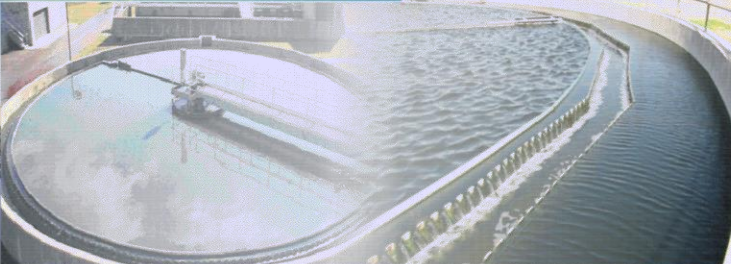
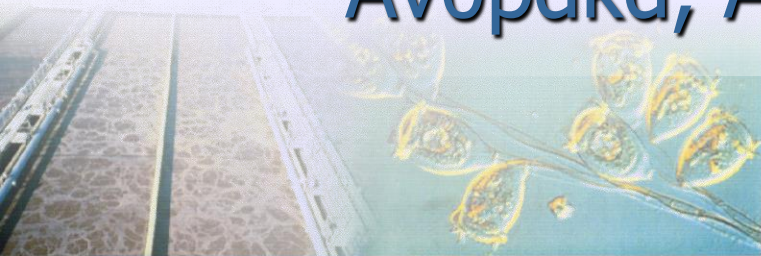


Βελτιστοποίηση Χαρακτηριστικών Ροής σε Συστήματα Ενεργού Ιλύος για Αφαίρεση Άνθρακα, Αζώτου και Φωσφόρου



Ελένη Βαϊοπούλου
Δρ. Μηχανικός Περιβάλλοντος

Σχεδιάγραμμα διάλεξης

- Εισαγωγή / Στόχος διάλεξης
- Νιτροποίηση – Απονιτροποίηση
- Αποφωσφόριση
- Μονάδα τριτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
 - Λειτουργία με αστικό λύμα
 - Λειτουργία με συνθετικό υγρό απόβλητο
- Συμπεράσματα

Εισαγωγή – Στόχος διάλεξης

Εισαγωγή

- Περ/κά προβλήματα: ευτροφισμός, μείωση DO, τοξικότητα κ.α.
- Αιτία: υψηλές συγκεντρώσεις **N** και **P** (μακροθρεπτικά).
- Υφιστάμενη κατάσταση:
 - δευτεροβάθμια επεξεργασία Υ.Α.
 - υπερκατανάλωση του νερού, υπεράντληση για άρδευση και ρύπανση των διαθέσιμων υδροφόρων:
 - ❖ Λειψυδρία μέχρι 2025 (GEO Report 2000 U.N.)
- ➔ ανάγκη εξεύρεσης **νέων πόρων νερού**.

Αφαίρεση C, N, P από υγρά απόβλητα
Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων



Περιορισμοί

- **Ανώτατα όρια διάθεσης (νομοθεσία):**

για εκροή ΜΕΥΑ (ΚΥΑ 5673/400/ΦΕΚ192Β/14-03-1997)

25 mg BOD₅/L

125 mg COD/L

10 – 15 mg TN/L

1 – 2 mg P/L

για επαναχρησιμοποίηση

ανάλογα με τελική χρήση (ΚΥΑ Φεβρ. 2011 «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις»)

- **Κόστος** (επενδυτικό / λειτουργικό)

Βιολογική τριτοβάθμια επεξεργασία

Τεταρτοβάθμια επεξεργασία

A composite image on the left side of the slide. The top part shows a microscopic view of several yellowish, oval-shaped biological flocs or microorganisms. The bottom part shows a large, circular industrial tank, likely a clarifier or aeration basin, with a metal walkway and railings around its edge. The background of the slide is a light blue gradient.

ΜΕΥΑ (Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων)

- Η **Πρωτοβάθμια Επεξεργασία** (Π.Ε.) αποσκοπεί στην απομάκρυνση χονδρών αιωρούμενων και επιπλεόντων μη διαλυτών στερεών, καθώς και στην προετοιμασία του υγρού αποβλήτου για την ακόλουθη Δευτεροβάθμια Επεξεργασία.
- Η **Δευτεροβάθμια Επεξεργασία** (Δ.Ε.) περιλαμβάνει τη βιολογική επεξεργασία και εστιάζεται στην απομάκρυνση υδρολυόμενων και υδατοδιαλυτών οργανικών συστατικών που περιέχονται στο υγρό απόβλητο (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπαρά οξέα).
- Η **Τριτοβάθμια Επεξεργασία** (Τ.Ε.) στοχεύει στην αφαίρεση των θρεπτικών συστατικών, **αζώτου (N)** και **φωσφόρου (P)**, που δεν έχουν απομακρυνθεί στα πλαίσια των προηγούμενων διεργασιών.
- Η **«Τέταρτη Βαθμίδα»** (προχωρημένη επεξεργασία) έχει ως αντικείμενο την επεξεργασία του υγρού αποβλήτου, μέχρι την ανάκτηση νερού με συγκεκριμένες προδιαγραφές για επαναχρησιμοποίησή του.

Στόχος της διάλεξης

...να παρουσιάσει τη δυνατότητα απομάκρυνσης οργανικών & μακροθρεπτικών συστατικών από λύματα

μέσω ενός ολοκληρωμένου συστήματος επεξεργασίας

Επιμέρους στόχοι:

→ κατανόηση **μηχανισμών απομάκρυνσης CNP** (τριτοβάθμια επεξεργασία Υ.Α.)

→ κατανόηση **διεργασιών** νιτροποίησης, απονιτροποίησης και αποφωσφόρισης

→ κατανόηση **σχεδιασμού και λειτουργίας μονάδας** τριτοβάθμιας επεξεργασίας Υ.Α.

→ εντοπισμός **βέλτιστων χαρακτηριστικών ροής** της πρότυπης πιλοτικής μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας Υ.Α.

Διεργασίες & Μέθοδοι τριτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Βιολογική αφαίρεση αζώτου

■ Νιτροποίηση

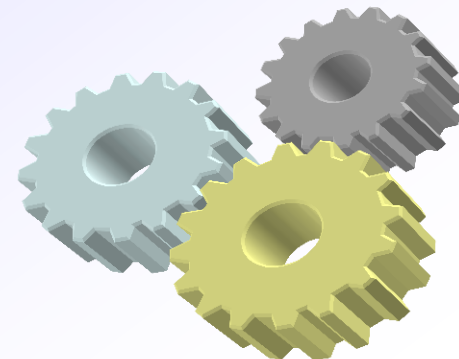


Υψηλή απαίτηση O_2 – πτώση pH – Χαμηλός ρυθμός ανάπτυξης

■ Απονιτροποίηση



Απαίτηση ηλεκτρονιακού δότη – Αύξηση αλκαλικότητας



Βιολογική αφαίρεση φωσφορικού

■ Αναερόβιο περιβάλλον

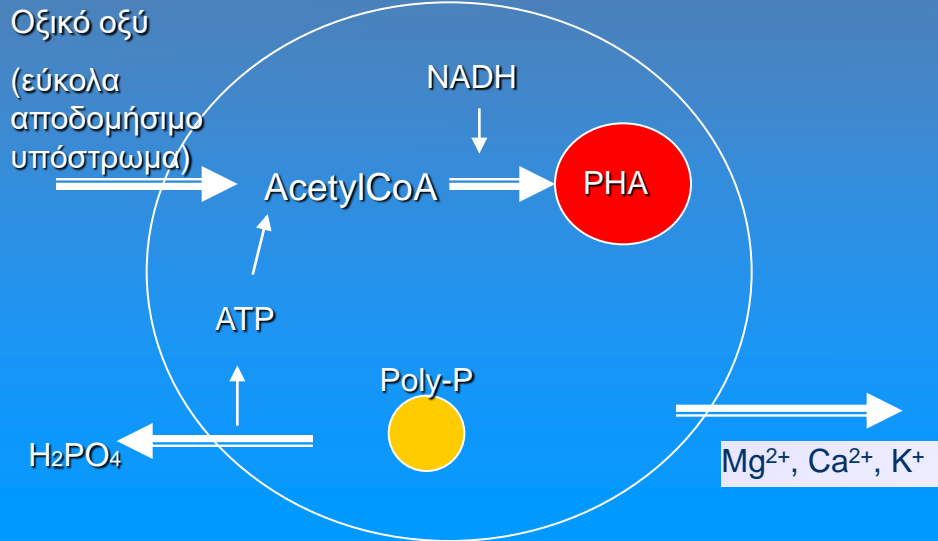
- Πρόσληψη οργανικών υποστρωμάτων (SCFA)
- Σύνθεση ενδοκυτταρικού PHB
- **Απελευθέρωση φωσφορικών**

■ Αερόβιο περιβάλλον

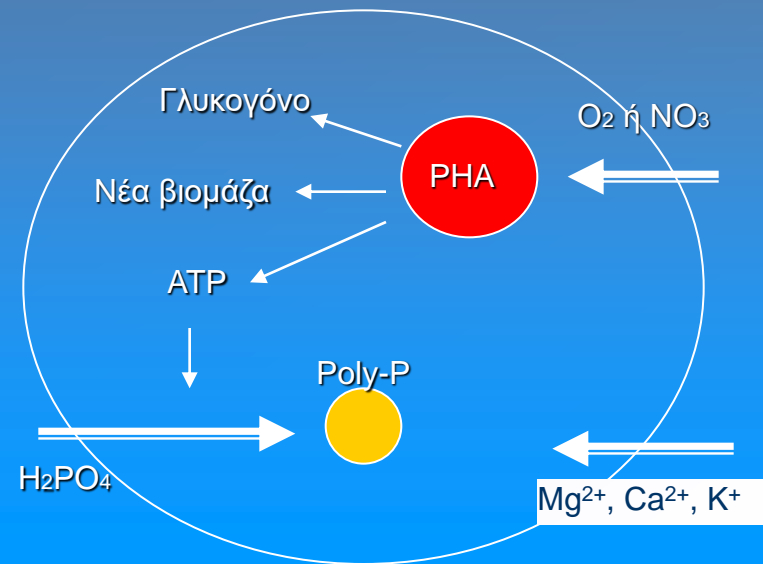
- Οξείδωση ενδοκυτταρικού PHB
- **Αφομοίωση φωσφορικών** και βακτηριδιακή ανάπτυξη με ενδοκυτταρικό υπόστρωμα
- ικανότητα χρήσης NO_3^- -N από ορισμένα για πρόσληψη PO_4^{3-} -P

PAOs=Phosphate Accumulating Organisms

ΑΝΑΕΡΟΒΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



ΑΕΡΟΒΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ



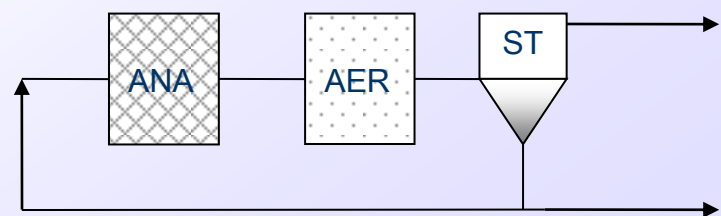
Αποφωσφόρωση

Τα Poly-P βακτήρια αφομοιώνουν περισσότερο φωσφορικό από όσο ελευθερώνουν!

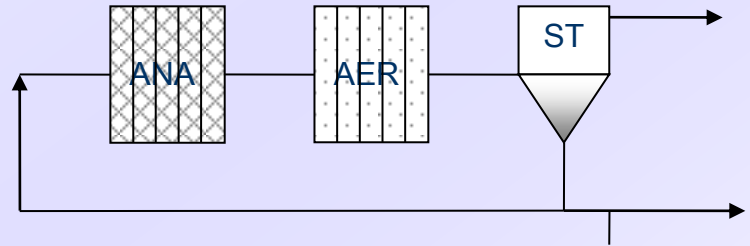


Μέθοδοι αφαίρεσης θρεπτικών...

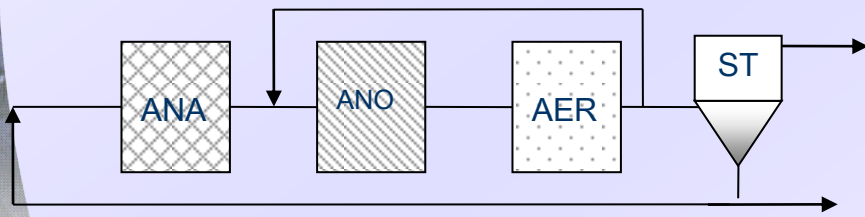
Phoredox



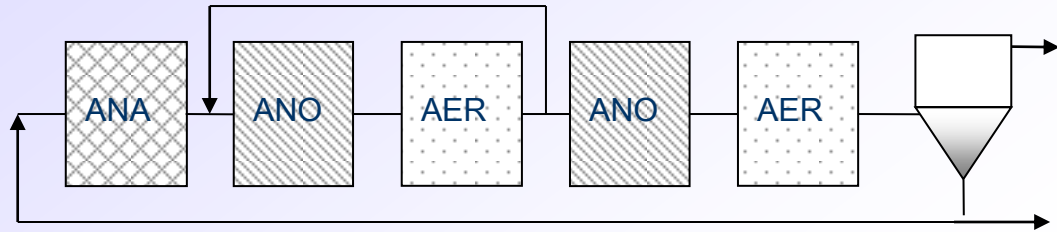
Αναερόβια/Οξική



Bardenpho

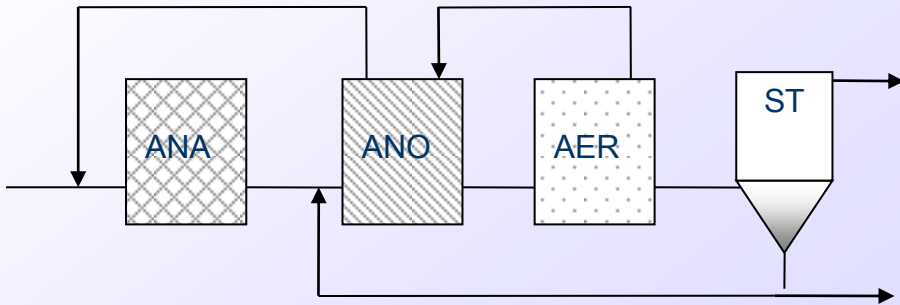


τροποποιημένη Bardenpho

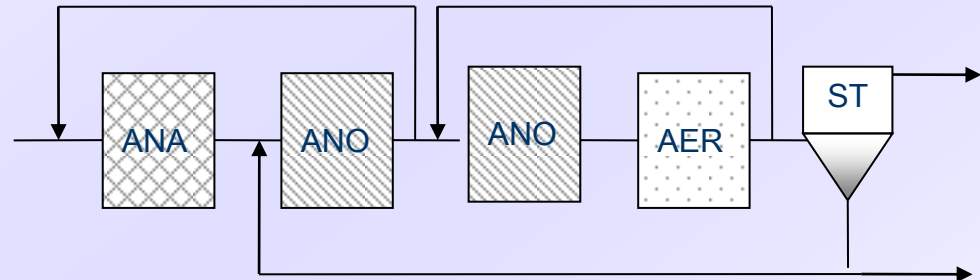


...μέθοδοι αφαίρεσης θρεπτικών

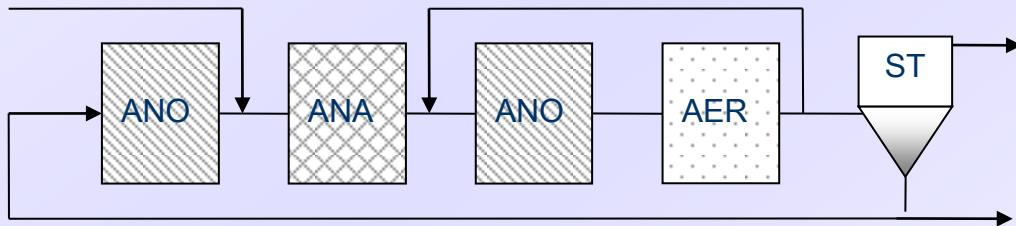
UCT



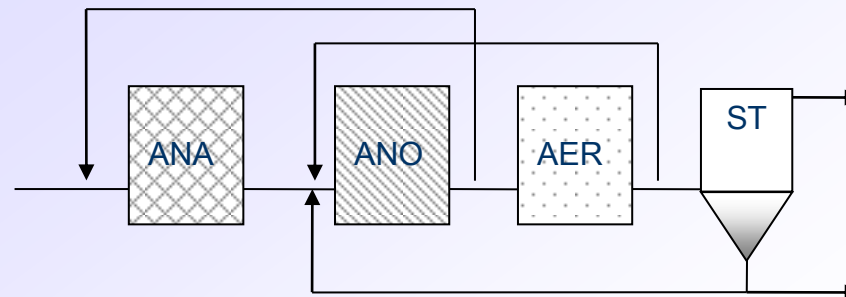
τροποποιημένη UCT



Johannesburg

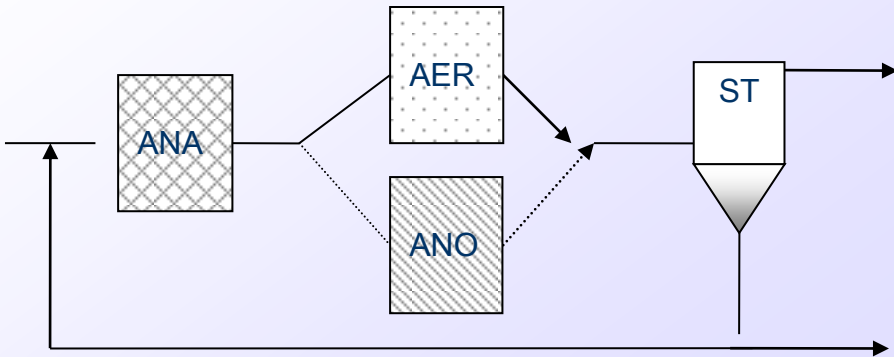


VIP

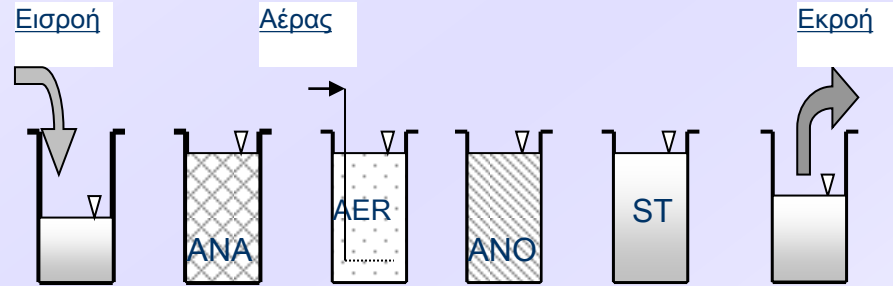


...μέθοδοι αφαίρεσης θρεπτικών

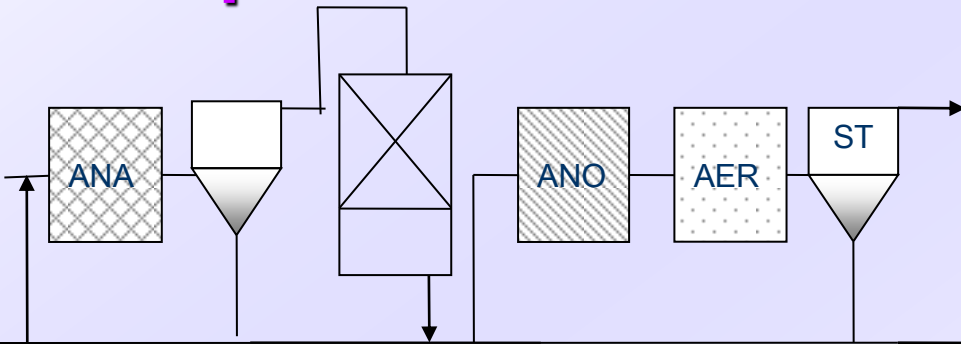
Biodenitripho



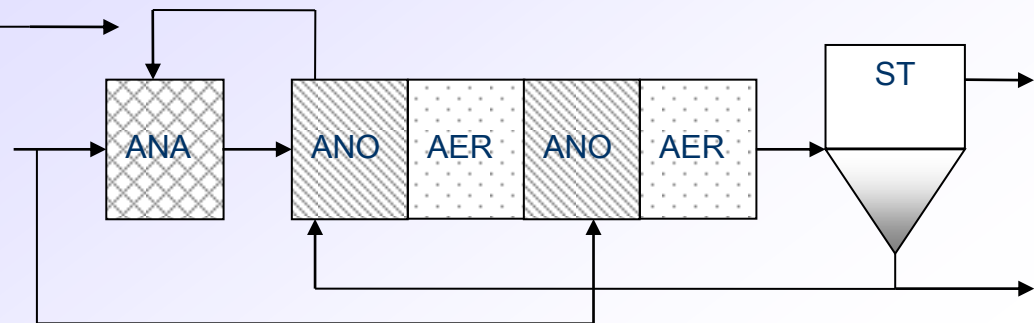
SBR



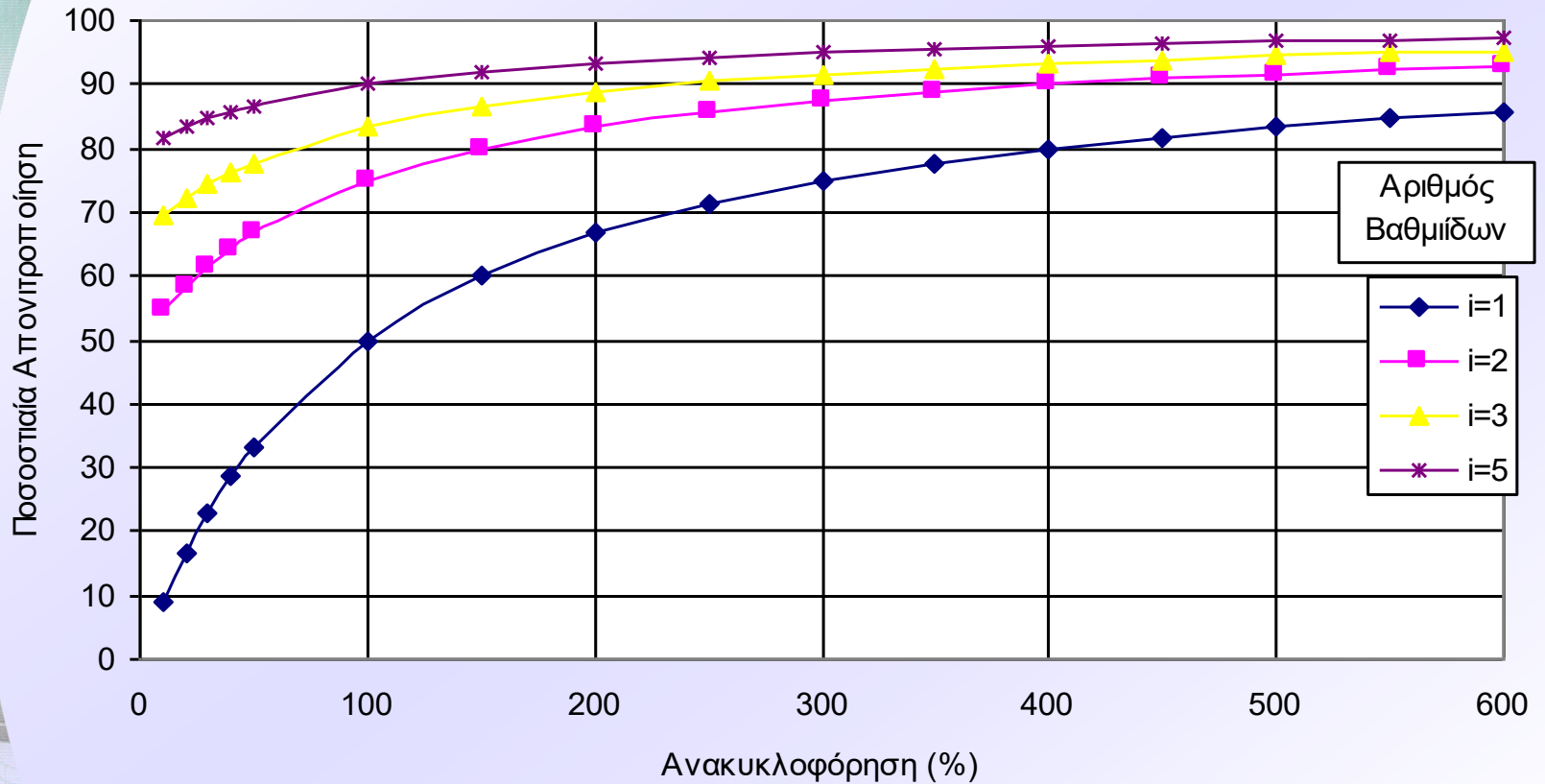
Dephanox



(Schlegel, 1992)



Δυνητική αφαίρεση αζώτου



$$n_{DN} = 1 - \frac{1}{i(1+R)}$$

i=3 και R=100%

83%

Μονάδα τριτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Απομάκρυνση θρεπτικών

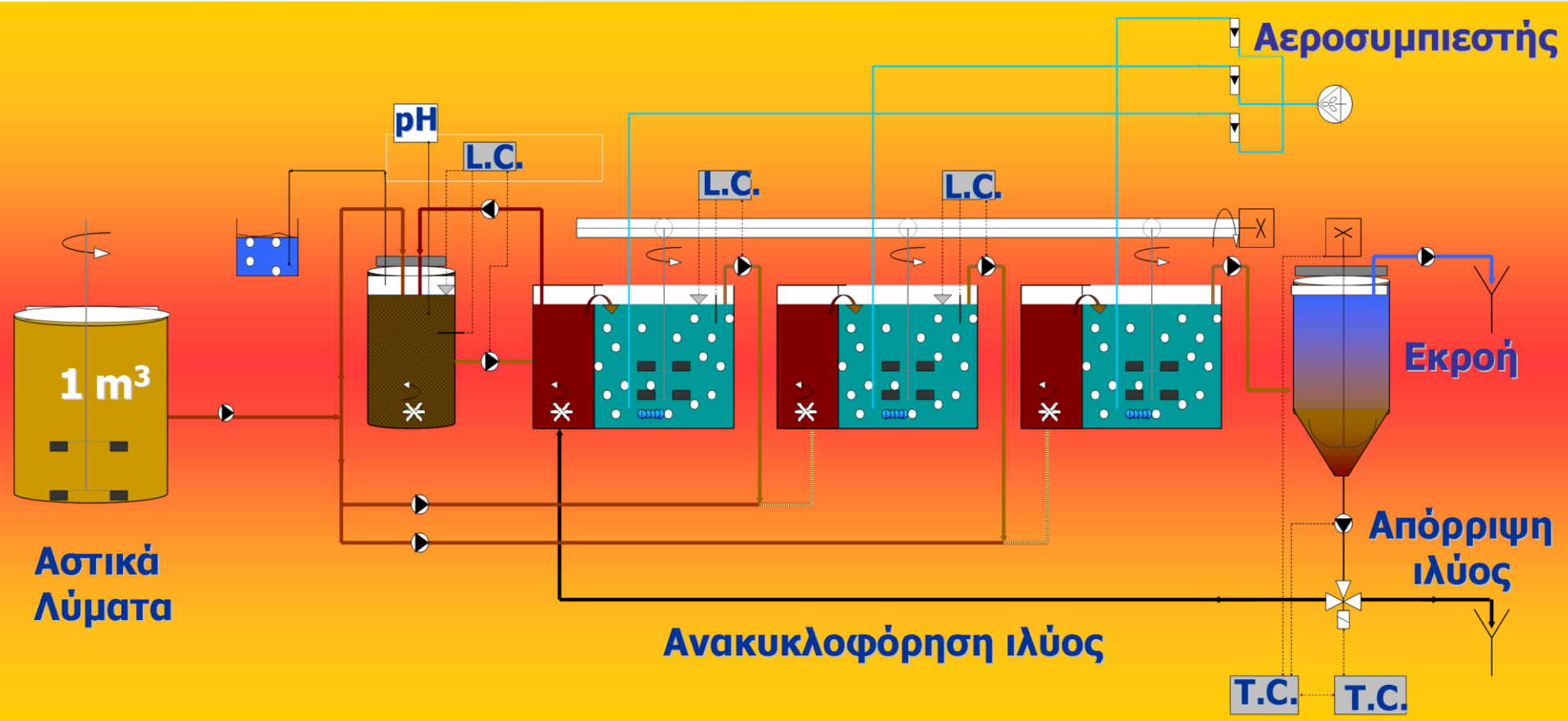
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

- Αναερόβιες – Ανοξικές – Αερόβιες συνθήκες
 - Ελαχιστοποίηση εισαγωγής $\text{NO}_3\text{-N}$ στις αναερόβιες
- ➡ Μέθοδος UCT

ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ:

- Μεγιστοποίηση της απόδοσης ➡ Πολλαπλές βαθμίδες N - DN
- Εξασφάλιση τροφοδοσίας C για απονιτροποίηση & PHB ➡ Βαθμιδωτή τροφοδοσία
- Προσθήκη επιλογέων ➡ Εισαγωγή αποβλήτου σε αναερόβιες / ανοξικές συνθήκες
- Μείωση ανακυκλοφόρησης ➡ Συστοιχία
- Υψηλή συγκ. ενεργού ιλύος ➡ Συστοιχία

Διάγραμμα ροής



- Αναερόβιες συνθήκες
- Ανοξικές συνθήκες
- Αερόβιες συνθήκες

Χαρακτηριστικά μεθόδου

Συνδυασμός UCT & απονιτροποίησης σε συστοιχία

✓ Αναερόβιος επιλογέας

⇒ επιλογή PAOs + καταστολή ανάπτυξης νηματοειδών

✓ Συστοιχία 3 ζευγών δεξαμενών N – DN

⇒ υψηλή απόδοση απονιτροποίησης + λειτουργική ασφάλεια

✓ Βαθμιδωτή τροφοδοσία

⇒ πηγή C για απονιτροποίηση + απελευθέρωση P

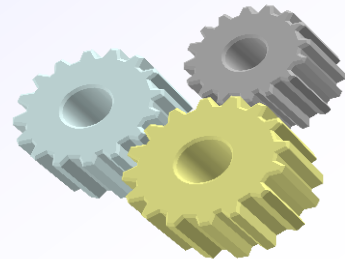
✓ Αποφυγή πρωτοβάθμιας καθίζησης

⇒ διατήρηση οργανικού για απονιτροποίηση+ απελευθέρωση P

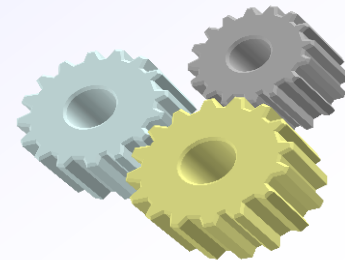
✓ Ανακυκλοφόρηση ιλύος μέσω 1^{ης} ανοξικής

⇒ Ελαχιστοποίηση NO_3^- στην αναερόβια ζώνη

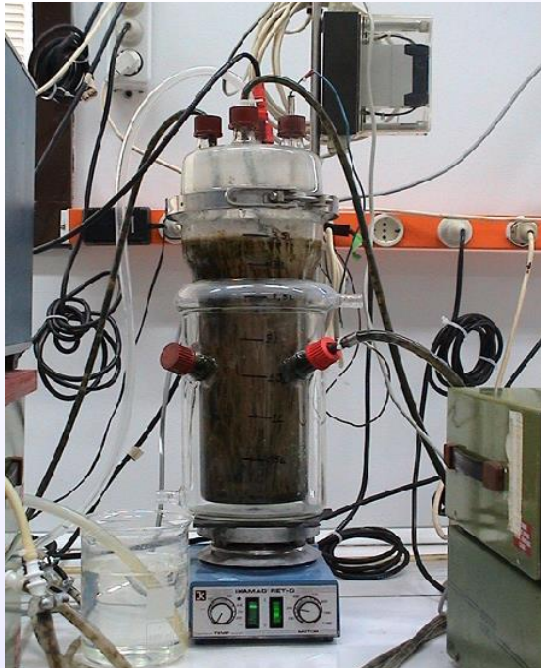
✓ Περιττή η ανακυκλοφόρηση νιτροποιημένου υγρού



Άποψη λειτουργούσας πιλοτικής μονάδας



Αναερόβιος επιλογέας



$V_{AN}=3.5 \text{ L}$

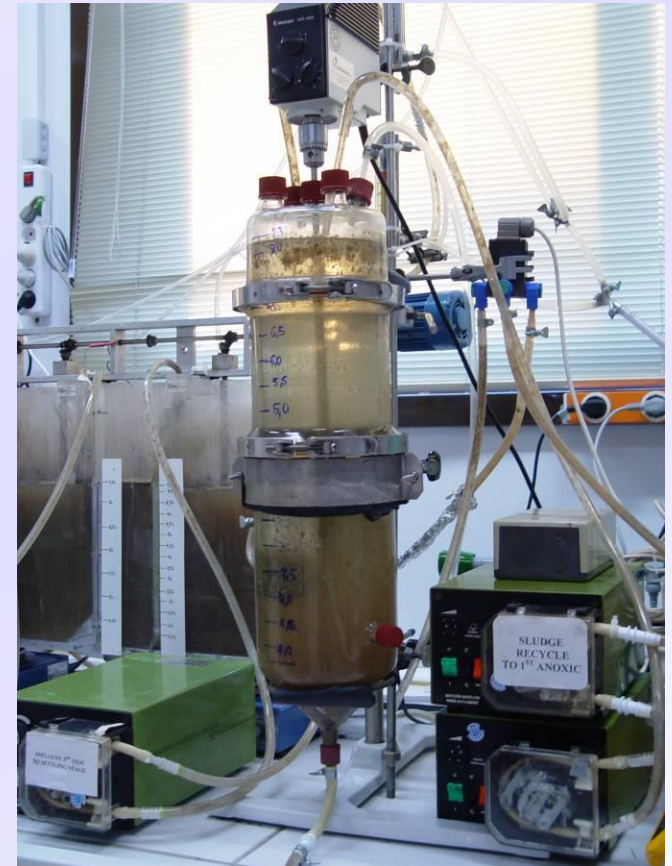
$V_{ST}=8.3 \text{ L}$

$V_{AE}=7.4 \text{ L}$

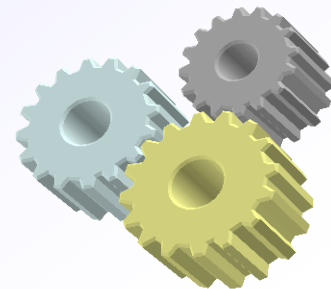
$V_{DN}=3.2 \text{ L}$



Β' βάρθμια καθίζηση

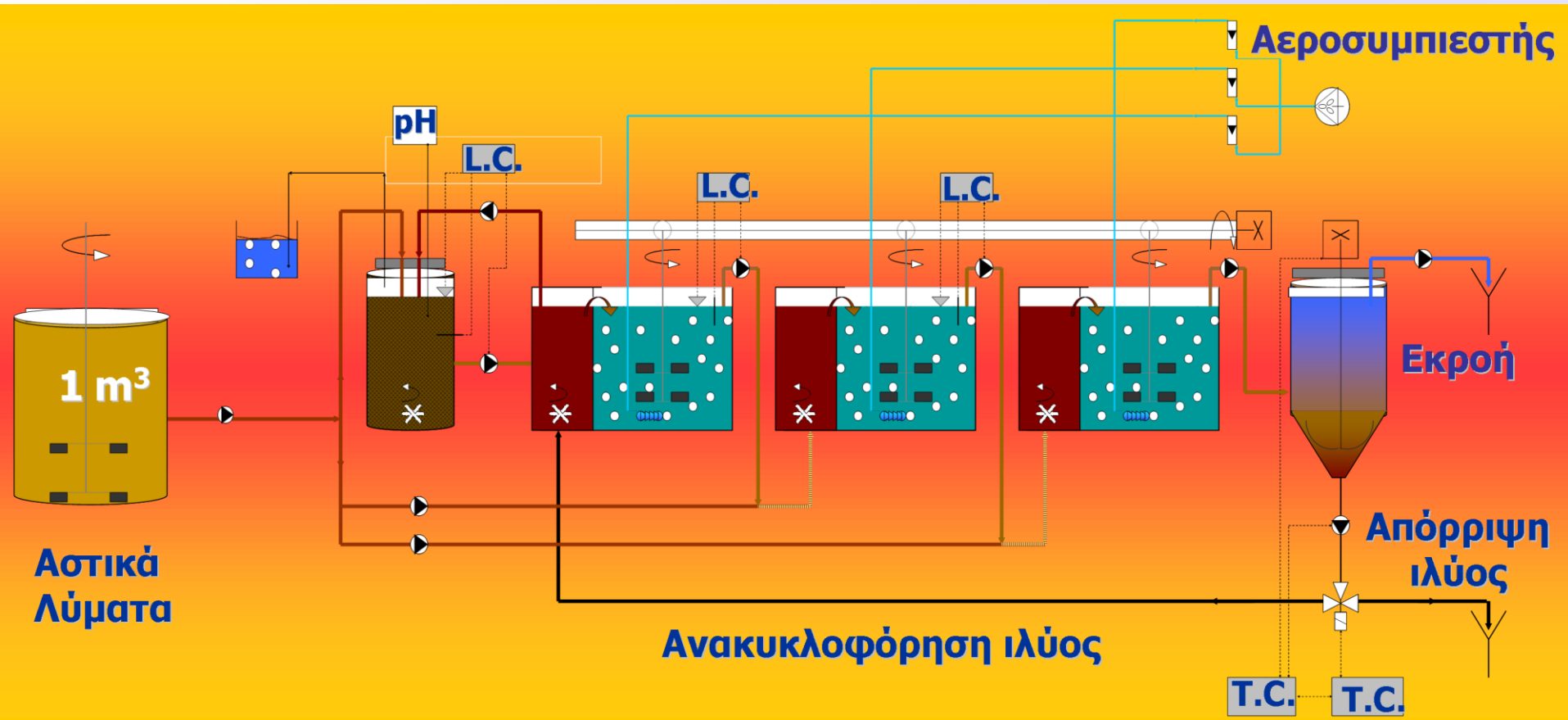


DN – N συστοιχία



Λειτουργία μονάδας με αστικό λύμα

Τροφοδοσία με λύμα...



- Αναερόβιες συνθήκες
- Ανοξικές συνθήκες
- Αερόβιες συνθήκες

Θερμοκρασία 20°C

pH ≈ 7,5

SRT = 10 ημέρες

The image is a composite. The top-left corner shows a microscopic view of several microorganisms, likely protozoa or algae, with distinct internal structures. The bottom-left corner shows a large, circular, open-air tank at a wastewater treatment plant, with a metal walkway and railings around the edge. The rest of the image is a light blue gradient background with text.

Αφαίρεση παραμέτρων ρύπανσης

Αξιολόγηση απόδοσης μονάδας σε:

- διάφορες παροχές βαθμιδωτής τροφοδοσίας: $Q_F = 48 - 168 \text{ L/d}$
- διαφορετικοί χρόνοι παραμονής: $\text{HRT} = 5 - 18 \text{ hr}$
- ποσοστά κατανομής τροφοδοσίας:
 $60/25/15, 40/30/30$ και $25/40/35$

εξετάζοντας τις παραμέτρους ρύπανσης ανά δεξαμενή σε κατάσταση ισορροπίας ροής (steady-state):

- οργανικές ενώσεις COD, BOD₅
- αζωτούχες ενώσεις TN, TKN, NH₄⁺-N, NO_xS
- φώσφορος TP, PO₄³⁻-P
- MLSS, MLVSS
- καθιζησιμότητα SVI

...και καθημερινή μέτρηση των pH, DO και θερμοκρασίας

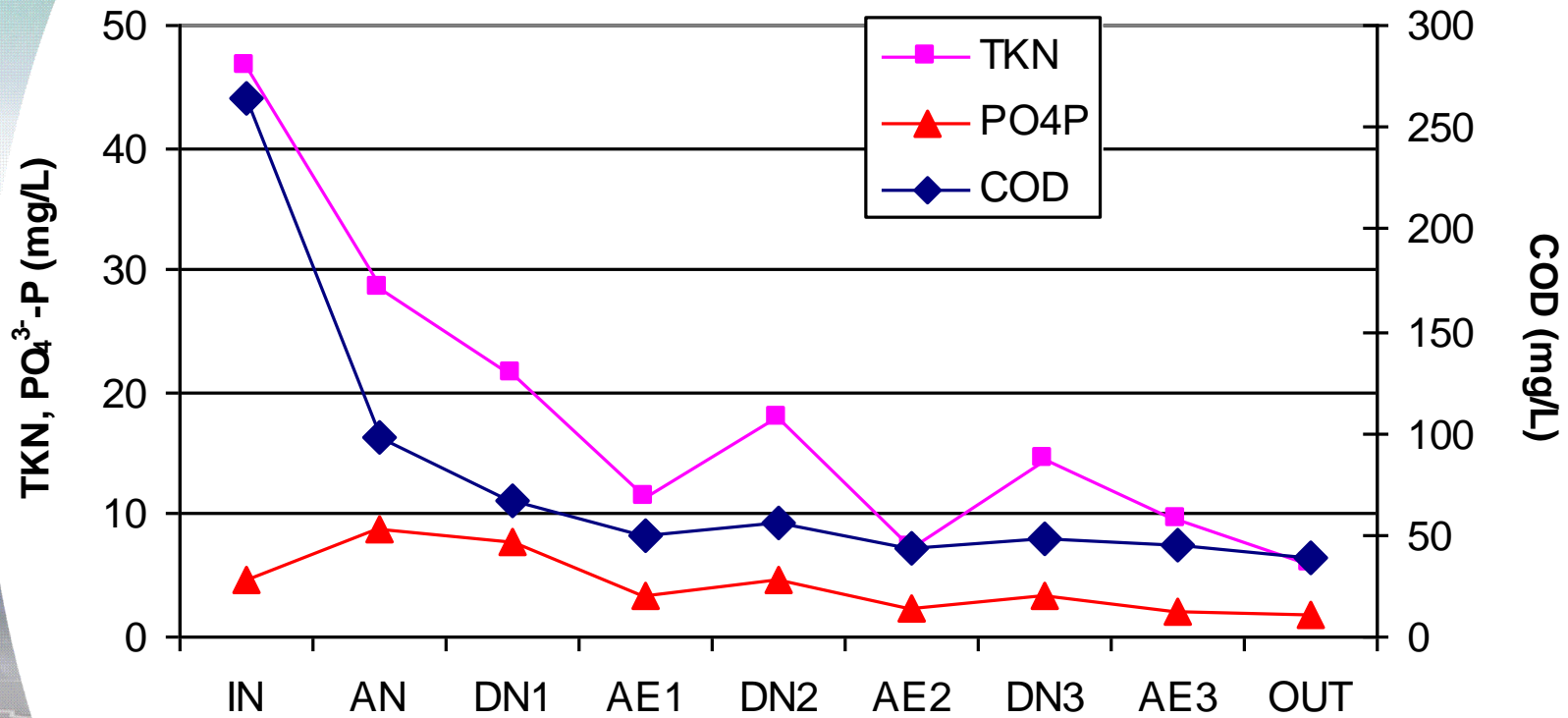
Σύσταση λύματος

Παράμετρος ρύπανσης	Συγκέντρωση (mg/L)		
	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη
Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)	60	198	784
Οργανικά (VSS)	50	170	666
Ανόργανα (NVSS)	10	28	118
COD _p	233	518	782
BOD ₅	170	311	540
Ολικό άζωτο (TN)	25	54	69
Ολικό κατά Kjeldahl άζωτο (TKN _p)	25	54	69
Αμμωνιακό άζωτο	21	39	54
Οργανικό άζωτο	2	15	23
Νιτρικά/ νιτρώδη (NO _x ⁻ -N)	0	0	0
Ολικός φώσφορος (TP)	1,4	8	15
Ανόργανος φώσφορος (PO ₄ ⁻³ -P)	0,3	5	9,2

Απομάκρυνση

Παράμετρος ρύπανσης	Απομάκρυνση (%)			
	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη	Τυπική απόκλιση
COD	79	89	97	5,5
BOD₅	87	94	98	7,2
Ολικό άζωτο (TN)	43	73	84	10
TKN	68	89	97	6,2
NH₄⁺-N	77	95	100	5,8
Οργανικό N	6	69	96	24
TP	26	58	95	20,5
PO₄⁻³-P	2	69	98	23
	Συγκέντρωση εκροής (mg/L)			
TSS	0	9	70	19
NO₃⁻-N	0	8,1	14	4,2
NO₂⁻-N	0	0,1	1,3	0,4

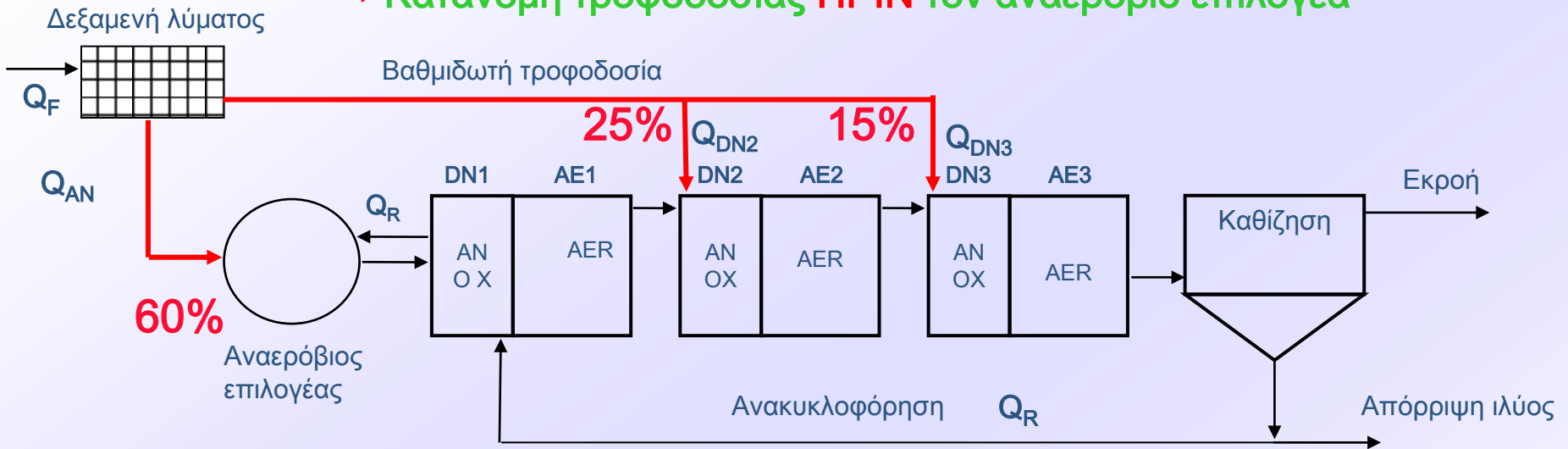
Προφίλ συγκεντρώσεων



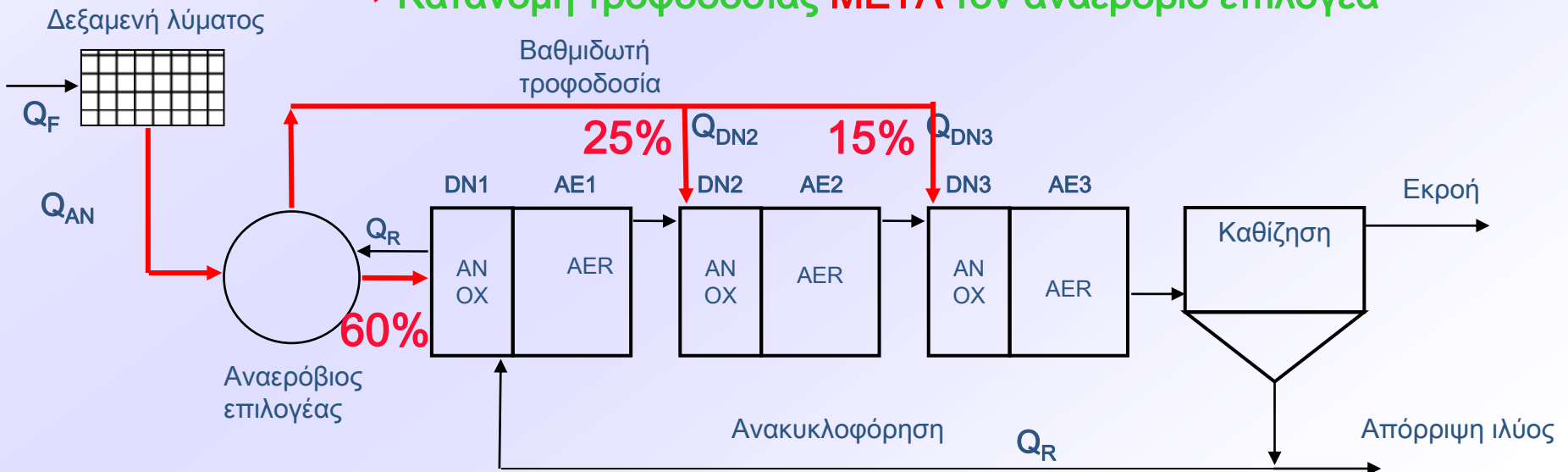
Αύξηση συγκεντρώσεων στις ανοξικές δεξαμενές λόγω εισαγωγής τροφοδοσίας

Κατανομή τροφοδοσίας...

✓ Κατανομή τροφοδοσίας **ΠΡΙΝ** τον αναερόβιο επιλογέα



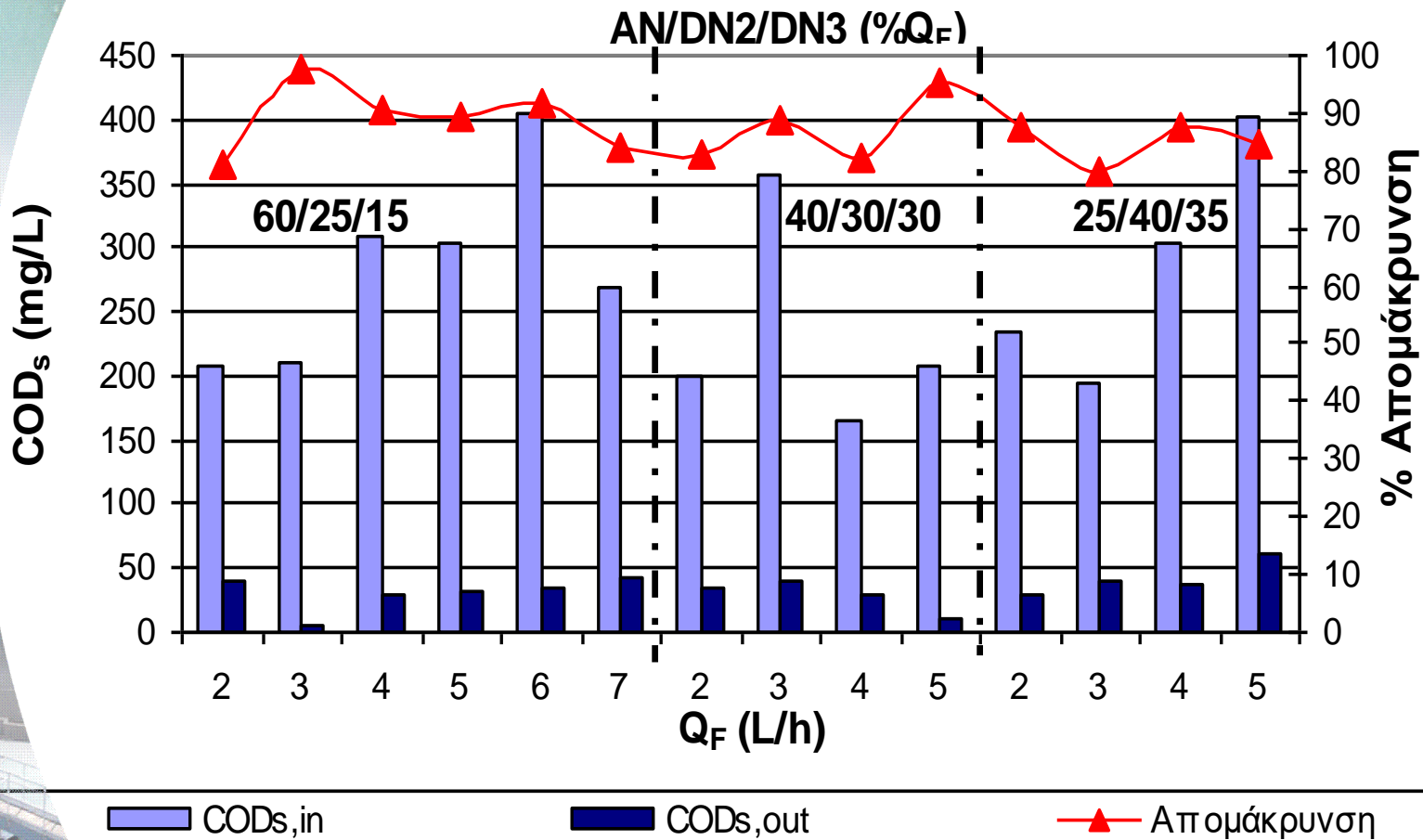
✓ Κατανομή τροφοδοσίας **ΜΕΤΑ** τον αναερόβιο επιλογέα



Καταστάσεις ροής στην κατανομή τροφοδοσίας ΠΡΙΝ ΤΟΝ αναερόβιο επιλογή

St-st no.	Q _F [L/hr] (AN/DN2/DN3) [%Q _F]	Φορτία ρύπανσης L _S [g/d]				Ρυθμός Φόρτισης Ιλύος (F/M) [kg _{BOD5} /(kg _{MLVSS} d)]
		COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ - N	PO ₄ ⁻³ - P	
1	2 (60/25/15)	22,8	9,6	1,5	0,42	0,088
2	2 (40/30/30)	11,2	9,6	1,9	0,44	0,118
3	2 (25/40/35)	32,6	11,5	1,4	0,19	0,150
4	3 (60/25/15)	37,4	21,6	3,4	0,54	0,164
5	3 (40/30/30)	34,2	27,4	3,0	0,50	0,328
6	3 (25/40/35)	29,3	17,3	2,5	0,32	0,117
7	4 (60/25/15)	65,7	36,5	4,6	0,35	0,329
8	4 (40/30/30)	44,6	17,3	4,1	0,22	0,155
9	4 (25/40/35)	39,3	37,4	5,2	0,26	0,389
10	5 (60/25/15)	79,8	62,4	4,5	0,72	0,518
11	5 (40/30/30)	85,5	60,0	4,5	0,68	0,421
12	5 (25/40/35)	91,0	31,2	4,2	0,50	0,270
13	6 (60/25/15)	69,5	77,8	5,3	0,58	0,817
14	7 (60/25/15)	91,9	53,8	5,8	0,74	0,558

Αφαίρεση ρύπανσης: COD



89% COD_{tot}

55 mg COD_{tot}/L

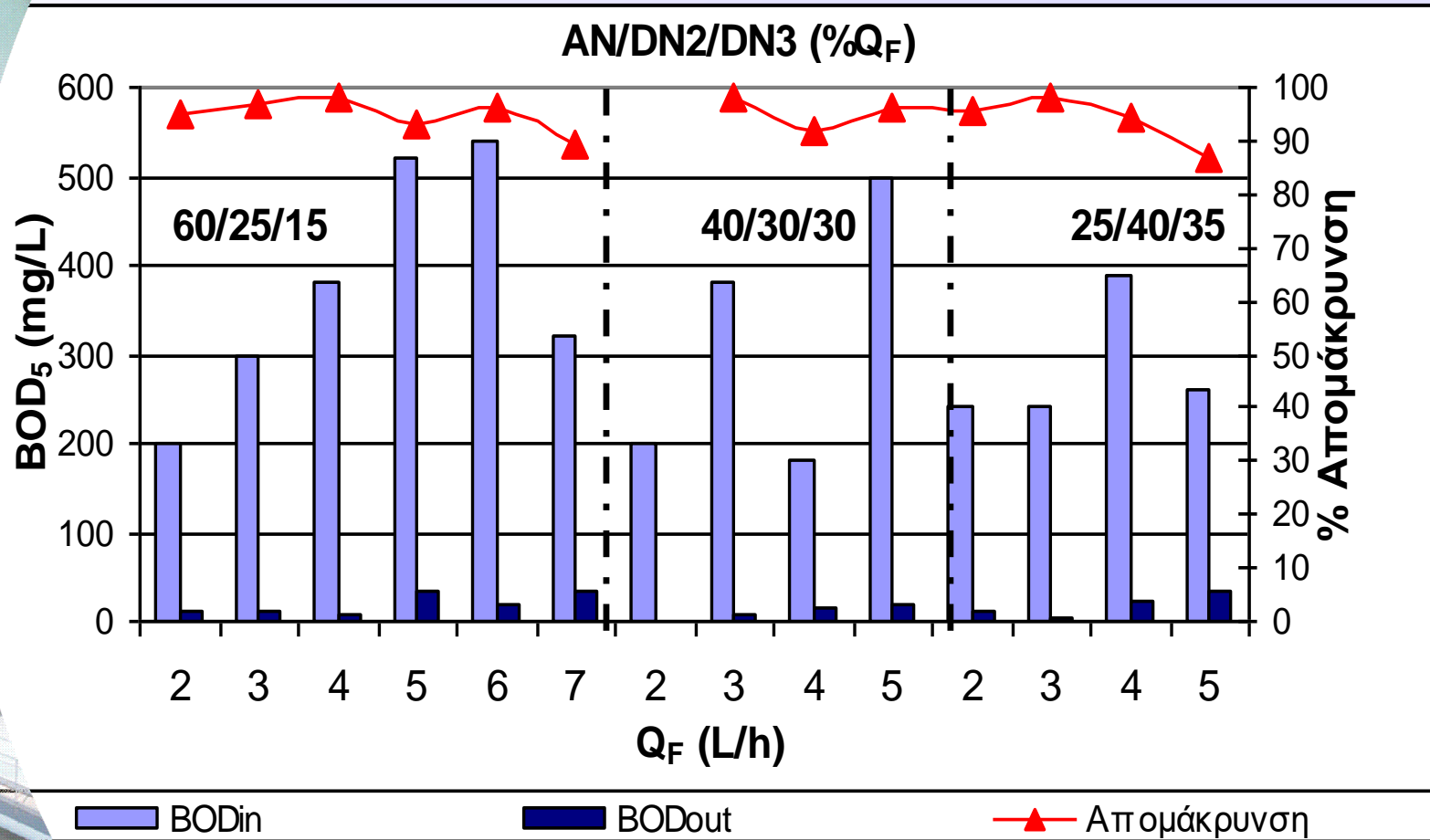
87% COD_{sol}

35 mg COD_{sol}/L

90% COD_{prt}

22 mg COD_{prt}/L

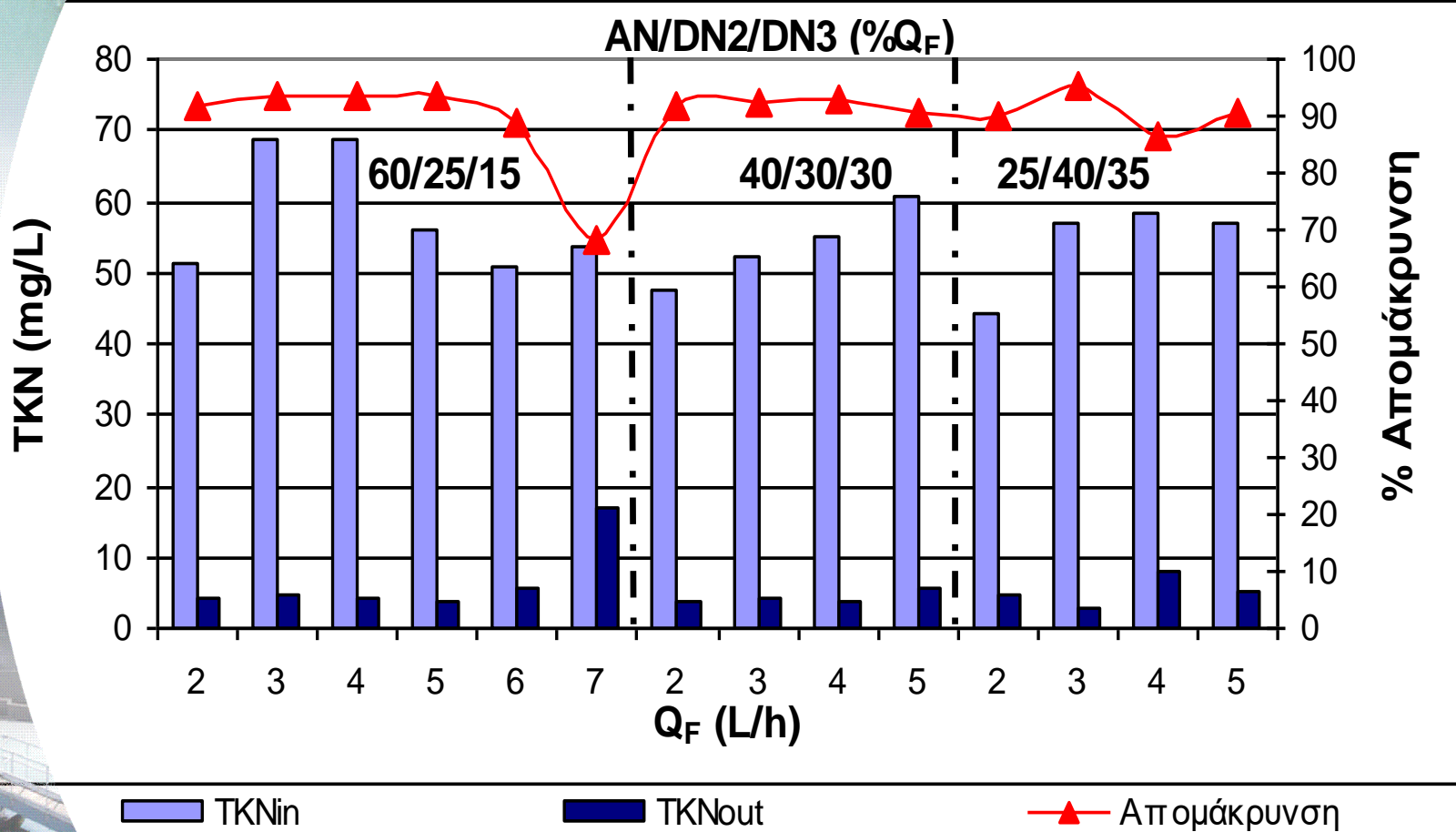
Αφαίρεση ρύπανσης: BOD₅



95% BOD₅

18 mg BOD₅ /L

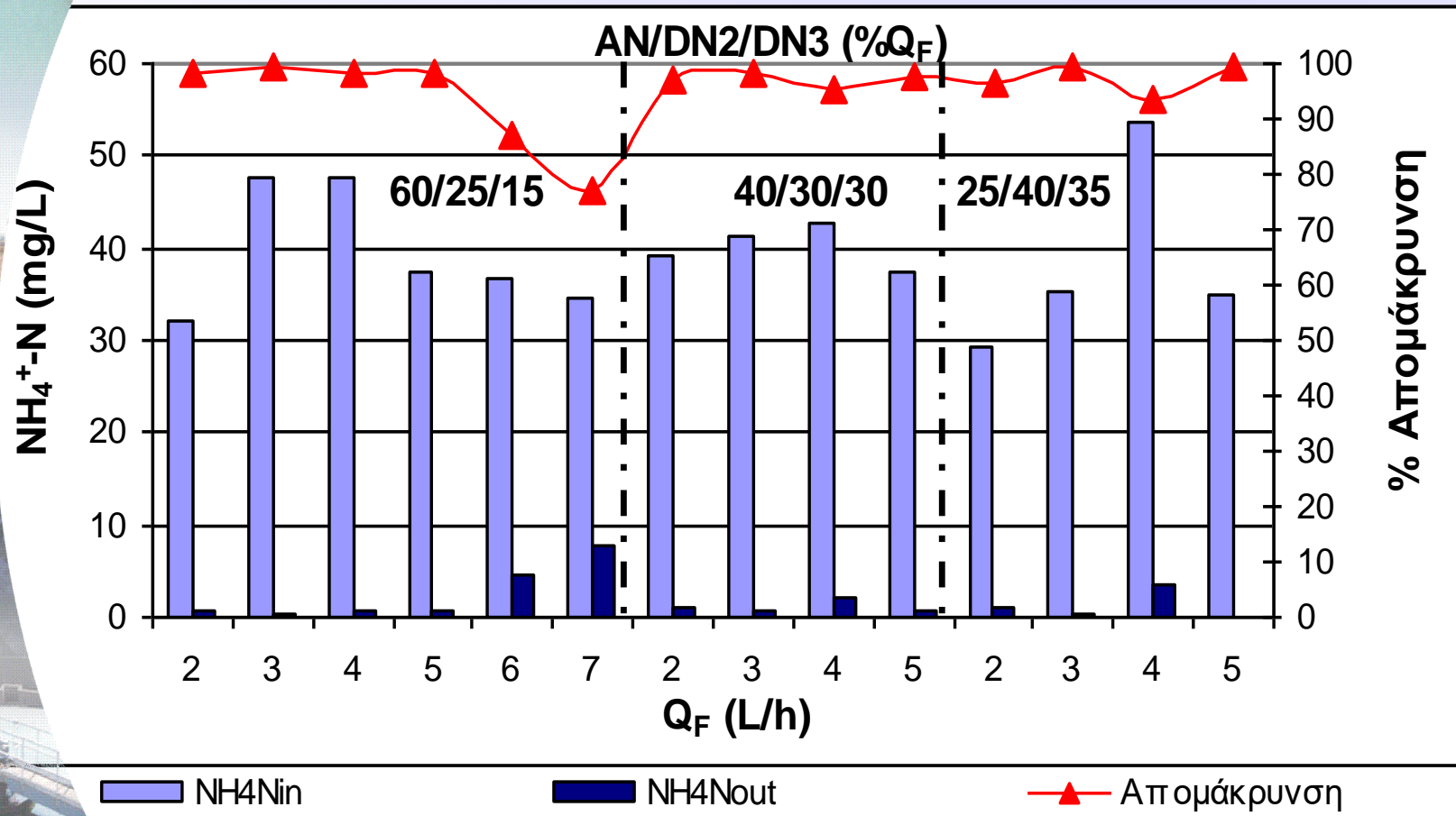
Αφαίρεση ρύπανσης: TKN



90% TKN

6 mg TKN /L

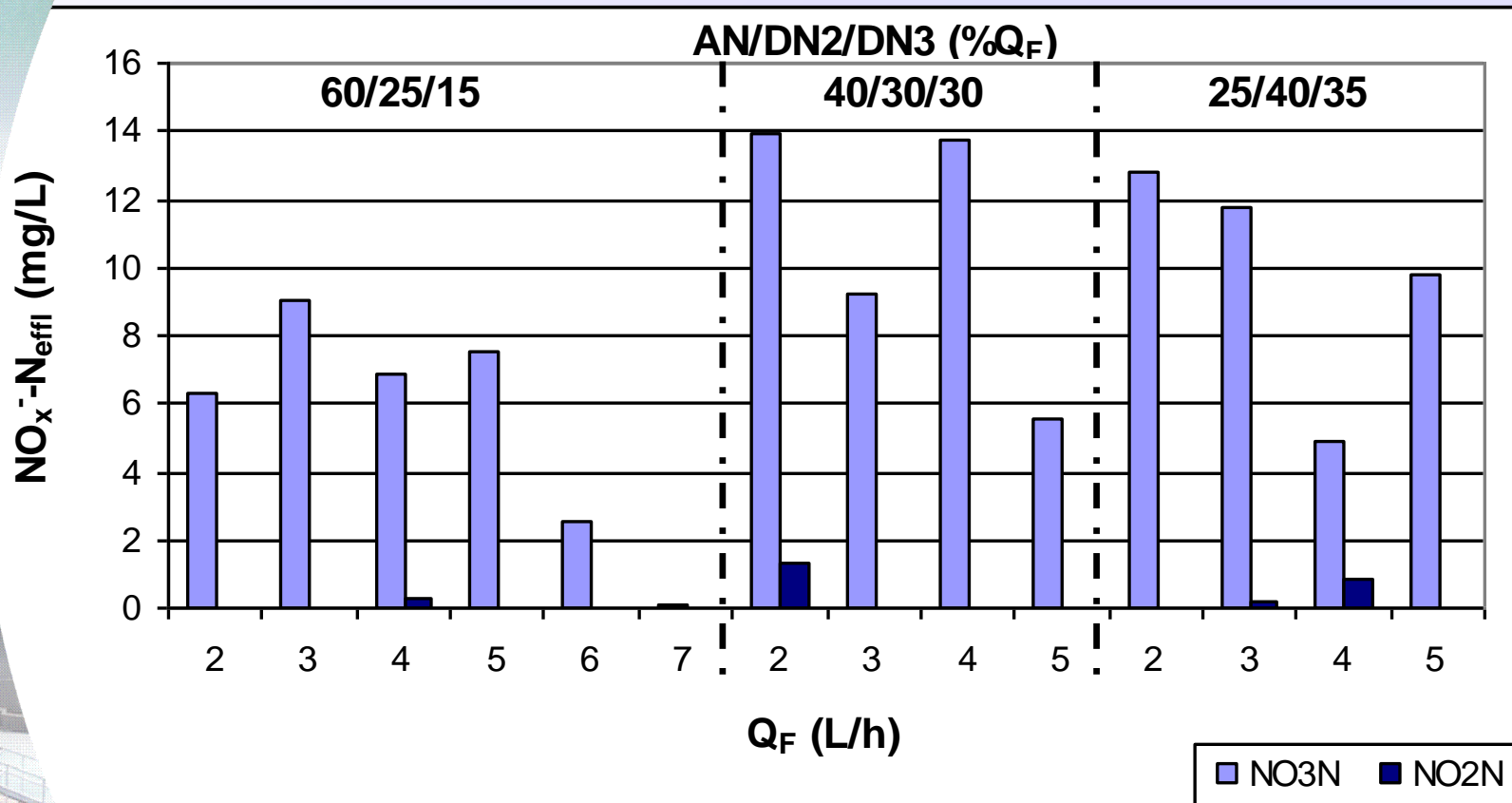
Αφαίρεση ρύπανσης: NH_4^+-N



95% NH_4^+-N

2 mg NH_4^+-N /L

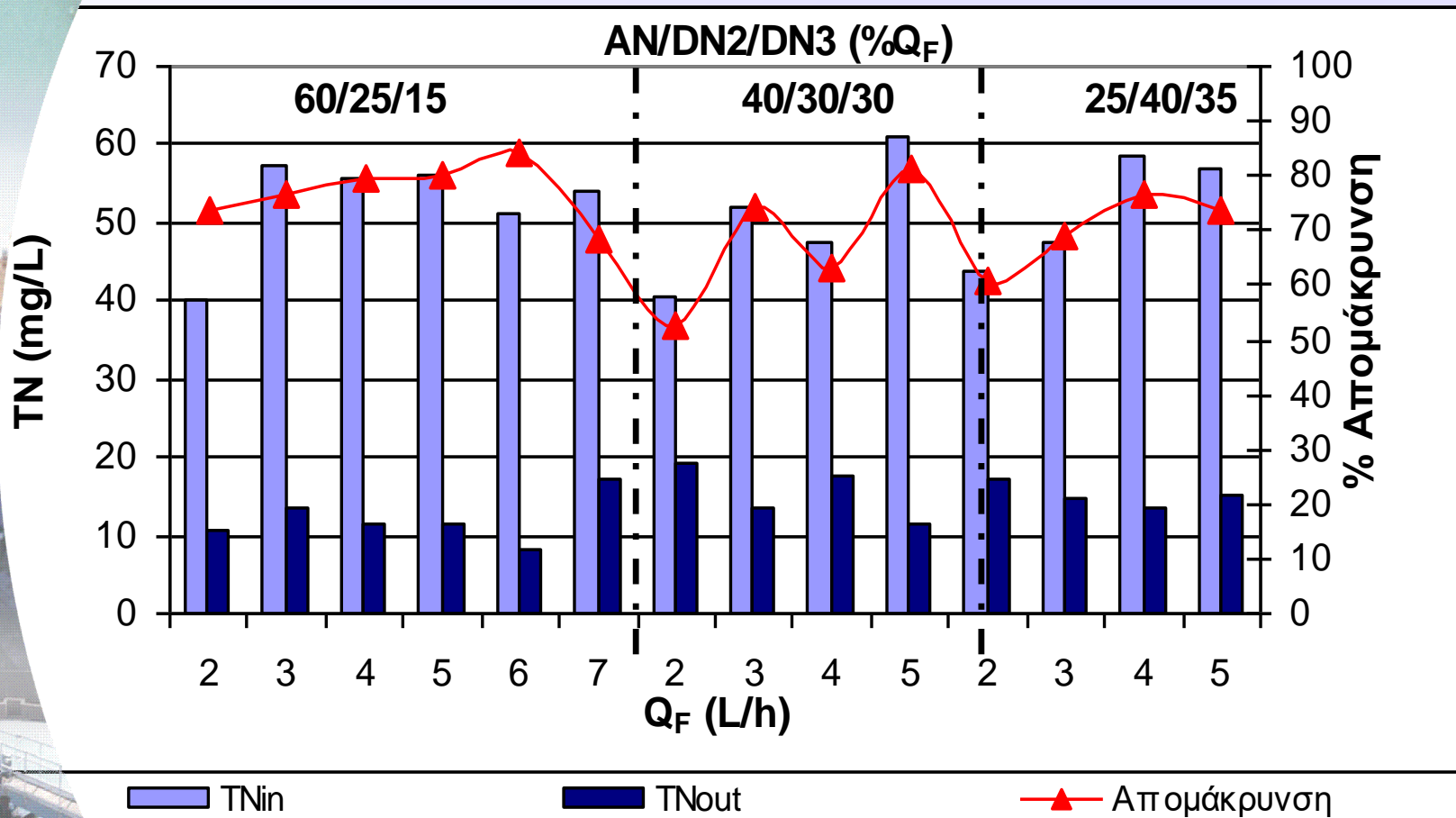
Αφαίρεση ρύπανσης: NO_xs



8,2 mg NO₃⁻-N /L

0,2 mg NO₂⁻-N/L

Αφαίρεση ρύπανσης: TN



72% TN

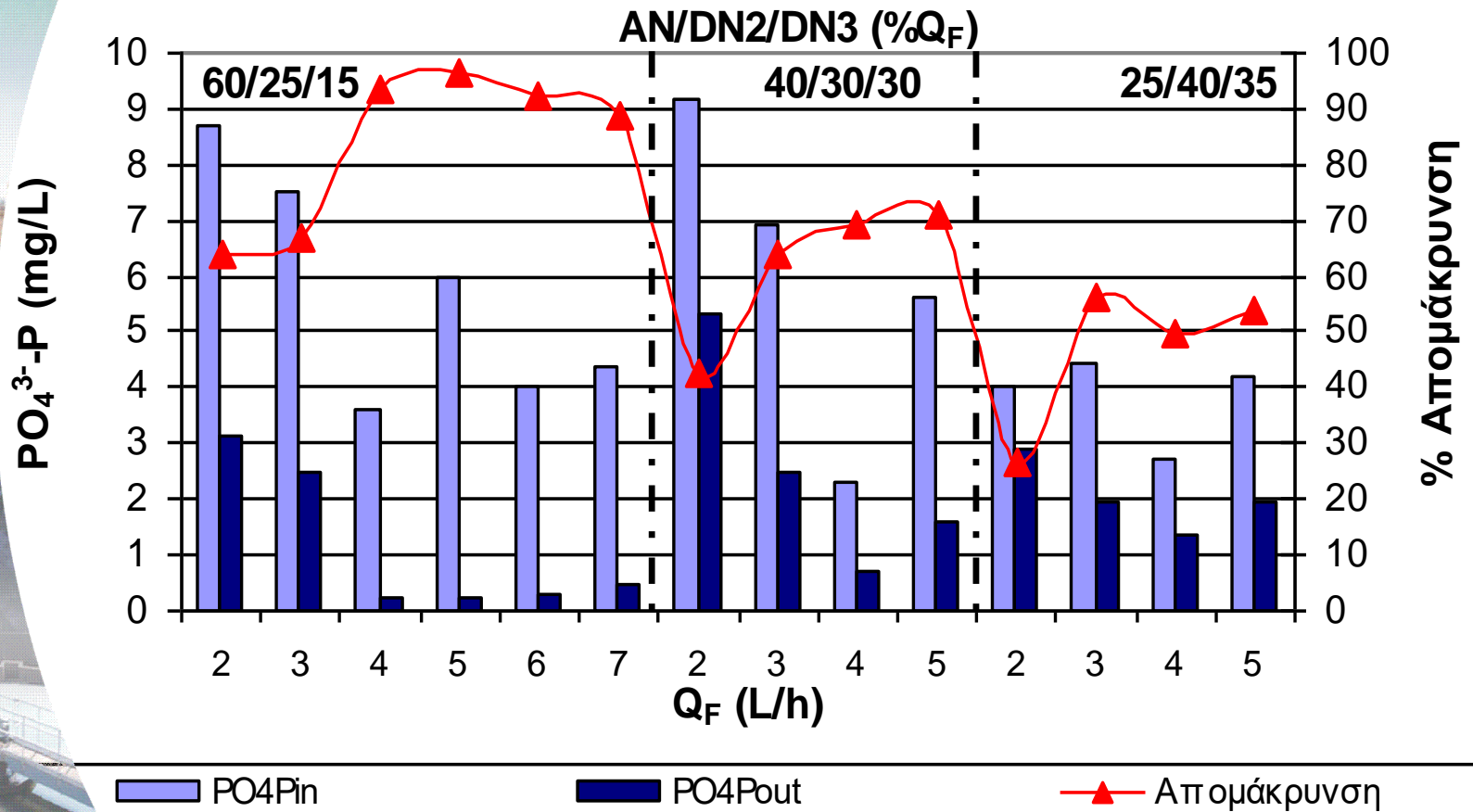
14 mg TN / L

83% TN

10-15 mg TN / L

πειραματική πρακτική & αστάθεια C/N

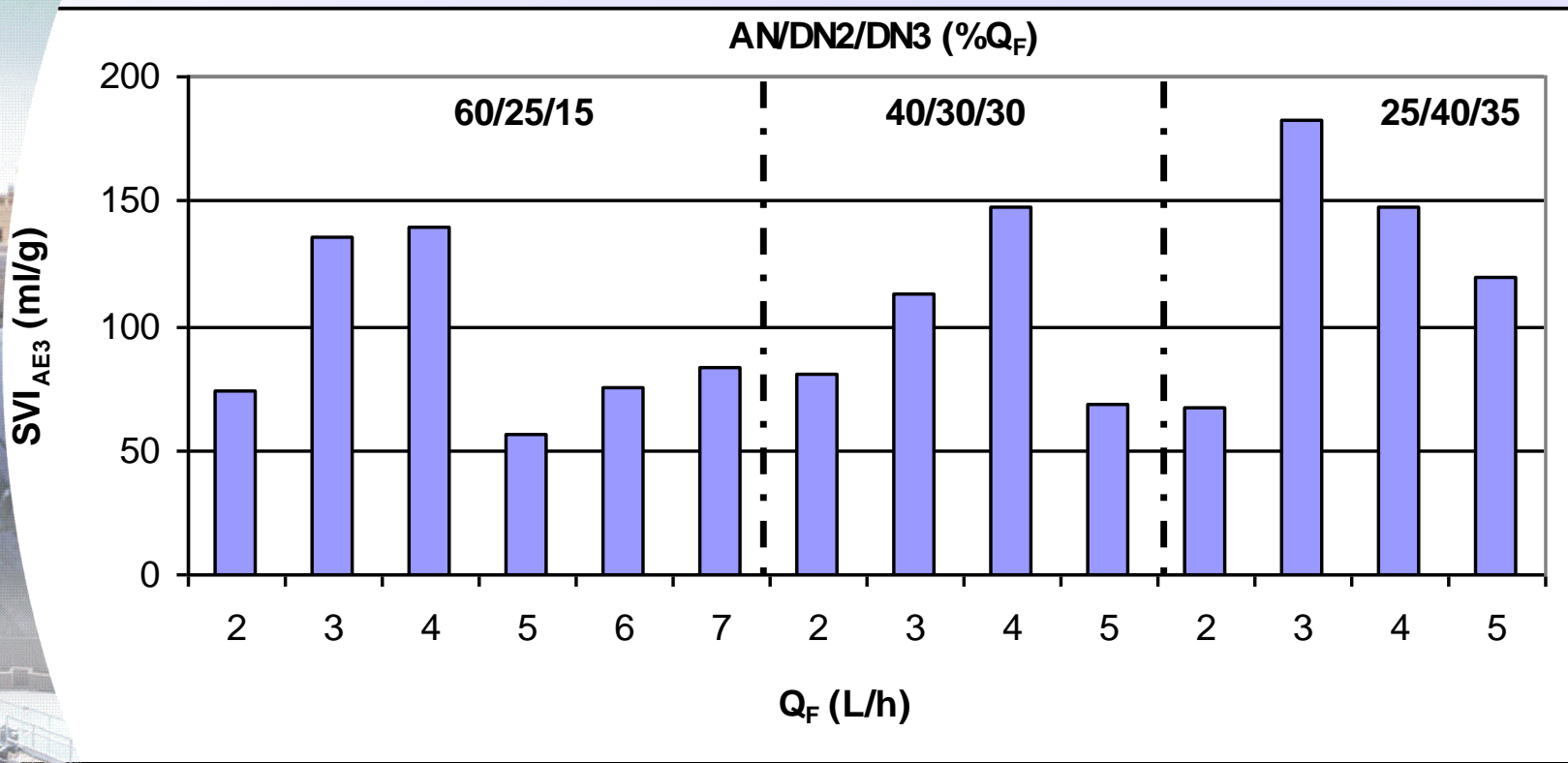
Αφαίρεση ρύπανσης: $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$



67% $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

1,8 mg $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ /L

Χαρακτηριστικά ιλύος: SVI

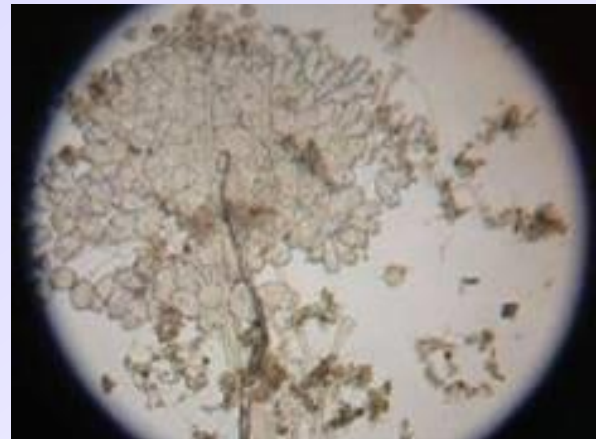
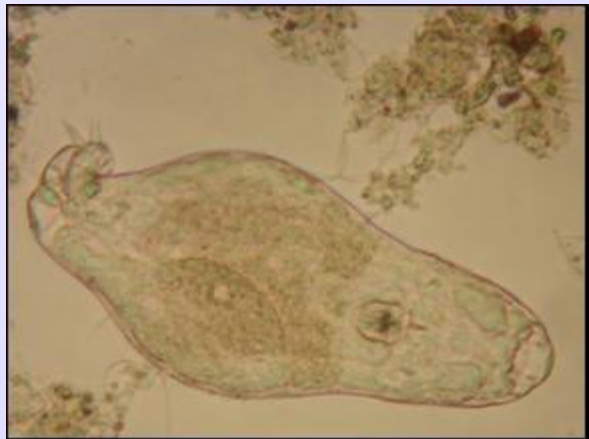
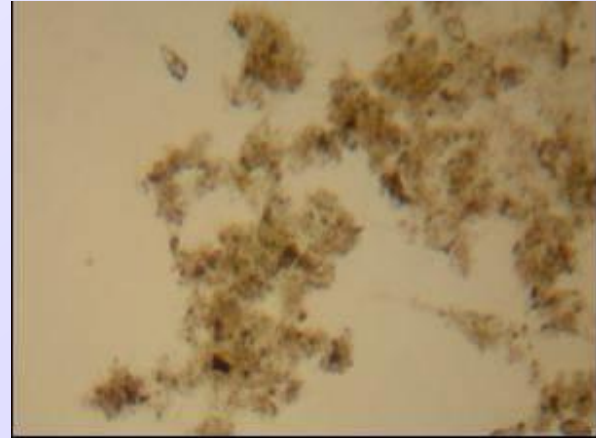


AE1
160ml/g

AE2
129 ml/g

AE3
106 ml/g

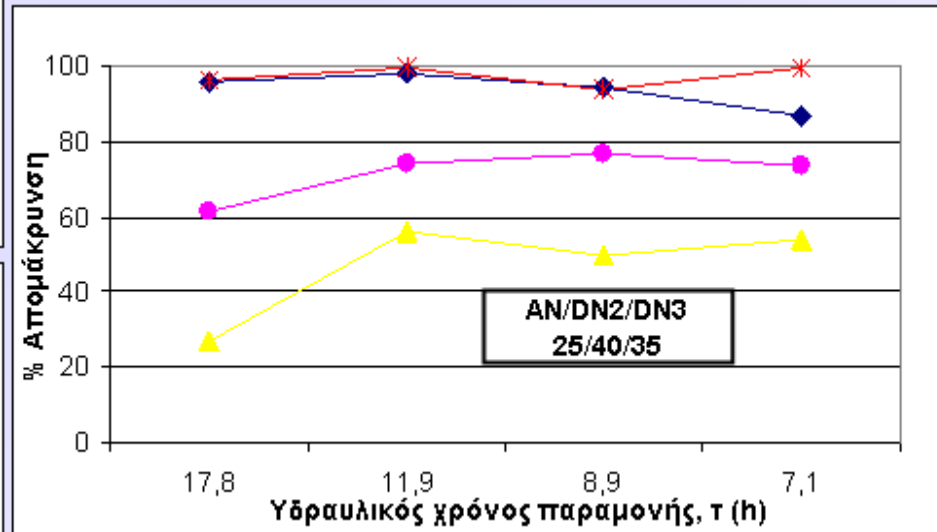
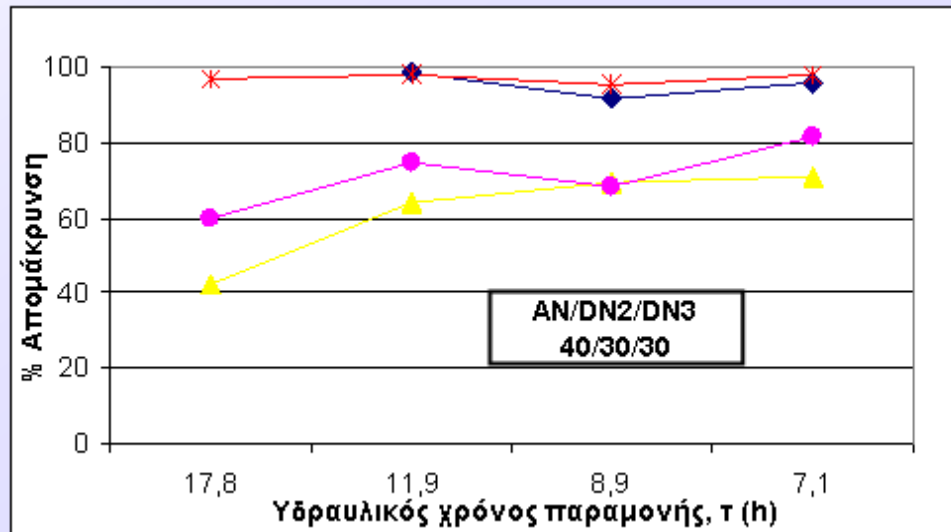
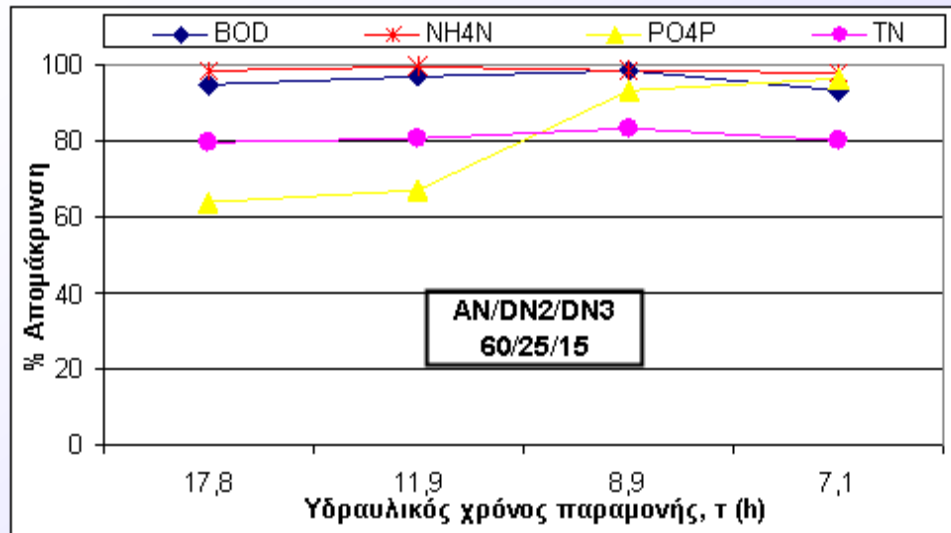
Μικροσκόπηση



Νιφάδες: ακανόνιστη μορφή, συμπαγείς, μέσου μεγέθους
Μεγάλη βιοποικιλότητα: πρωτόζωα, τροχόζωα

Βέλτιστα χαρακτηριστικά ροής:

Κατανομή τροφοδοσίας ΠΡΙΝ τον αναερόβιο επιλογέα



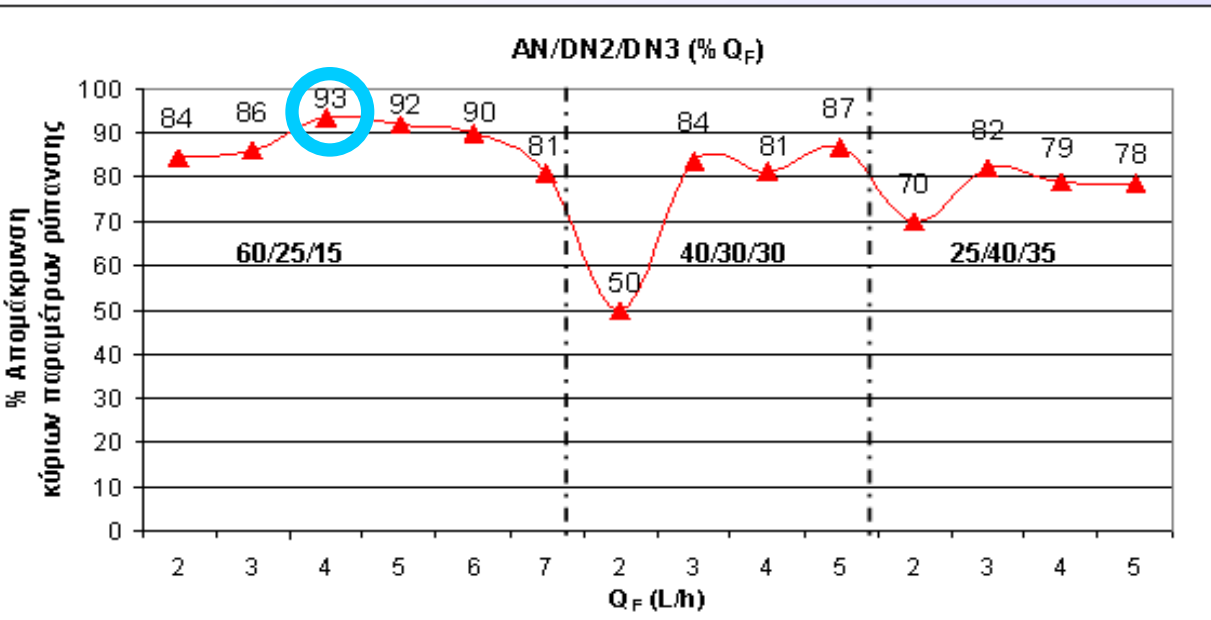
60/25/15: απόδοση > 60%

40/30/30: απόδοση > 40%

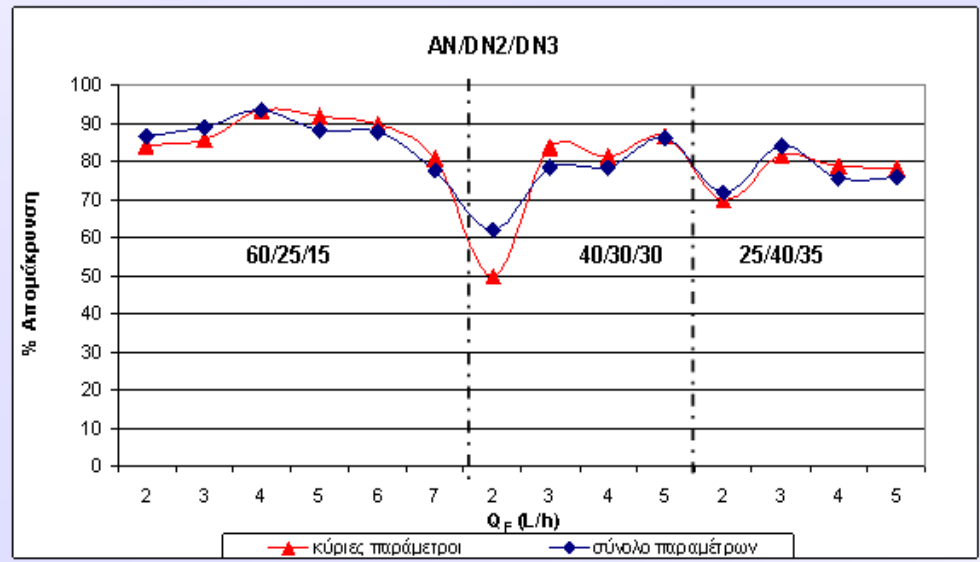
25/40/35: απόδοση > 20%

...βέλτιστα χαρακτηριστικά ροής:

Κατανομή τροφοδοσίας ΠΡΙΝ τον αναερόβιο επιλογέα



4 (60/25/15): τ = 8,9 h



- 94% COD 43 mg COD/L
- 98% BOD₅ 6 mg BOD₅ /L
- 83% TN 11 mg TN/L
- 94% TKN 4 mg TKN/L
- 99% NH₄⁺-N 0,7 mg NH₄⁺-N/L
- 93% PO₄³⁻-P 0,24 mg PO₄³⁻-P/L
- 7 mg NO₃⁻-N/L
- SVI: 140 ml/g στην AE3

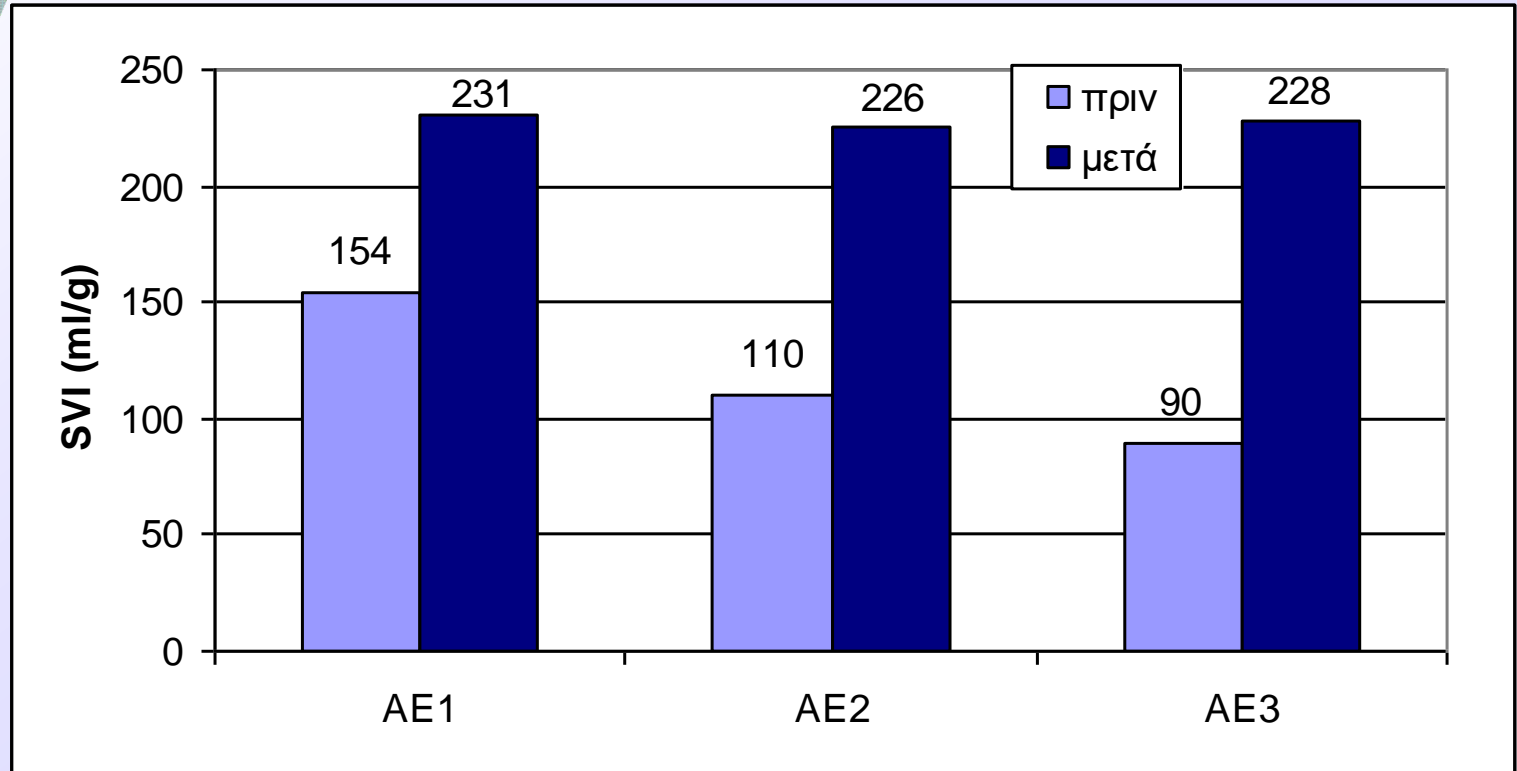
Καταστάσεις ροής στην κατανομή τροφοδοσίας μετά τον αναερόβιο επιλογή

St-st no.	Q _F [L/hr] (DN1/DN2/DN3) [%Q _F]	Φορτία ρύπανσης L _s [g/d]				Ρυθμός Φόρτισης Ιλύος (F/M) [kg _{BOD5} /(kg _{MLVSS} d)]
		COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ⁻³ -P	
1	4 (60/25/15)	29,2	21,1	3,2	0,43	0,22
2	5 (60/25/15)	70,7	45,6	4,7	0,52	0,49
3	6 (60/25/15)	43,1	28,8	3,3	0,61	0,27

4 (60/25/15): τ = 8,9 h

92% COD 25 mg COD/L
89% BOD₅ 23 mg BOD₅ /L
75% TN 10 mg TN/L
86% TKN 4,5 mg TKN/L
96% NH₄⁺-N 1,4 mg NH₄⁺-N/L
88% PO₄³⁻-P 0,5 mg PO₄³⁻-P/L
6 mg NO₃⁻-N/L
SVI: 220 ml/g στην ΑΕ3 !!!

Ένα απρόσμενο αποτέλεσμα



Έντονη επιδείνωση της **καθιζσιμότητας της ιλύος** κατά την κατανομή τροφοδοσίας **μετά** τον αναερόβιο επιλογή

Ιδανικά χαρακτηριστικά καθίζησης κατά την κατανομή τροφοδοσίας **πριν** τον αναερόβιο επιλογή

Εκτίμηση βέλτιστης διαμόρφωσης

Αφαίρεση (%)	Κατανομή τροφοδοσίας					
	ΠΡΙΝ τον αναερόβιο επιλογή			ΜΕΤΑ τον αναερόβιο επιλογή		
	Q _F (AN/DN2/DN3)= (60/25/15) [L/hr] (%Q _F)			Q _F (DN1/DN2/DN3)= (60/25/15) [L/hr] (%Q _F)		
	4	5	6	4	5	6
COD	94	93	88	92	90	79
BOD ₅	98	93	96	89	92	90
TN	83	80	84	75	73	43
TKN	94	93	89	86	86	79
NH ₄ ⁺ -N	99	98	87	96	96	95
TP	-	63	79	80	70	83
PO ₄ ³⁻ -P	93	96	92	88	84	97
Μέσος όρος	94	88	88	87	84	81

Η μέγιστη απομάκρυνση παρουσιάζεται και στις δύο εναλλακτικές σε $\tau = 8.9$ hrs (4 L/h)

Η βέλτιστη κατάσταση ροής αντιστοιχεί σε κατανομή τροφοδοσίας **πριν** τον αναερόβιο επιλογή σε $\tau = 8.9$ hrs

Τεχνοοικονομική μελέτη

ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ: $V_{Req, spec}$

Συστήματα επεξεργασίας Υ.Α.

$V_{req, spec}$ (L/IK)

✓ Συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος	180-218
✓ Συστήματα A/B	112
✓ Μέθοδος παρατεταμένου αερισμού	200-290
✓ (Σ) τριτοβάθμιας επεξεργασίας	162-220
✓ παρουσιαζόμενο (Σ)	68

Η διαφορά ειδ. απαιτούμενου όγκου: $\Delta V_{Req, spec} = 60-118$ L/IK

⇒ εξοικονόμηση **60 L/IK**

- Η τιμή 1 m³ είναι 400 € ⇒ 0,4 €/L ⇒ 24 €/IK
- Για 100.000 IK: η εξοικονόμηση φτάνει τα 2.400.000 €
- Για $V=16.000-22.000$ m³ ⇒ μείωση όγκου 0,06 m³/IK
- Για 100.000 IK: μείωση κατά 6.000 m³
και μείωση όγκου κατασκευής κατά 38-27%

Λειτουργικό κόστος: $OD_{Tot, spec}$

- ✓ Βιολογική οξείδωση οργανικών 22 kg O_2 / (IK a)
- ✓ Βιολογική οξείδωση αζωτούχων 16 kg O_2 / (IK a)

Συνολική ειδική απαίτηση οξυγόνου: **38 kg O_2 / (IK a)**

- Για $TE=1,2$ kg O_2 / kWh \Rightarrow 31,7 kWh/ (IK a) για αερισμό
+ 8 kWh/ (IK a) για άντληση

Συνολική ειδική ενεργειακή απαίτηση: **40 kWh/ (IK a)**

➤ Μείωση ενέργειας κατά **5-10 kWh/ (IK a)** λόγω απονιτροποίησης

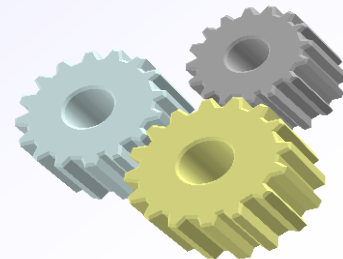
- Η τιμή 1 kWh είναι 0,07 € \Rightarrow **0,35-0,7 €/ (IK a)** εξοικονόμηση
- Για **100.000 IK**: η εξοικονόμηση φτάνει τα **35.000-70.000 €/ a**
 - Η παραγωγή 1 kWh οδηγεί σε έκλυση **1,2 kg CO_2**
 - Η μείωση κατά **5-10 kWh/ (IK a)**

\Rightarrow μείωση εκπομπών **600-1.200 tn CO_2 / a**

Συμπεράσματα

Αξιολόγηση (Σ) τριτοβάθμιας επεξεργασίας...

- ✓ **Βέλτιστη προσαρμογή των χαρακτηριστικών ροής στα κινητικά δεδομένα 1^{ης} τάξης** ⇒ υψηλή απόδοση/ καταστολή νηματοειδών
- ✓ **Αναερόβιος επιλογέας** ⇒ επιλογή PAOs + καταστολή νηματοειδών
- ✓ **Συστοιχία 3 ζευγών δεξαμενών** ⇒ υψηλή απόδοση/ λειτουργική ασφάλεια
- ✓ **Βαθμιδωτή τροφοδοσία** ⇒ πηγή C για απονιτροποίηση + απελευθέρωση P
- ✓ **Βαθμιδωτή τροφοδοσία σε μη αερόβιες δεξαμενές** ⇒ επιλογείς
- ✓ **Αποφυγή πρωτοβάθμια καθίζησης** ⇒ διατήρηση C για τους ίδιους λόγους
- ✓ **Ανακυκλοφόρηση ιλύος μέσω 1^{ης} ανοξικής** ⇒ min NO₃ στον αναερόβιο
- ✓ **Περιττή η εσωτερική ανακυκλοφόρηση νιτροποιημένου υγρού**



...αξιολόγηση (Σ) τριτοβάθμιας επεξεργασίας

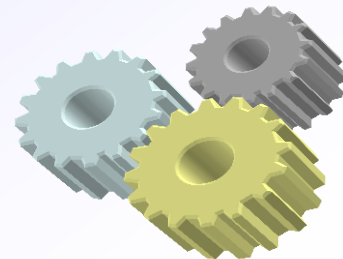
☀ Η μέγιστη απομάκρυνση παρουσιάζεται και στις δύο εναλλακτικές τροφοδοσίας πριν και μετά τον αναερόβιο επιλογή σε $\tau = 8.9 \text{ hrs}$

☀ Βέλτιστα χαρακτηριστικά ροής: η παροχή τροφοδοσίας των 4 L/h ($\tau = 8.9 \text{ hrs}$) κατανέμεται πριν τον αναερόβιο επιλογή κατά **60%** στον αναερόβιο επιλογή, **25%** στη δεύτερη και **15%** στην τρίτη ανοξική δεξαμενή

✓94% COD	43 mg COD/L
✓98% BOD ₅	6 mg BOD ₅ /L
✓83% TN	11 mg TN/L
✓94% TKN	4 mg TKN/L
✓99% NH ₄ ⁺ -N	0,7 mg NH ₄ ⁺ -N/L
✓93% PO ₄ ³⁻ -P	0,24 mg PO ₄ ³⁻ -P/L
	7 mg NO ₃ ⁻ -N/L
✓SVI: 140 ml/g στην AE3	

Ταυτοποίηση & έλεγχος νηματοειδών

- ✓ **Συνθετικό απόβλητο** ⇒ πεπτόνη, οξικό οξύ, ουρία, μακροθρεπτικά κτλ.
- ✓ **2 μήνες** ⇒ συνολικό μήκος νηματοειδών – επικράτηση – διόγκωση ιλύος
- ✓ **τύπος 021N κατά Eikelboom & *Thiothrix* spp.** ⇒ ταυτοποίηση
- ✓ **Πρώτη αναφορά σε EBPR συστήματα**
- ✓ **Προσθήκη H_2O_2 στην ΑΕ3** ⇒ καταστολή νηματοειδών
- ✓ **Εμφάνιση *Zooglea ramigera*** ανταγωνιστής με τύπο 021N κατά Eikelboom
- ✓ **Βέλτιστη συγκέντρωση 10 mg H_2O_2 /L**



Ένταξη τεταρτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Αφαίρεση παραμέτρων ρύπανσης

Αξιολόγηση απόδοσης εναλλακτικών:

- ✓ μεμονωμένη στήλη κοκκώδους ενεργού λιγνίτη: **GAL1**
- ✓ συστοιχία δύο στηλών λιγνίτη σε σειρά: **GAL1 – GAL2**
- ✓ συστοιχία των δύο στηλών ακολουθούμενη από μεμβράνη υπερδιήθησης: **GAL1 – GAL2 – M**

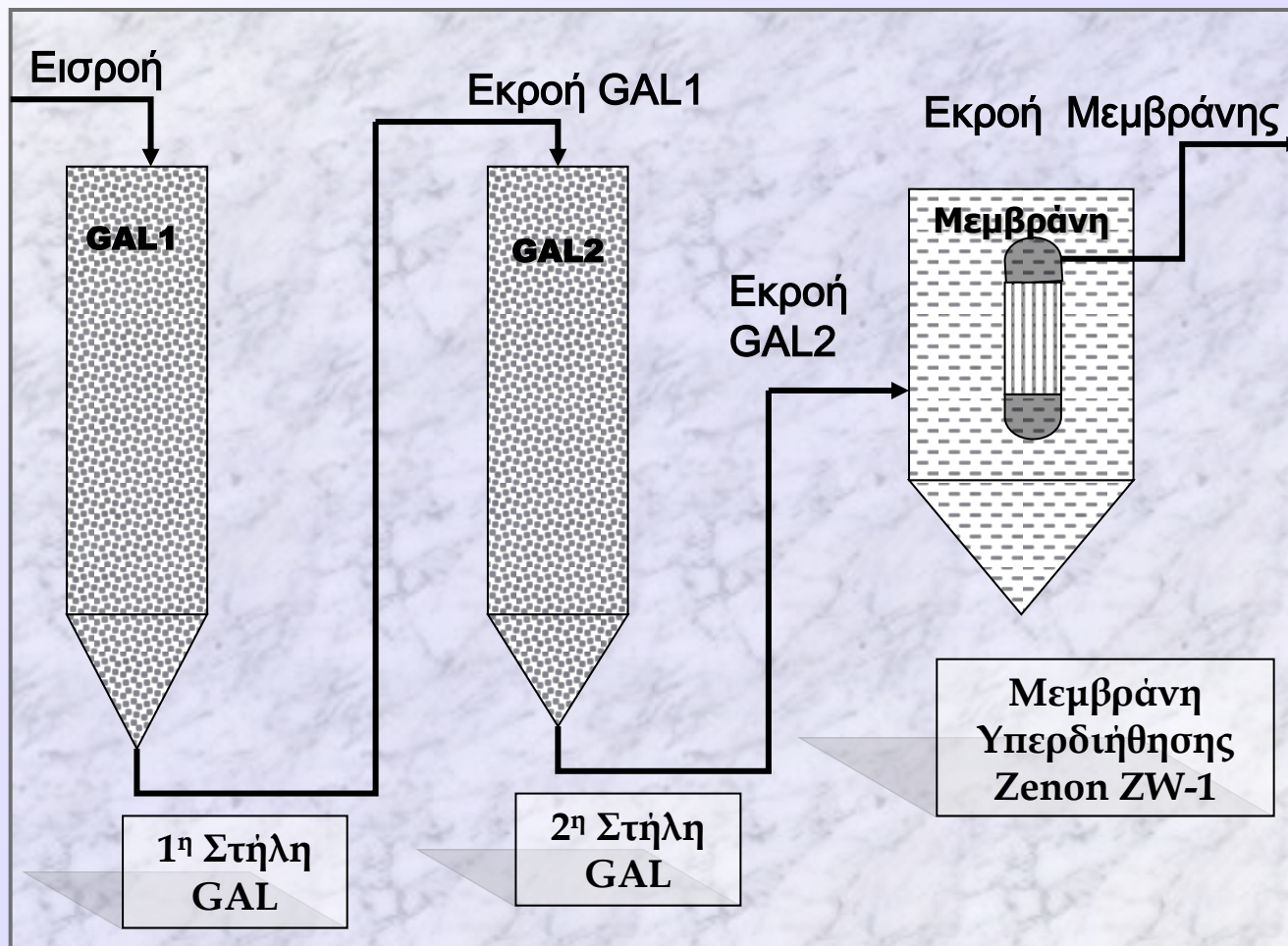
μελετήθηκαν:

- με τροφοδοσία τριτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή
- σε συνθήκες υπερφόρτισης
- με προσθήκη εξωτερικής πηγής άνθρακα

εξετάζοντας τις παραμέτρους ρύπανσης σε κατάσταση ισορροπίας ροής (steady-state):

- οργανικές ενώσεις COD, BOD₅
- αζωτούχες ενώσεις TN, TKN, NH₄⁺-N, NO_xs
- φώσφορος PO₄³⁻-P
- ολικά & κοπρανώδη κολοβακτηρίδια

Πειραματική διάταξη...



➤ 5 L κάθε στήλη – 3 L κάθε κλίνη

➤ 0,45 πορώδες

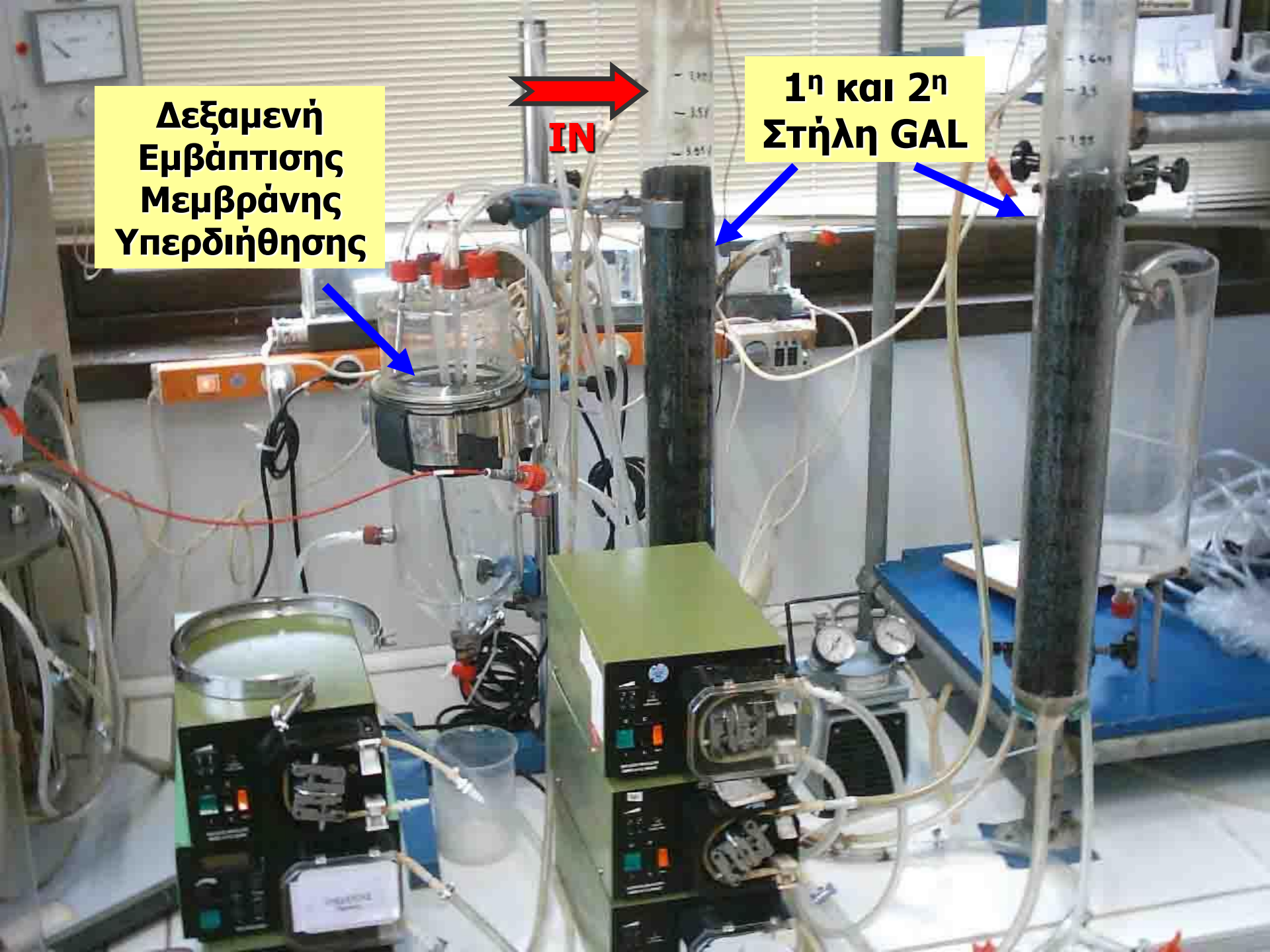
➤ 2,7 kg GAL / 3 L κλίνης

➤ 15 sec / 10 min αερισμός

**Δεξαμενή
Εμβάπτισης
Μεμβράνης
Υπερδιήθησης**

IN

**1^η και 2^η
Στήλη GAL**



Χαρακτηριστικά τροφοδοσίας...

Παράμετρος ρύπανσης	Μέση συγκέντρωση εισροής (mg/L)			
	Από τριτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή	Σε συνθήκες υπερφόρτισης	Με εξωτερική τροφοδοσία C	Ειδική επιφανειακή φόρτιση L_{RA} [kg / (m ² d)]
BOD ₅	42	60	15	0,014 – 0,328
COD	63	214	77	0,035 – 1,112
TKN	11	9	7	3,64 – 55,17
NH ₄ ⁺ -N	6	5	1	0,84 – 45,14
NO ₃ ⁻ -N	5	7	0,8	0,0001 – 0,0243
PO ₄ ³⁻ -P	1,2	0,35	0,17	0,07 · 10 ⁻³ – 0,051

EBCT = 14 – 162 min

$L_{RV} = 0,6 – 7,17 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{ d})$

Εξωτερική τροφοδοσία C: προσθήκη 47,4 mg CH₃OH/ hr στον GAL1

Αποτελέσματα



Εισροή
στην 3^η
βαθμίδα

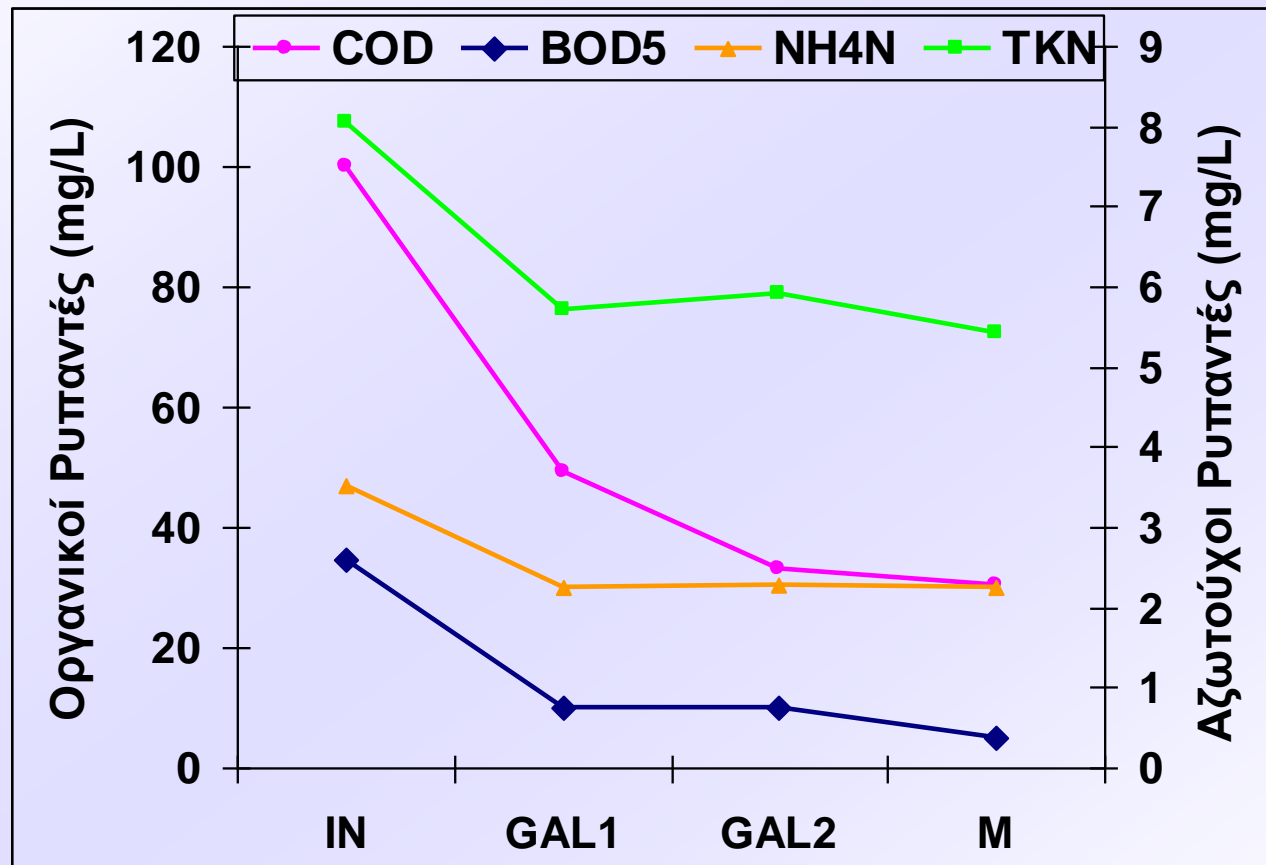


Εκροή 3^{ης}
βαθμίδας



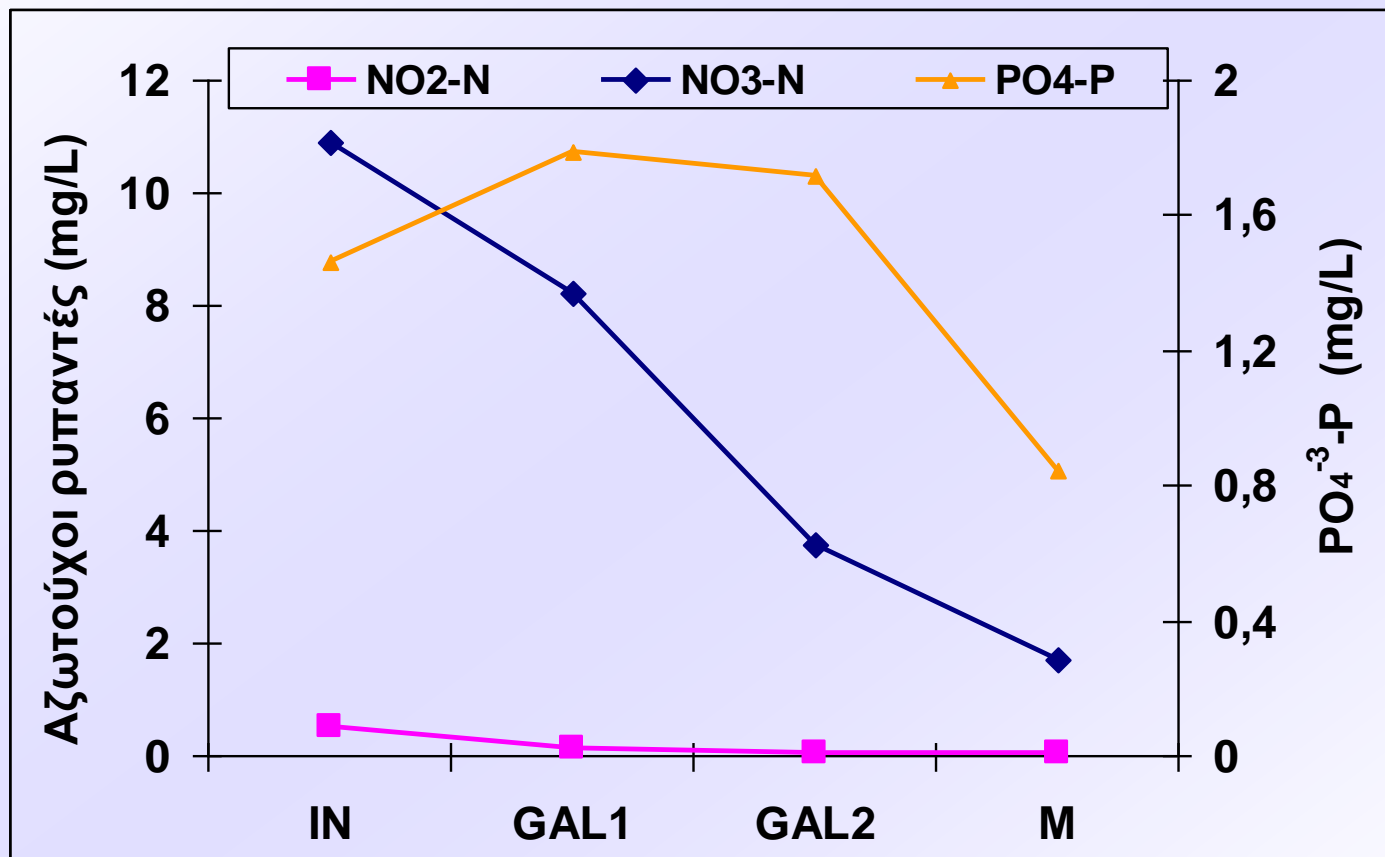
Εκροή 4^{ης}
βαθμίδας

Αξιολόγηση συνολικής απόδοσης...



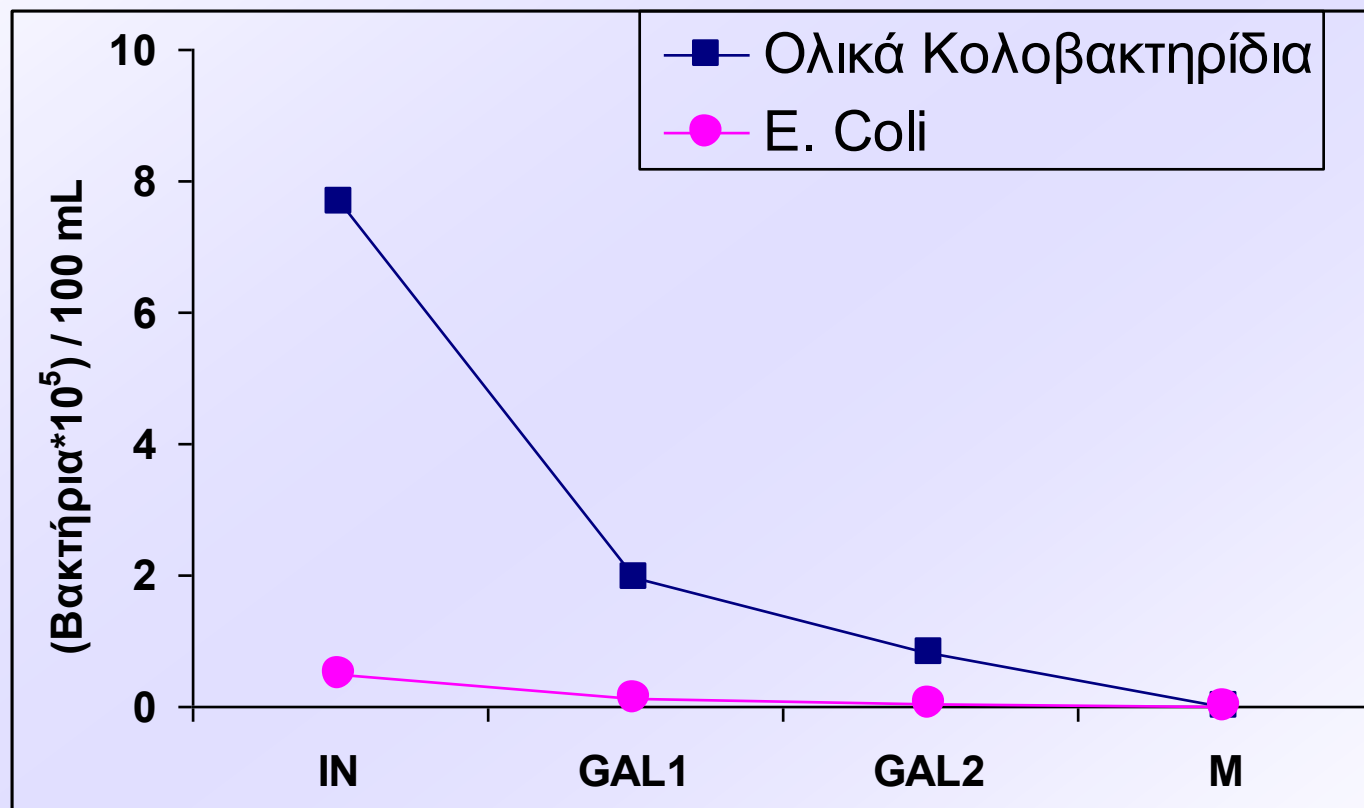
- ✓ 70% απομάκρυνση COD & 87% απομάκρυνση BOD₅
- ✓ ανεπαρκής νιτροποίηση – 34% απομάκρυνση NH₄⁺-N

...αξιολόγηση απόδοσης



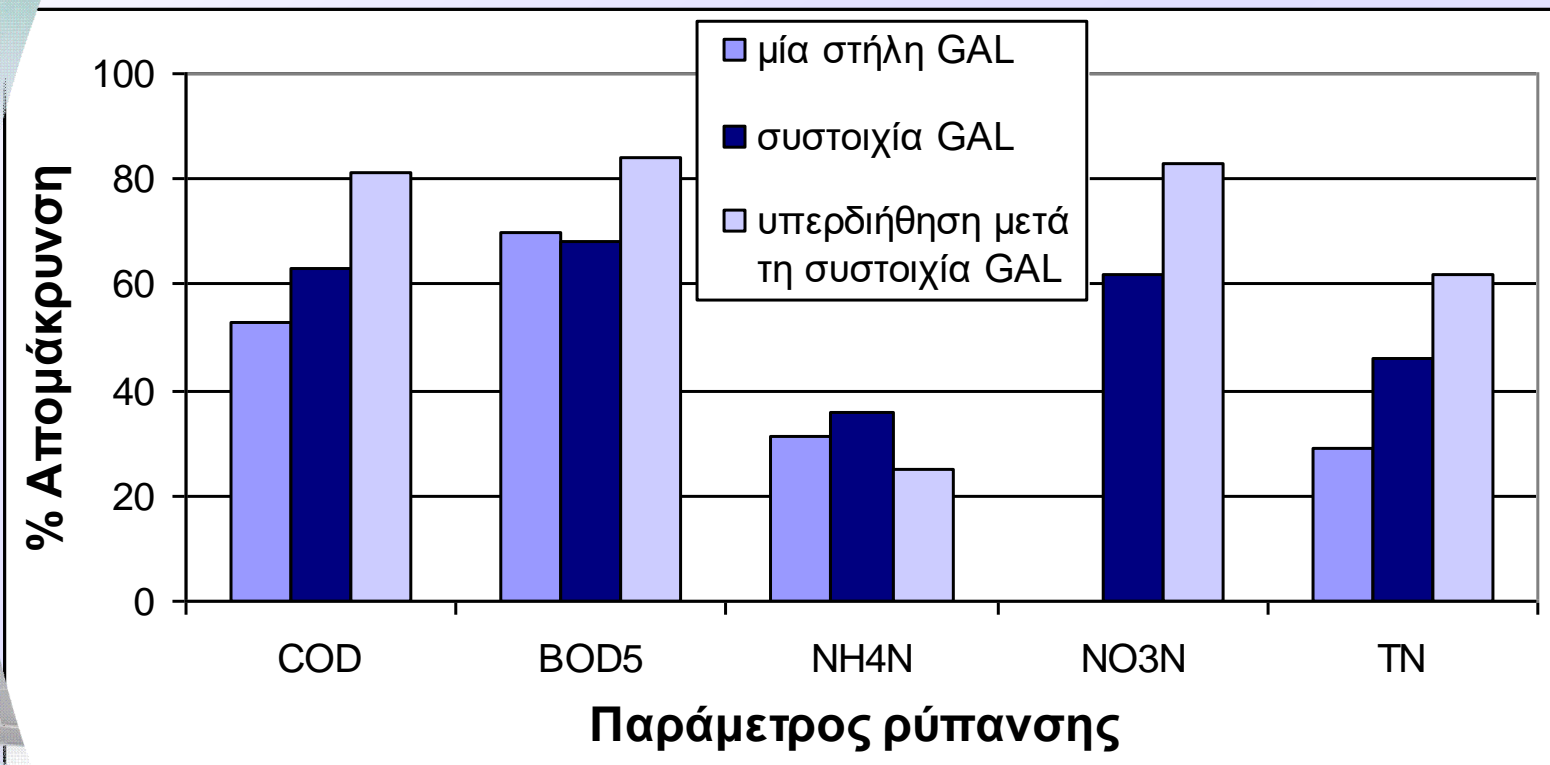
- ✓ 43% απομάκρυνση φωσφόρου
- ✓ πλήρης απονιτροποίηση – 84% απομάκρυνση NO₃
- ✓ 60% απομάκρυνση ολικού αζώτου

Απομάκρυνση παθογενών...



- ✓ Πλήρης απομάκρυνση κολοβακτηριδίων
- ✓ 99% απομάκρυνση θολότητας

Τροφοδοσία: τριτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή

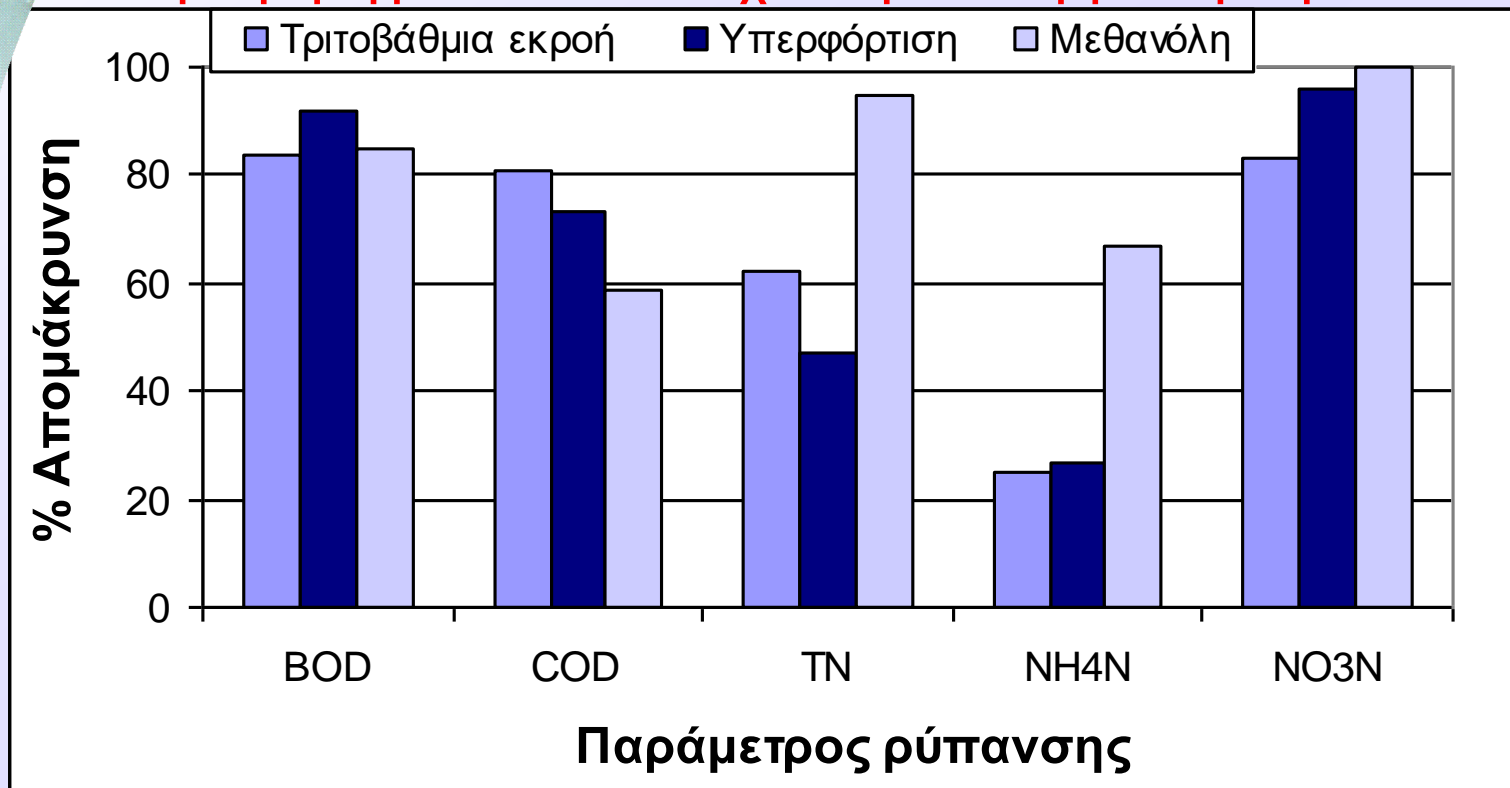


Υπερέχει η υπερδιήθηση μετά από συστοιχία στηλών ενεργού λιγνίτη:

- ✓ Αφαίρεση οργανικών > 80%
- ✓ 83% απονιτροποίηση – 62% αφαίρεση ολικού αζώτου

Σύγκριση περιπτώσεων τροφοδοσίας

✓ Υπερδιήθηση μετά από συστοιχία στηλών ενεργού λιγνίτη



✿ Βελτίωση % απομακρύνσεων N με προσθήκη μεθανόλης:

✓ 74% απονιτροποίηση στον GAL1 (≠ 51% χωρίς)

✓ Αύξηση απονιτροποιητικής δραστηριότητας κατά 17%

✿ Ικανοποιητική απόκριση (Σ) σε συνθήκες υπερφόρτισης

Επαναχρησιμοποίηση

Παράμετρος Ρύπανσης	Μέση συγκέντρωση εκροής (mg/L)	Προτεινόμενο όριο (mg/L)
BOD ₅	7	10
COD	13	35
TN	4	5
NH ₄ ⁺ -N	3	5
NO ₃ ⁻ -N	1	5
NO ₂ ⁻ -N	0	0,15
PO ₄ ⁻³ -P	0,4	1

✓ Πλήρης απομάκρυνση μικροβιακής ρύπανσης

Ικανοποίηση κριτηρίων (Bahri *et al.*, 2002) για άρδευση καλλωπιστικών φυτών, για χρήση στη γεωργία (Tsagarakis *et al.*, 2003; Medaware Report, 2003; W.H.O., 1989) και για άρδευση δασών, πάρκων & κήπων, εμπλουτισμό υπόγειων νερών κτλ (Howell, 2004)

Συμπεράσματα

Αξιολόγηση (Σ) τεταρτοβάθμιας επεξεργασίας

☀ Η συστοιχία δύο στηλών κοκκώδη ενεργού λιγνίτη καθοδικής ροής ακολουθούμενη από μεμβράνη υπερδιήθησης παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απομάκρυνση ρύπανσης σε σύγκριση με μεμονωμένη στήλη λιγνίτη ή τη συστοιχία των δυο στηλών

GALs+M > GAL1+GAL2 > GAL1

✓81% COD	13 mg COD/L	✓62% TN	4 mg TN/L
✓84% BOD ₅	7 mg BOD ₅ /L	✓25% NH ₄ ⁺ -N	3 mg NH ₄ ⁺ -N/L
	0,4 mg PO ₄ ³⁻ -P/L		1 mg NO ₃ ⁻ -N/L

- ☀ Η απόκριση του (Σ) σε συνθήκες υπερφόρτισης είναι ικανοποιητική
- ☀ Με προσθήκη μεθανόλης στην GAL1 αυξάνεται η απομάκρυνση TN
- ☀ Η εκροή μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές

Εν κατακλείδι...

☀ τριτοβάθμια επεξεργασία:

- ✓ χαμηλό κόστος
- ✓ υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης παραμέτρων ρύπανσης
- ✓ βέλτιστη κατάσταση ροής: 4(60/25/15) πριν τον αναερόβιο επιλογή

☀ τεταρτοβάθμια επεξεργασία:

- ✓ υψηλές αποδόσεις, ιδίως TN – βελτίωση με προσθήκη CH_3OH
- ✓ ανάκτηση εκροής - επαναχρησιμοποίηση

☀ προσδιορισμός βιοκινητικών παραμέτρων:

- ✓ ανάπτυξη μ/ο με υψηλή συγγένεια προς το υπόστρωμα
- ✓ υψηλοί ρυθμοί κατανάλωσης υποστρώματος

☀ έλεγχος νηματοειδών τύπου 021N με προσθήκη H_2O_2

Ευχαριστώ για την προσοχή σας...

