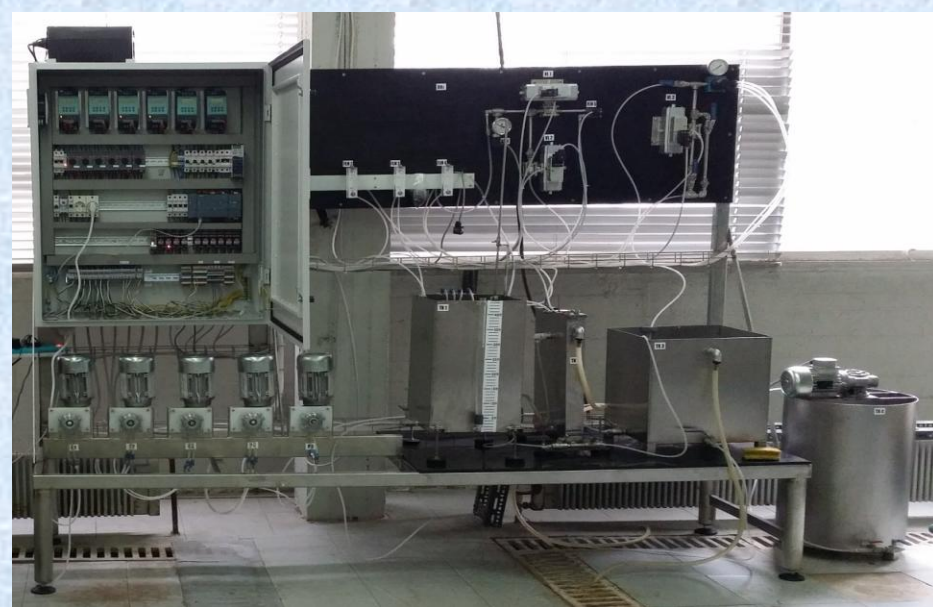
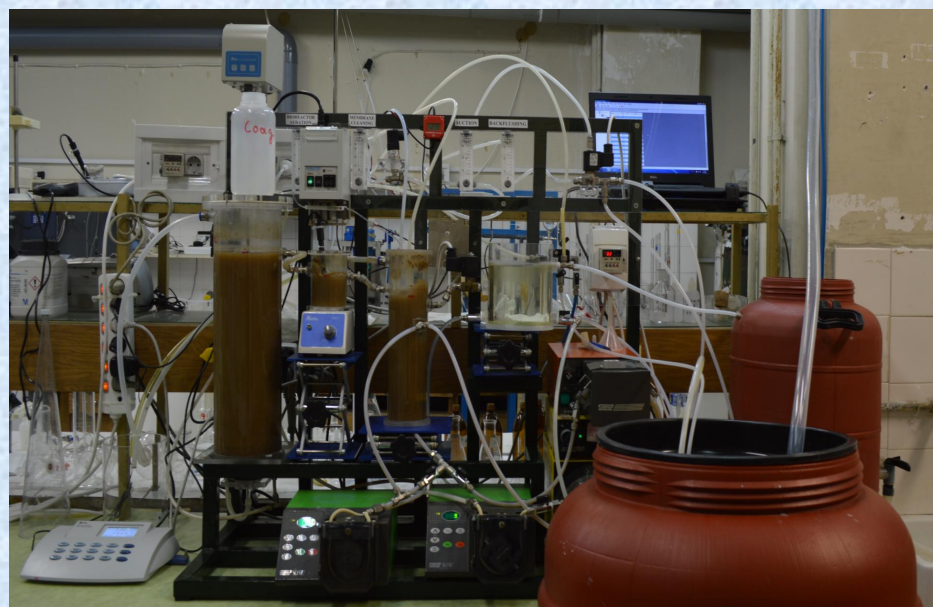


«ΝΕΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ (FOUL-MEM)»

**«ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ
ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ
ΕΜΦΡΑΞΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕΘΟΔΩΝ»**



Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ.



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη

Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Πολιτισμού και Αθλητισμού
ΓΓΕΤ – ΕΥΔΕ-ΕΤΑΚ

Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ II), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου, ΠΕΠ Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου, ΠΕΠ Αττικής

Θεσσαλονίκη, 02 Ιουνίου 2015

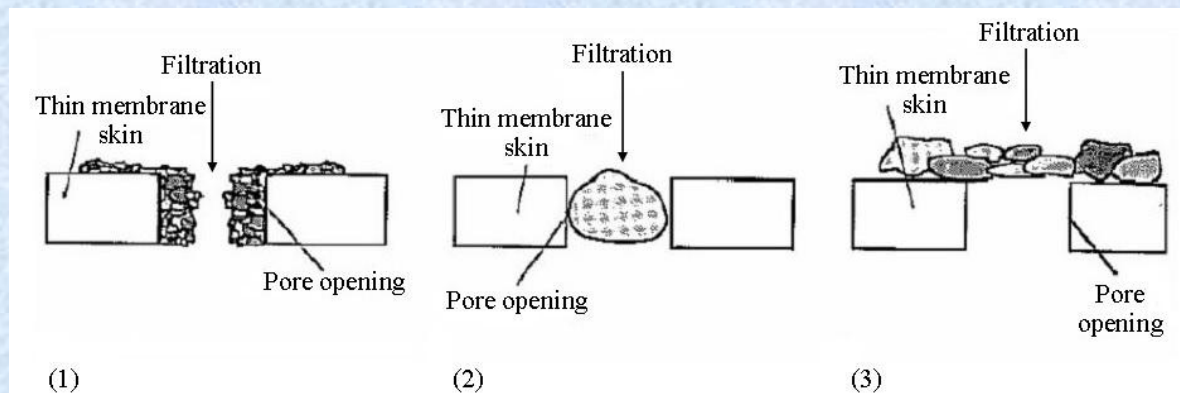
Ρύπανση (έμφραξη)



Αύξηση της **αντίστασης** της μεμβράνης εξαιτίας της παρουσίας
διάφορων χημικών ουσιών



- (1) προσρόφηση στην επιφάνεια εσωτερικά του υλικού της μεμβράνης
- (2) πλήρης έμφραξη (μπλοκάρισμα) του πόρου
- (3) εναπόθεση στην επιφάνεια



A. Βέλτιστη λειτουργία της διεργασίας

1. Χαμηλές παροχές διηθήματος

2. Αύξηση παροχής αέρα

- Επίτευξη υψηλών διατμητικών τάσεων



Γ. Χημικός καθαρισμός

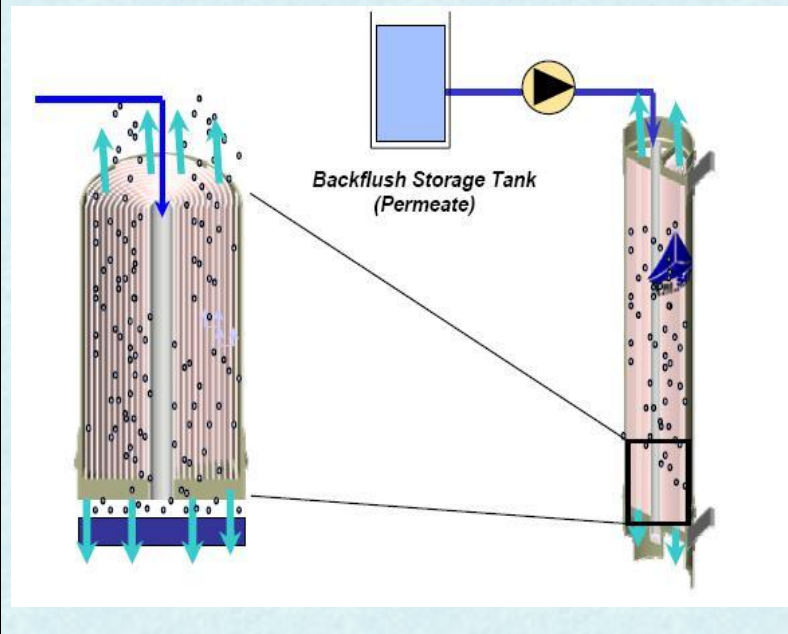
(NaClO , $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ κ.τ.λ.)



B. Φυσικός καθαρισμός

1. «Χαλάρωση» (παύση διήθησης)
(π.χ. κάθε 10 min για διάρκεια 1 min)

2. Αντίστροφη πλύση
(π.χ. κάθε 5-10 min για 10-60 s)

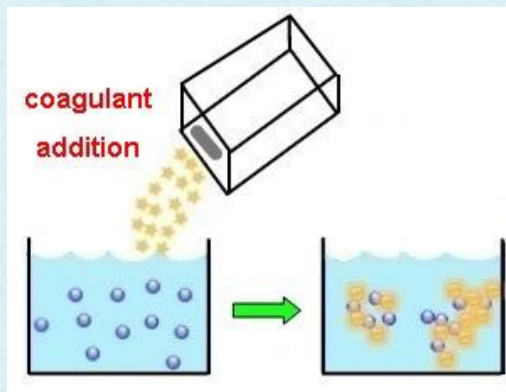


A. Προσθήκη κροκιδωτικών ουσιών



**$FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$, PAC,
οργανικά πολυμερή κ.τ.λ.**

(σχηματισμός μεγαλύτερων συσσωματωμάτων)



B. Προσθήκη προσροφητικών ουσιών



Ενεργός άνθρακας, ζεόλιθοι κ.τ.λ.

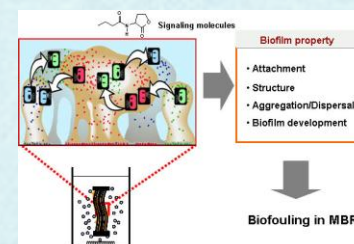
(ελάττωση της αντίστασης στρώματος
εναποτιθέμενων ουσιών)



Conner et al. (2011)

Γ. Διακοπή διακυτταρικής επικοινωνίας

- Ρύθμιση γονιδιακής έκφρασης
- Διακοπή παραγωγής EPS



Δ. Εφαρμογή υπερήχων, ηλεκτρικού πεδίου και όζοντος

Ε. Επιφανειακή τροποποίηση μεμβρανών

1. Physical coating/adsorption on the membrane surface

- (i) Coating via filtration
- (ii) Coating via adsorption
- (iii) Coating via casting

2. Grafting methods on the membrane surface

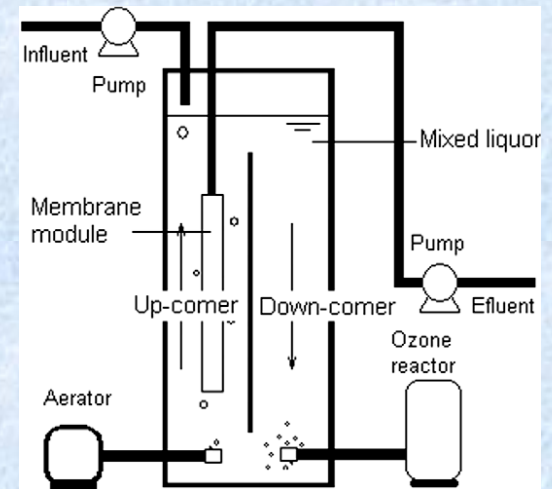
3. Patterned membranes

4. Plasma treatment of polymer membranes

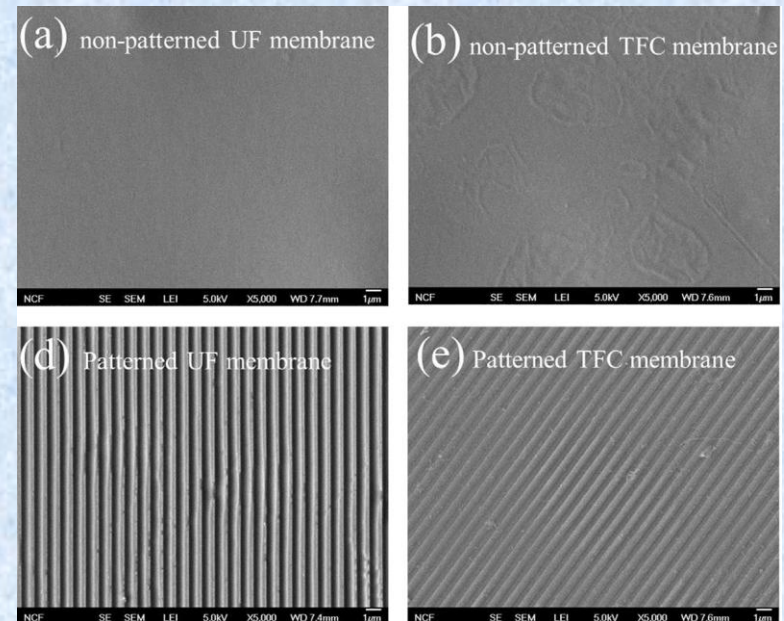
5. Chemical reactions on the membrane surface

6. Surface modifications with nanoparticles

- (i) Membrane modification with deposited nanoparticles
- (ii) Phase inversion method



Hu et al. (2010)



Maruf et al. (2014)

Βασικός στόχος

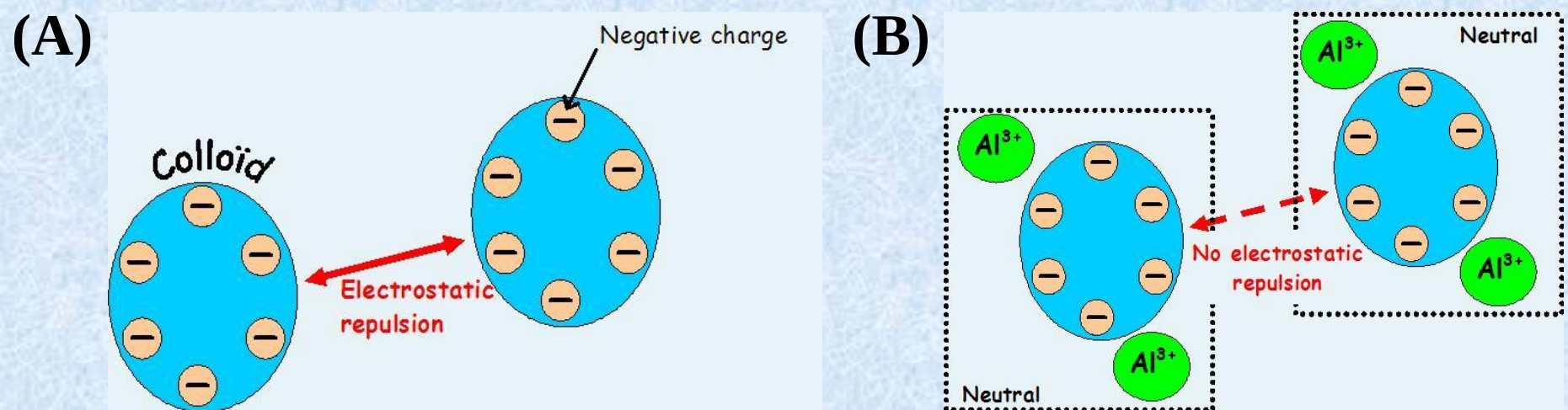
*Ανάπτυξης ολοκληρωμένης
μεθοδολογίας για τον έλεγχο της
έμφραξης στα συστήματα MBR*



Προσθήκη κατάλληλων χημικών αντιδραστηρίων που υποβοηθούν την **κροκίδωση/συσσωμάτωση** των ουσιών που ευθύνονται για την έμφραξη των μεμβρανών



Κροκίδωση – Συσσωμάτωση



Αποσταθεροποίηση των
σωματιδίων του συστήματος

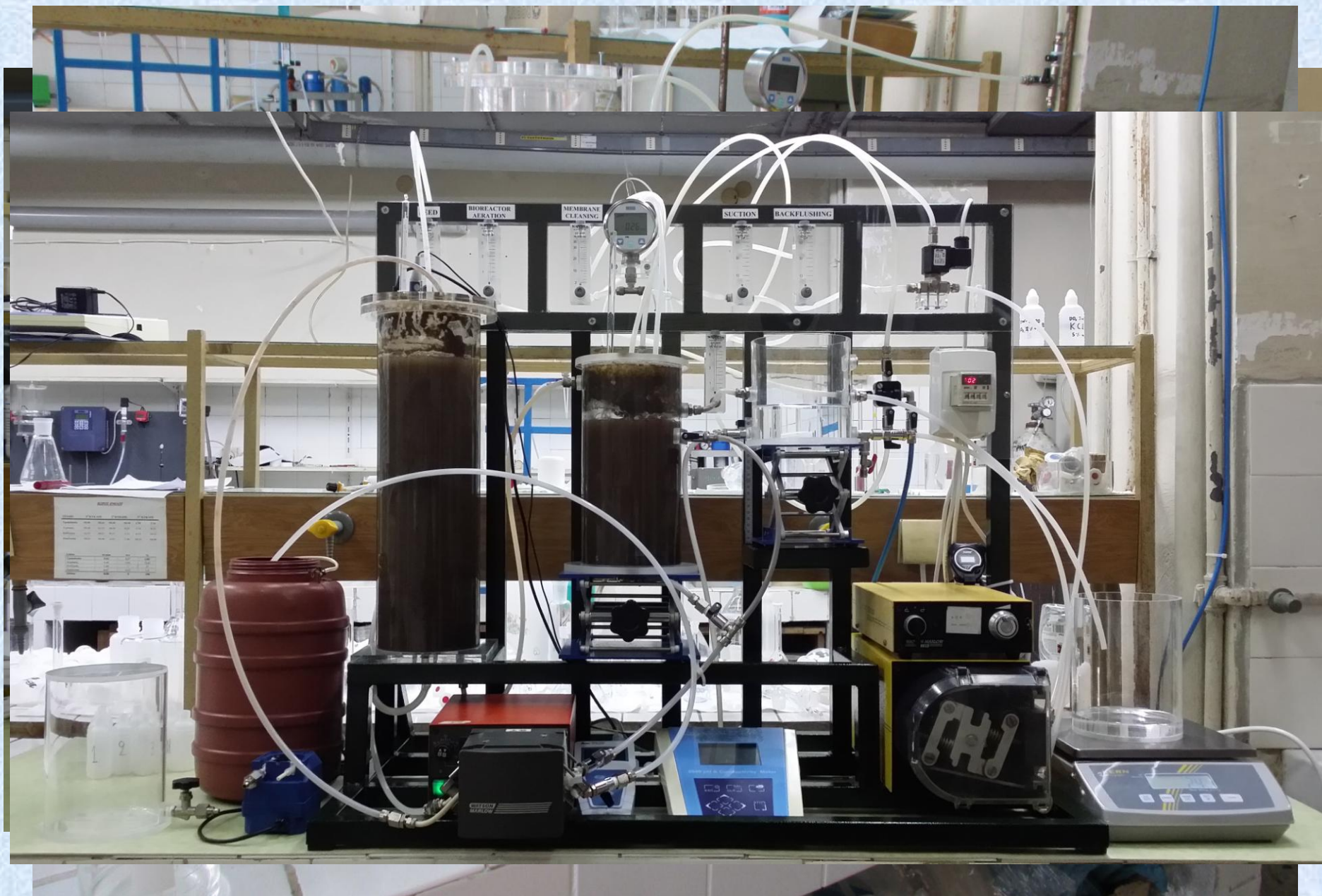


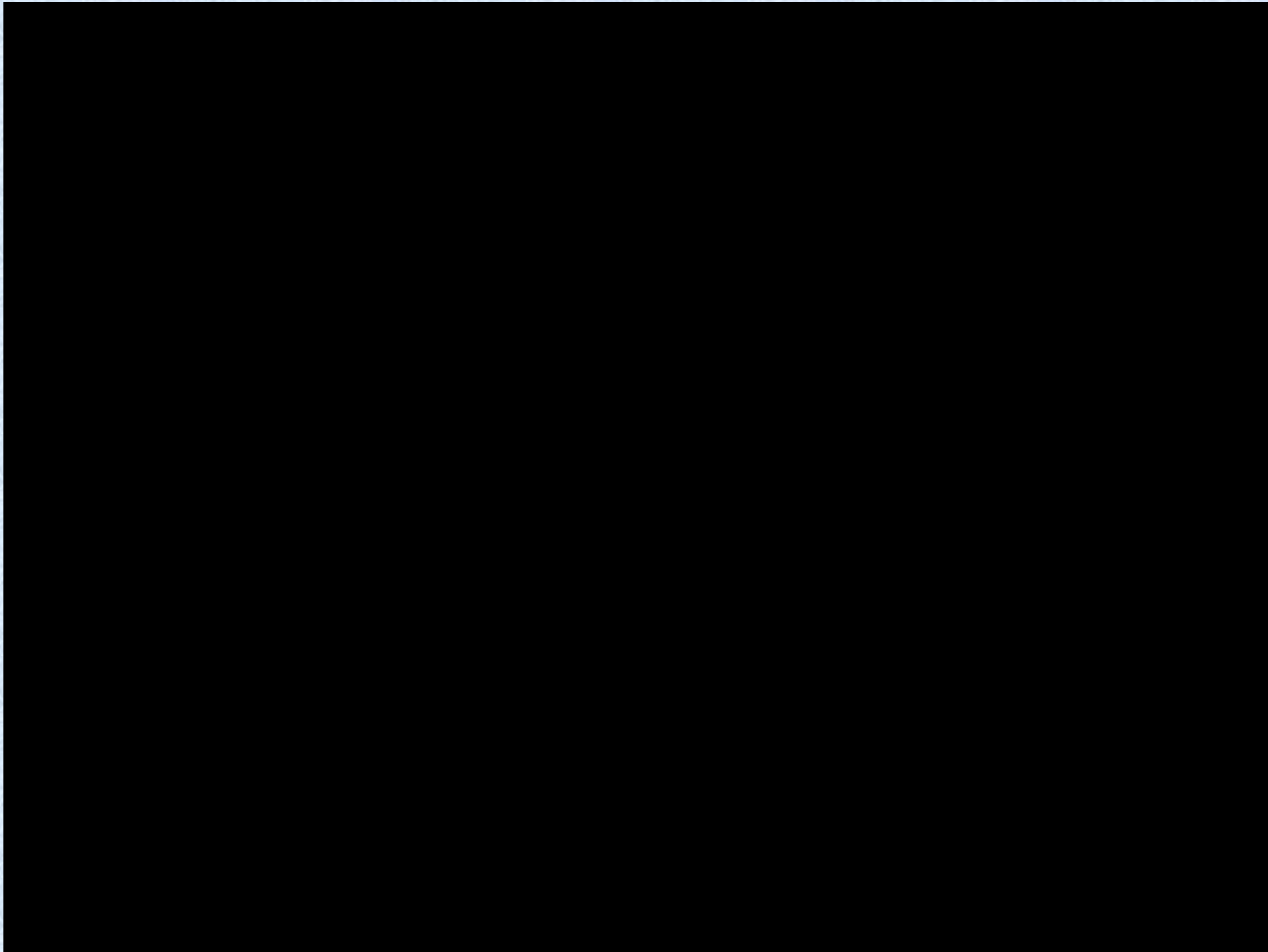
Σχηματισμός μεγάλων (ή μεγαλύτερων)
συσσωματωμάτων των αποσταθερο-
ποιημένων σωματιδίων

Βελτίωση ιδιοτήτων λάσπης (αύξηση
διηθησιμότητας κ.τ.λ.)

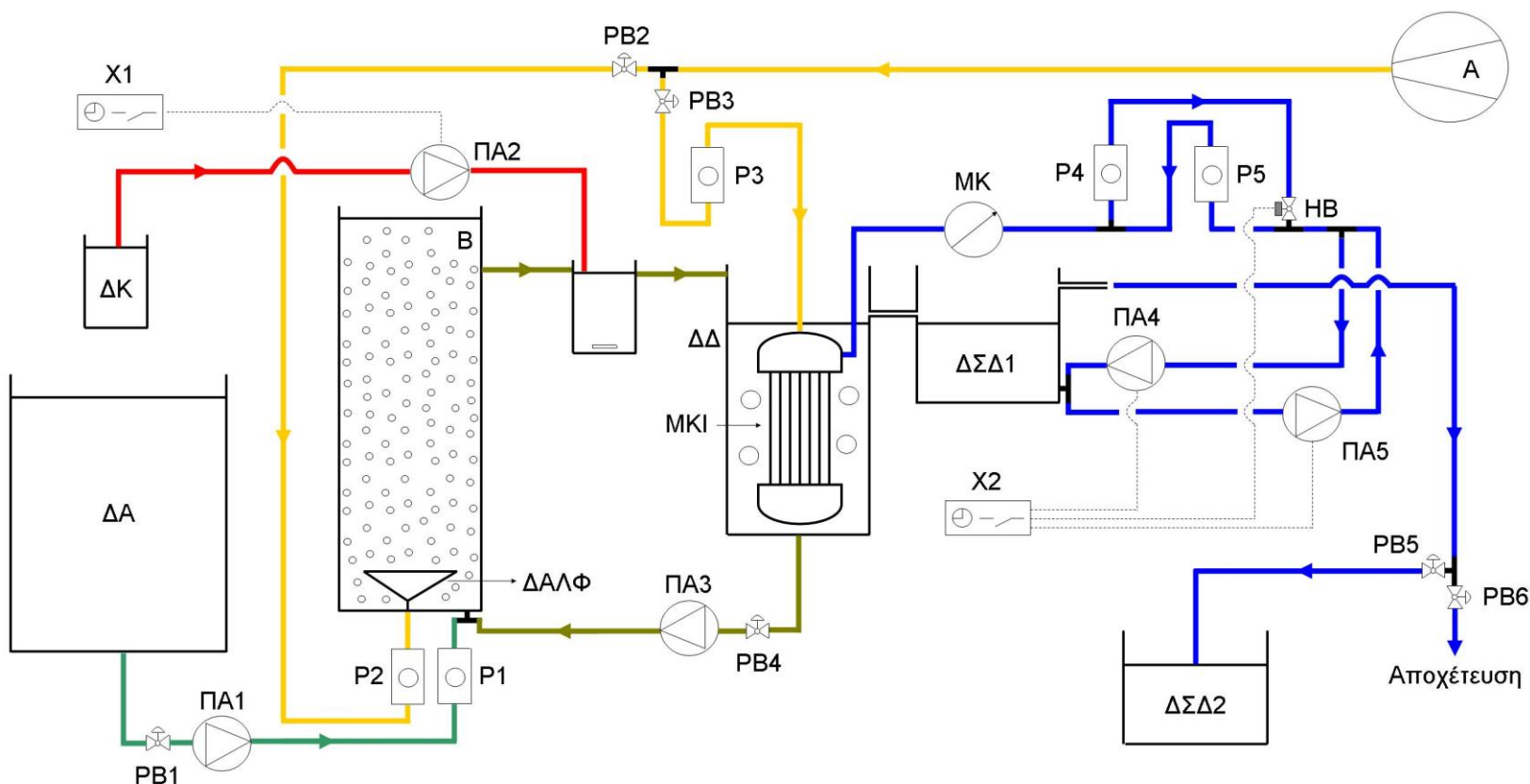


Εργαστηριακό σύστημα MBR





Διάγραμμα ροής εργαστηριακού συστήματος MBR



ΔΑ: Δεξαμενή αποβλήτου

Β: Βιοαντιδραστήρας

ΔΔ: Δοχείο διήθησης

ΔΣΔ: Δοχείο συλλογής διηθήματος

ΔΚ: Δοχείο κροκιδωτικού

ΜΚΙ: Μεμβράνη κοίλων ινών

Χ: Χρονοδιακόπτης

ΠΑ: Περιστατική αντλία

Α: Αεροσυμπιεστής

ΔΑΛΦ: Διαχυτήρας αέρα λεπτής φυσαλίδας

Ρ: Ροόμετρο πλωτήρα (νερού ή αέρα)

ΜΚ: Μανόμετρο κενού

ΡΒ: Ρυθμιστική βάνα

ΗΒ: Ηλεκτροβάνα

— Τροφοδοσία

— Ανακυκλοφορία μικτού υγρού

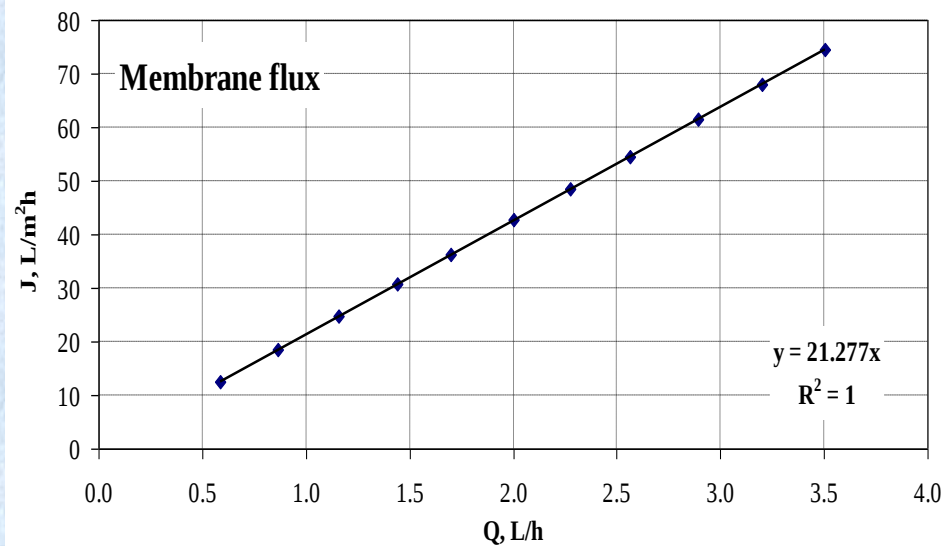
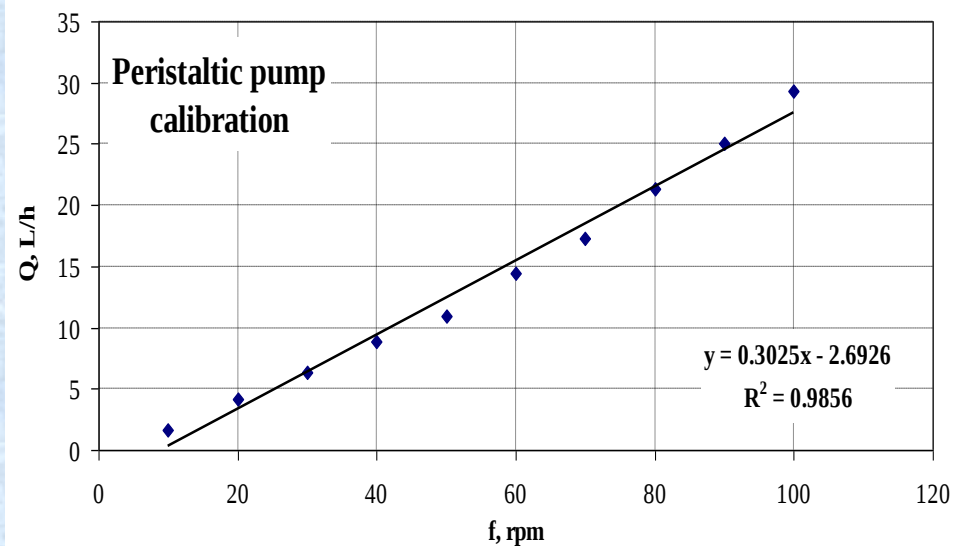
— Διήθηση/Αντίστροφη πλήση

— Αερισμός

— Προσθήκη κροκιδωτικού

..... Ηλεκτρονικό κύκλωμα

Χαρακτηριστικά μεμβράνης εργαστηριακής μονάδας

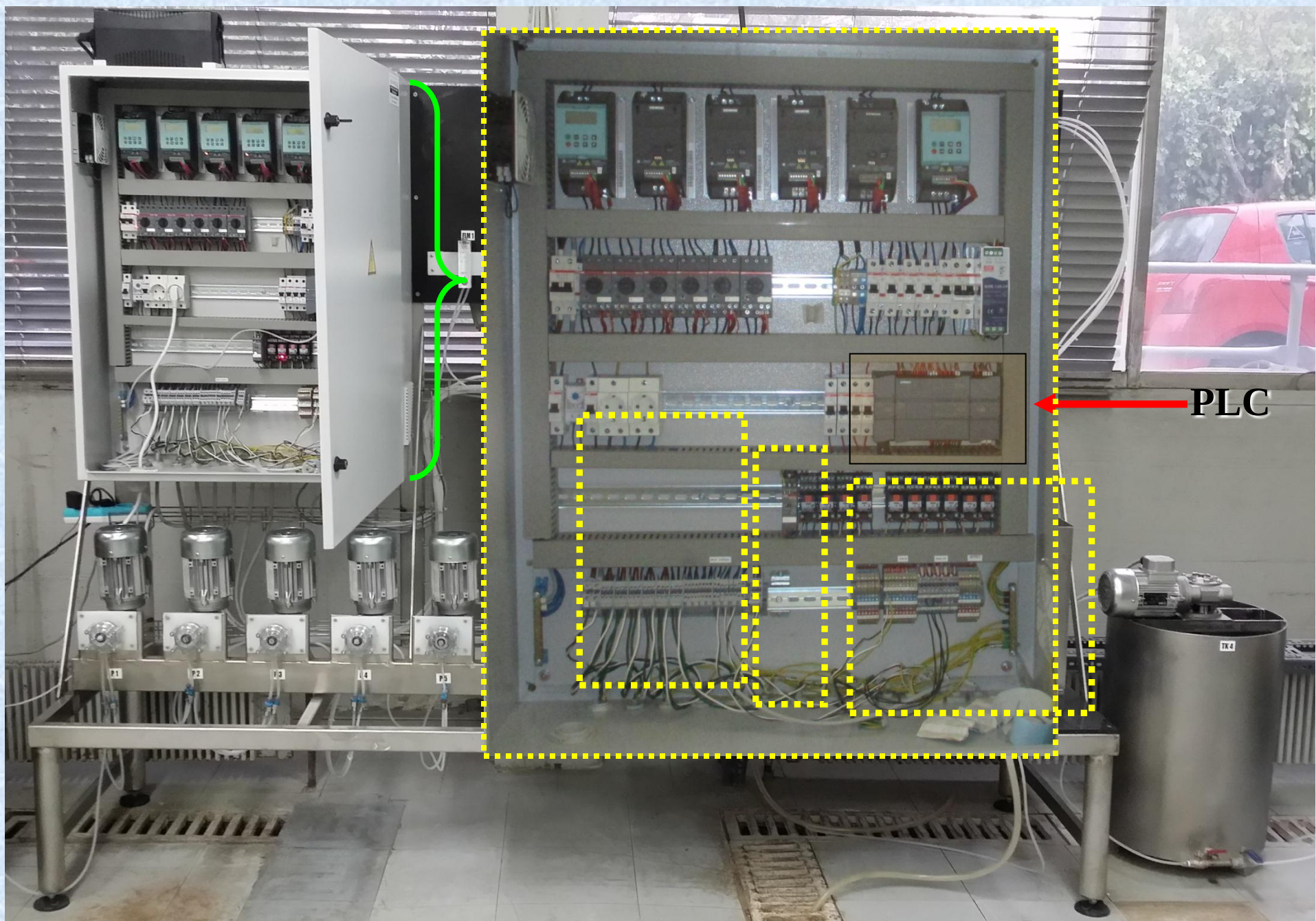


Μεμβράνη Zenon, ZW-1

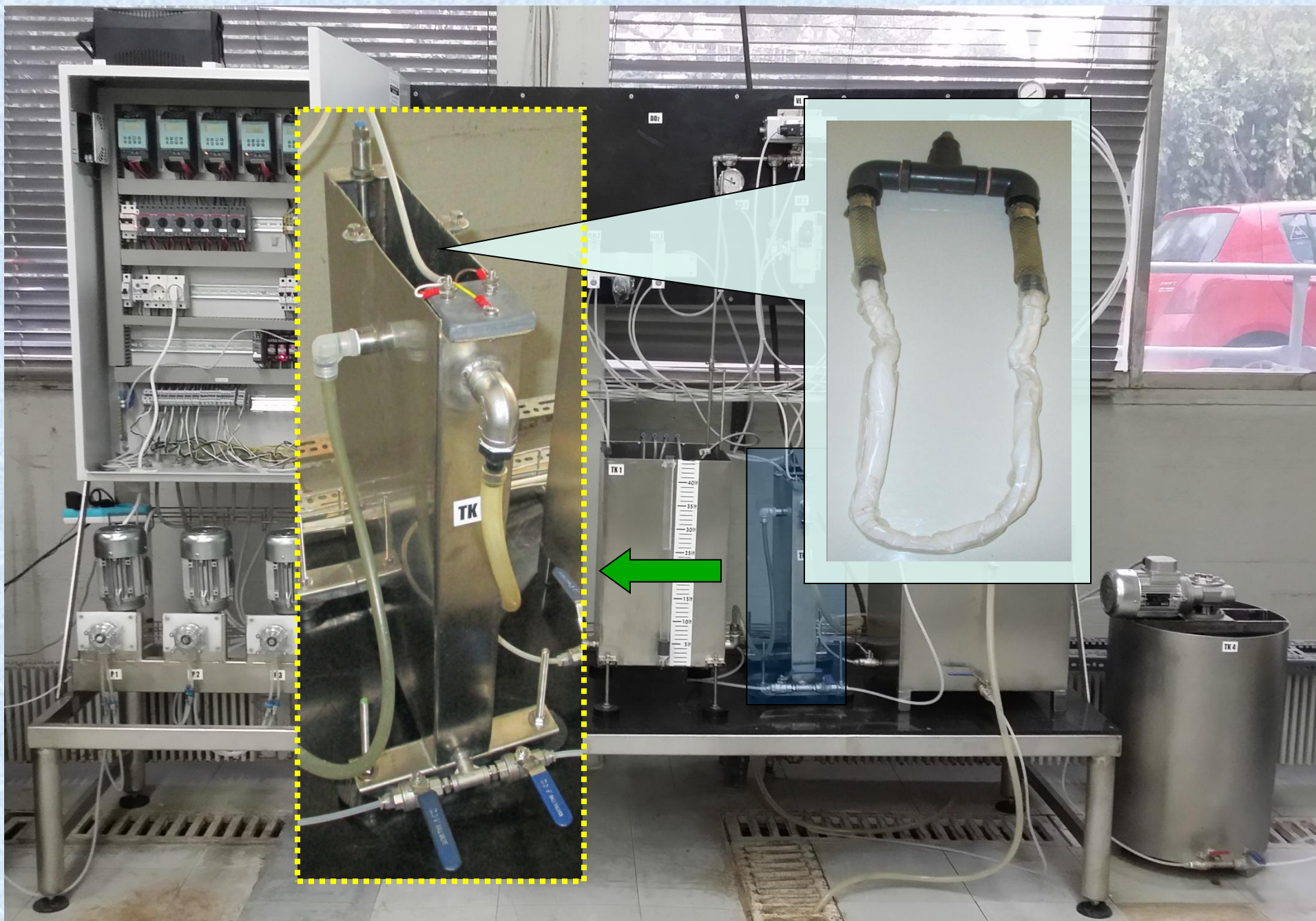


Χαρακτηριστικό	Περιγραφή/Τιμή
Μοντέλο	ZW-1, βυθιζόμενη μεμβράνη υπερδιήθησης
Γεωμετρία	Κοίλες ίνες
Καθεστώς ροής	Dead-end, διήθηση από έξω προς τα μέσα
Υλικό κατασκευής	Πολυβινυλιδενοφθορίδιο (PVDF)
Μέγεθος πόρων	0.04 μm
Απόλυτη απόρριψη στερεών	0.1 μm
Επιφάνεια	0.047 m^2
Μέγιστη επιτρεπτή TMP λειτουργίας	62 kPa (0.62 bar)
Τυπικό εύρος TMP λειτουργίας	10-50 kPa (0.10-0.50 bar)
Εύρος pH λειτουργίας	5-9
Μέγιστη έκθεση σε OCl^-	1000 mg/L
Μέγιστη θερμοκρασία πλύσης	40°C

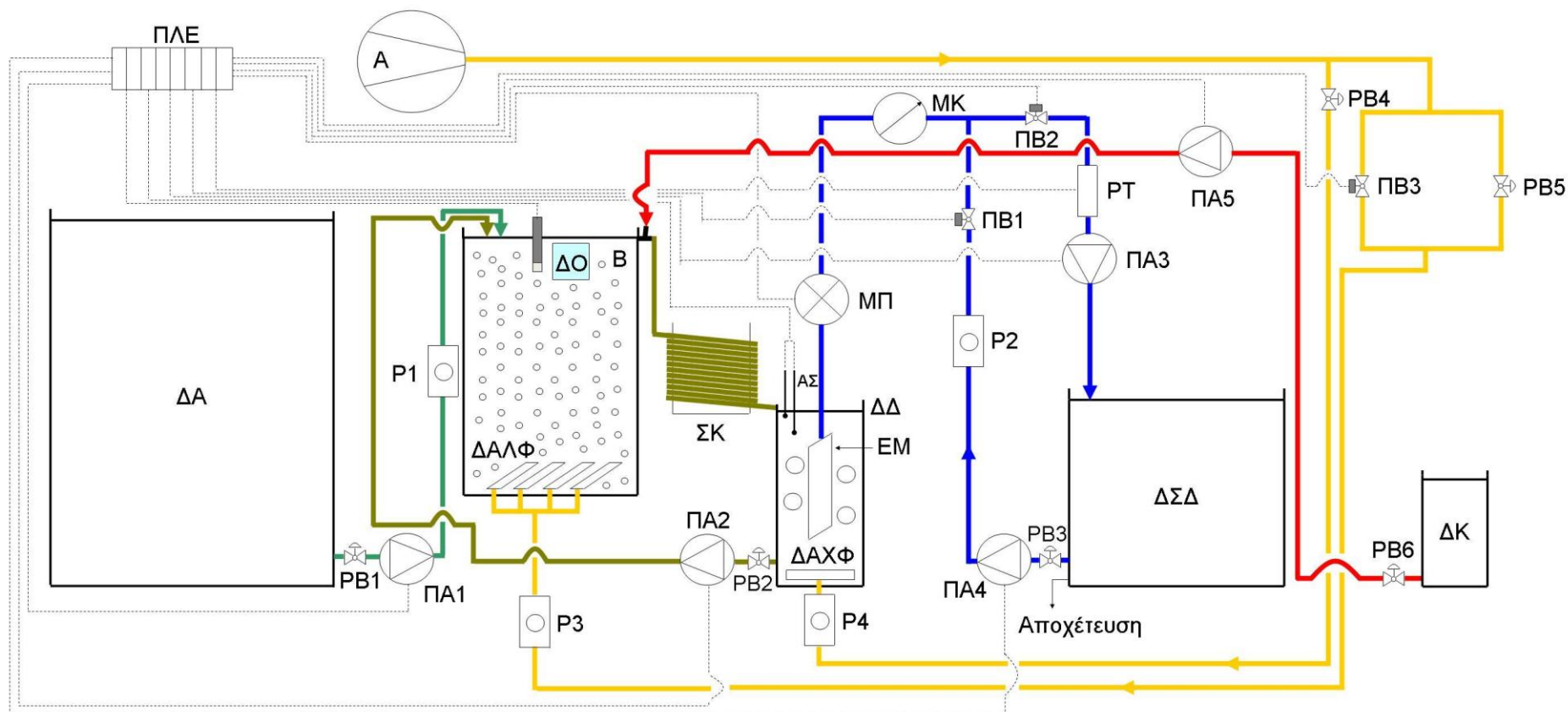
Πιλοτική μονάδα MBR



Πιλοτική μονάδα MBR



Διάγραμμα ροής πιλοτικής μονάδας MBR



ΔΑ: Δεξαμενή Αποβλήτου

Β: Βιοαντιδραστήρας

ΔΔ: Δοχείο Διήθησης

ΔΣΔ: Δοχείο Συλλογής Διηθήματος

ΔΚ: Δοχείο Κροκιδωτικού

ΣΚ: Σπείρα Κροκίδωσης

ΕΜ: Επίπεδη Μembrάνη

ΠΛΕ: Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής

ΠΑ: Περισταλτική Αντλία

ΔΟ: Διαλυμένο Οξυγόνο

Α: Αεροσυμπιεστής

ΔΑΛΦ: Διαχυτήρες Αέρα Λεπτής Φυσαλίδας

ΔΑΧΦ: Διαχυτήρας Αέρα Χονδρής Φυσαλίδας

Ρ: Ροόμετρο πλωτήρα (νερού ή αέρα)

ΜΚ: Μανόμετρο Κενού

ΜΠ: Μεταδότης Πίεσης

ΡΤ: Ροόμετρο Τουρμπίνας

ΑΣ: Αισθητήρες Στάθμης

ΡΒ: Ρυθμιστική Βάνα

ΠΒ: Πνευματική Βάνα

— Τροφοδοσία

— Ανακυκλοφορία Μικτού Υγρού

— Διήθηση/Αντίστροφη Πλύση

— Αερισμός

— Προσθήκη κροκιδωτικού

— Ηλεκτρονικό κύκλωμα

Μεμβράνη Zena HF membrane, P-50



Χαρακτηριστικά μεμβράνης

Configuration	Hollow Fibre
Operation	Dead-end, Outside/In
Material	Polypropylene (PP)
Pore size	0.1 μm
Surface area	0.75 m^2
Maximum TMP	62 kPa (0.62 bar)
Typical flux	150 LMH (1 bar, 15 $^{\circ}\text{C}$)

Λειτουργία πιλοτικής μονάδας MBR

- Διάρκεια διήθησης: 10 min
- Παροχή διηθήματος: 5 LMH
- Διάρκεια αντίστροφης πλύσης: 1 min
- DO: 2-3 mg/L

Προσομοιωμένο αστικό απόβλητο

Παρασκευή συνθετικού αποβλήτου



	ΟΟΣΑ (Τεχνική έκθεση, 2010)	Πιλοτική μονάδα (x10)	Εργαστηριακό σύστημα (x3)
Ουσία	Συγκέντρωση (g/L)		
Peptone	0.160	1.600	0.480
Meat extract	0.110	1.100	0.330
K_2HPO_4	0.028	0.280	0.084
NaCl	0.007	0.070	0.021
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.004	0.040	0.012
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.002	0.020	0.006

(ΟΟΣΑ, Τεχνική έκθεση, 2010)

Οργανικό φορτίο εισόδου



	Πιλοτική μονάδα	Εργαστηριακό σύστημα
BOD, mg/L	1030	330
COD, mg/L	2088	780

	Μικρής επιβάρυνσης	Μεσαίας επιβάρυνσης	Μεγάλης επιβάρυνσης
COD, mg/L	250	500	1000
BOD, mg/L	110	220	400

(Tchobanoglous, 1991)

Χαρακτηρισμός ενεργού ιλύος

- $TS = 8220 \text{ mg/L}$
- $SS = 9230 \text{ mg/L}$
- $VSS = 5950 \text{ mg/L}$
- $NVSS = 1280 \text{ mg/L}$
- $pH = 7.34$



ΕΕΛΘ (περιοχή Γαλλικού ποταμού)

Προσδιορισμός σε καθημερινή βάση (στο μικτό υγρό)

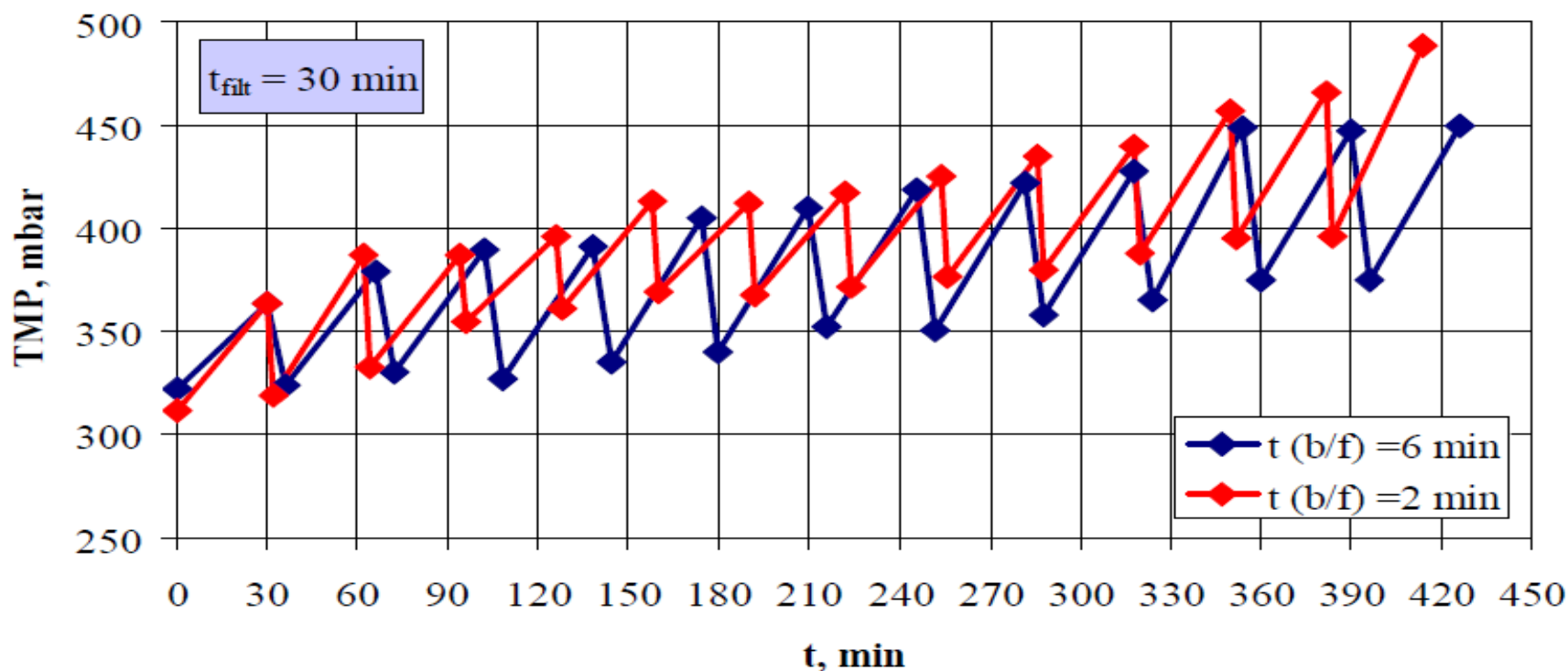


A) $SS = 8000 \text{ mg/L}$

B) $SVI = 124 \text{ mL/g}$

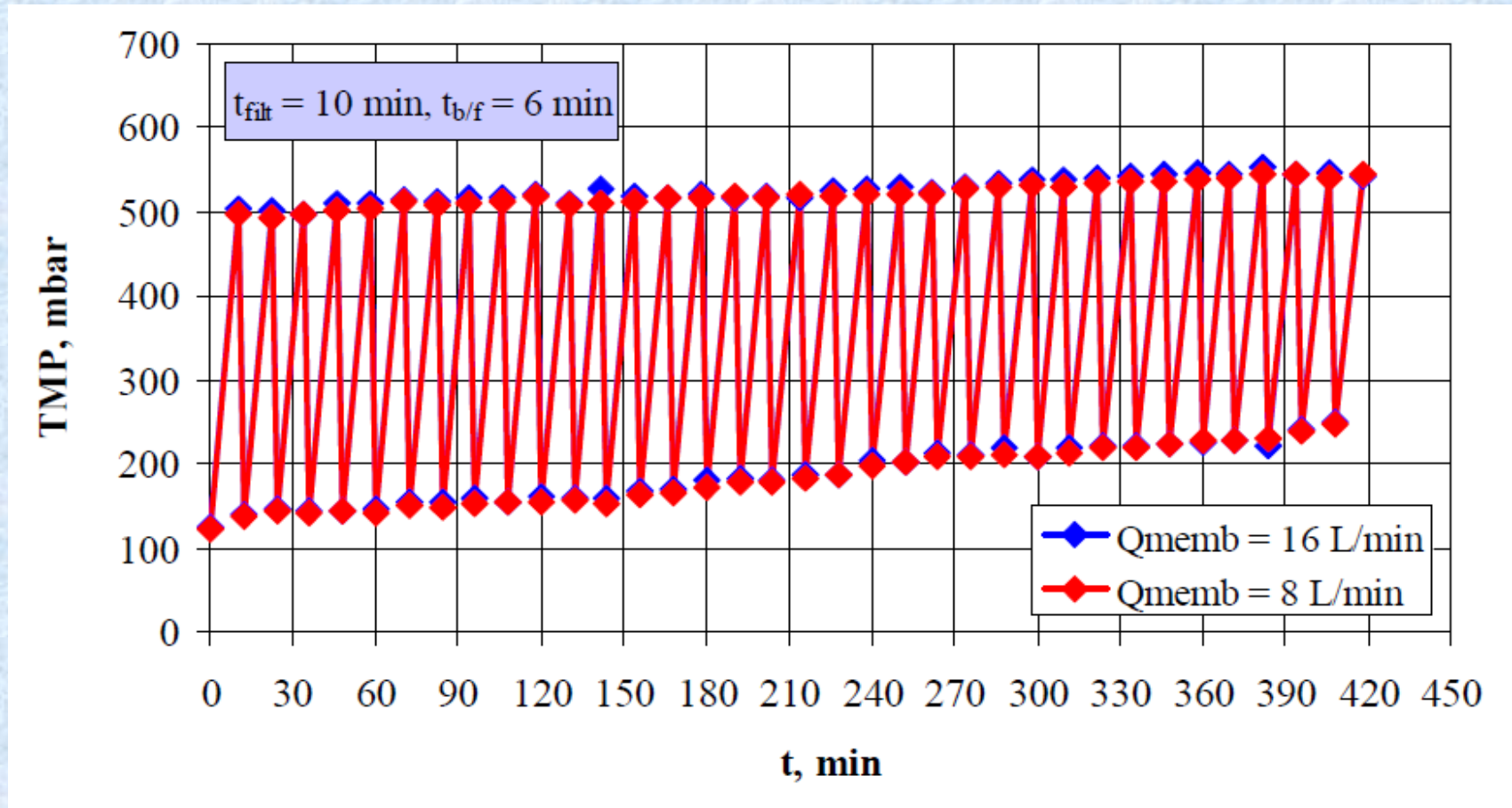


Επίδραση διάρκειας αντίστροφης πλύσης
(για $t_{filt} = 30 \text{ min}$, $Q_{memb} = 8 \text{ L/min}$, $MLSS = 5 \text{ g/L}$)



- Υψηλότερες τιμές TMP όταν η διάρκεια της ΑΠ είναι μικρότερη (2 min)
- Η TMP πλησιάζει περισσότερο την αρχική τιμή όταν η διάρκεια της ΑΠ είναι μεγαλύτερη (6 min)

Επίδραση παροχής αέρα για τον καθαρισμό της μεμβράνης
(για $t_{filt} = 10 \text{ min}$, $t_{b/f} = 6 \text{ min}$, $MLSS = 5 \text{ g/L}$)



- Δεν παρατηρούνται ουσιαστικές διαφορές

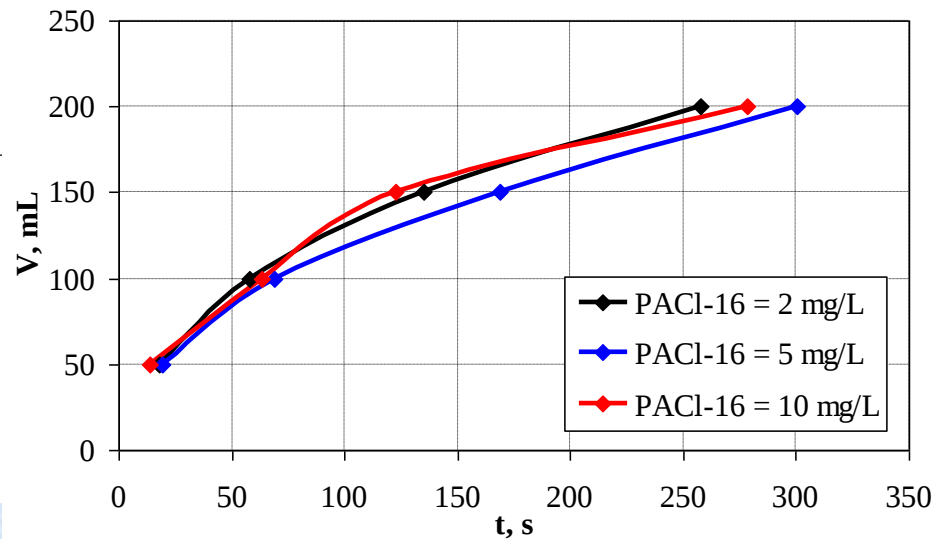
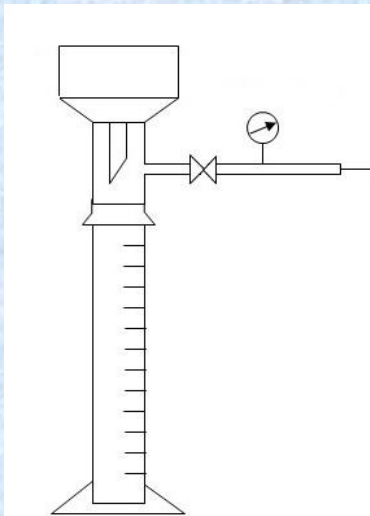


Δοκιμή μεγάλου εύρους κροκιδωτικών υλικών

Α. Δοκιμές διηθησιμότητας (ένδειξη αντιστρεπτού fouling)



Time to filter (TTF) test method (APHA 1992)



Β. Προσδιορισμός συγκέντρωσης SMP (sEPS) (ένδειξη μη αντιστρεπτού fouling)



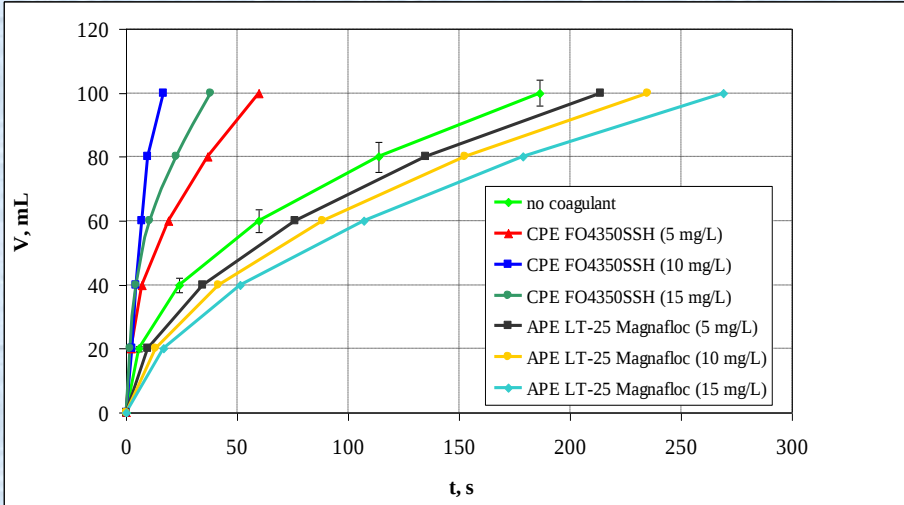
Phenol-Sulphuric (colorimetric) Acid Method



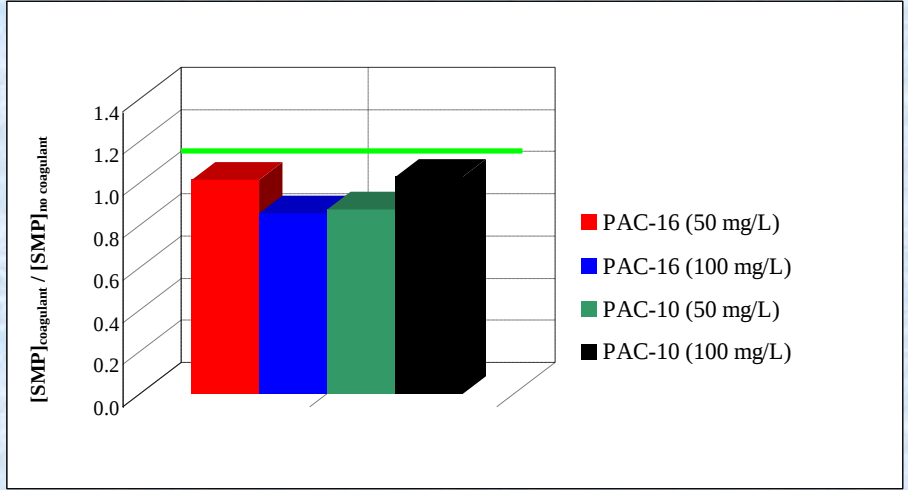
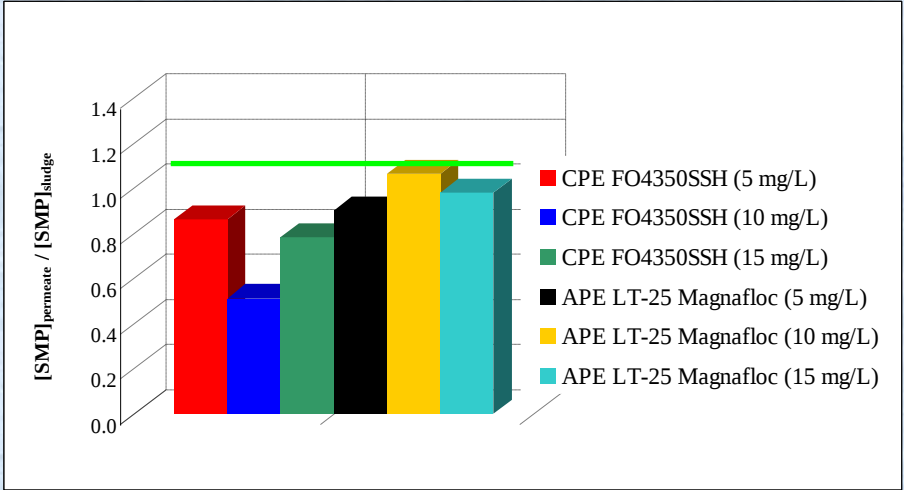
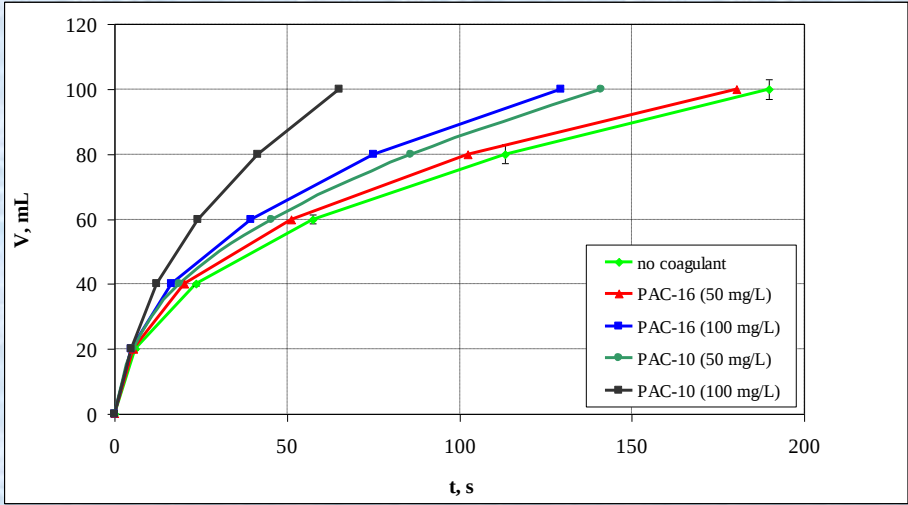
(carbohydrate concentration determination)

ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΚΡΟΚΙΔΩΤΙΚΑ

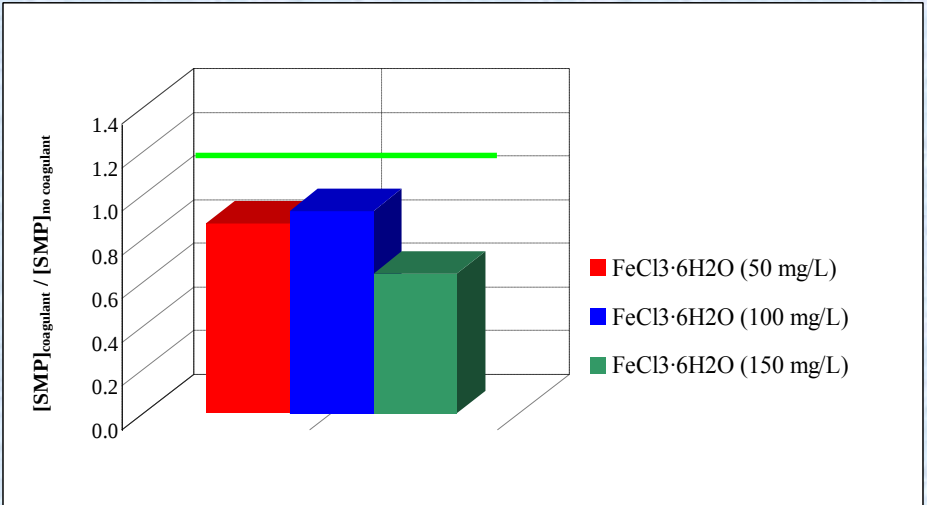
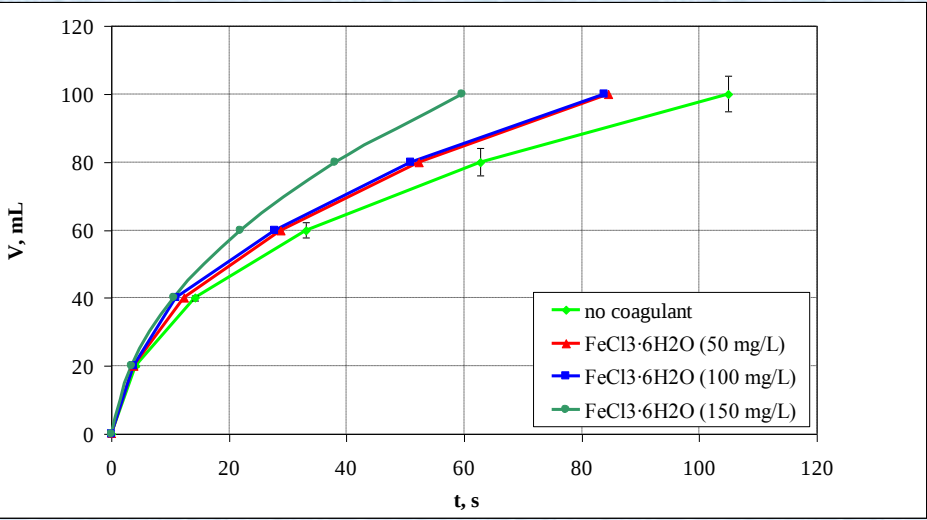
Οργανικά



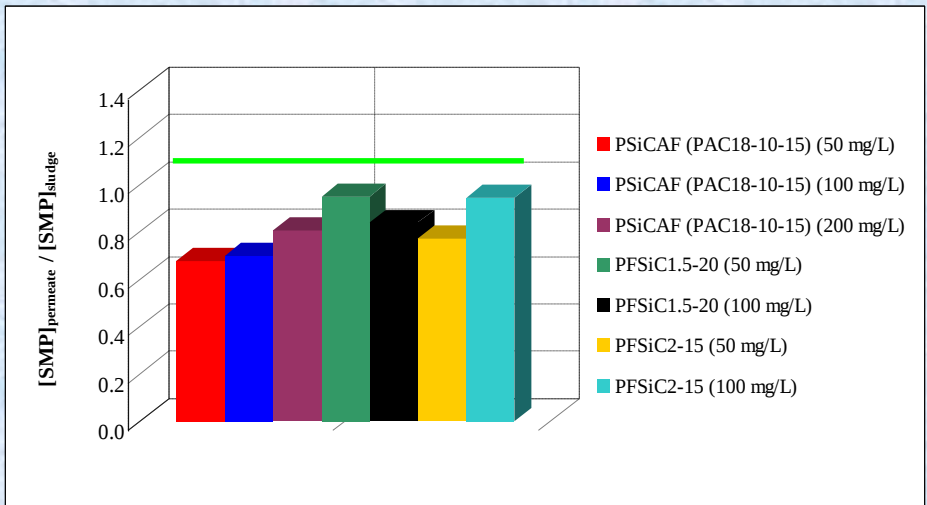
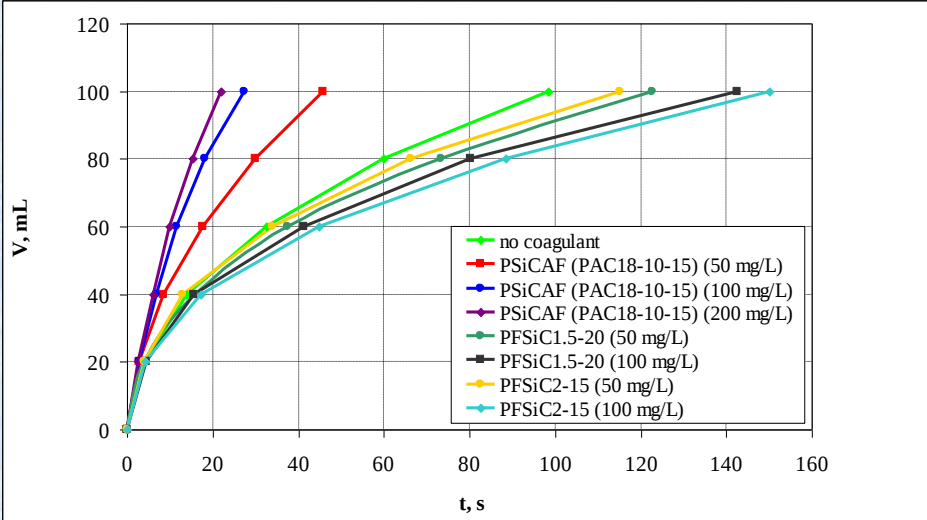
Ανόργανα



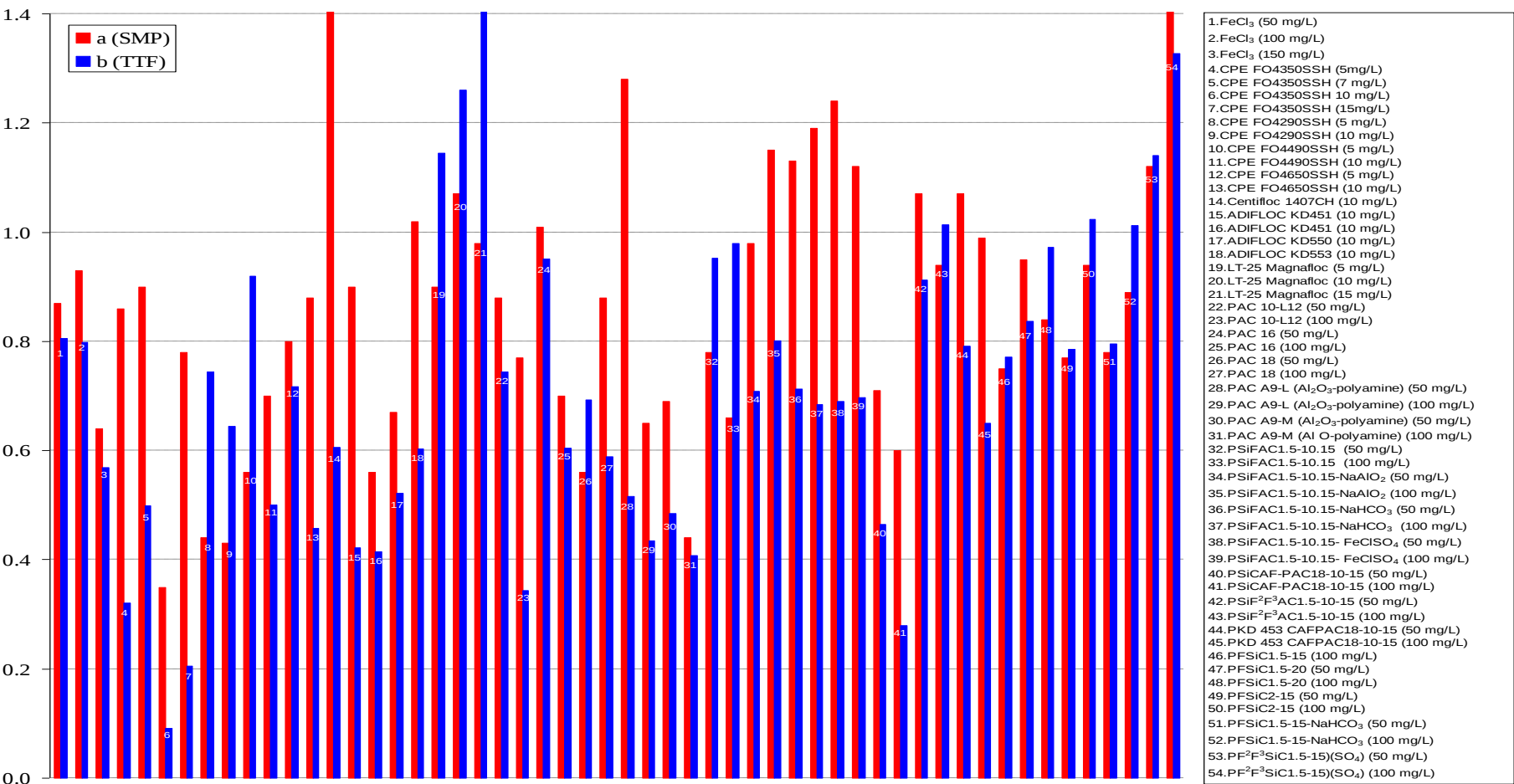
FeCl₃·6H₂O



Σύνθετα (Al & Fe-based)



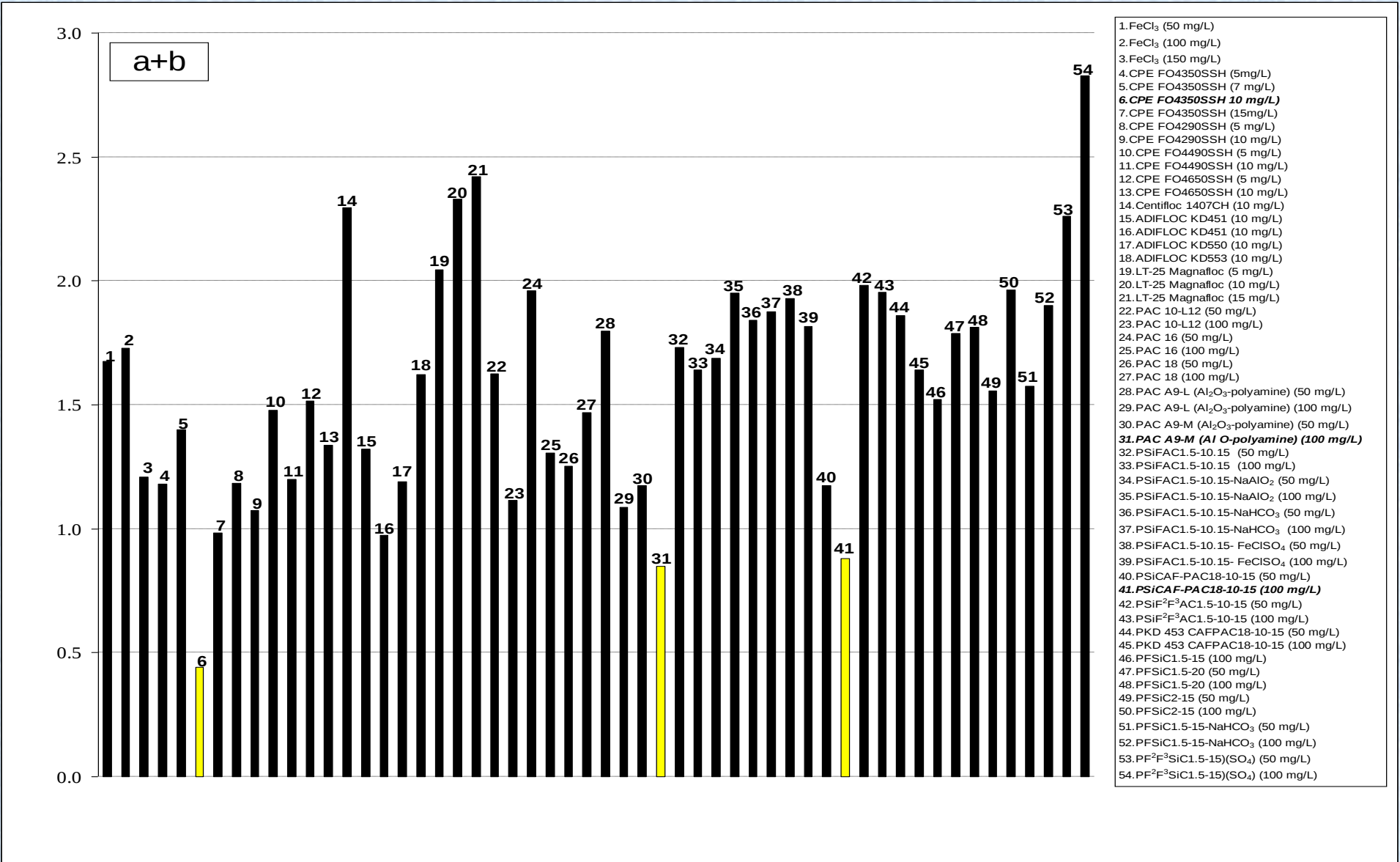
Συνολικά αποτελέσματα πιλοτικής μονάδας MBR



$$a = \frac{SMP_{coagulant}}{SMP_{no\ coagulant}} \quad \& \quad b = \frac{TTF_{coagulant}}{TTF_{no\ coagulant}}$$

Membrane fouling
mitigation

Συνολικά αποτελέσματα πιλοτικής μονάδας MBR



a + b



Membrane fouling mitigation

Εφαρμογή σε συνθήκες πλήρους κλίμακας

Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων-Βοθρολυμάτων (ΕΕΛ-ΑΙΝΕΙΑ) Τουριστικών περιοχών (Αγγελοχώρι)



Εφαρμογή σε συνθήκες πλήρους κλίμακας

- Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης



- Φρεάτιο υπερχείλισης



Είσοδος βιοαντιδραστήρα

Fouling indices

- ✓ *TMP vs t*
- ✓ *Normalized membrane flux (J/J_0) vs t*
- ✓ *Unified Membrane Fouling Index (UMFI)*

Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα

- **Δυο πειραματικές διατάξεις MBR** (μία εργαστηριακής και μία πιλοτικής κλίμακας) σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και λειτουργούν στο ΕΓΑΧΤ
- Έγινε η **βελτιστοποίηση της λειτουργίας του εργαστηριακού συστήματος MBR** με τη μελέτη παραμέτρων όπως:
 - στάδια που συνιστούν ένα λειτουργικό κύκλο
 - καθορισμός διάρκειας αντίστροφης πλύσης & παροχής αέρα
- Η **δοκιμή μεγάλου εύρους κροκιδωτικών αντιδραστηρίων στην πιλοτική μονάδα** για την προ-εκτίμηση/έλεγχο της αντιστρεπτής (TTF method) και μη αντιστρεπτής έμφραξης (Phenol-Sulphuric Acid Method) έδειξε ως βέλτιστα τα παρακάτω κροκιδωτικά υλικά:

- CPE FO4350SSH
 - PAC A9-M
 - PSiCAF(PAC-18₁₀₋₁₅)
- Η πιλοτική μονάδα MBR λειτουργεί πλέον σε πραγματική εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων με σκοπό την απ' ευθείας (inline) προσθήκη κροκιδωτικών υλικών στο σύστημα και επομένως εκτίμηση του φαινομένου της έμφραξης σε **συνθήκες πλήρους κλίμακας**
- Οι περισσότερες φυσικοχημικές παράμετροι (BOD, COD κ.τ.λ.) παρουσιάζουν **σημαντική πτώση** σε σχέση με την αρχική τιμή εισόδου στο σύστημα.

«ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΜΦΡΑΞΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕΘΟΔΩΝ»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ



Δημοσιεύσεις σε συνέδρια

- Gkotsis K.P., Zouboulis I.A., Peleka N.E., Mitrakas M.M., Tolkou K.A., Zamboulis X.D., "Filterability tests and SMP concentration measurements for membrane fouling pre-assessment in a pilot-scale MBR ", IWA Balkan Young Water Professionals Conference, 10-12 May, 2015, Thessaloniki, Greece.
- Gkotsis K.P., Zouboulis I.A., Peleka N.E., Mitrakas M.M., Tolkou K.A., Zamboulis X.D., "Development of an integrated methodology for fouling control in membrane bioreactors", 2nd International Conference on Advances in Bio-Informatics and Environmental Engineering, 18-19 April, 2015, Rome, Italy.
- Gkotsis K.P., Peleka N.E., Zouboulis I.A., Tolkou K.A., Zamboulis X.D., Mitrakas M.M., "Using coagulants to control membrane fouling in a membrane bioreactor", 12th International Conference: Protection and Restoration of the Environment, 11-12 September, 2014, Antalya, Turkey.
- Gkotsis K.P., Peleka N.E., Zouboulis I.A., Mitrakas M.M., Zamboulis X.D., Tolkou K.A., "Wastewater treatment in Membrane Bioreactors; development of an integrated methodology for fouling control", 12th International Conference: Protection and Restoration of the Environment, 29 June-03 July, 2014, Skiathos, Greece.
- Γκότσης Κ.Π., Πελέκα Ν.Ε., Ζουμπούλης Ι.Α., Μήτράκας Μ.Μ., Ζαμπούλης Ξ.Δ., Τόλκου Κ.Α., "Επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών, ανάπτυξη τεχνικής για τον έλεγχο της εμφραξης με συνδυασμό μεθόδων", 5ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας, 14-16 Μαρτίου, Θεσσαλονίκη.
- Gkotsis, K.P., Peleka N.E., Zouboulis I.A., Mitrakas M.M., Zamboulis X.D., "Wastewater treatment in Membrane Bioreactors; Development of an integrated methodology for fouling control", 4th International Conference "Small and Decentralized Water and Wastewater Treatment Plants", 25-27 Οκτωβρίου, 2013, Βόλος.
- Gkotsis K.P., Batsari, L.E., Zouboulis I.A., Peleka N.E., Tolkou K.A., Zamboulis X.D., Mitrakas M. M., "An innovative hybrid MBR-coagulation system to control membrane fouling", 12ο Συνέδριο Χημείας Ελλάδας-Κύπρου, 08-10 Μαΐου, 2015, Θεσσαλονίκη.

Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά

- Gkotsis P. K., Banti D. Ch., Peleka E. N., Zouboulis A. I., Samaras P. E., "Fouling issues in membrane bioreactors (MBRs) for wastewater treatment: major mechanisms, prevention and control strategies", Processes, vol. 2, pp. 795-866, 2014.

Ευχαριστίες

Το έργο υλοποιείται με το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα & Επιχειρηματικότητα» και Περιφερειών με μετάβαση, ΕΣΠΑ 2007-2013 με τη δράση Εθνικής Εμβέλειας «ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011» και συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Έργο 11ΣΥΝ_8_1084: Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών.