τη συγκέντρωση άνθρακα, θρεπτικών και στερεών του επεξεργασμένου νερού, προσδιορίστηκαν διαφορετικοί τύποι επαναχρησιμοποίησης

**Περιορισμένη  
άρδευση**

**Απεριόριστη  
άρδευση**

**Αστική χρήση με  
εμπλουτισμό  
υδροφορέα**

# Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- Η πιο κοινή, ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων είναι το σύστημα ενεργού ιλύος (Activated sludge)
- Η βιολογική διεργασία, χρησιμοποιείται εδώ και 100 χρόνια, με υψηλό ρυθμό απομάκρυνσης οργανικού άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου
- Μεγάλα μειονεκτήματα είναι η μεγάλη απαιτούμενη έκταση εδάφους και η υψηλή κατανάλωση ενέργειας



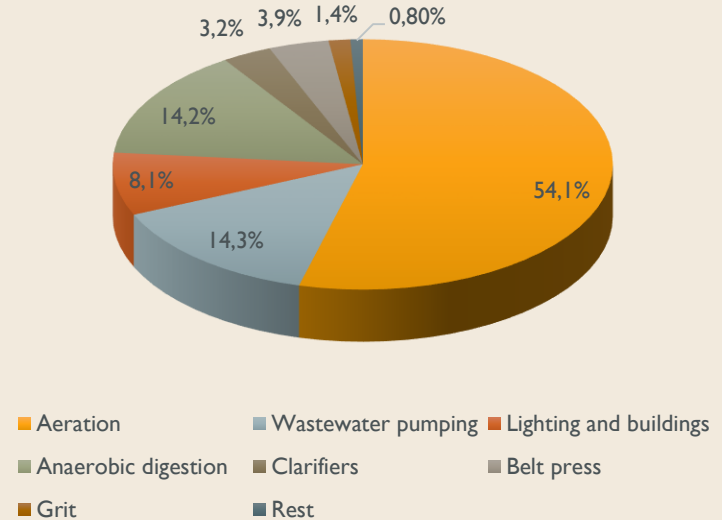
# Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

- Εφαρμόζονται εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας λυμάτων όπως ο βιοαντιδραστήρας μεμβρανών (MBR), τα βιολογικά φίλτρα και οι διαδικασίες χημικής επεξεργασίας λυμάτων
- Εφαρμόζεται και η βελτιστοποίηση των σχημάτων επεξεργασίας αλλά και η διαδικτυακή παρακολούθηση για την επίτευξη μείωσης στην κατανάλωση ενέργειας
- Βασικός στόχος η επίτευξη της απομάκρυνσης οργανικού άνθρακα και θρεπτικών στην εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας αλλά και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας

# Κατανάλωση ενέργειας σε ΜΕΥΑ

- Μια εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχει υψηλό λειτουργικό κόστος, με 25-40% να αποδίδεται στην κατανάλωση ενέργειας
- Η υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας παρατηρείται στον αερισμό του ανάμικτου υγρού

**Energy requirements in WWTP**





# Κατανάλωση ενέργειας σε ΜΕΥΑ



- Η συνολική ζήτηση ενέργειας σε μια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες
  - ❑ η ηλικία της εγκατάστασης
  - ❑ το μέγεθος
  - ❑ η διαδικασία επεξεργασίας που εφαρμόζεται
  - ❑ το εγκατεστημένο σύστημα αερισμού
  - ❑ οι απαιτήσεις ποιότητας των εκροών
- Η στρατηγική της επεξεργασίας λυμάτων με γνώμονα αποκλειστικά την απομάκρυνση των ρύπων, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ενεργειακές απαιτήσεις δεν αποτελεί βιώσιμη λύση



# Κατανάλωση ενέργειας σε ΜΕΥΑ

- Το πλαίσιο της Ε.Ε. για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030 θέτει συγκεκριμένους στόχους και περιλαμβάνει:

**Τουλάχιστον 40% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (από τα επίπεδα του 1990)**

**Τουλάχιστον 32% ποσοστό να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

**Τουλάχιστον 32,5% ποσοστό βελτίωσης στην ενεργειακή απόδοση**

# Προοπτική κυκλικής οικονομίας

- Τα λύματα περιλαμβάνουν σημαντικές ποσότητες χημικής, θερμικής και κινητικής ενέργειας και η ποσότητα της περιεχόμενης ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την επεξεργασία τους
- Η επιτυχής εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας θα αποτελούσε ιδανικά μια ενεργειακά ουδέτερη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων
- Η βελτίωση της βιωσιμότητας μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων θα μπορούσε να επιτευχθεί αυξάνοντας την ενεργειακή ανεξαρτησία εφαρμόζοντας τις ακόλουθες στρατηγικές

# Προοπτική κυκλικής οικονομίας

Στρατηγικές για  
κυκλική οικονομία

Διαχείριση διαδικασίας μεταφοράς και άντλησης οξυγόνου με χρήση προηγμένων συσκευών αυτοματισμού και μοντελοποίησης

Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένου νερού

Χρήση βιοστερεών αναερόβιας χώνευσης ως λίπασμα

Ανάκτηση Φωσφόρου και Αζώτου για χρήση ως λίπασμα

Έτσι, η προοπτική των λυμάτων μετατοπίζεται, από απόβλητα που απαιτούν επεξεργασία και αποτελούν μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα, σε μια ελκυστική πηγή υλικών και ενέργειας

Επιτόπου παραγωγή ενέργειας σε μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού

Ανάκτηση θερμικής ενέργειας από λύματα

# Σκοπός και στόχοι διατριβής



*Η ανάπτυξη και εφαρμογή αναδυόμενων τεχνολογιών για την επίτευξη μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα*

Ανάπτυξη ενός συστήματος επεξεργασίας λυμάτων με χημικά ενισχυμένη πρωτοβάθμια επεξεργασία (CEPT) και βιολογικό φίλτρο για να επιτευχθεί χαμηλού κόστους επεξεργασία αστικών λυμάτων

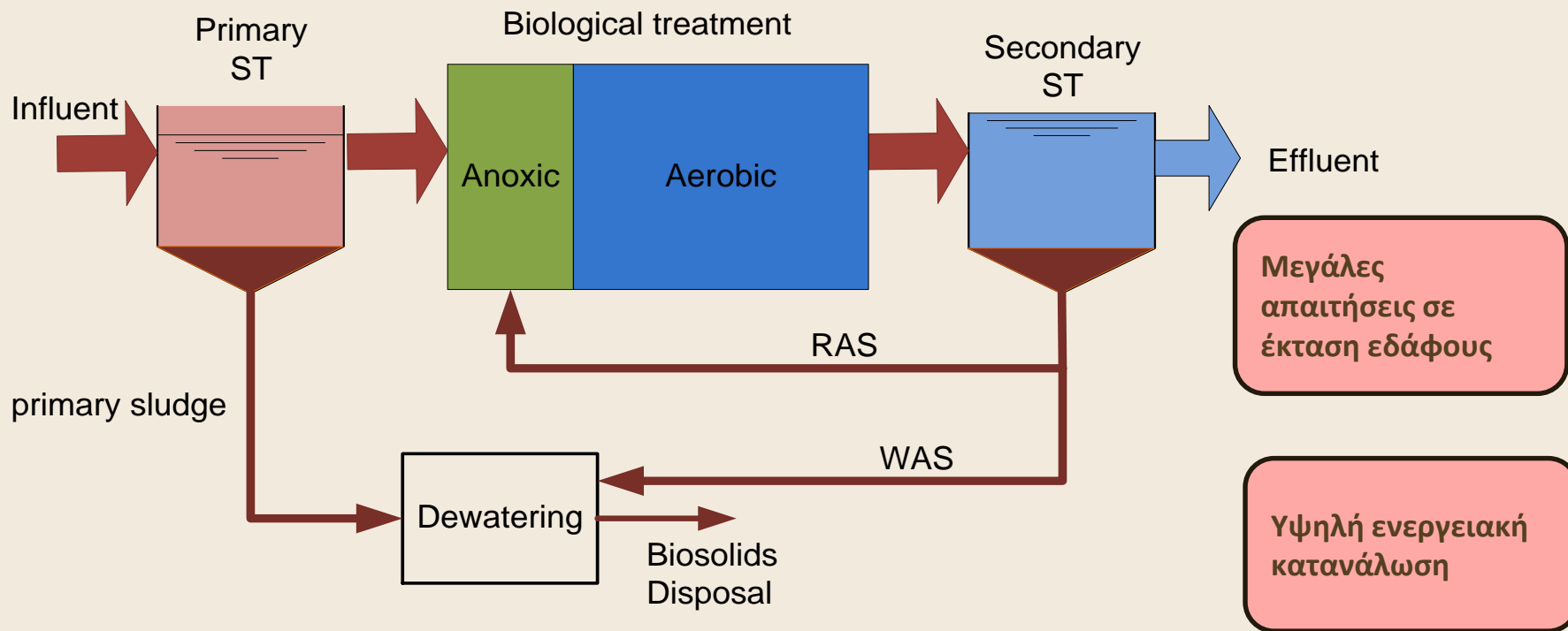
Σχεδιασμός και αξιολόγηση της απόδοσης ενός βιοαντιδραστήρα μεμβρανών που επεξεργάζεται τα αστικά λύματα χαμηλής αναλογίας άνθρακα προς άζωτο και πληροί τα νομοθετικά όρια για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση

# Σκοπός και στόχοι διατριβής

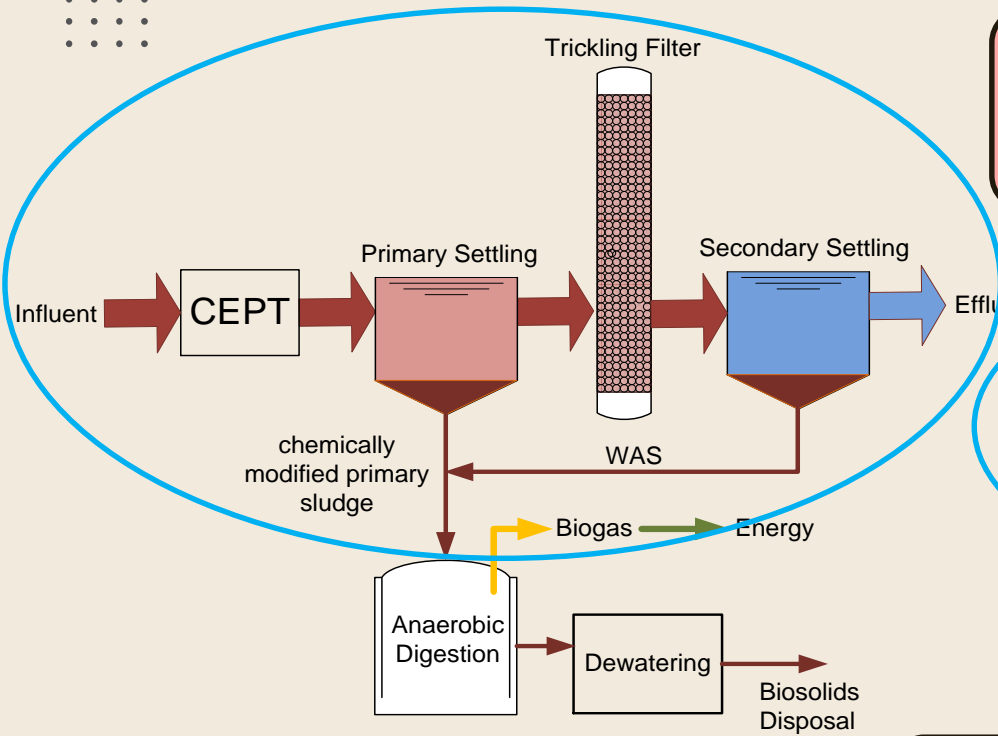
Αξιολόγηση της απόδοσης ενός αναερόβιου αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης (CSTR) που επεξεργάζεται τη λάσπη από τη χημική κατακρήμνιση, για την αξιολόγηση της απόδοσης απομάκρυνσης του συστήματος καθώς και της παραγωγής και της σύνθεσης βιοαερίου, υπό διάφορους υδραυλικούς χρόνους παραμονής (HRTs)

Αξιολόγηση της βιώσιμης παραγωγής ενέργειας και των οικονομικών πτυχών από το προτεινόμενο σχέδιο επεξεργασίας CEPT-TF στο πλαίσιο της έννοιας της κυκλικής οικονομίας στον τομέα επεξεργασίας λυμάτων

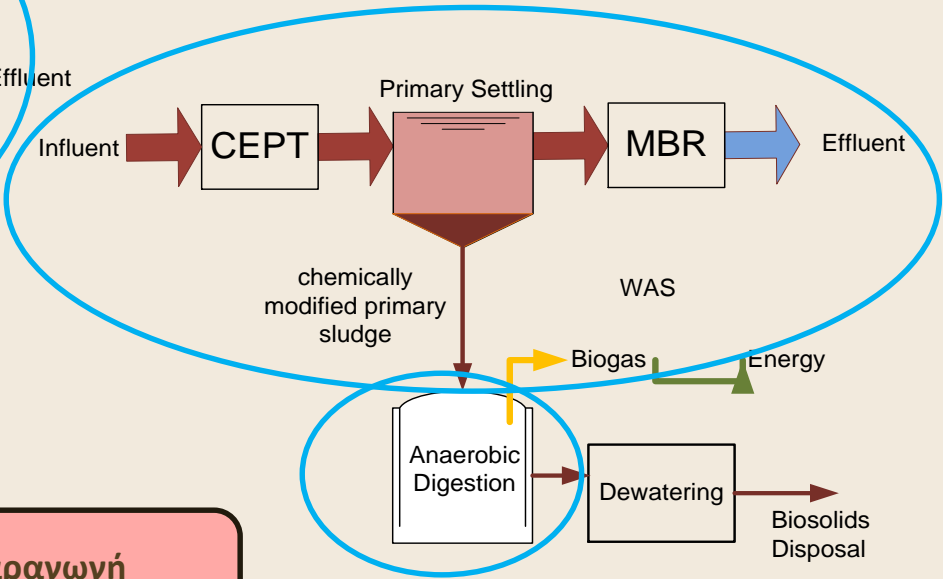
# Τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος



# Προτεινόμενες τεχνολογίες επεξεργασίας



Χαμηλό  
αποτύπωμα του  
άνθρακα



Μειωμένη  
ενεργειακή  
κατανάλωση


Παραγωγή  
ενέργειας

---



# 02

Χημικά ενισχυμένη  
πρωτοβάθμια επεξεργασία  
βιολογικό φίλτρο









# Χημικά ενισχυμένη πρωτοβάθμια επεξεργασία



- Προσθήκη χημικών για την ενίσχυση της καθίζησης - με βάση το αλουμίνιο και τον σίδηρο
- Σύστημα απλό σε λειτουργία και σε συντήρηση
- Μειώνει τις απαιτήσεις σε έδαφος της πρωτογενούς καθίζησης, απαιτούνται μικρότεροι όγκοι δεξαμενών
- Εφαρμόζεται σε πολλούς τύπους λυμάτων
- Μεγάλη ικανότητα απομάκρυνσης βαρέων μετάλλων – βιομηχανικών λυμάτων



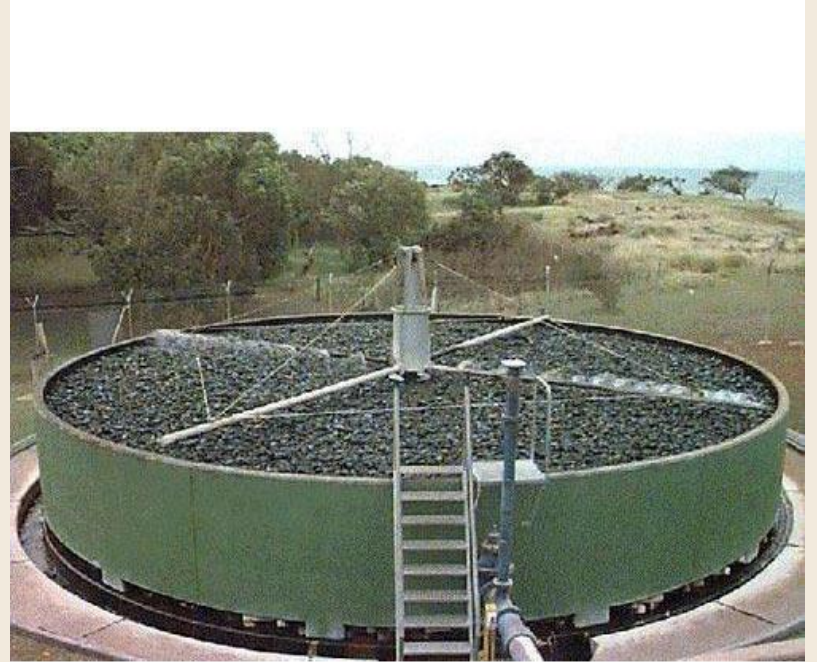
# Χημικά ενισχυμένη πρωτοβάθμια επεξεργασία



- Η χρήση χημικών προκαλεί τα αιωρούμενα και κολλοειδή σωματίδια να συσσωρεύονται μεταξύ τους και να συσσωματώνονται αυξάνοντας το μέγεθός τους και το ειδικό βάρος των κροκίδων
- Αυτές οι μεγάλες κροκίδες καθιζάνουν πιο γρήγορα, αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα του συστήματος
- Μειονέκτημα το κόστος των χημικών και η αυξημένη παραγωγή πρωτογενούς λάσπης
- Υπάρχει ανάγκη για δοκιμές για την επιλογή του κατάλληλου χημικού (ανάλογα την περίπτωση και τον τύπο των λυμάτων) και τον προσδιορισμό της ιδανικής χημικής δοσολογίας

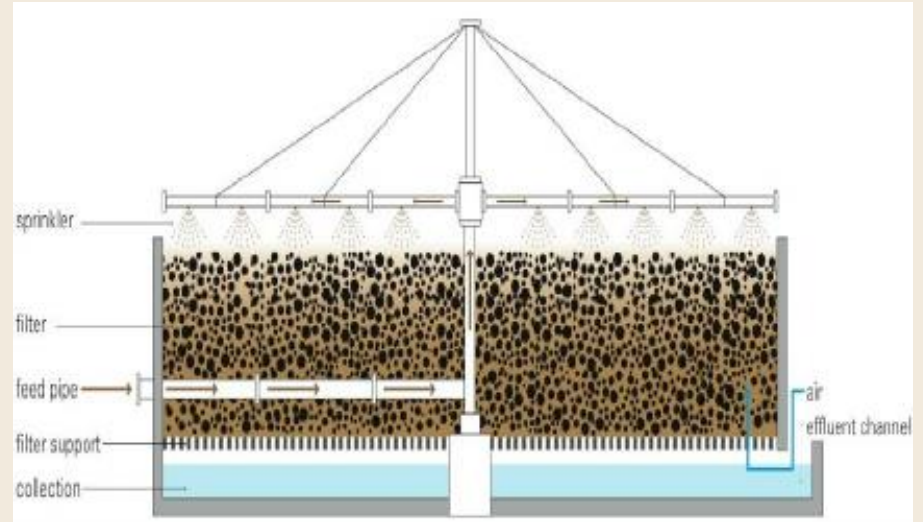
# Βιολογικό φίλτρο

- Είναι μία από τις παλαιότερες τεχνολογίες επεξεργασίας λυμάτων
- Σύστημα προσκολλημένης βιομάζας - σχηματισμός βιομάζας και ανάπτυξη πάνω σε κατάλληλα μέσα
- Έχουν υψηλή αναλογία επιφάνειας προς όγκο
- Υλικά που χρησιμοποιούνται: πέτρα, πλαστικό, χαλίκι, γεωύφασμα, ζεόλιθος, δαχτυλίδια κ.λπ.



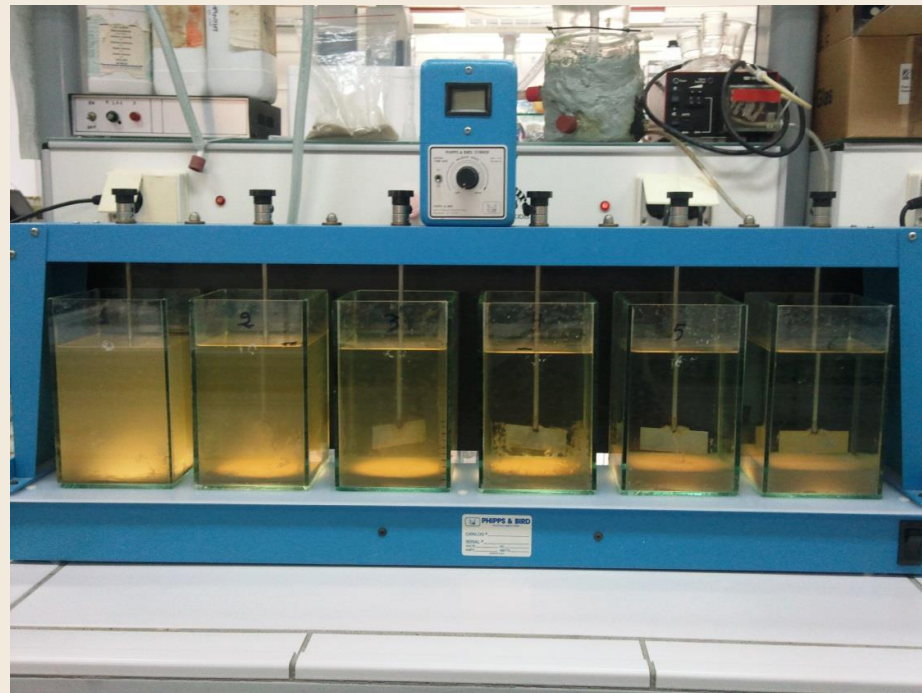
# Βιολογικό φίλτρο

- Έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργικό κόστος, χωρίς ανάγκη αερισμού, πολύ υψηλή απόδοση στον καθαρισμό νερού
- Μειονεκτήματα η απόφραξη του συστήματος διανομής και η πιθανή οσμή
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αερισμός, αλλά λειτουργεί και με παθητικό αερισμό



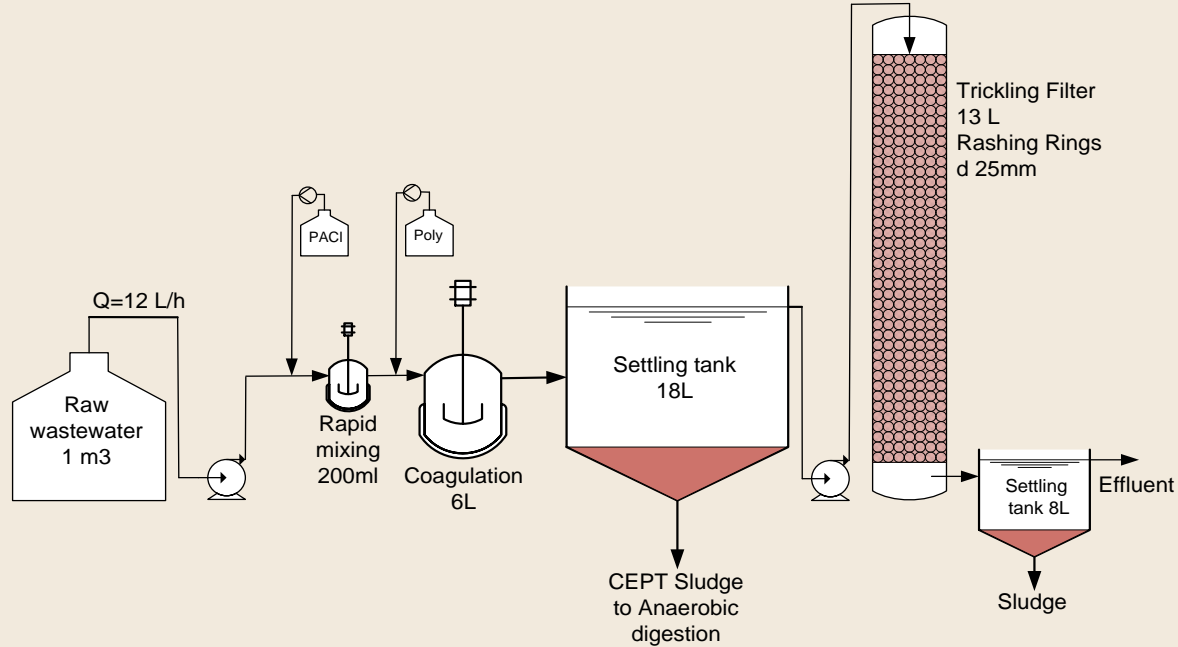
# Υλικά και μέθοδοι (εργαστήριο)

- Επιλέχθηκαν σαν χημικά το χλωριούχο πολυαλουμίνιο (PACl) και κατιονικός πολυηλεκτρολύτης
- Εξετάστηκε η κατάλληλη δοσολογία χημικών σε κατάλληλες δοκιμές βάζων
- 10, 20, 40, 80, 100 mg/L PACl δοκιμάστηκαν
- Δοσολογίες κατιονικού πολυηλεκτρολύτη (Zetag 8180) 0,5, 1, 1,5 και 2 mg/L



# Υλικά και μέθοδοι (πιλοτική μονάδα)

- ΜΕΥΑ Ξάνθης
- Δεξαμενή αποθήκευσης 1 m<sup>3</sup>
- Δοχείο ταχείας ανάμειξης 0,2 L
- Δεξαμενή κροκίδωσης 6 L
- Δεξαμενή καθίζησης 18 L
- Παροχή 12 L/h



# Υλικά και μέθοδοι (πιλοτική μονάδα)



Μονάδα χημικής κατακρήμνισης



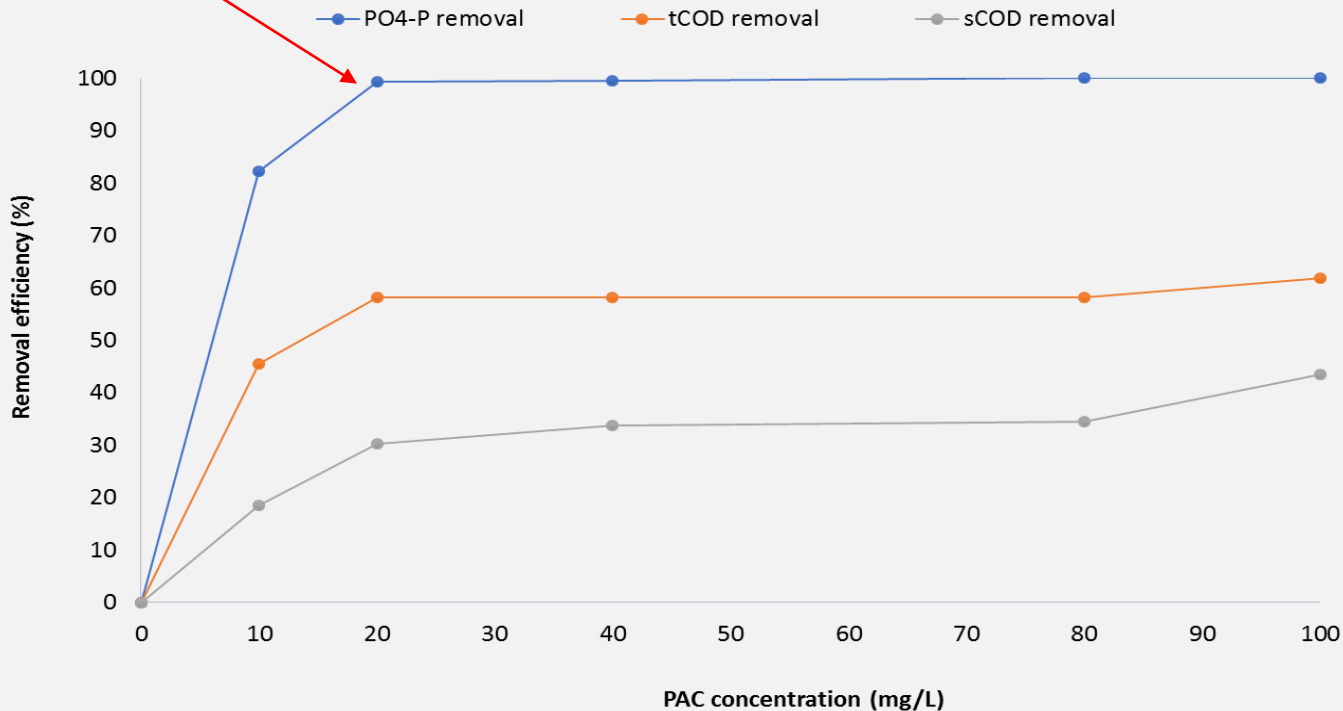
Βιολογικό φίλτρο

# Αποτελέσματα

Χωρίς περαιτέρω  
απομάκρυνση μετά τα 20 mg/L

Χρειάζεται  
φώσφορος για τη  
βιολογική  
επεξεργασία

Επιλέχθηκε η  
δόση των 10 mg/L

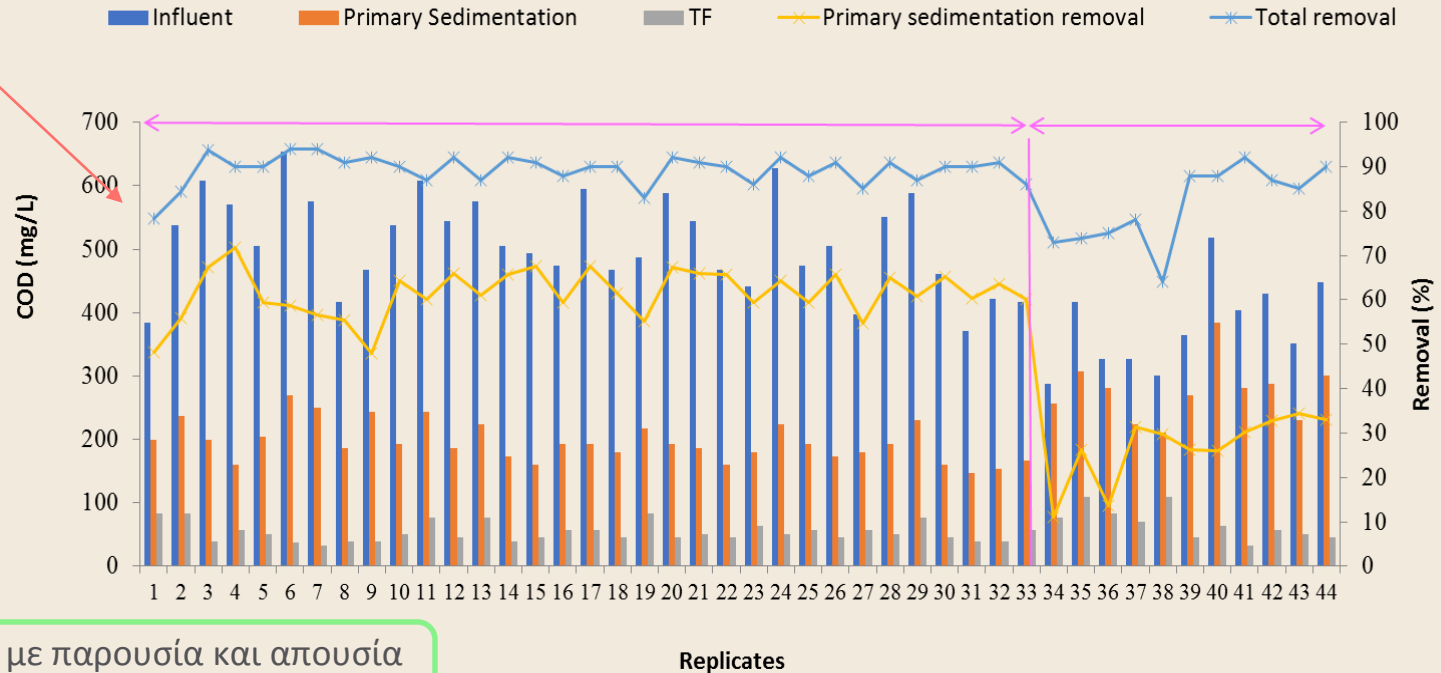




# Αποτελέσματα

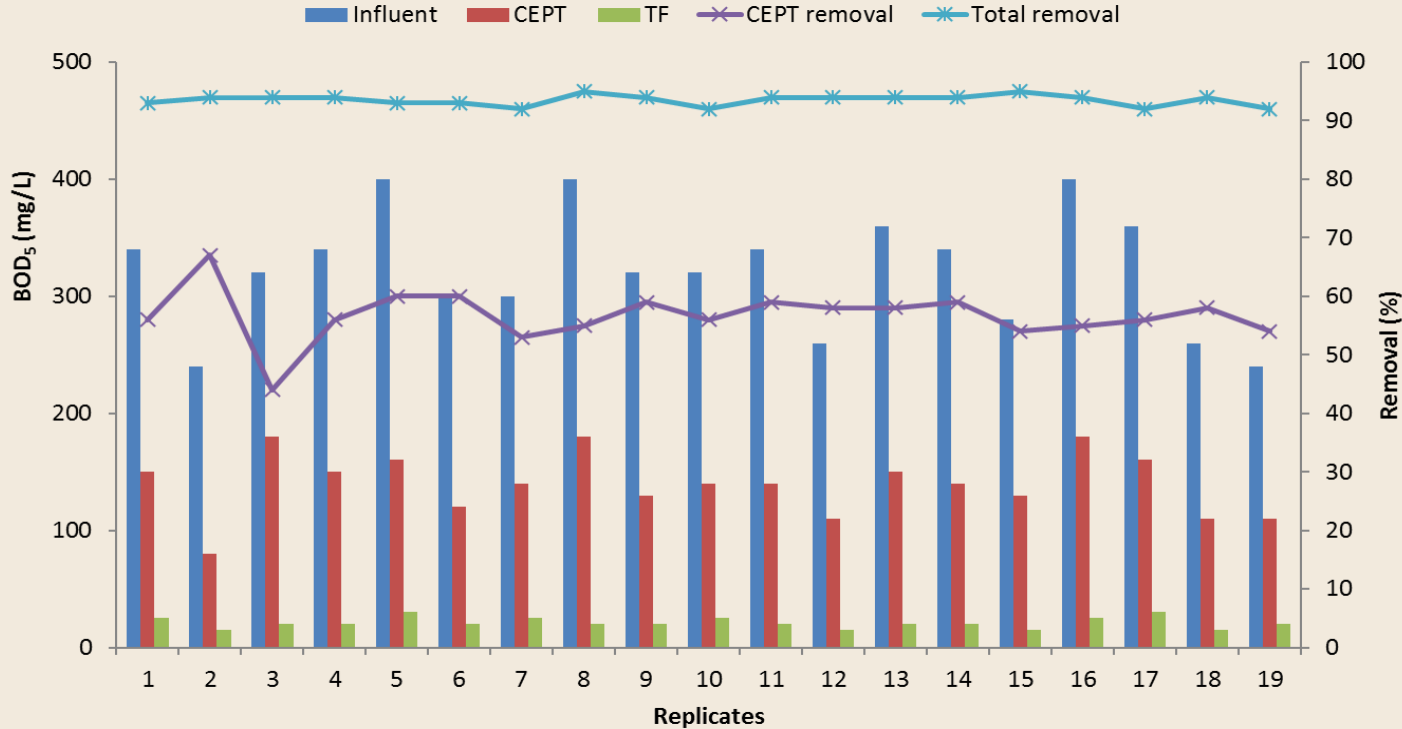
Σημαντική συνεισφορά του βιολογικού φίλτρου στην συνολική απόδοση του συστήματος

Συνολική απόδοση παραμένει υψηλή



Απομάκρυνση COD με παρουσία και απουσία χημικής κατακρήμνισης

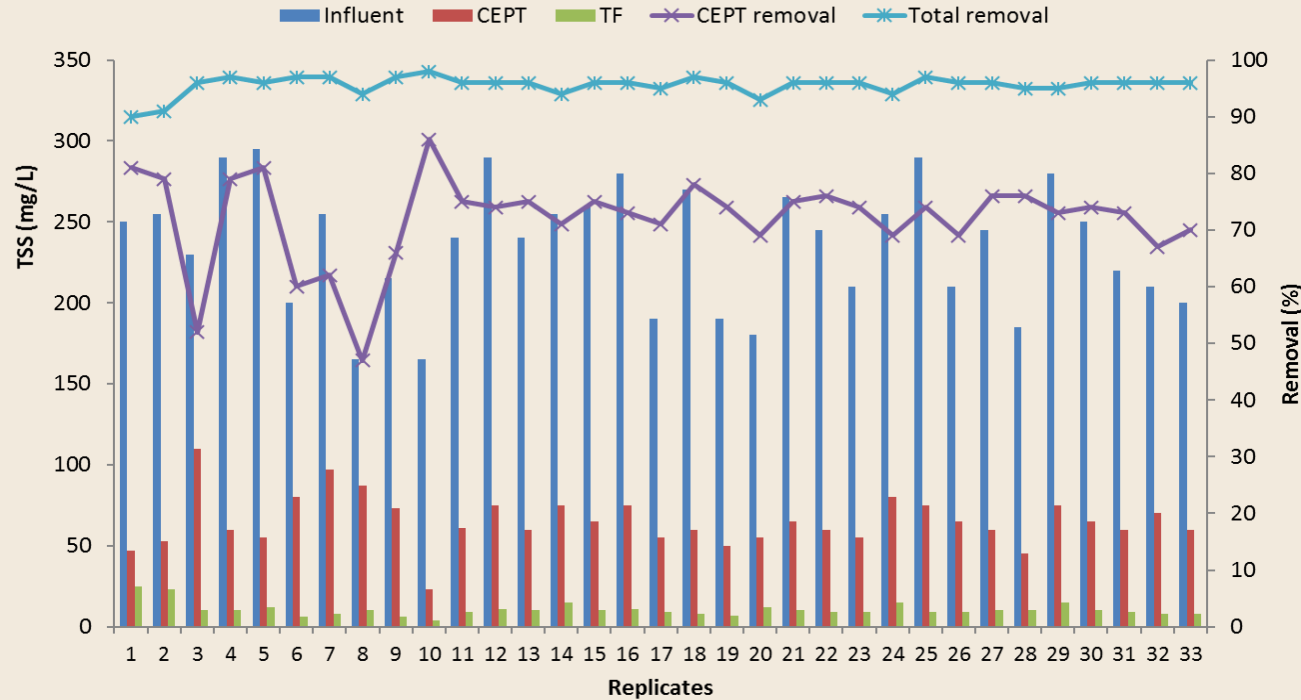
# Αποτελέσματα



Απομακρύνσεις  
BOD μετά από  
CEPT και βιολογικό  
φίλτρο 94%

Απομακρύνσεις  
BOD μετά το CEPT  
55-60%

# Αποτελέσματα

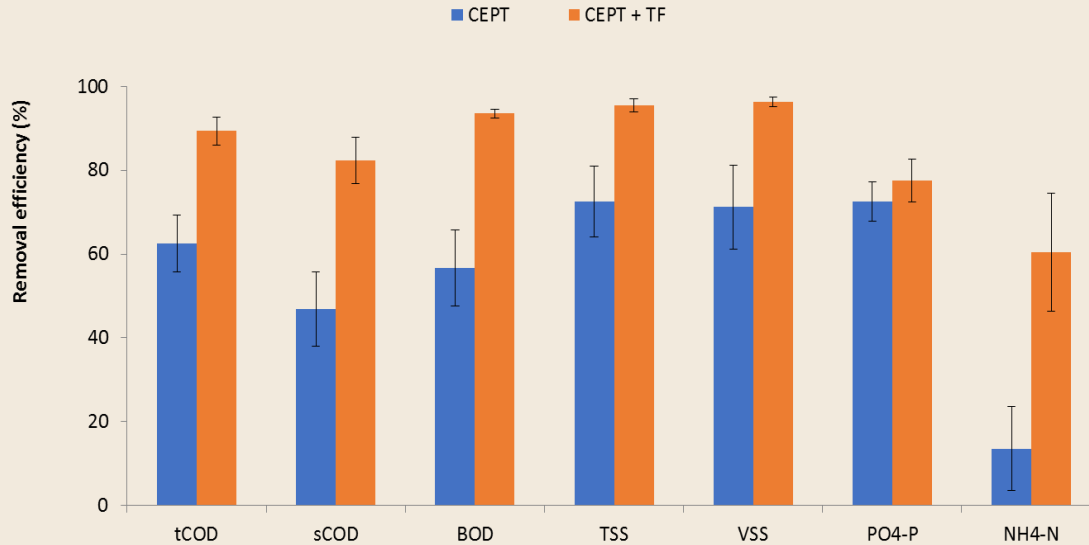


Απομακρύνσεις  
στερεών μετά από  
CEPT και βιολογικό  
φίλτρο 96%

Απομακρύνσεις  
στερεών μετά το  
CEPT 72%

Σημαντική συνεισφορά του  
βιολογικού φίλτρου στην  
κατακράτηση των στερεών

# Αποτελέσματα



Μέση συνολική απομάκρυνση COD: 89%, PO4-P: 78%, NH4-N : 60%

Μέση απομάκρυνση μετά το CEPT COD: 62%, PO4-P: 71%, NH4-N : 14%

Σημαντική συνεισφορά του βιολογικού φίλτρου στην κατακράτηση των στερεών

# Αποτελέσματα



---

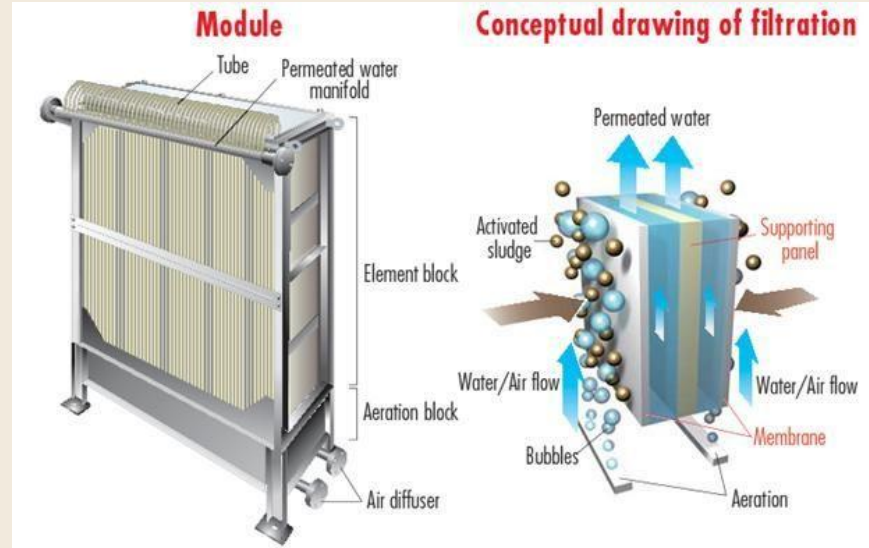


# 03

## Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών

# Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών MBR

- Χρησιμοποιείται μεμβράνη μικροδιήθησης ή υπερδιήθησης, είτε βυθισμένη είτε εξωτερικά τοποθετημένη
- Ο διαχωρισμός της βιομάζας και των σωματιδίων από το επεξεργασμένο νερό λαμβάνει χώρα μέσω της διήθησης με πορώδη μεμβράνη
- Υψηλή απόδοση στην απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και αιωρούμενων στερεών - υψηλής ποιότητας εκροή



# Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών MBR

- Η λειτουργία του MBR γίνεται σε υψηλότερο χρόνο κατακράτησης στερεών (SRT) σε σύγκριση με τη συμβατική ενεργοποιημένη ιλύ και υψηλότερους ρυθμούς φόρτωσης
- Συνεπώς έχει πολύ λιγότερη παραγωγή ιλύος
- Μικρότερη απαιτούμενη επιφάνεια συνολική και πιο συμπαγές σύστημα (περιττή η δεξαμενή καθίζησης ενός συστήματος ενεργού ιλύος)



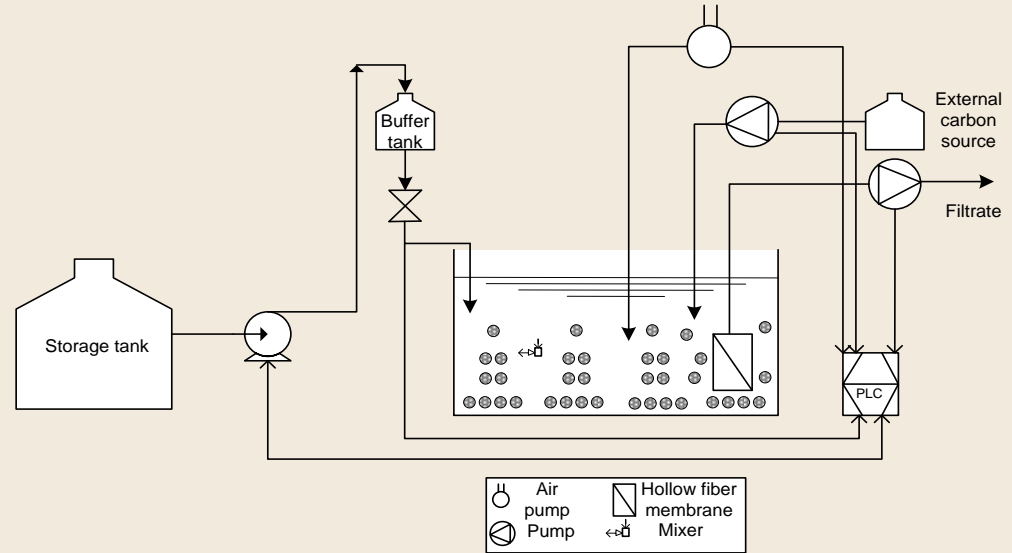


# Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών MBR

- Μειονεκτήματα – το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και η έμφραξη της μεμβράνης
- Η έμφραξη της μεμβράνης είναι υπεύθυνη για την υποβάθμιση της απόδοσης του συστήματος
- Στρατηγικές κατά της έμφραξης: πλύση μεμβράνης με διήθημα, μηχανικός καθαρισμός, χημικός καθαρισμός in situ ή ex situ
- Ο ρυθμός αερισμού σε ένα MBR είναι μεγάλης σημασίας λόγω του διπλού του ρόλου - βιολογικές διεργασίες μέσα στον αντιδραστήρα και καθαρισμός του στρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης
- Ο λόγος COD/TKN είναι εξαιρετικά καθοριστικός για τη λειτουργία MBR – για την ανάπτυξη μικροοργανισμών και υπεύθυνος για την απόδοση αφαίρεσης θρεπτικών ουσιών

# Υλικά και μέθοδοι

- Δεξαμενή αποθήκευσης
- Μembrάνη μικροδιήθησης κοίλων ινών
- Μέγεθος πόρων  $0,1 \mu\text{m}$
- Επιφάνεια  $1,5 \text{ m}^2$
- Ροή αερισμού  $25 \text{ L/min}$  ( $1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$ )
- Προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (PLC) ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος



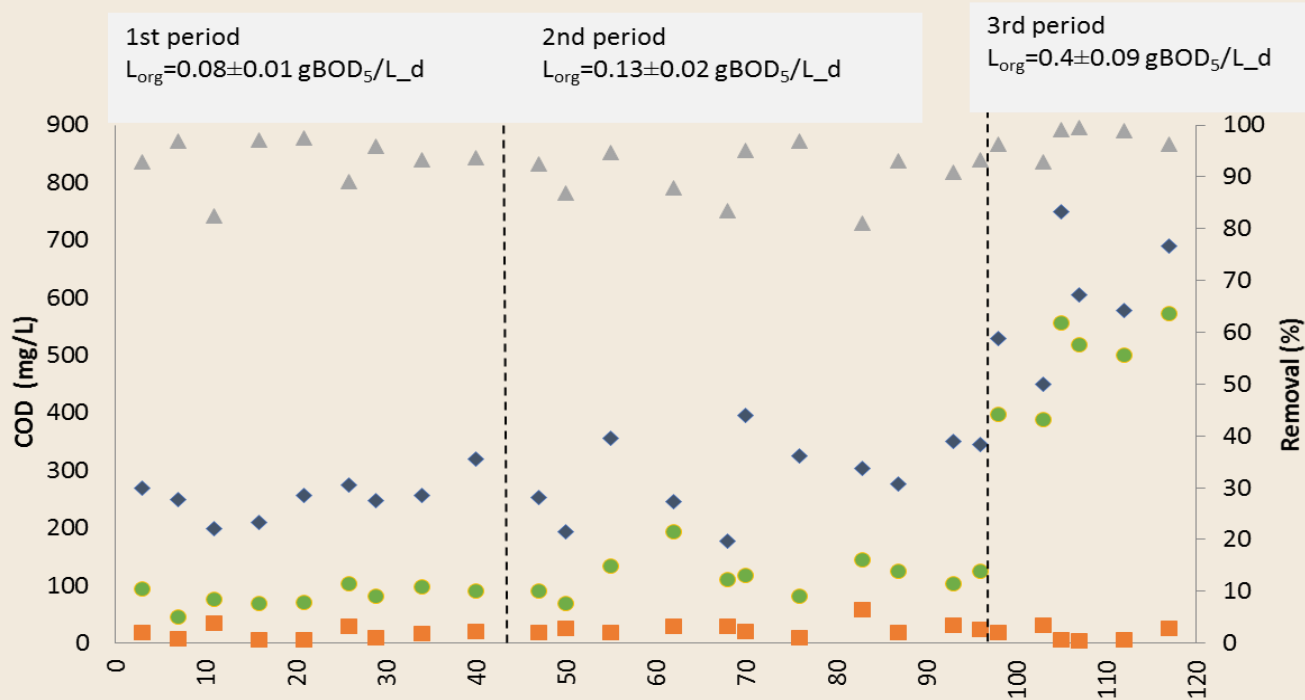
# Υλικά και μέθοδοι

Experimental period	Aerobic phase (min)	Anoxic phase (min)	External carbon source	Q <sub>total</sub> (L/d)
1 <sup>st</sup>	30	30	NO	12
2 <sup>nd</sup>	30	30	Raw wastewater (50ml)	13,2
	40	35	Raw wastewater (50ml)	10,56
	40	35	Raw wastewater (100ml)	11,52
3 <sup>rd</sup>	40	20	Glycerol	12,48



# Αποτελέσματα

◆ CODin    ■ CODeff    ● sCODin    ▲ % Removal

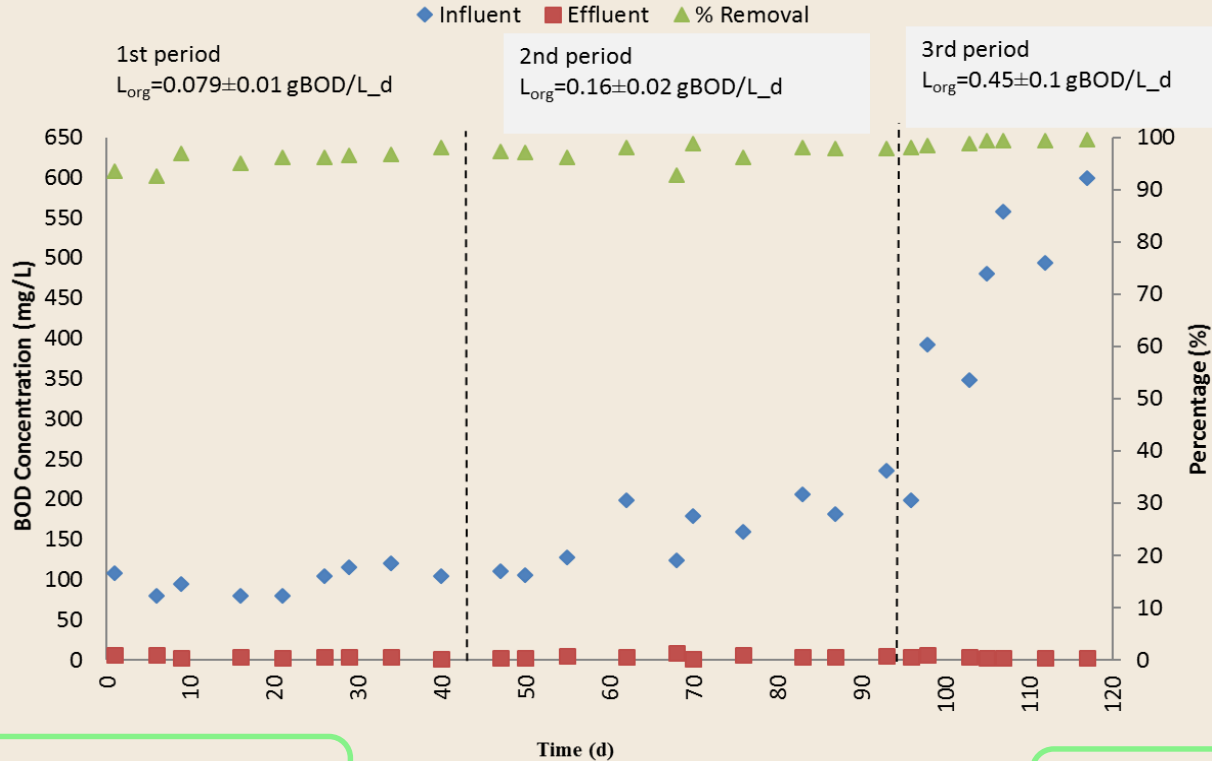


Effluent 16,9 mg/L  
Removal 93 %

Effluent 25,4 mg/L  
Removal 91,8 %

Effluent 13 mg/L  
Removal 97,8 %

# Αποτελέσματα

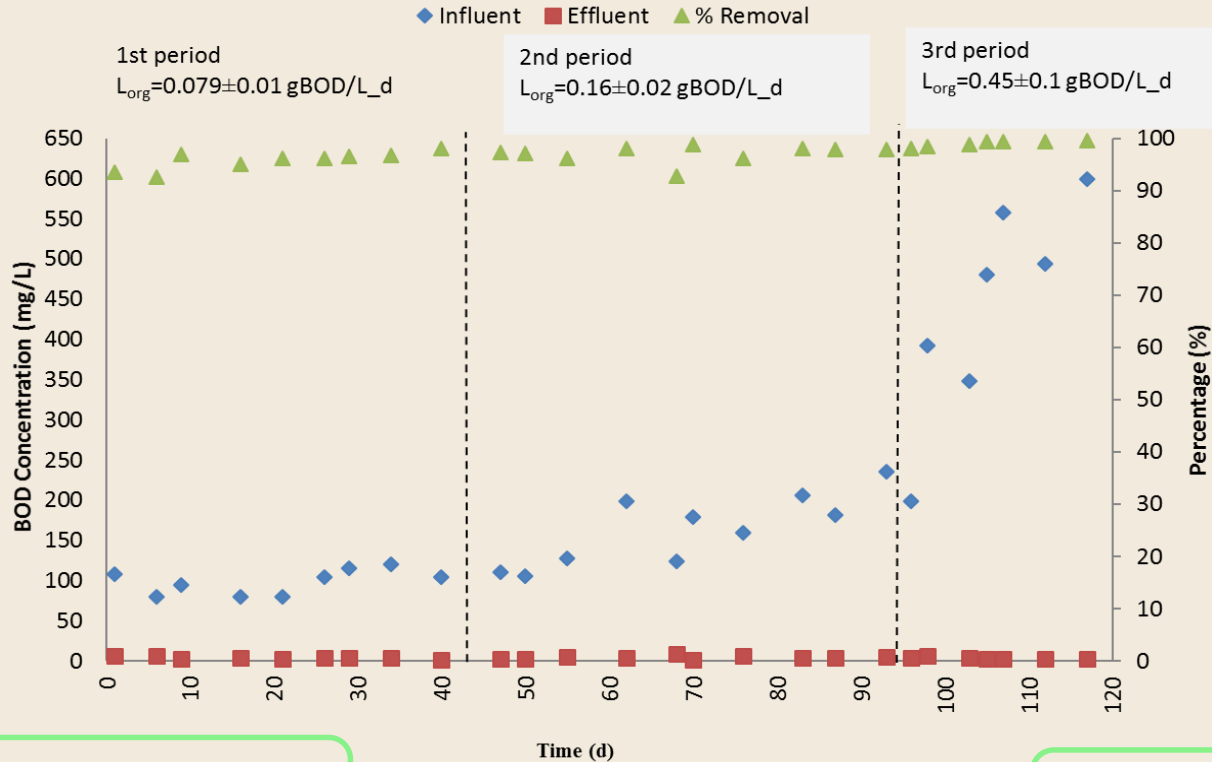


Effluent 4 mg/L  
Removal 96,1 %

Effluent 4 mg/L  
Removal 97 %

Effluent 3 mg/L  
Removal 99,4 %

# Αποτελέσματα



Effluent 4 mg/L  
Removal 96,1 %

Effluent 4 mg/L  
Removal 97 %

Effluent 3 mg/L  
Removal 99,4 %

# Αποτελέσματα

Παράμετρος (mg/L)	1 <sup>η</sup> περίοδος	2 <sup>η</sup> περίοδος	3 <sup>η</sup> περίοδος	Όρια της νομοθεσίας
BOD	4	4	3	25
COD	16	25,4	13	125
TKN	9,6	8,8	7,9	-
NH <sub>4</sub> -N	2,8	2,8	1,7	2
NO <sub>3</sub> -N	47,2	40,7	3,6	-
TN	56,9	49,6	11,7	15
PO <sub>4</sub> -P	2,2	2,3	0,1	2
TSS	0	0	0	35

# Αποτελέσματα





---



04

Αναερόβια χώνευση



# Αναερόβια χώνευση

- Η ημερήσια παραγωγή λυματολάσπης στην ΕΕ άνω των 30.000 τόνων (σε ξηρή μορφή) με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό
- Η αναερόβια χώνευση είναι αποτελεσματική και έχει πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές λύσεις διαχείρισης ιλύος



# Αναερόβια χώνευση

- Βιολογική διαδικασία– αποδόμηση και σταθεροποίηση του οργανικού περιεχομένου των αποβλήτων από μικροοργανισμούς υπό αναερόβιες συνθήκες, που οδηγεί στο σχηματισμό βιοαερίου



- Τα κύρια συστατικά του βιοαερίου είναι το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και τα υπόλοιπα συστατικά είναι οι υδρατμοί ( $\text{H}_2\text{O}$ ), το υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ), το θείο ( $\text{S}_2$ ) και η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ).

# Αναερόβια χώνευση



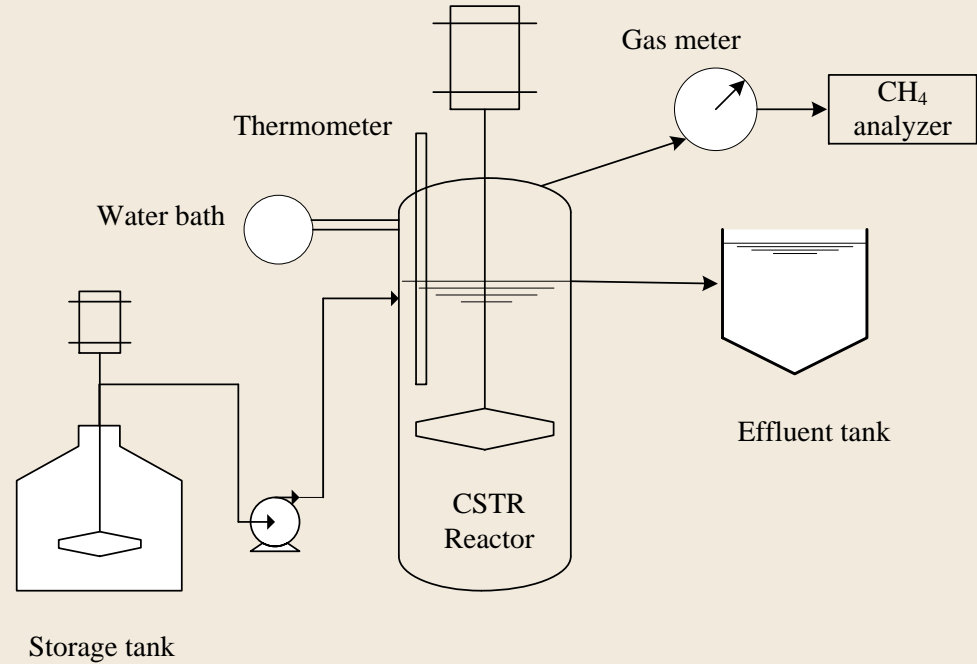
- Πολλαπλές θετικές συνεισφορές:
  - ❖ η επεξεργασία και η εξουδετέρωση της ιλύος
  - ❖ η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας (βιοαέριο)
  - ❖ η παραγωγή οργανικού λιπάσματος
  - ❖ βοηθά στη μείωση των οσμών, των παθογόνων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- Μειονέκτημα
  - ❖ Χαμηλοί ρυθμοί αντίδρασης - απαιτούνται μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενής – υψηλό το κόστος εγκατάστασης

# Αναερόβια χώνευση

- Βασική παράμετρος είναι η θερμοκρασία:
  - μεσόφιλες θερμοκρασίες (30°C-40°C)
  - θερμόφιλες θερμοκρασίες (50°C-60°C)
  - ψυχρόφιλη χώνευση (<20°C)
- Ένας άλλος βασικός παράγοντας είναι η τιμή του pH - η βέλτιστη τιμή γύρω από το ουδέτερο pH 6,8-7,2
- Χρησιμοποιείται ευρέως σε παγκόσμια κλίμακα για την επεξεργασία αστικών, βιομηχανικών, γεωργικών αποβλήτων και όλων των τύπων αποβλήτων που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση οργανικού άνθρακα

# Υλικά και μέθοδοι

- Αντιδραστήρας CSTR 52L
- Μεσοφιλικές συνθήκες (35°C)
- Θερμοστατικά ελεγχόμενο με υδατόλουτρο
- Μετρητής αερίου – καθημερινή καταγραφή παραγωγής βιοαερίου
- Αναλυτής μεθανίου

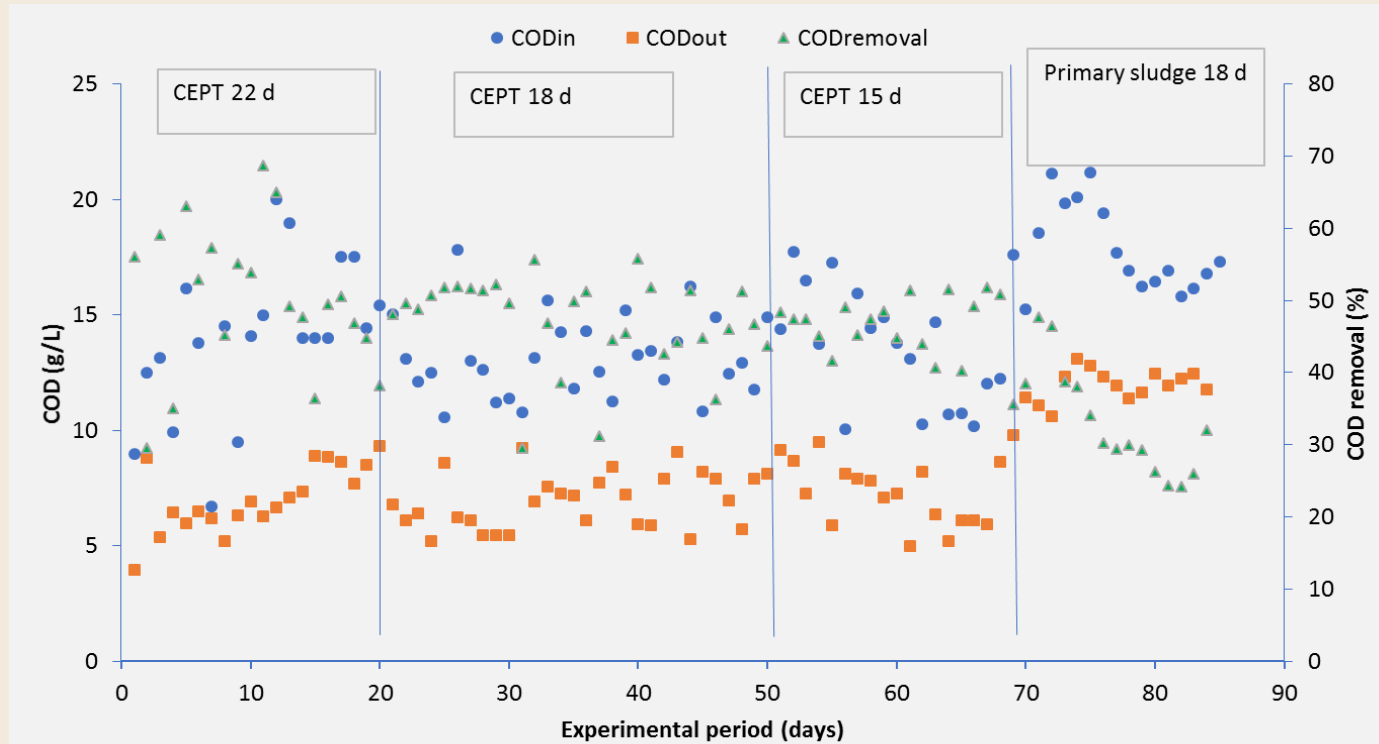


# Υλικά και μέθοδοι

- Υδραυλικοί χρόνοι παραμονής
  - ❖ 22 μέρες
  - ❖ 18 μέρες
  - ❖ 15 μέρες
- Λειτουργία και με πρωτοβάθμια ιλύ



# Αποτελέσματα



Απομάκρυνση 51,4%

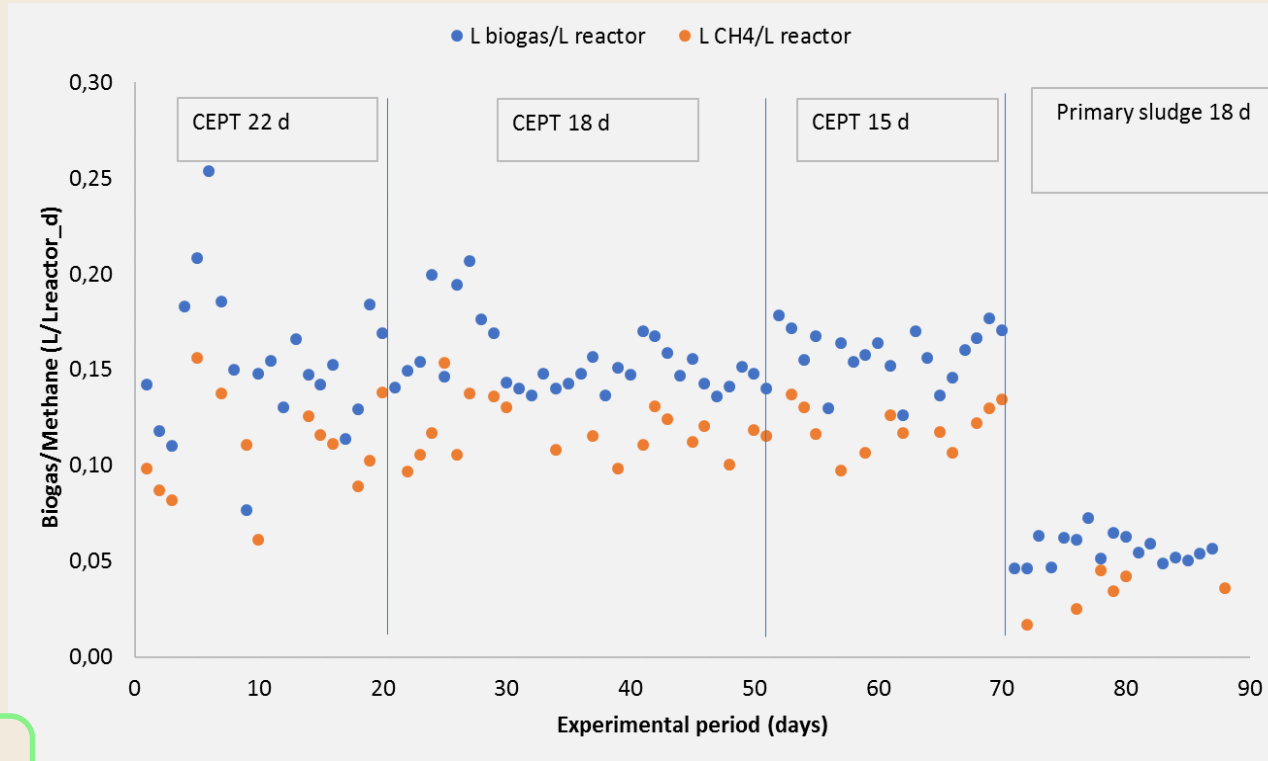
Απομάκρυνση  
46,9%

Απομάκρυνση  
46,2%

Απομάκρυνση 33%



# Αποτελέσματα



Ποσοστό  
μεθανίου στο  
βιοαέριο

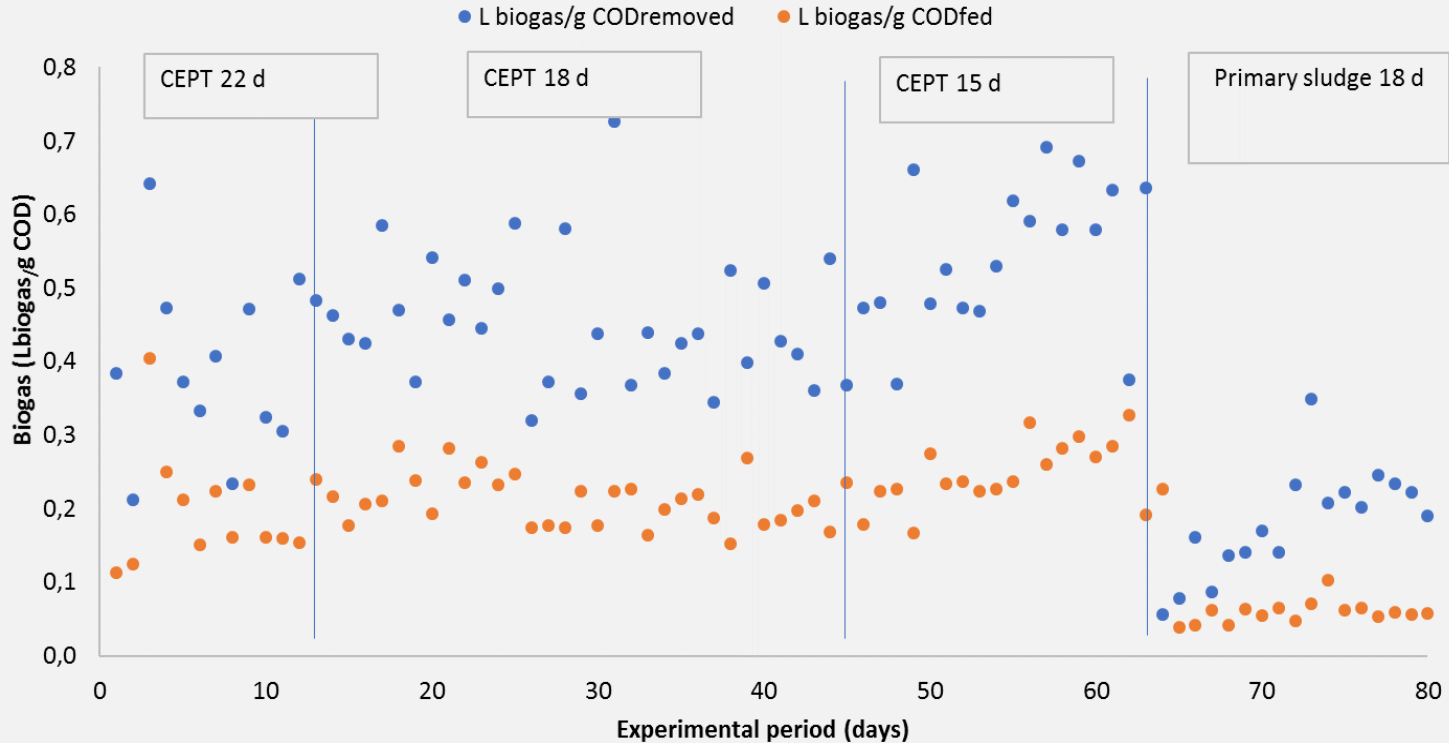
76% μεθάνιο

75% μεθάνιο

76% μεθάνιο

56% μεθάνιο

# Αποτελέσματα



0.20 Lbg/gCODfed  
0.38 Lbg/gCODrem

0.21 Lbg/gCODfed  
0.46 Lbg/gCODrem

0.25 Lbg/gCODfed  
0.54 Lbg/gCODrem

0.06 Lbg/gCODfed  
0.07 Lbg/gCODrem

---



05

Οικονομική αποτίμηση



# Οικονομική αποτίμηση

- Αποτύπωμα άνθρακα: η συνολική ποσότητα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή και παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες
- Άμεσες παραγόμενες εκπομπές αερίου προέρχεται από βιολογικές διεργασίες - έμμεσες εκπομπές λόγω κατανάλωσης ενέργειας
- Οι άμεσες εκπομπές παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνεισφορά στο αποτύπωμα άνθρακα μιας ΜΕΥΑ, και ιδιαίτερα οι εκπομπές οξειδίου του αζώτου ( $N_2O$ )



# Οικονομική αποτίμηση



- Υπάρχουν περιορισμένες επιτόπιες μετρήσεις οξειδίου του αζώτου και οι έρευνες χρησιμοποιούν μεθόδους εκτίμησης που βασίζεται σε συντελεστές εκπομπών από βιβλιογραφία ή μοντέλα
- Αυτά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα
- Μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων - κύριο αντικείμενο η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας

# Οικονομική αποτίμηση

- Έγινε μια μελέτη περίπτωσης - ΜΕΥΑ για μια πόλη 50.000 κατοίκων
- Σύστημα ενεργού ιλύος (AS) – CEPT + αναερόβια επεξεργασία CSTR
- Για ισοδύναμο πληθυσμού 50.000 – υποθέτοντας 200 L λυμάτων ανά άτομο και ημέρα – ροή λυμάτων 10000 m<sup>3</sup>/ημέρα
- ζήτηση οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού  $L_{st} = 5656,1 \text{ kg O}_2/\text{d}$
- Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας αεριστήρων 3142 kWh – 0,31 kWh/m<sup>3</sup>

# Οικονομική αποτίμηση

- Πτητικά στερεά λάσπης CEPT 0,2 g/L - Απόδοση βιοαερίου 0,4 L/gVSS - 80L βιοαερίου / m<sup>3</sup> λυμάτων
- Κέρδος ενέργειας σε μονάδα συμπαραγωγής – 0,06 kWh/m<sup>3</sup>

	AS system	CEPT + CSTR	Reference
Energy consumption for aeration	0.31 kWh/m <sup>3</sup>	0	Current study
Energy consumption in CEPT process	0	0.01 kWh/m <sup>3</sup>	Taboada-Santos et al. (2019)
Energy recovery	0	0.06 kWh/m <sup>3</sup>	Current study
Total energy requirement	+ 0.31 kWh/m <sup>3</sup>	- 0.05 kWh/m <sup>3</sup>	

- Οικονομικό κέρδος: 0,042 €/m<sup>3</sup> - ετήσιο κέρδος: 155.052 €/έτος
- Ετήσιο ενεργειακό κέρδος: 1.314.000 kWh/έτος

---



06

Συμπεράσματα





# Συμπεράσματα

- ❑ Μονάδα χημικής κατακρήμνισης – βιολογικού φίλτρου
- Υψηλές συνολικές αποδόσεις αφαίρεσης tCOD, BOD5 και TSS 89%, 94% και 96% αντίστοιχα
- Το βιολογικό φίλτρο συνέβαλε σημαντικά στην απομάκρυνση των ρύπων
- Η πλούσια σε άζωτο εκροή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιορισμένη άρδευση

# Συμπεράσματα

- ❑ Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών
- Εξαιρετική αφαίρεση οργανικού άνθρακα με απόδοση  $BOD_5$  και COD 99% και 97% αντίστοιχα
- Ανεπαρκής απονιτροποίηση με αναλογία COD/TKN 3.7
- Η προσθήκη ανεπεξέργαστου λύματος αύξησε την αναλογία COD/TKN σε 4,4, ωστόσο η διαδικασία απονιτροποίησης ήταν και πάλι ανεπαρκής

# Συμπεράσματα

- ❑ Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών
- Η προσθήκη γλυκερόλης αύξησε την αναλογία COD/TKN σε 8,9, με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση της απονιτροποίησης
- Τα χαρακτηριστικά της εκροής συμμορφώνονται με τα όρια απόρριψης της νομοθεσίας για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση λυμάτων (ΚΥΑ) 145116/2011

# Συμπεράσματα

- ❑ Αναερόβια χώνευση
- Υψηλότερη παραγωγή ενέργειας με ιλύ από την χημική κατακρήμνιση σε σχέση με την πρωτογενή ιλύ
- Η χαμηλή δόση χημικού που εφαρμόστηκε στην κροκίδωση δεν είχε αρνητικό αποτέλεσμα στην παραγωγή βιοαερίου
- ❑ Μελέτη περίπτωσης για ΜΕΥΑ 50.000 ισοδύναμου πληθυσμού
- Η εξοικονόμηση ενέργειας από τη λειτουργία της κροκίδωσης και το κέρδος από την αναερόβια χώνευση της ιλύος υπολογίστηκε περίπου σε 1.314.000 kWh/έτος
- Το ετήσιο οικονομικό κέρδος λαμβάνοντας υπόψη την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ-27 είναι 155.052 €

# Καινοτομία

- ❑ Αυτή είναι η πρώτη διατριβή για χημικά ενισχυμένη πρωτοβάθμια επεξεργασία ακολουθούμενη από βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) που επεξεργάζεται αστικά λύματα υπό μεσογειακές κλιματικές συνθήκες
- ❑ Αυτή η βιώσιμη προσέγγιση επεξεργασίας μπορεί να οδηγήσει σε χαρακτηριστικά λυμάτων που συμμορφώνονται με τα όρια απόρριψης που θεσπίζονται από την Ελληνική Νομοθεσία για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση λυμάτων
- ❑ Το ετήσιο ενεργειακό και οικονομικό κέρδος υπολογίστηκε για πρώτη φορά στην προτεινόμενη μονάδα με αναερόβια χώνευση της ιλύος, σε σύγκριση με μια συμβατική μέθοδο επεξεργασίας

# Μελλοντική έρευνα

- ❑ Συγχώνευση ιλύος από χημική κατακρήμνιση με υπολείμματα τροφίμων, αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, απόβλητα σφαγείων για βελτίωση της παραγωγής ενέργειας
- ❑ Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων (ΜΕΥΑ) με χρήση κατάλληλου λογισμικού

---



Ευχαριστώ για την προσοχή σας

