

ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ: ΝΕΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Σωτήρης Ι. Πάτσιος, Αναστάσιος Ι. Καράμπελας

Εργαστήριο Φυσικών Πόρων & Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΕΦΕΜ)

Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ)

Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)

6ο χλμ. Χαριλάου - Θέρμης, 570 01, Θέρμη, Θεσσαλονίκη

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



Δομή Παρουσίασης

Εισαγωγή

- ❖ Τεχνολογία Βιοαντιδραστήρων Μεμβρανών
- ❖ Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Ρύπανση Μεμβρανών

- ❖ Μηχανισμοί ρύπανσης
- ❖ Η σημασία της βιολογίας
- ❖ Μέθοδοι αντιμετώπισης

Νέες Ερευνητικές Κατευθύνσεις

- ❖ Πρόσφατες ερευνητικές εξελίξεις
- ❖ Ρεολογικές μετρήσεις
- ❖ Μετα-γονιδιωματική ανάλυση

Νέες Εφαρμογές

- ❖ Επιβαρυμένα απόβλητα
- ❖ Παραγωγικοί Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών

Τεχνολογικές Κατευθύνσεις

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



Εισαγωγή

ΕΚΕΤΑ

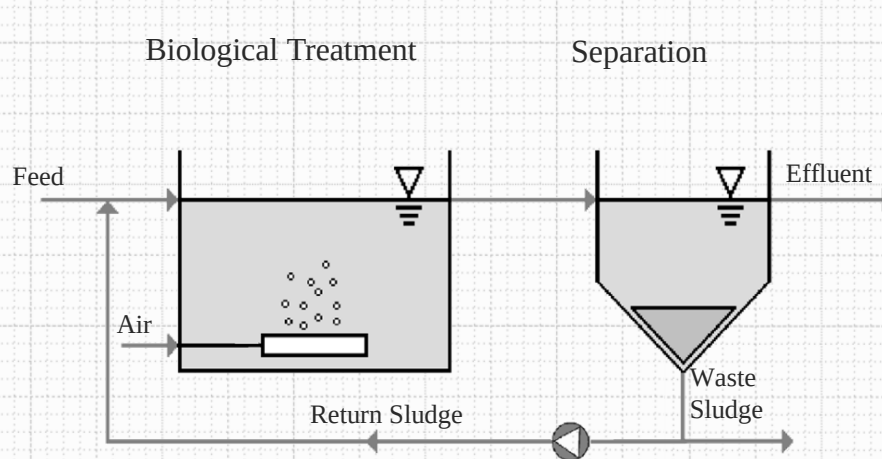
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

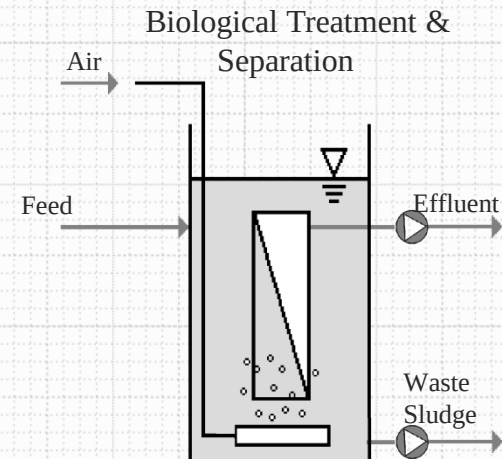


Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών

- Οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR) αποτελούν εξέλιξη της συμβατικής τεχνολογίας ενεργού ιλύος (CASP) για την επεξεργασία λυμάτων
- Ενοποιούν την τεχνολογία της ενεργού ιλύος με τη φυσική διεργασία της διήθησης διαμέσου μεμβρανών
- Χρήση μεμβρανών Μικροδιήθησης (MF) ή Υπερδιήθησης (UF) για διαχωρισμό της αιωρούμενης ενεργού ιλύος και απόληψη καθαρού απορρεύματος



Conventional Activated Sludge Process (CASP)



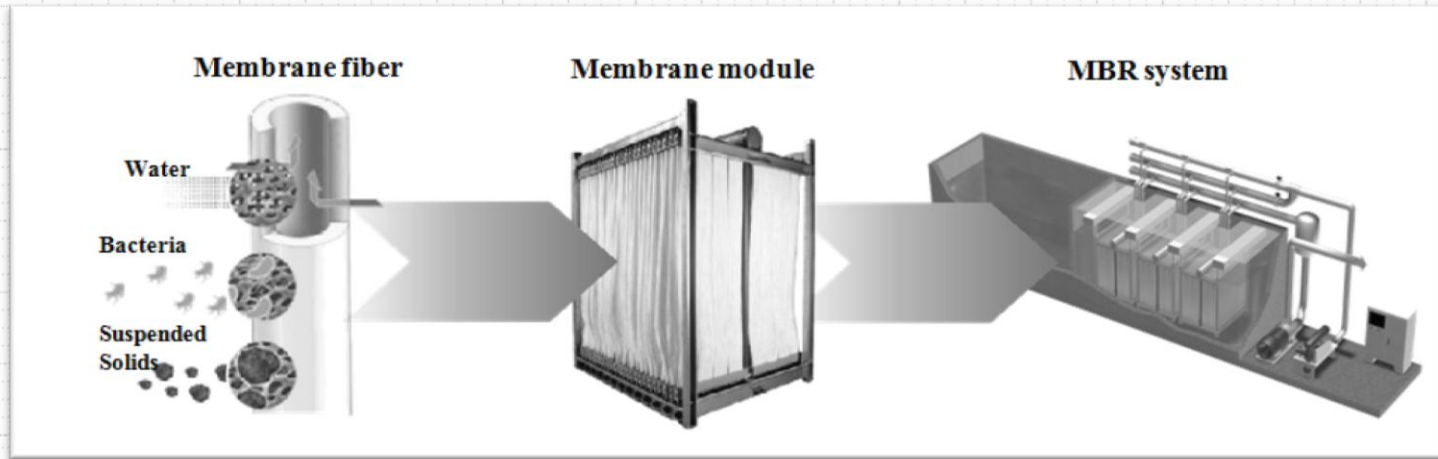
Membrane Bioreactor (MBR)

Ιστορική Εξέλιξη

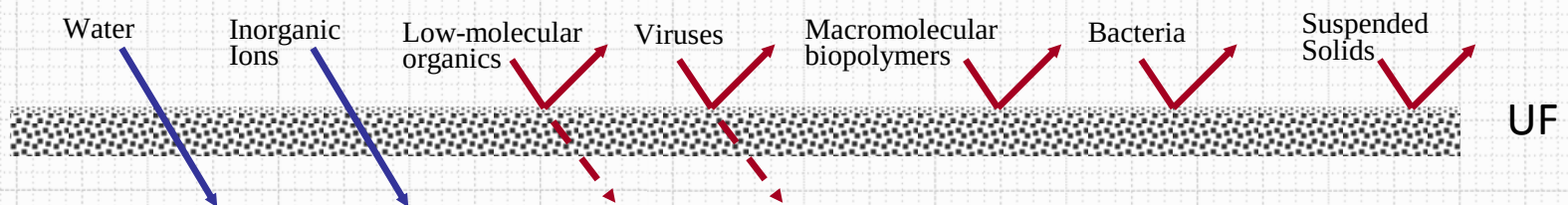
- 1969: Πρώτη περιγραφή τεχνολογίας (Smith et al., 1969)
- 1971: Πρώτη εμπορική εφαρμογή από την εταιρία Dorr-Oliver
- 70' - 80's: Ανάπτυξη πειραματικών και πιλοτικών διατάξεων, περιορισμένη εμπορική επιτυχία
- 90's: Ραγδαία αύξηση του αριθμού των βιοαντιδραστήρων μεμβρανών
- 00's: Καθιέρωση τεχνολογίας σε Ευρώπη και Αμερική (Zenon, Kubota, Mitsubishi Rayon, Millenniumpore, Koch Puron, Membralox, Toray)
- 10's: Διαρκής αύξηση δυναμικότητας και επέκταση τεχνολογίας σε αναπτυσσόμενες χώρες (Άπω και Μέση Ανατολή, κ.α.)



Περιγραφή Τεχνολογίας



- › Ήπια διαφορά Πίεσης ($< 0,5$ bar) με χρήση αντλίας για απόληψη του επεξεργασμένου νερού
- › Συγκράτηση αιωρούμενων σωματιδίων και βακτηρίων λόγω μεγέθους πόρων
- › Παροχή φυσαλίδων αέρα στην επιφάνεια των μεμβρανών για την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων
- › Περιοδική παύση της διήθησης ή/και αντιστροφή της ροής απομάκρυνση της στοιβάδας ρύπανσης



Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

- + Πλήρης συγκράτηση αιωρούμενων στερεών ανεξάρτητα από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους
- + Απολύμανση του διηθήματος λόγω της υψηλής συγκράτησης βακτηρίων και ιών
- + Υψηλότερες συγκεντρώσεις ενεργού ιλύος και σταθερότερη βιο-διεργασία
- + Δυνατότητα για υψηλότερες οργανικές φορτίσεις που συνεπάγεται μικρότερους αντιδραστήρες
- + Κατάργηση δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης και αμμό-φίλτρων
- + Υψηλή λειτουργική αξιοπιστία
- + Σταθερά υψηλή ποιότητα εκροής

- Ρύπανση των μεμβρανών και ανάγκη για αντικατάσταση στο τέλος του κύκλου ζωής
- Ανάγκη για υψηλής ποιότητας προ-επεξεργασία των λυμάτων για ανάσχεση της ρύπανσης
- Υψηλότερο λειτουργικό κόστος λόγω ενέργειας για τον περιορισμό της ρύπανσης



ELSEVIER

Desalination 113 (1997) 215–225

DESALINATION

Biofouling — the Achilles heel of membrane processes

H.-C. Flemming^{a,b*}, G. Schaule^b, T. Griebe^a, J. Schmitt^a, A. Tamachkiarowa^a

^aDepartment of Aquatic Microbiology, University of Duisburg, Geibelstr. 41, D-47057 Duisburg, Germany
Tel. (0208) 40303-400 ; Fax (0208) 40303-84; E-mail: 100606.3337@compuserve.com

^bInstitute for Water Chemistry and Water Technology, Department of Microbiology,
Moritzstr. 26, D-45476 Mülheim, Germany

Received 4 August 1997; accepted 11 August 1997

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

Ρύπανση Μεμβρανών

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



Ρύπανση Μεμβρανών

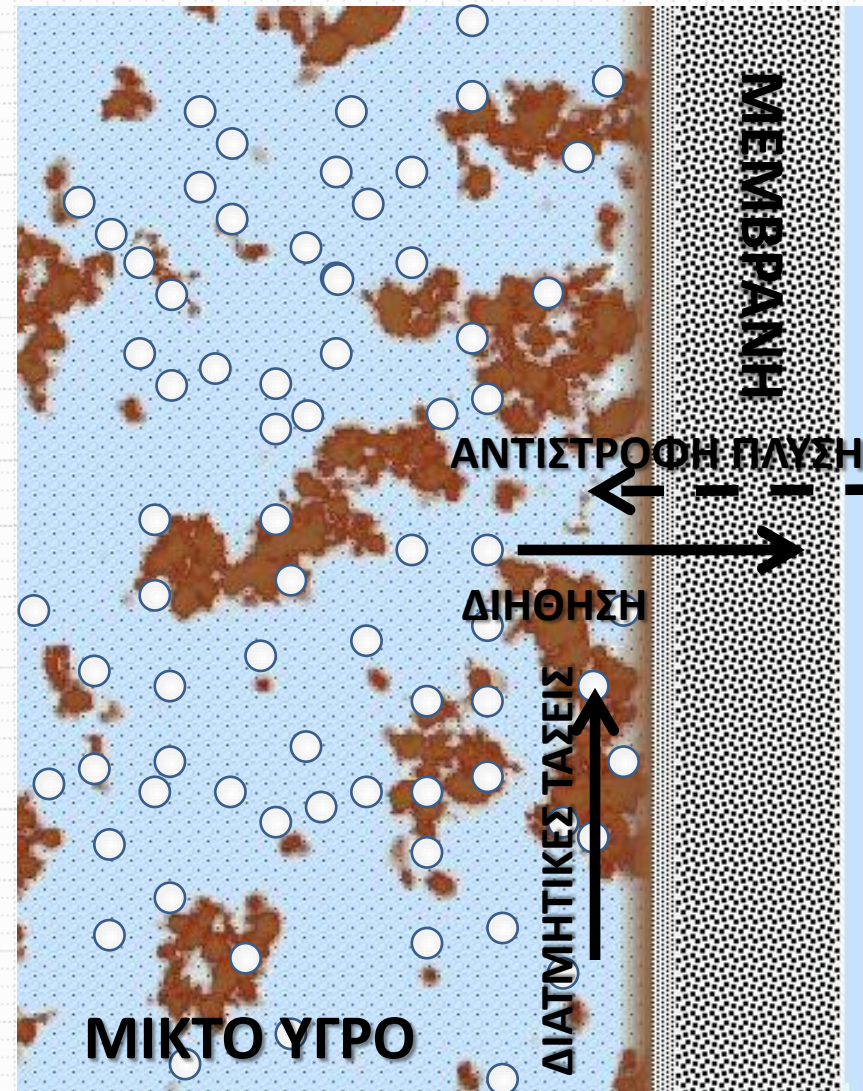
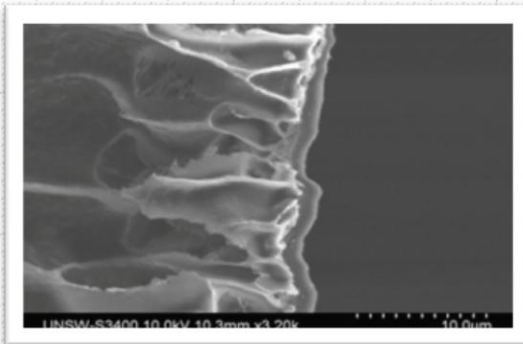
- › Ορισμός: Η μείωση της ικανότητας διήθησης των μεμβρανών (διαπερατότητα) λόγω της δημιουργίας στοιβάδων επικαθίσεων μέσα στους πόρους και πάνω στην επιφάνεια των μεμβρανών.
- › Αιτία: Οι αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ της μεμβράνης και συστατικών του μικτού υγρού.
- › Αποτέλεσμα: Αύξηση της δια-μεμβρανική πίεσης (TMP) ή/και ελάττωση της παροχής διηθήματος.



Μακροσκοπικές εκφάνσεις του φαινομένου της ρύπανσης σε μεμβράνες κοίλων ινών (1^η & 3^η) και επίπεδων φύλλων (2^η)

Μηχανισμοί Ρύπανσης Μεμβρανών

- › Πολύπλοκες διεργασίες και αλληλεπιδράσεις χωρικά και χρονικά μεταβαλλόμενες.
- › Καθοριστική σημασία των χαρακτηριστικών του μικτού υγρού.
- › Αδυναμία περιγραφής του φαινομένου με τους κλασσικούς μηχανισμούς (cake layer, pore blockage, pore constriction).
- › Δημιουργία μιας στοιβάδας ρύπανσης κυρίως στην επιφάνεια της μεμβράνης.



ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

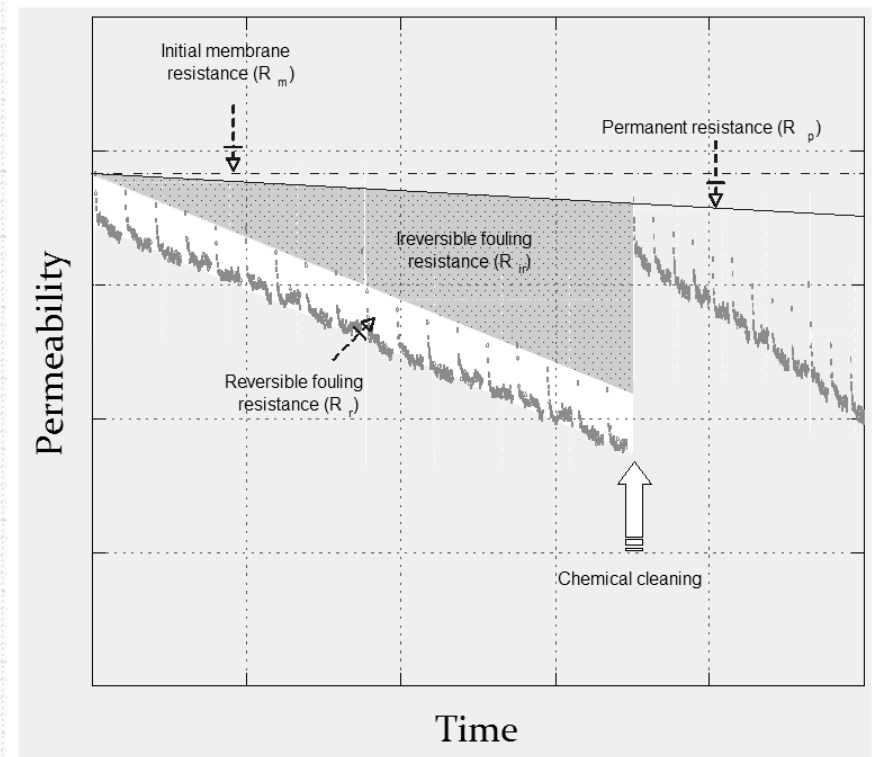
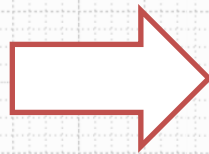
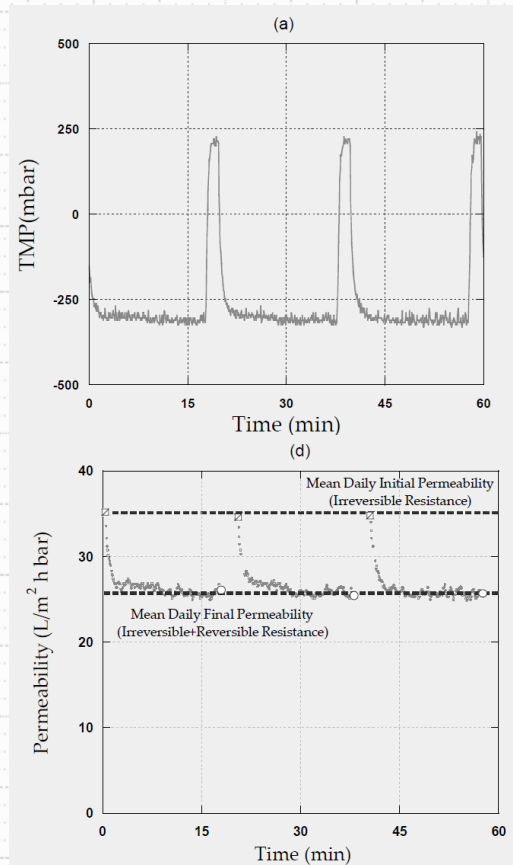
Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών

2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



Μηχανισμοί Ρύπανσης Μεμβρανών

- Κατηγοριοποίηση των μηχανισμών ρύπανσης με βάση τις μεθόδους απομάκρυνσης της στοιβάδας ρύπανσης: αντιστρεπτή (reversible), αναντίστρεπτη (irreversible) και μόνιμη (permanent).
- Σημαντική η καταγραφή της Διαμεμβρανικής Πίεσης (TMP).



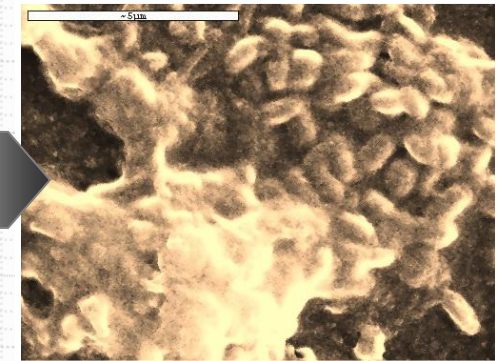
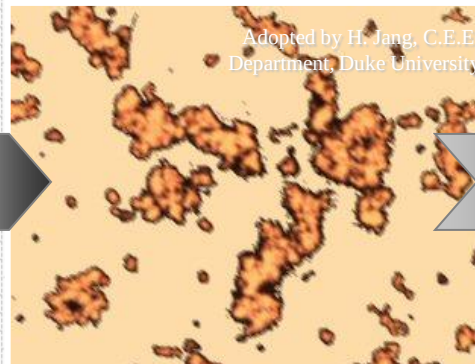
ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

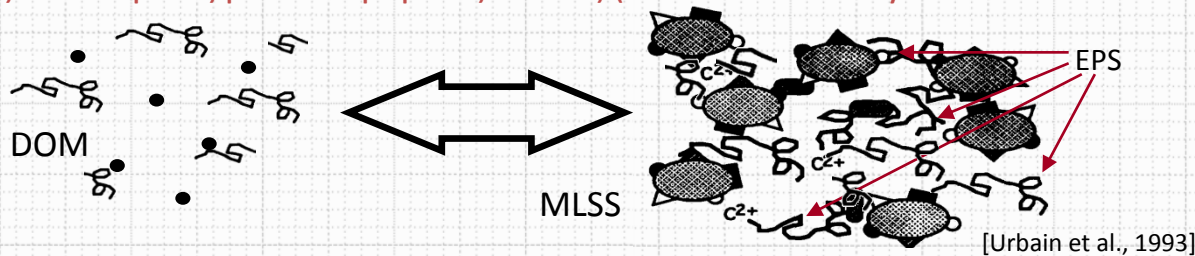
Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών

2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

Ο ρόλος του μικτού υγρού



- › Βιολογικά ενεργό υγρό αποτελούμενο από δύο 'φάσεις'
- › Υγρή 'φάση': Υπερκείμενο του μικτού υγρού που περιέχει κολλοειδείς και διαλυτές οργανικές ενώσεις (Dissolved Organic Matter - DOM) προερχόμενες από την τροφοδοσία και κυρίως ως αποτέλεσμα των μικροβιακών δράσεων (Soluble Microbial Products – SMP)
- › Στερεά 'φάση': Αιωρούμενα στερεά βιοσυσσωματώματα αποτελούμενα από βακτήρια και εξωκυτταρικές βιοπολυμερικές ουσίες (Extracellular Polymeric Substances – EPS)



ΕΚΕΤΑ

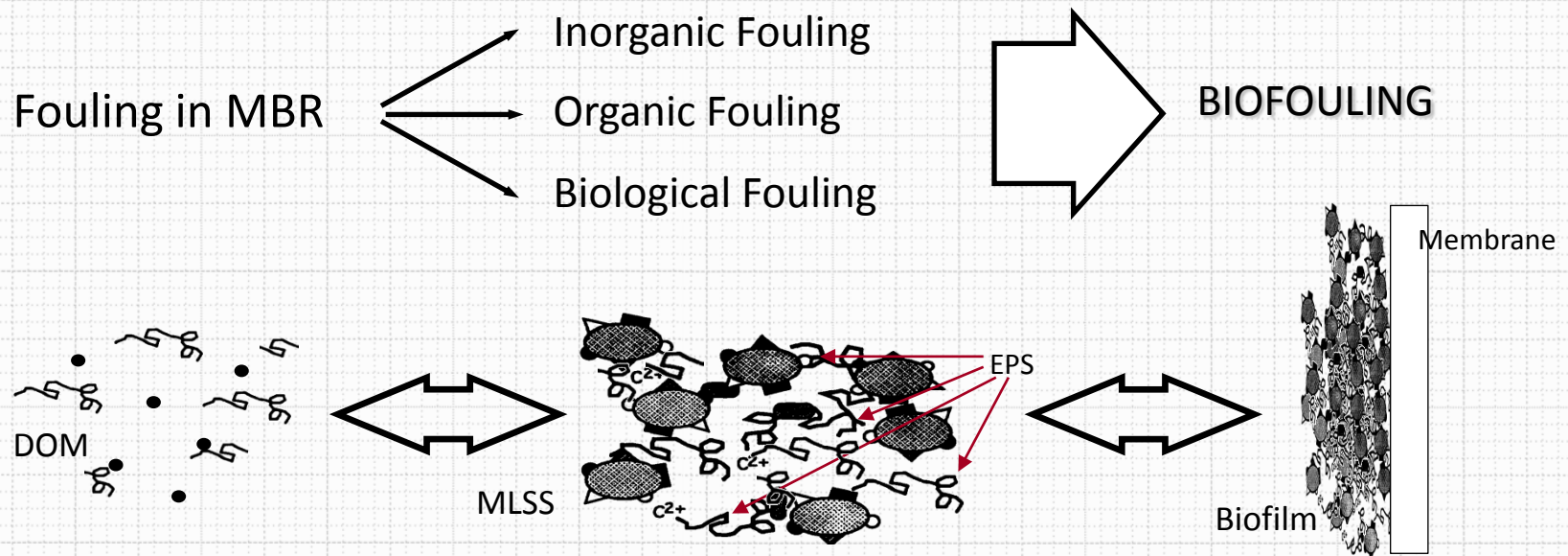
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών

2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

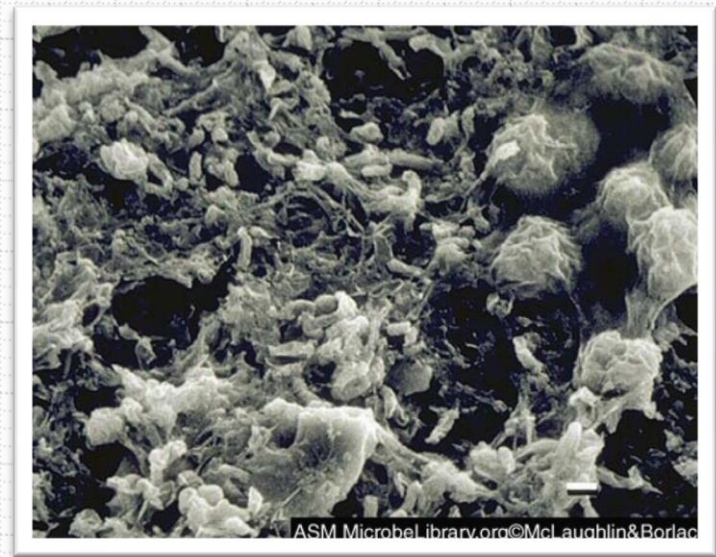
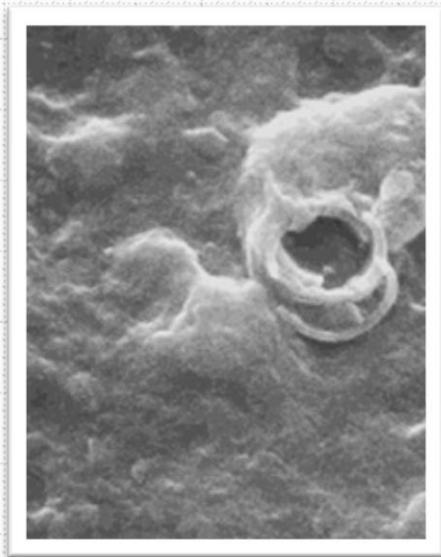
Σημασία των βιολογικών δράσεων

- › Οι μεμβράνες είναι σε απ' ευθείας επαφή με το μικτό υγρό το οποίο είναι βιολογικά ενεργό.
- › Αμέτρητα είδη ζωντανών μικροοργανισμών αλληλεπιδρούν σχηματίζοντας μια δυναμική βιολογική κοινότητα (βιο-κοινότητα).
- › Η παρουσία των μικροοργανισμών συνεχώς επιδρά πάνω και επηρεάζει τη στοιβάδα ρύπανσης των μεμβρανών (βιο-ρύπανση) που είναι ουσιαστικά ένα δυναμικό βιοφίλμ.



Τα “κακά” νέα...

- › Τα βιοφίλμ είναι μια από τις πιο επιτυχημένες μορφές ζωής στον πλανήτη.
- › Βρίσκονται παντού...
- › Οι συνεργατικές δράσεις καθώς και στενή γειτνίαση μεταξύ των μικροοργανισμών τους δίνει συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με τους ελεύθερους μικροοργανισμούς.



ΕΚΕΤΑ

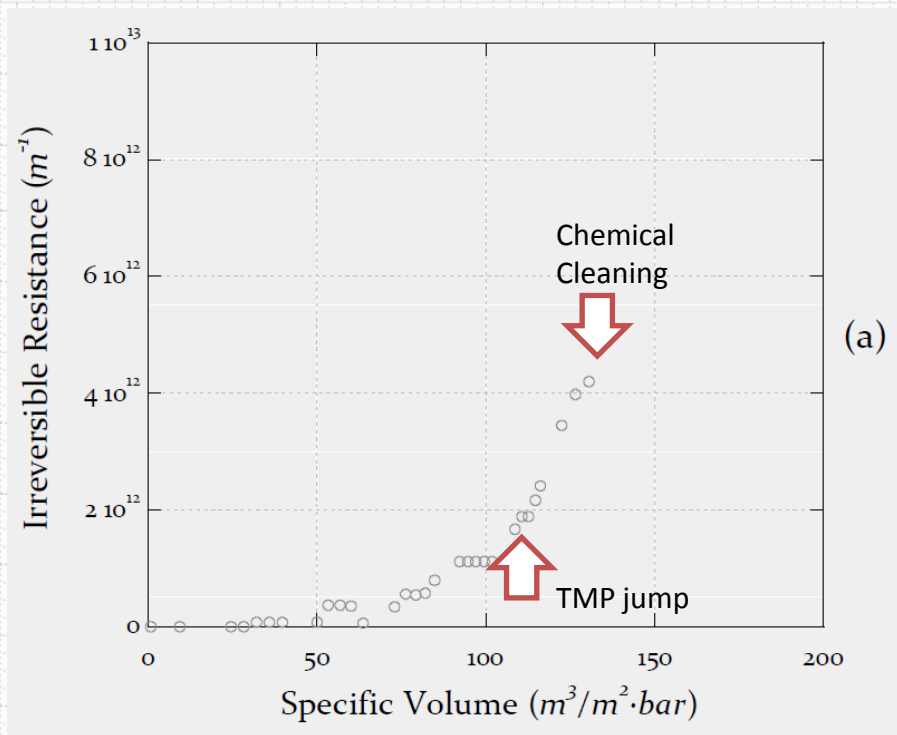
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



Τα “καλά” νέα...

- › Το στρώμα της βιο-ρύπανσης δεν έχει μόνο αρνητικές συνέπειες.
- › Είναι δυνατή η σταθερή λειτουργία των μεμβρανών για μακριά χρονικά διαστήματα με πολύ χαμηλούς ρυθμούς αύξησης της διαμεμβρανικής πίεσης (ρύπανση).

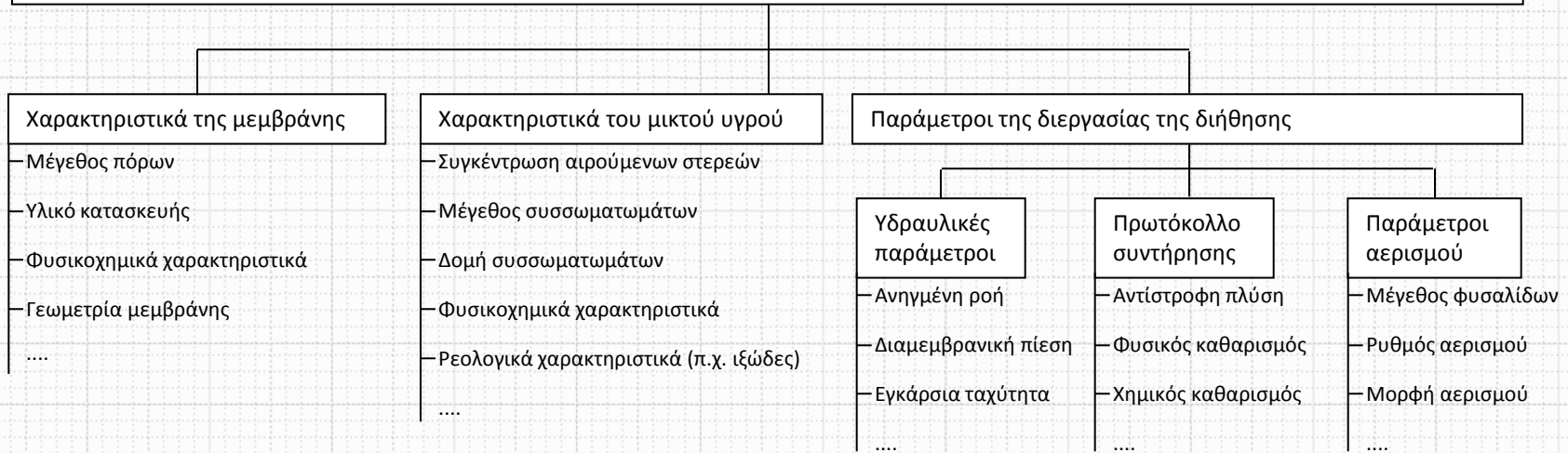


- › Κλασσικό προφίλ εξέλιξης της διαπερατότητας σε βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (TMP jump).
- › Αρχικά περιορισμένη ρύπανση των μεμβρανών και σταθερή λειτουργία.
- › Ξαφνική επιταχυνόμενη αύξηση της διαμεμβρανικής πίεσης έως τα όρια λειτουργίας της μεμβράνης
- › Τελικά απαραίτητος ο χημικός καθαρισμός των μεμβρανών.



Τρόποι Ανάσχεσης της Ρύπανσης των Μεμβρανών

Παράγοντες που καθορίζουν την ρύπανση των μεμβρανών



- › Επιμέρους βελτίωση κάθε παράγοντα ξεχωριστά.
- › Σημαντικές παράλληλα και οι αλληλεπιδράσεις των διαφόρων παραγόντων.
- › Καθιέρωση ορισμένων κατευθυντήριων γραμμών με αυξημένες πιθανότητες για μεσοπρόθεσμα σταθερή λειτουργία.
- › “Thank God we have chlorine...” S. Judd, 2013.



Νέες Ερευνητικές Κατευθύνσεις

ΕΚΕΤΑ

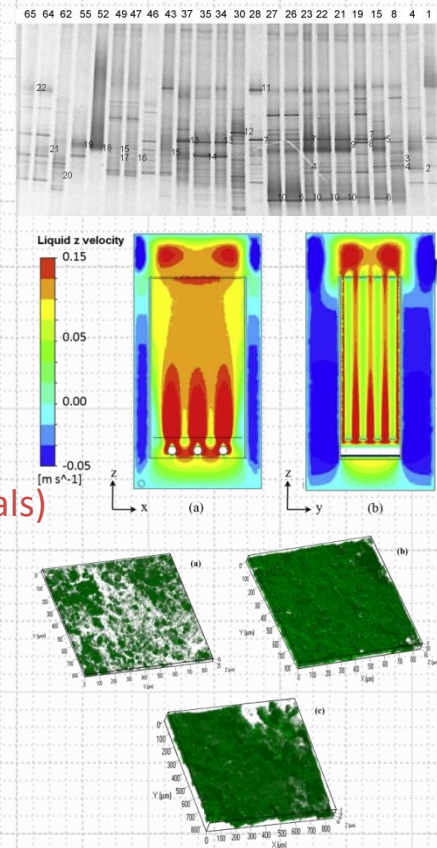
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



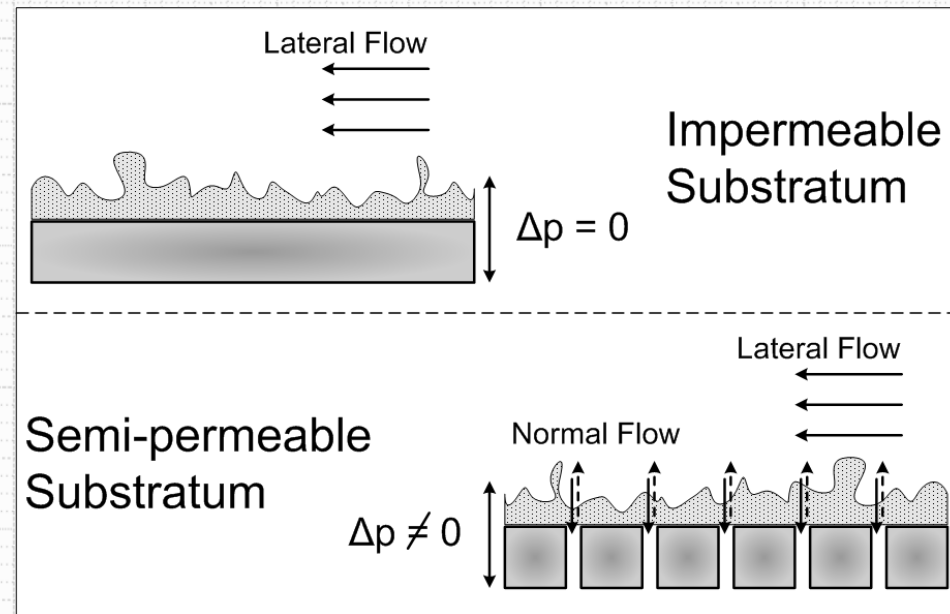
Σταχυολόγημα Πρόσφατων Δημοσιεύσεων

- Μέσα στο 2015 περισσότερες από 260 δημοσιεύσεις σε περιοδικά με κριτές.
- Πλήθος τεχνολογικών όσο και ερευνητικών δημοσιεύσεων.
- Νέες ερευνητικές κατευθύνσεις:
 - ✓ Χρήση βιοτεχνολογικών εργαλείων (π.χ. Μετα-γονιδιωματική ανάλυση, Δυναμική πληθυσμών, Ανάλυση πρωτεϊνικών προφίλ κ.α.)
 - ✓ Εμβάθυνση στα ρευστοδυναμικά χαρακτηριστικά (π.χ. CFD ανάλυση, ρεολογικές μετρήσεις, διακοπτόμενος αερισμός κ.α.)
 - ✓ Προσθήκη χημικών για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του μικτού υγρού (flux enhancer, κροκιδωτικά, PAC, granular materials)
 - ✓ Νέα υλικά μεμβρανών (μεμβράνες με ενσωματωμένες αντι-μικροβιακούς παράγοντες, dynamic layer μεμβράνες)
 - ✓ Βελτιωμένες τεχνικές καθαρισμού και ανάσχεσης της ρύπανσης (Quorum Quenching)



Ρεολογικά Χαρακτηριστικά Στοιβάδων Βιορύπανσης

- › Σημαντική βιβλιογραφία για βιοφίλμ που αναπτύσσονται σε μη περατές επιφάνειες.
- › Τα βιοφίλμ εμφανίζουν ιξωδο-ελαστικό χαρακτήρα.
- › Τα χαρακτηριστικά τους καθορίζονται άμεσα από τα ρευστοδυναμικά χαρακτηριστικά του γειτονικού πεδίου ροής.
- › Αντιθέτως ελάχιστη δουλειά έχει γίνει για στρώματα βιορύπανσης πάνω σε ημι-περατές επιφάνειες.
- › Σημαντικές διαφορές λόγω της ύπαρξης κάθετης ροής, αντίστροφης πλήσης και διαφοράς πίεσης.



Χρησιμότητα Ρεολογικών Χαρακτηριστικών

- Η αποτελεσματικότητα του αερισμού για την αντιμετώπιση της ρύπανσης των μεμβρανών εξαρτάται κυρίως από τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της στοιβάδας ρύπανσης.
- Οι ρεολογικές μετρήσεις μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για τη δομή και τις δυνάμεις συνοχής της στοιβάδας ρύπανσης.
- Μπορούν να βοηθήσουν στη μελέτη της εξέλιξης της ρύπανσης καθώς και στις αλληλεπιδράσεις με το πεδίο ροής γύρω τους.

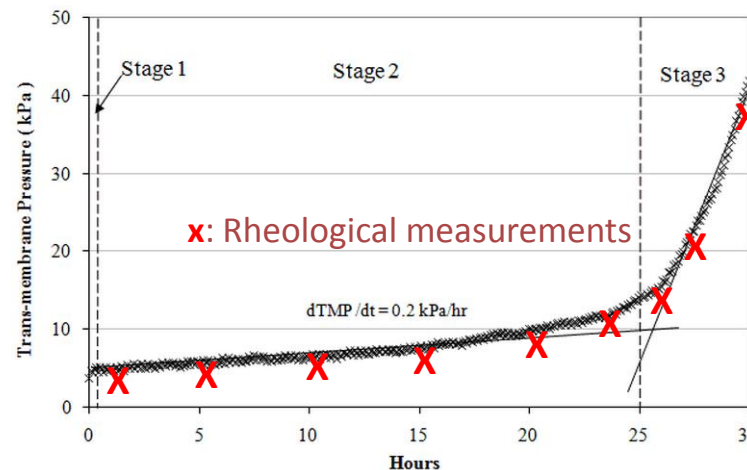
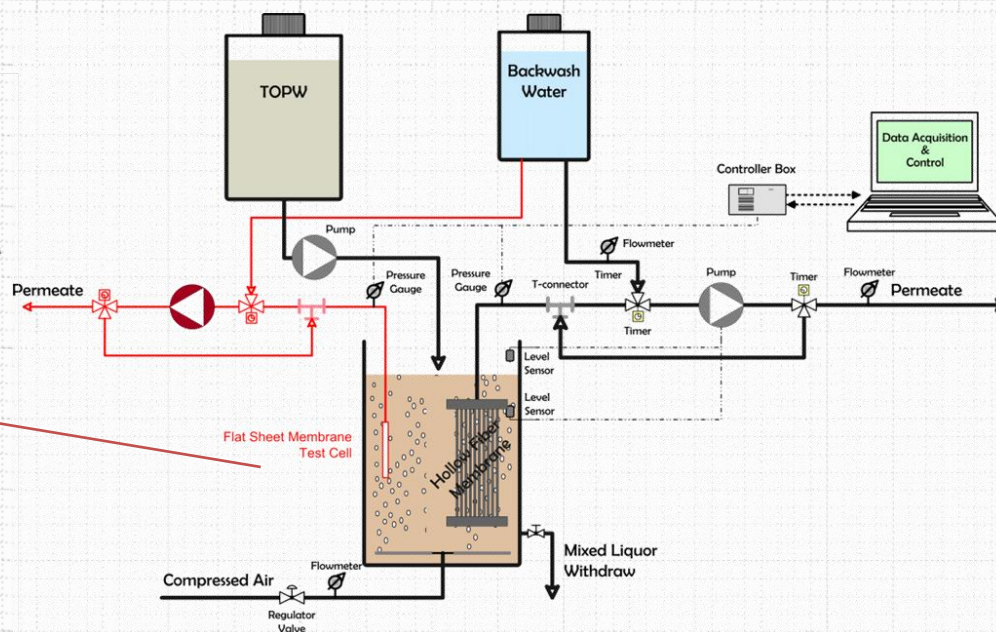
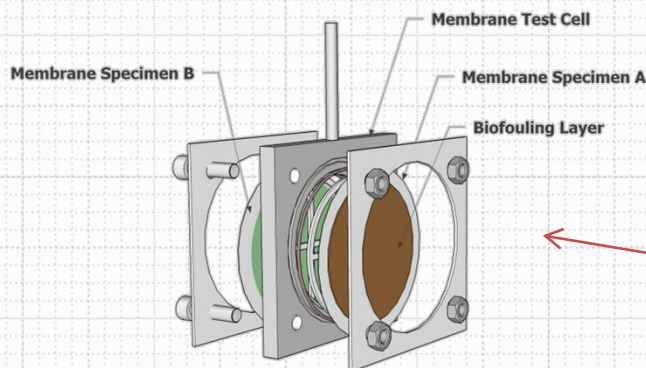


Fig. 1. Typical TMP rising pattern in submerged membrane process. Flux = 15 LMH, Yuasa's flat sheet immersed membrane, MLSS = 12 g/L, 20 °C (unpublished data, Yoon). <http://onlinembr.info>

Πειραματική Διάταξη

- ❖ Κελί Διήθησης με 2 Μεμβράνες: $A = 0.0019 \text{ m}^2$
- ❖ Αυτοματοποιημένη Λειτουργία 24/7
- ❖ Προγραμματιζόμενο Πρόγραμμα Αντιστροφή της Ροής
- ❖ Μεμβράνη Κοίλων Ινών: $A = 0.174 \text{ m}^2$
- ❖ Σταθερή Ανηγμένη Ροή: $J = 10 \text{ L/m}^2 \text{ h}$
- ❖ Καταγραφή Διαμεμβρανικής Πίεσης



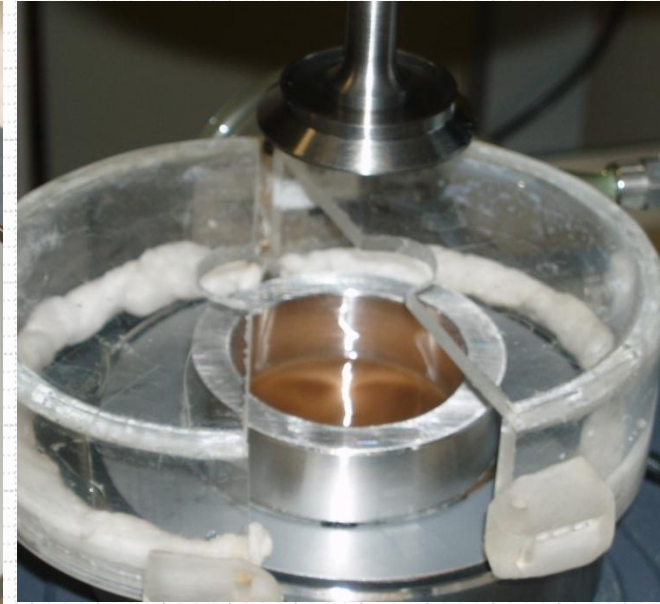
- ❖ Πιλοτικό Σύστημα: $V = 20 \text{ L}$
- ❖ Αυτοματοποιημένη Λειτουργία 24/7
- ❖ Προγραμματιζόμενο Πρόγραμμα Αντιστροφή της Ροής
- ❖ Μεμβράνη Κοίλων Ινών: $A = 0.174 \text{ m}^2$
- ❖ Σταθερή Ανηγμένη Ροή: $J = 10 \text{ L/m}^2 \text{ h}$
- ❖ Καταγραφή Διαμεμβρανικής Πίεσης

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

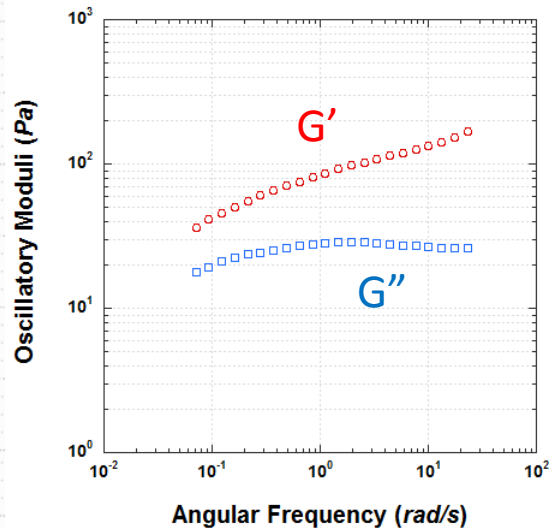
Ρεολογικές Μετρήσεις



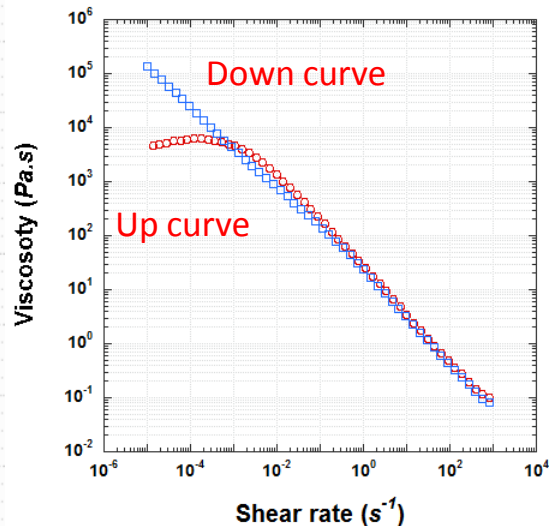
- › Χρήση ροομέτρου AR-G2 κατάλληλου για ευαίσθητα δείγματα.
- › Χρήση γεωμετρίας παραλλήλων πλακών (δίσκος τιτανίου 40 mm).
- › Σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και έλεγχος της υγρασίας του δείγματος.
- › Μετρήσεις: πάχος στοιβάδας ρύπανσης, ρεολογικών χαρακτηριστικών σε ταλάντωση (frequency sweep) και σε διάτμηση (shear flow, creep and recovery)



Αποτελέσματα Ρεολογικών Μετρήσεων



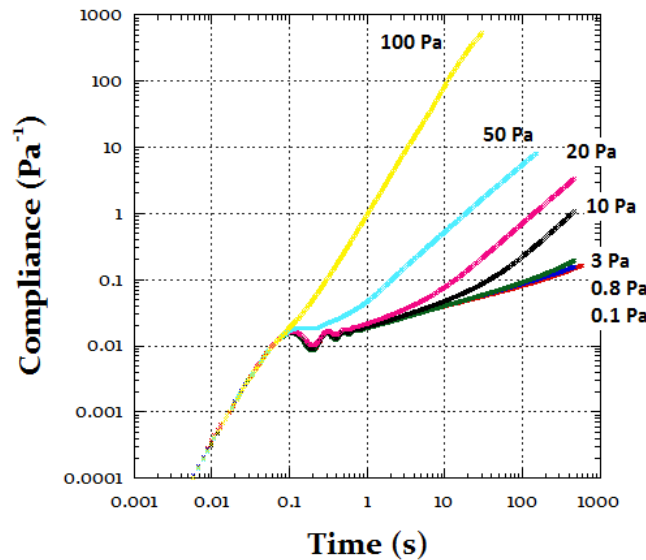
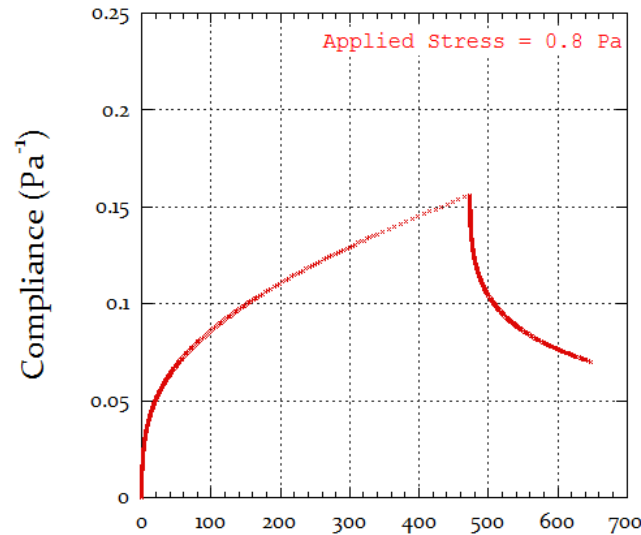
- Το ελαστικό μέτρο G' είναι συνεχώς υψηλότερο από το ιξώδες μέτρο G'' που υποδηλώνει ότι ο ελαστικός χαρακτήρας του υλικού είναι κυρίαρχος (ιξωδο-ελαστικό υλικό).
- Σε συγκεκριμένη περιοχή γωνιακής συχνότητας τα G' και G'' είναι περίπου παράλληλα που είναι χαρακτηριστικό υλικών μορφής πηκτής (gel).



- Το ιξώδες του υλικού ελαττώνεται με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης, επομένως το υλικό είναι μη-νευτωνικό.
- Οι καμπύλες του ιξώδους ως προς τον ρυθμό διάτμησης δεν συμπίπτουν, επομένως το υλικό είναι θixοτροπικό.
- Για χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης το ιξώδες είναι πολύ υψηλό και σχεδόν σταθερό (το υλικό δεν ρέει) εμφανίζοντας χαρακτηριστική τάση διαρροής (yield stress)



Αποτελέσματα Ρεολογικών Μετρήσεων



- Τυπικές καμπύλες ερπυσμού για ιξωδο-ελαστικά υλικά
- Αρχικά παρατηρείται μια ελαστική αντιστρεπτή παραμόρφωση που ακολουθείται από ερπυσμό (ροή με πολύ υψηλό ιξώδες).
- Η καμπύλη επαναφοράς του υλικού είναι ημιτελής γεγονός που υποδηλώνει απώλεια ενέργειας λόγω ερπυσμού.
- Οι καμπύλες ερπυσμού είναι σχεδόν παρόμοιες για τάσεις κάτω από 3 Pa.
- Χαρακτηριστικές ταλαντώσεις εμφανίζονται σε πολύ μικρούς χρόνους επιβολής της τάσης, ακόμη και σε πολύ υψηλές τάσεις (20 Pa).

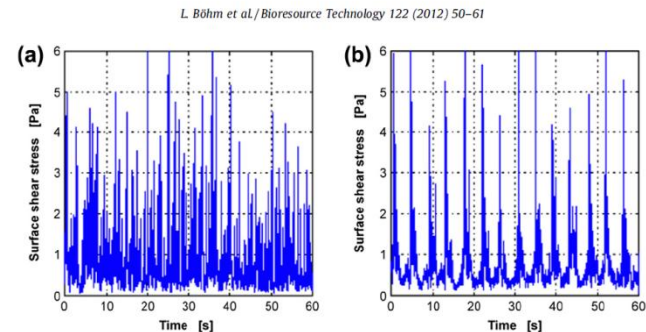
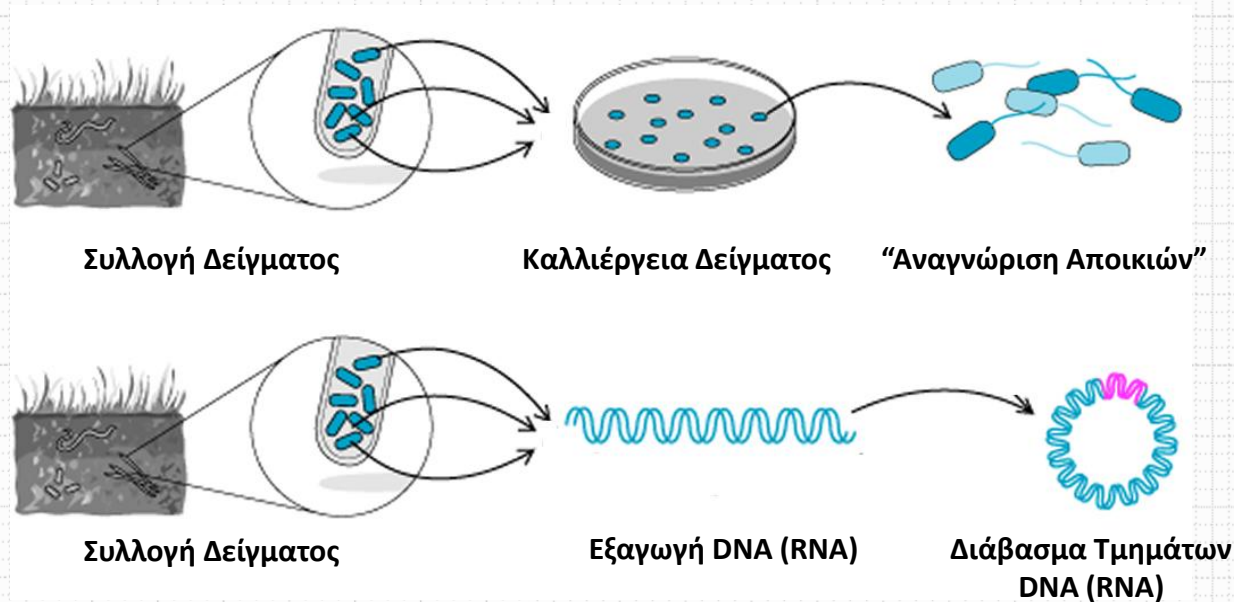


Fig. 3. Typical shear stress induced on HF for different sparging approaches ((a) continuous coarse bubble sparging and (b) large spherical cap bubble sparging; note: same flow rate applied to both conditions) (own results).

Μετα-γονιδιωματική Ανάλυση Βιο-κοινότητας Μικτού Υγρού

- › Συνεργασία με το Ινστιτούτο Εφαρμοσμένων Βιοεπιστημών (INEB) του ΕΚΕΤΑ
- › Ανάλυση πληθυσμών μικροοργανισμών: α. Ο “κλασσικός” τρόπος και β. Η μετα-γονιδιωματική ανάλυση
- › Αναγνώριση του συνόλου των ειδών του πληθυσμού και ποσοτική ανάλυση
- › Προσδιορισμός μεταβολικών προφίλ μέσω ανάλυσης RNA



ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



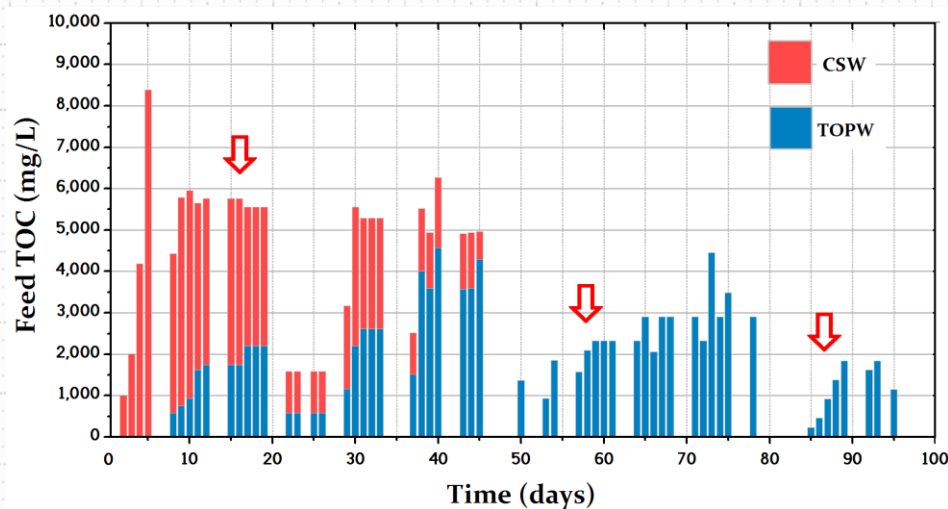
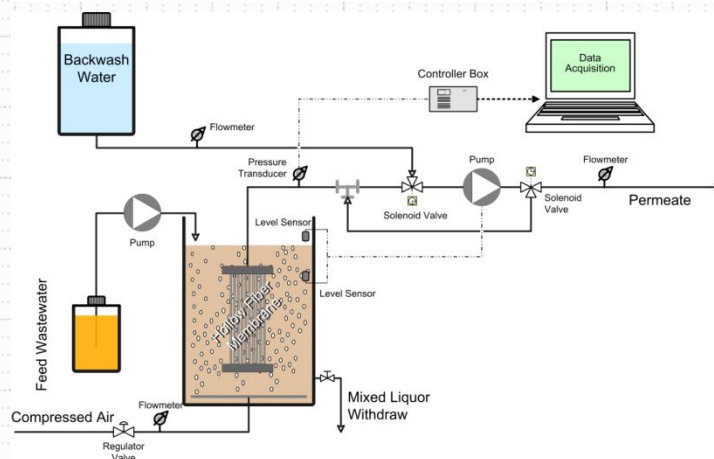
Μελέτη Εγκλιματισμού Βιο-κοινότητας σε Απόβλητα Ελιάς

- Τα απόβλητα από την παραγωγή βρώσιμης ελιάς αποτελούν ένα πολύ επιβαρυμένο απόβλητο με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (αλατότητα, ακραίες τιμές pH, υψηλό οργανικό φορτίο).
- Ο εγκλιματισμός και συντήρηση μιας 'υγιούς' βιοκοινότητας ενεργού ιλύος είναι δυσχερές.
- Σκοπός η μελέτη του εγκλιματισμού της βιοκοινότητας με νέες μεθόδους της βιοτεχνολογίας.

Φυσικοχημικοί Παράμετροι

Εύρος Τιμών

pH	4.3 - 13.3
Αγωγιμότητα (mS/cm)	2.4 - 130
Θολερότητα (NTU)	15.8 - 440
COD (mg/L)	1200 - 43000
BOD ₅ (mg/L)	600 - 18000
TOC (mg/L)	500 - 13000
Ολικά Φαινολικά (mg/L)	200 - 3000



ΕΚΕΤΑ

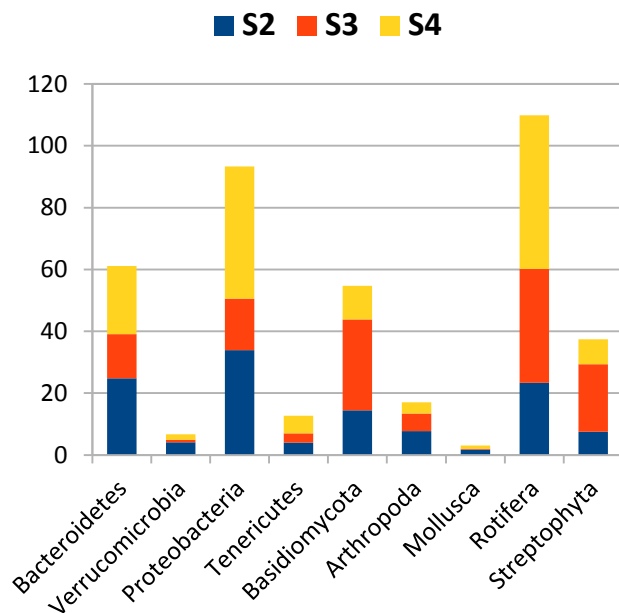
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών

2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

Αποτελέσματα Μεταγονιδιωματικής Ανάλυσης

- Αναγνώριση κυρίαρχων φυλών μικροοργανισμών όπως: Proteobacteria, Bacteroidetes/Chlorobi, Rotifera, Basidiomycota, Streptophyta
- Δυνατότητα για εντοπισμό διαφορών στην έκφραση των διαφορετικών μεταβολικών μονοπατιών.



ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών

2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

Νέες Εφαρμογές

ΕΚΕΤΑ

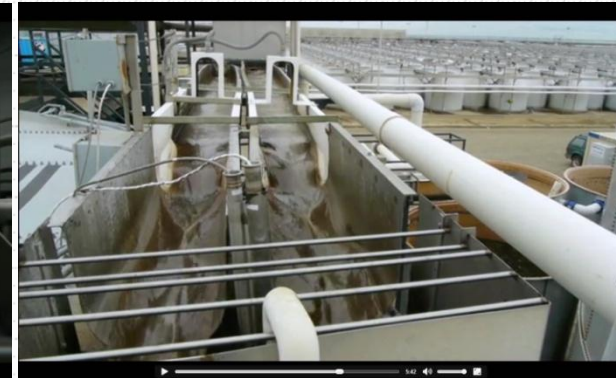
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



Εφαρμογή Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών σε Απόβλητα Ελιάς

- › Η παραγωγή βρώσιμων ελιών συνοδεύεται από μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων, έως και 7,5m³ ανά τόνο παραγόμενης ελιάς.
- › Τα απόβλητα είναι δύσκολα 'διαχειρίσιμα' λόγω υψηλού οργανικού φορτίου, έντονης μυρωδιάς, ακραίων τιμών pH, πολυφαινολικών ενώσεων, έντονων διακυμάνσεων, αλατότητας.
- › Στις περισσότερες περιπτώσεις απορρίπτονται ανεπεξέργαστα σε χειμάρρους και στη θάλασσα ή οδηγούνται σε λιμνοδεξαμενές εξάτμισης.



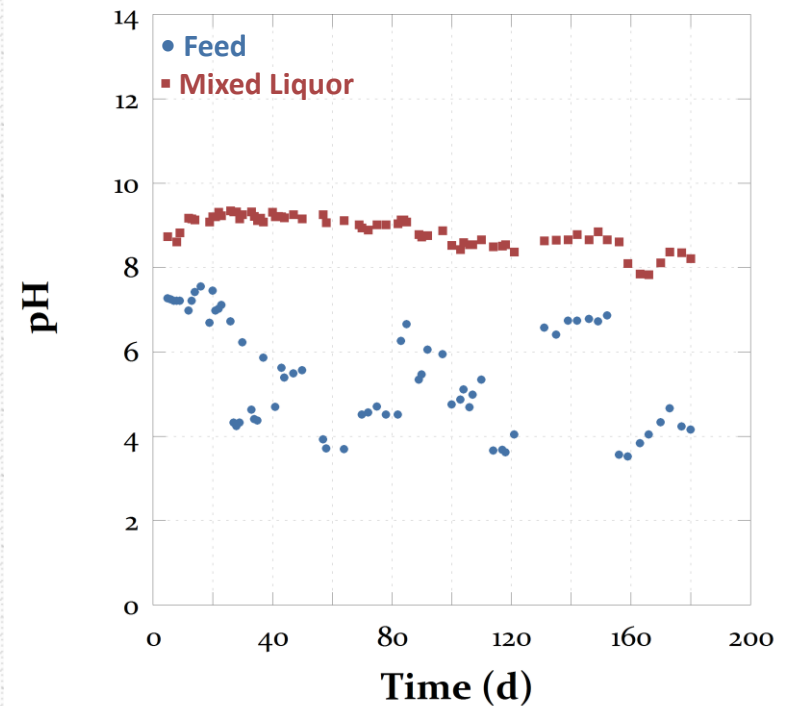
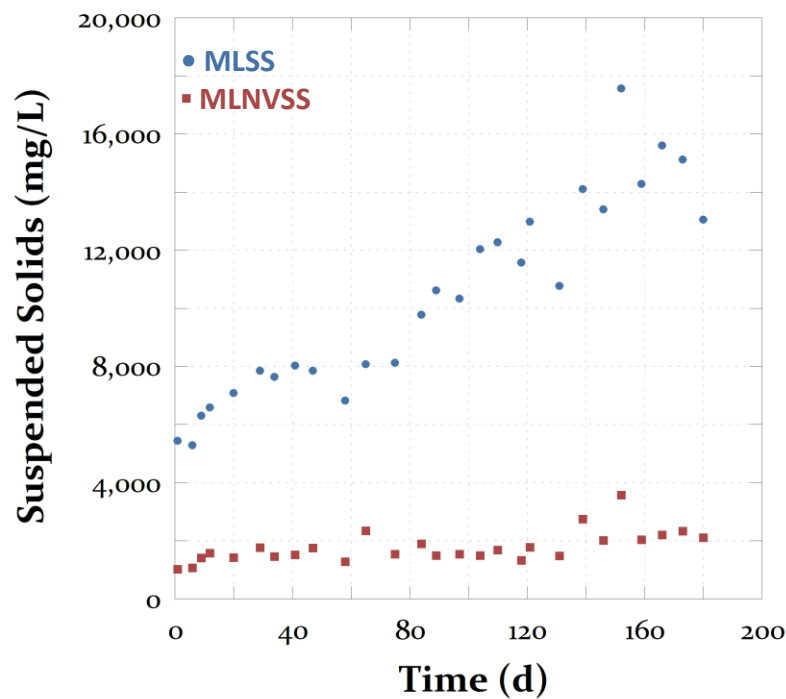
ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



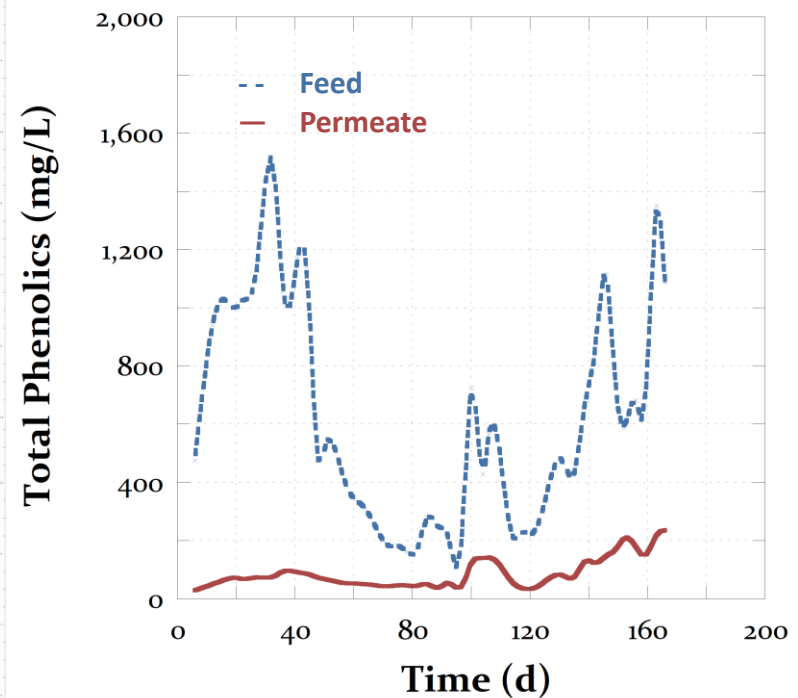
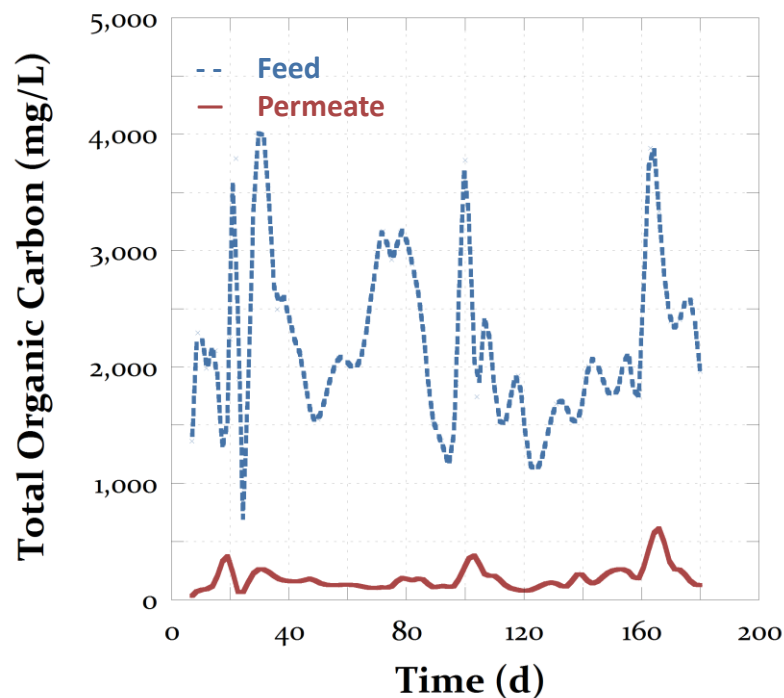
Αποτελέσματα Πιλοτικού Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών



- › Σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης βιομάζας (MLSS) στο Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών
- › Λειτουργία του Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών σε αλκαλικές τιμές pH ανεξαρτήτως των τιμών pH της τροφοδοσίας



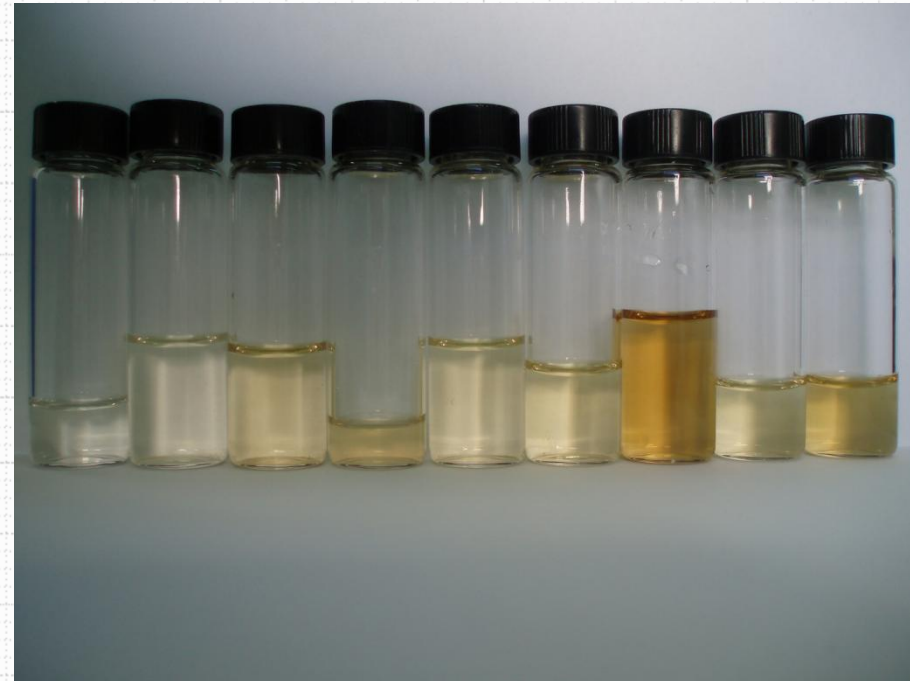
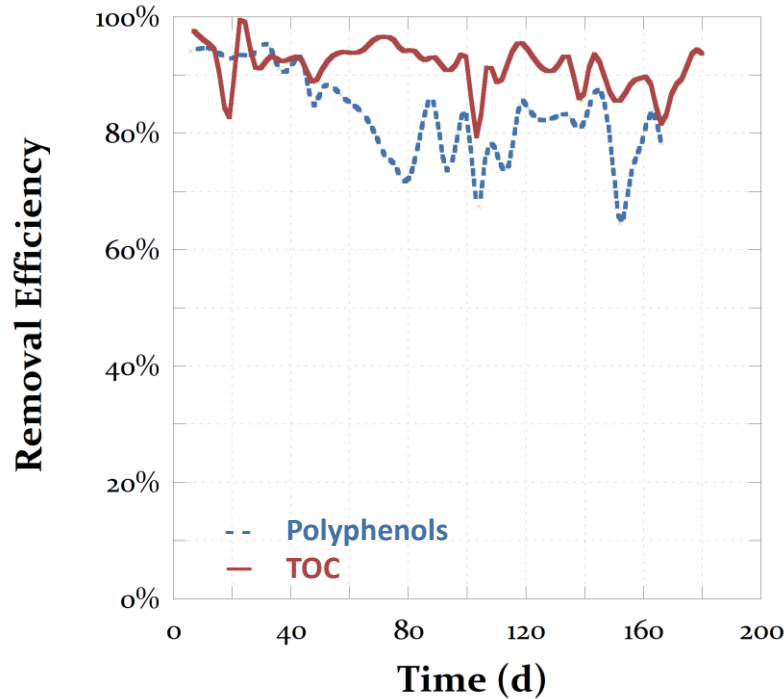
Αποτελέσματα Πιλοτικού Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών



- Ικανοποιητική λειτουργία όσον αφορά την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα
- Αξιοσημείωτη απομάκρυνση πολυφαινολικών συστατικών
- Σταθερή ποιότητα εκροής ανεξαρτήτως διακυμάνσεων στην τροφοδοσία



Αποτελέσματα Πιλοτικού Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών



- › Υψηλές τιμές απομάκρυνσης οργανικού άνθρακα και πολυφαινολικών συστατικών
- › 79,6% έως 97,6% για TOC και 67,5% και 97,5% για Total Phenols
- › Ύπαρξη χρώματος και υπολειπόμενου TOC (150 - 250 ppm) στην εκροή

ΕΚΕΤΑ

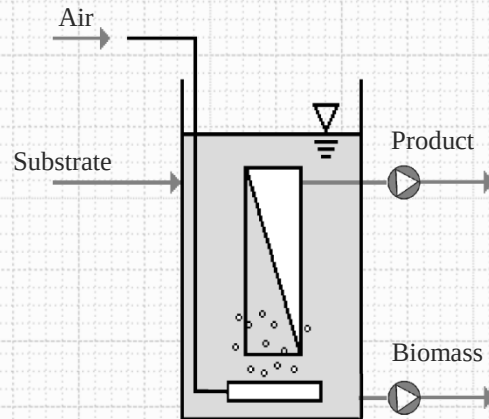
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη



Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών για Παραγωγικούς Σκοπούς

Biotechnological Production of Substances



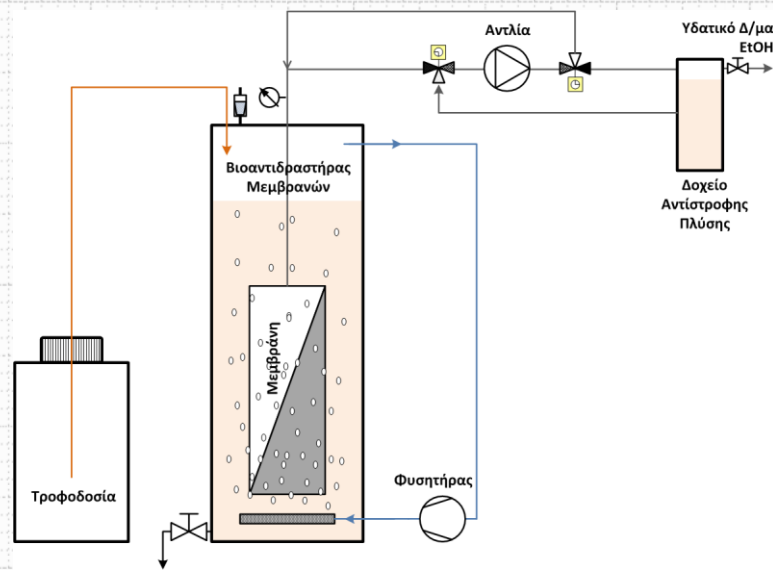
- › Η τεχνολογία των βιοαντιδραστήρων μεμβρανών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγικούς σκοπούς.
- › Παραγωγή αιθανόλης, οργανικών οξέων, ενζύμων, βιομάζας κτλ.
- › Χρήση μεμβρανών για απόληψη τελικού προϊόντος, απομάκρυνση ανεπιθύμητων παραπροϊόντων, συμπύκνωση ενεργού βιομάζας.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

- › Δυνατότητα για συνεχή ή ημι-συνεχή λειτουργία αντί για λειτουργία ανά παρτίδες
- › Πλήρης συγκράτηση της ενεργής βιομάζας, απουσία κινδύνου wash-out, αυξημένες συγκεντρώσεις βιομάζας
- › Δυνατότητα για συνεχή απομάκρυνση ανεπιθύμητων παραπροϊόντων
- › Αύξηση του ρυθμού παραγωγής του επιθυμητού προϊόντος

Πιλοτικός Βιοαντιδραστήρας Μεμβρανών για Αιθανόλη

- › Τροφοδοσία : σάκχαρα από απόβλητα οиноποίησης.
- › Ζύμωση σακχάρων σε μικρο-αερόβιες συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη της ζύμης και την παραγωγή Αιθανόλη (EtOH).
- › Υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενης ζύμης > 40 g/L χωρίς ουσιαστικό πρόβλημα έμφραξης των μεμβρανών
- › Υψηλοί ρυθμοί παραγωγής EtOH έως και 4,92 g EtOH/L·h, και υψηλοί βαθμοί μετατροπής >93,0%



Τεχνολογικές Κατευθύνσεις

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

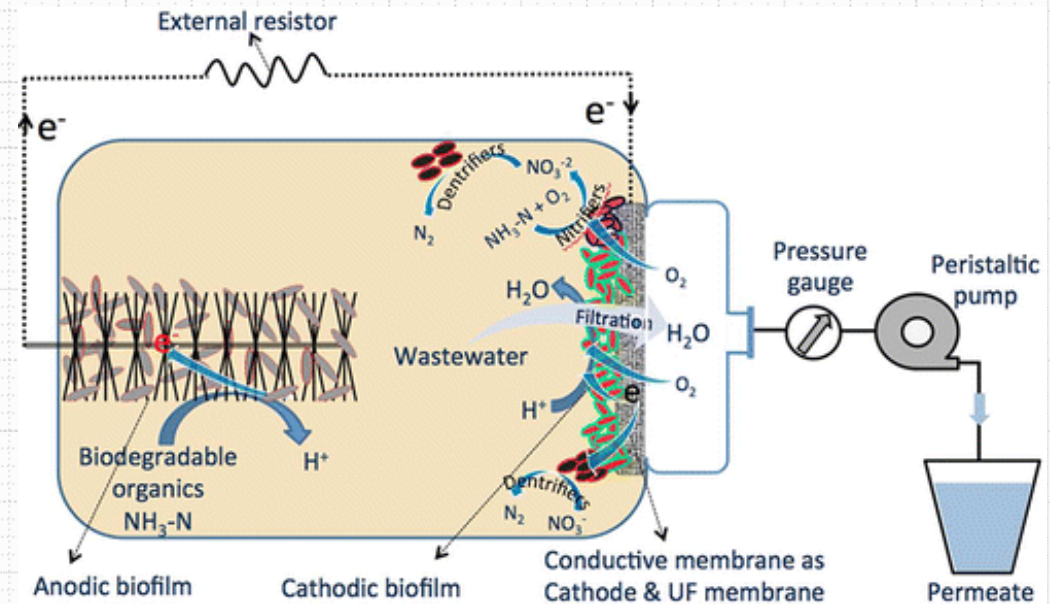


Υβριδικές Διαδικασίες με βάση Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ:

- › Συνδυασμός MBR και Απόσταξης με Μεμβράνες (MBR - MD)
- › Συνδυασμός MBR και Ώσμωσης (MBR - FO - RO)
- › Συνδυασμός MBR και Μικροβιακών Κελιών Καυσίμου (MBR - MFC)

Παράδειγμα MBR-MFC για
επεξεργασία λυμάτων και
παραγωγή ενέργειας



A Hybrid Microbial Fuel Cell Membrane Bioreactor with a Conductive Ultrafiltration Membrane Biocathode for Wastewater Treatment, L. Malaeb et al., Environ. Sci. Technol., 2013, 47 (20), 11821–11828

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

ΕΚΕΤΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



Η τεχνολογία των Βιοαντιδραστήρων Μεμβρανών
και παραλλαγές της προβλέπεται ότι θα
γνωρίσουν ευρύτατη ανάπτυξη στο μέλλον !



ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ



ΕΚΕΤΑ
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ
ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών
2 Ιουνίου 2015, ΚΕ.ΔΕ.Α. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη