



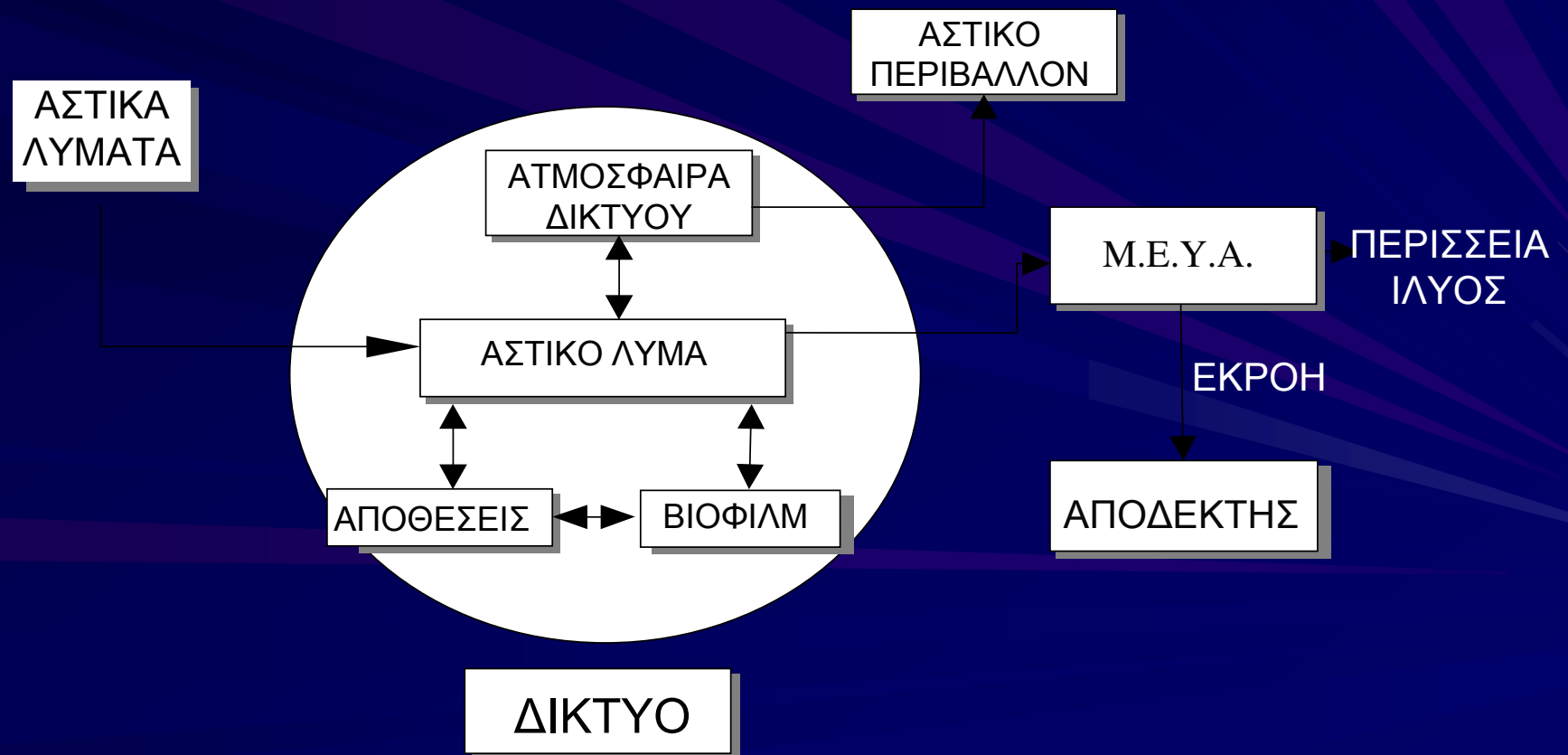
# Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Διαχείρισης & Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων

Έλεγχος Δυσοσμίας σε Δίκτυα Αστικών Λυμάτων  
με Προσθήκη Νιτρικού

# Βιοχημικές μετατροπές σε δίκτυα αστικών λυμάτων

- ✓ Το δίκτυο δεν είναι απλά ένα υδραυλικό σύστημα μεταφοράς λυμάτων αλλά και ένα σύστημα βιοχημικών μετατροπών.
- ✓ Οι μετατροπές πραγματοποιούνται σε **4 υποσυστήματα**:



# Επίδραση σχεδιασμού δικτύων στις βιοχημικές μετατροπές

- ✓ Το είδος των βιοχημικών μετατροπών που πραγματοποιούνται εξαρτάται από τον διαθέσιμο ηλεκτρονιακό δέκτη.
- ✓ Ο σχεδιασμός ενός δικτύου καθορίζει την διαθεσιμότητα του ηλεκτρονιακού δέκτη.

Συνθήκες	Ηλεκτρονιακός δέκτης	Είδη δικτύου που τυπικά παρουσιάζονται
Αερόβιες	$O_2$	Μερικώς πληρωμένοι βαρυτικοί αγωγοί Προσθήκη αέρα/οξυγόνου σε αγωγούς πίεσης
Ανοξικές	$NO_3^-/NO_2^-$	Προσθήκη νιτρικού/νιτρώδους σε δίκτυα
Αναερόβιες	$SO_4^{-2}$ Οργανικό υλικό	Πληρωμένοι βαρυτικοί αγωγοί Αγωγοί πίεσης

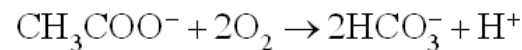
# Προτίμηση ηλεκτρονιακού δέκτη

Συνθήκες	Ηλεκτρονιακός δέκτης
Αερόβιες	O <sub>2</sub>
Ανοξικές	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Αναερόβιες	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> Οργανικό υλικό



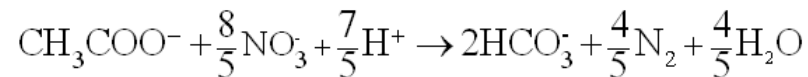
Πίνακας 2.15 Οι τιμές της ελεύθερης ενέργειας Gibbs για ετερότροφη αναπνοή.

Αερόβια αναπνοή



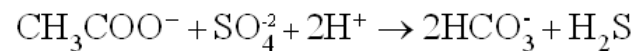
$$\Delta G_0' = -201,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με νιτρικό



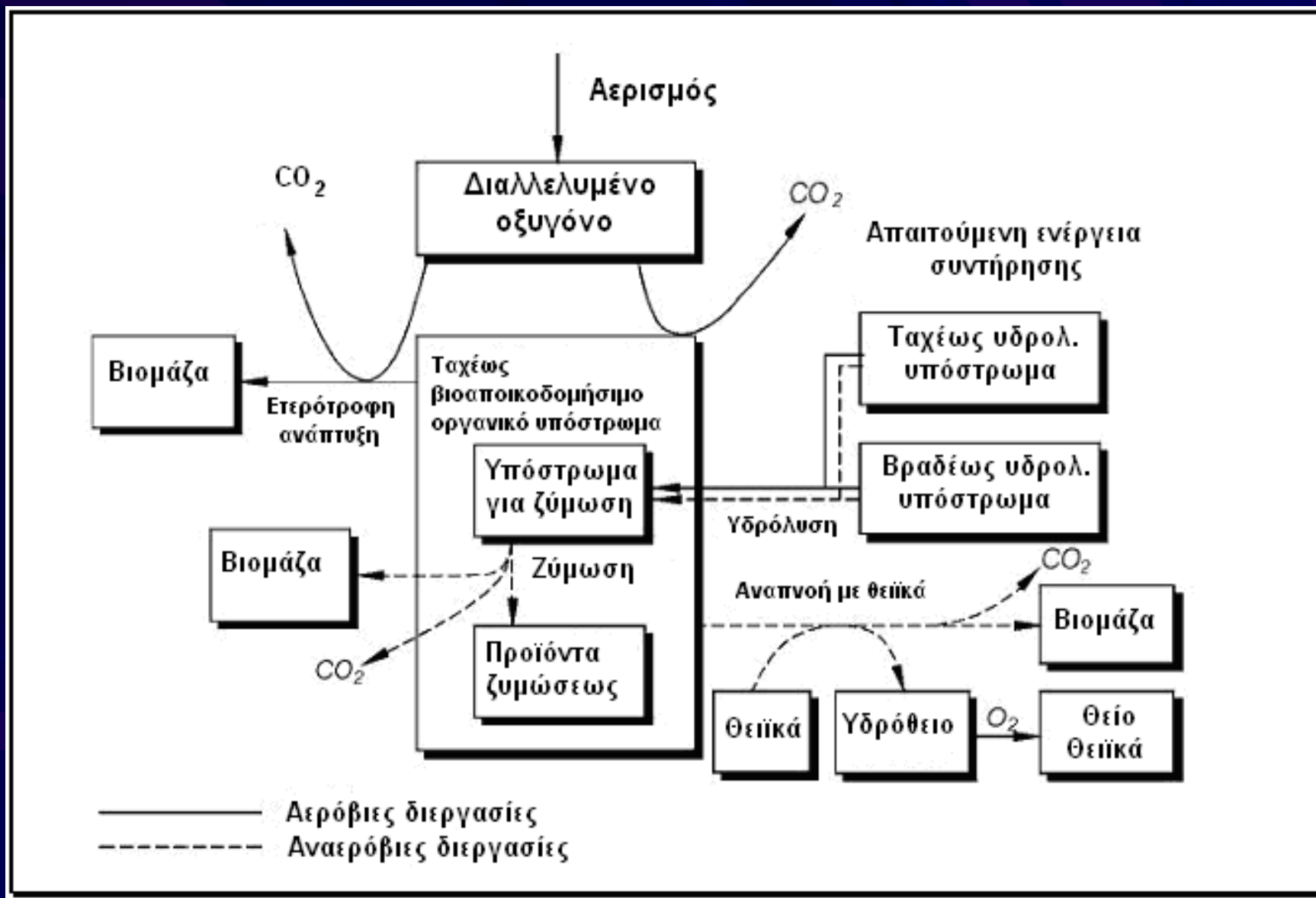
$$\Delta G_0' = -189,0 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με θειικό



$$\Delta G_0' = -11,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

# Βιοχημικές μετατροπές σε δίκτυα



# Αερόβιες μετατροπές σε δίκτυα

## Ισοζύγιο μάζας οξυγόνου

$$\frac{dD.O.}{dt} = D.O._{(IN)} - D.O._{(OUT)} + K_L a(D.O._{sat} - D.O.) - (r_w + r_f)$$

$dD.O./dt$  : Μεταβολή διαλελλυμένου οξυγόνου

$D.O._{(IN)}$  : Συγκέντρωση διαλελλυμένου οξυγόνου στην εισροή

$D.O._{(OUT)}$  : Συγκέντρωση διαλελλυμένου οξυγόνου στην εκροή

$K_L a$  : Σταθερά επαναερισμού

$D.O._{sat}$  : Συγκέντρωση κορεσμού διαλελλυμένου οξυγόνου

$D.O.$  : Συγκέντρωση διαλελλυμένου οξυγόνου στην υγρή φάση

$r_w$  : Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο αστικό λύμα

$r_f$  : Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο βιοφίλμ

# Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο αστικό λύμα

Πίνακας 2.6 Πειραματικά προσδιορισμένες τιμές του ογκομετρικού ρυθμού κατανάλωσης διαλελλυμένου οξυγόνου στο αστικό λύμα δικτύου.

Πηγή	Είδος/Προέλευση λύματος	$r_w$ (gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> .h)
Boon and Lister (1975)	Σηπτικό λύμα (20 <sup>0</sup> C)	11-16
USEPA (1985)	Φρέσκο λύμα (20 <sup>0</sup> C)	2-3
Matos and de Sousa (1991)	Φρέσκο λύμα (20 <sup>0</sup> C)	0,1-0,3
Huisman <i>et al.</i> (1999)	Φρέσκο λύμα (15 <sup>0</sup> C)	0,5-3

# Ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου στο βιοφίλμ

$$r_f = 5,3 D.O. (su)^{-0.5} R^{-1}$$

**Πίνακας 2.7** Πειραματικά προσδιορισμένες τιμές του επιφανειακού ρυθμού κατανάλωσης διαλελλυμένου οξυγόνου από βιοφίλμ δικτύου.

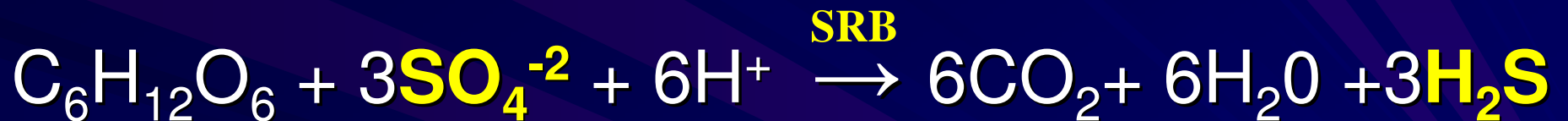
Πηγή	Είδος/λύματος	$r_f$ (gO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .h)
<b>Boon and Lister (1975)</b>	Σηπτικό λύμα (20 <sup>0</sup> C)	0,7
<b>USEPA (1985)</b>	Φρέσκο λύμα (20 <sup>0</sup> C)	0,15-1,5
<b>Matos and de Sousa (1991)</b>	Φρέσκο λύμα (20 <sup>0</sup> C)	1,2-1,8
<b>Huisman <i>et al.</i> (1999)</b>	Φρέσκο λύμα (15 <sup>0</sup> C)	0,17-0,25



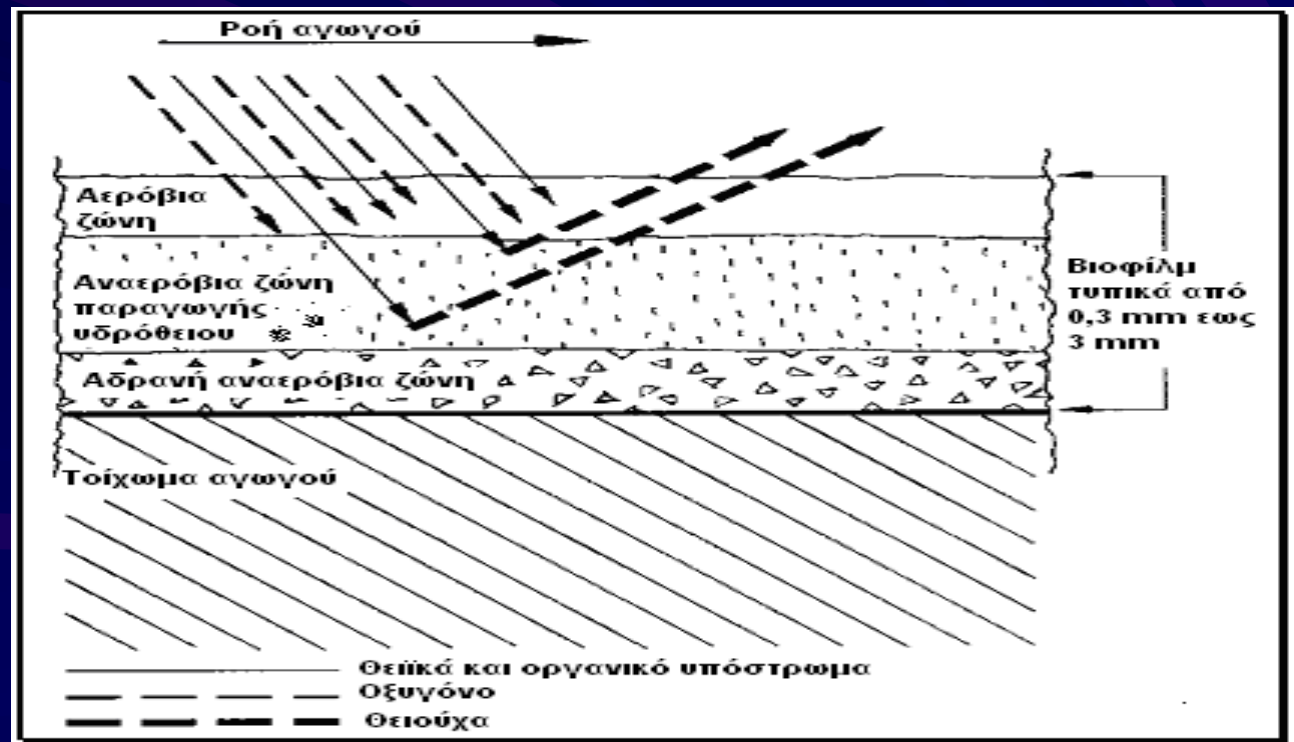
# Αναερόβιες μετατροπές σε δίκτυα

✓ Με την πλήρη κατανάλωση του οξυγόνου, λαμβάνουν χώρα αναερόβιες μετατροπές.

- **Αναερόβια αναπνοή με θειικό (Θειοαναγωγή)**



- Ζυμώσεις
- Μεθανιογέννεση



## Συνέπειες παραγωγής H<sub>2</sub>S σε δίκτυα

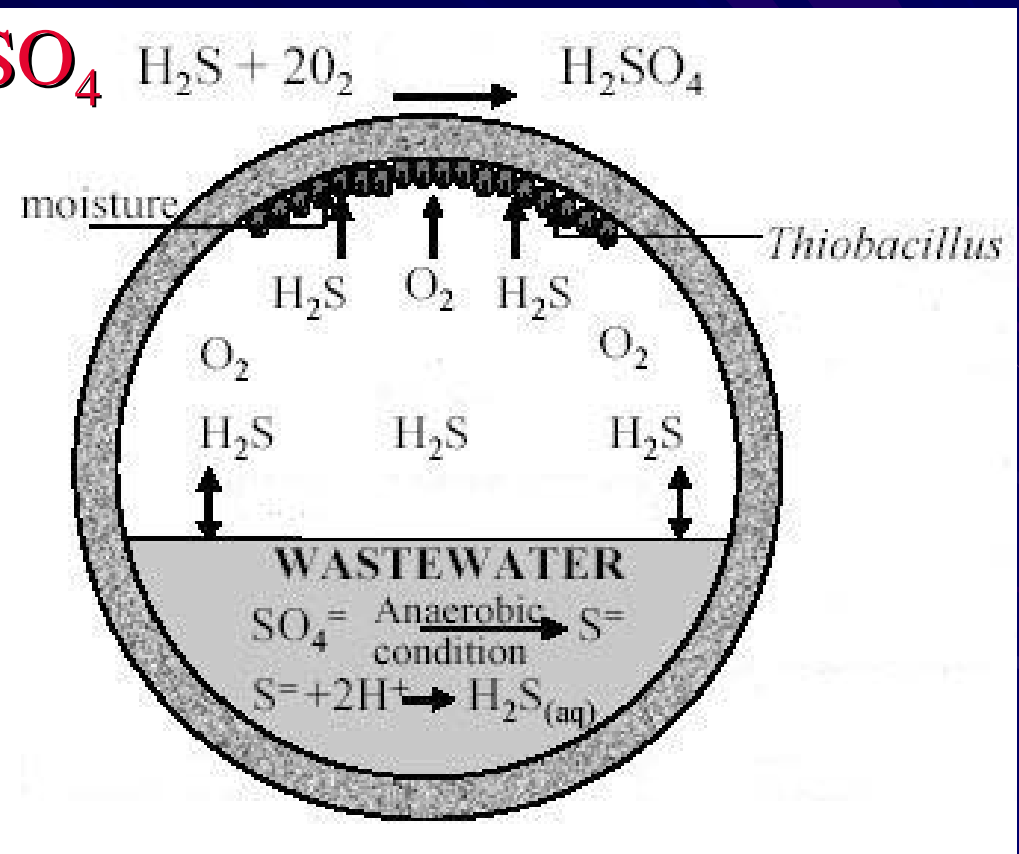
- ✓ Το υδρόθειο οδηγεί σε προβλήματα δυσσομίας.
- ✓ Το υδρόθειο συνδέεται επίσης με προβλήματα υγιεινής, λόγω της τοξικότητάς του.

Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	Συγκέντρωση H <sub>2</sub> S στην ατμόσφαιρα (ppm)
Κατώφλι όσφρησης	0,0001-0,002
Δυσάρεστη οσμή	0,5-30
Πονοκέφαλος, ναυτία και ερεθισμός ματιών και ωτορινολαρυγγική ενόχληση	10-50
Βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα	50-300
Κίνδυνος θανάτου	300-500
Θάνατος	>700

- ✓ Λειτουργικά προβλήματα στην μετέπειτα βιολογική επεξεργασία των αστικών λυμάτων.
  - Διόγκωση ιλύος

# Διάβρωση υδραυλικών εγκαταστάσεων

Παρουσία υγρασίας και  $O_2$ :



# Παραγωγή $H_2S$ σε δίκτυα αστικών λυμάτων

- ✓ Από το 1940 παρατηρούνται προβλήματα σε δίκτυα λόγω της παραγωγής υδρόθειου.
- ✓ Διεξάγονται έρευνες σε χώρες με θερμά κλίματα (Ν. Αφρική, Αυστραλία, Η.Π.Α., Πορτογαλία) αλλά και στην Δανία.



# Παραγωγή $H_2S$ σε δίκτυα αστικών λυμάτων

- ✓ Ο ρυθμός παραγωγής υδρόθειου εξαρτάται από:
  - $SO_4^{-2}$
  - Συγκέντρωση και είδος οργανικού υποστρώματος
  - Θερμοκρασία
  - pH
  - Υδραυλική ακτίνα
  - Ταχύτητα ροής

# Έλεγχος σηπτικότητας σε δίκτυα αστικών λυμάτων

- ✓ Ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός δικτύου πρέπει να λαμβάνει υπόψη και τις βιοχημικές μετατροπές που πραγματοποιούνται

## Βασικές αρχές σχεδιασμού

- Επαρκής ρυθμός επαναερισμού ώστε να διατηρούνται αερόβιες συνθήκες.
- Υψηλή τυρβώδη ροή υπό αερόβιες συνθήκες.
- Στρωτή ροή υπό αναερόβιες συνθήκες.
- Περιορισμός των φαινομένων αποθέσεων στερεών.
- Μέτρα για περιορισμό του βιοφίλμ (π.χ. υψηλή διατμητική τάση).

# Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας σε δίκτυα αστικών λυμάτων

	<b>Μέθοδος</b>
Περιορισμός βιολογικής δραστηριότητας	Προσθήκη βάσεων
	Χλωρίωση
Χημική οξείδωση	Προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου
	Οζόνωση
	Προσθήκη υπερμαγγανικού καλίου
Κατακρήμνιση διαλυτού υδρόθειου	Προσθήκη αλάτων σιδήρου
Μέθοδοι επεξεργασίας της αέριας φάσης	Χημικές
	Βιολογικές
Μηχανικές μέθοδοι	Πλύση δικτύου για απομάκρυνση των αποθέσεων
	Χρήση υδραυλικών μηχανισμών για την αποκόλληση του βιοφίλμ
Αύξηση δυναμικού οξειδοαναγωγής	Προσθήκη ατμοσφαιρικού οξυγόνου
	Προσθήκη καθαρού οξυγόνου
	Προσθήκη νιτρικού/νιτρώδους



# Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Προσθήκη βάσεων

Παρεμπόδιση βιολογικής δραστηριότητας

Αύξηση pH > 10-12

## Χλωρίωση

Παρεμπόδιση βιολογικής δραστηριότητας

- ❖ Αρνητική επίδραση στην λειτουργία της Μ.Ε.Λ. σε περίπτωση υπέρμετρης δόσης



# Μέθοδοι ελέγχου σιδηρικής σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Προσθήκη αλάτων σιδήρου

Οξείδωση διαλυτού υδρόθειου ( $\text{Fe}^{+3}$ ) και κατακρήμνιση διαλυτού υδρόθειου ( $\text{Fe}^{+2}$ )

- ❖ Δεν μπορεί να ελέγχει άλλες ενώσεις που συμβάλουν στην εμφάνιση δυσσομίας

Χημική οξείδωση διαλυτού υδρόθειου ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{O}_3$ )



# Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Επεξεργασία αέριας φάσης

Χρήση βιόφιλτρων, χημικών ή βιολογικών scrubbers για την οξείδωση του αέριου υδρόθειου



## Μηχανικές μέθοδοι

Απόπλυση δικτύου

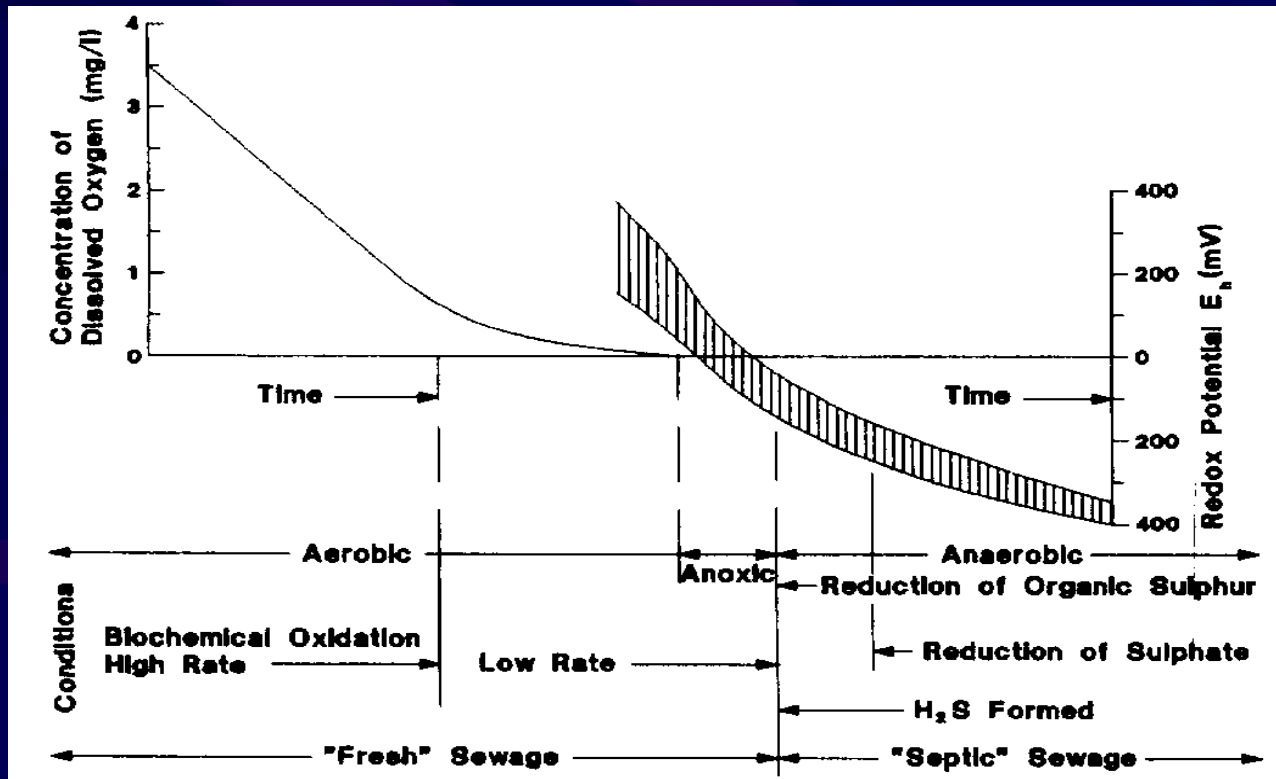
Αποκόλληση βιοφίλμ



# Μέθοδοι ελέγχου σηπτικότητας σε δίκτυα

## Αύξηση Δυναμικού οξειδοαναγωγής

Με τον παραπάνω όρο εκφράζεται η επιδίωξη παρεμπόδισης αναερόβιων συνθηκών με την προσθήκη ενός εναλλακτικού ηλεκτρονιακού δέκτη

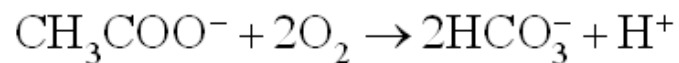


# Μέθοδοι αύξησης δυναμικού οξειδοαναγωγής

- ✓ O<sub>2</sub> για διατήρηση αερόβιων συνθηκών.
- ✓ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> για διατήρηση ανοξικών συνθηκών.

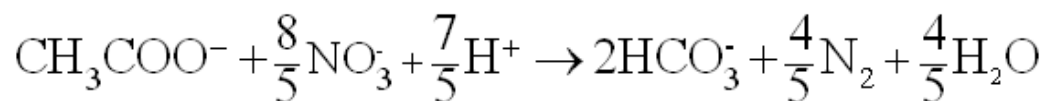
Πίνακας 2.15 Οι τιμές της ελεύθερης ενέργειας Gibbs για ετερότροφη αναπνοή.

Αερόβια αναπνοή



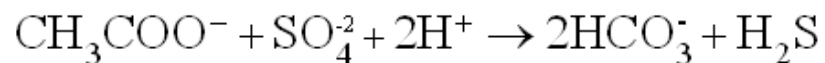
$$\Delta G_0' = -201,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με νιτρικό



$$\Delta G_0' = -189,0 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

Αναερόβια αναπνοή με θειικό



$$\Delta G_0' = -11,3 \text{ Kcal/αντίδραση}$$

# Μέθοδοι Αύξησης Δυναμικού οξειδοαναγωγής

## Προσθήκη $O_2$

Χρήση ατμοσφαιρικού αέρα ή καθαρού οξυγόνου.

- Οξείδωση διαλυτού υδρόθειου
- Διατήρηση αερόβιων συνθηκών

## Μειονεκτήματα

- ✓ Υψηλός ρυθμός κατανάλωσης
- ✓ Χαμηλή διαλυτότητα
- ✓ Μειωμένη ικανότητα διείσδυσης στο βιοφίλμ

# Μέθοδοι Αύξησης Δυναμικού οξειδοαναγωγής

## Δοσομέτρηση $\text{NO}_3^-$

Χρήση διαλυμάτων νιτρικών αλάτων

- Οξείδωση διαλυτού υδρόθειου
- Διατήρηση ανοξικών συνθηκών

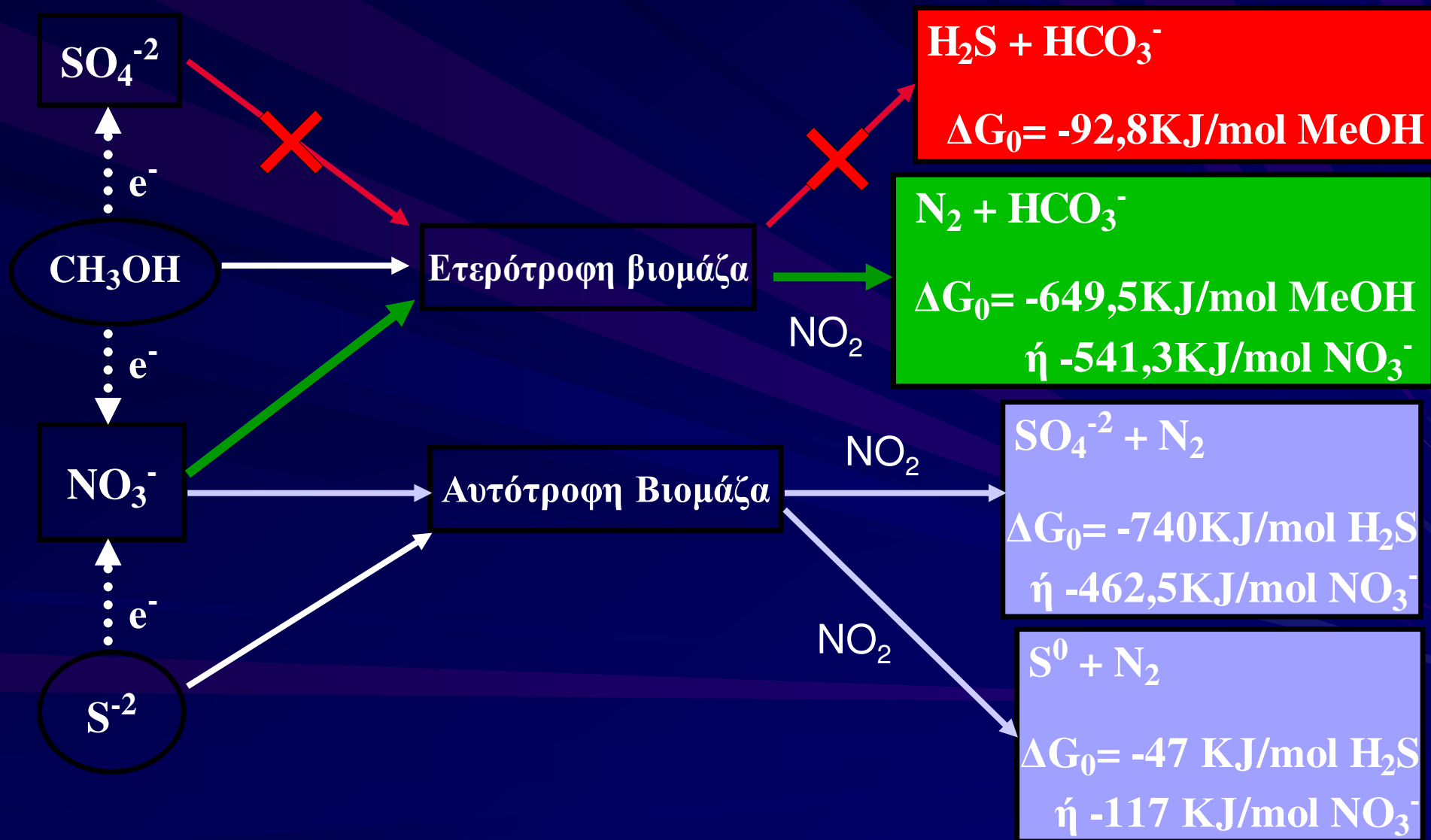
## Πλεονεκτήματα έναντι $\text{O}_2$

- Χαμηλότερος ρυθμός κατανάλωσης
- Υψηλή διαλυτότητα
- Υψηλή ικανότητα διείσδυσης στο βιοφίλμ

## Μειονεκτήματα

- Το  $\text{NO}_3^-$  αποτελεί μακροθρεπτικό και η προσθήκη του πρέπει να είναι ελεγχόμενη

# Προσθήκη $\text{NO}_3^-$ για τον έλεγχο δυσοσμίας





# Ελεγχόμενη προσθήκη $\text{NO}_3^-$ για έλεγχο δυσοσμίας σε δίκτυα αστικών λυμάτων

## Στόχος μεθόδου:

Η δημιουργία ανοξικών συνθηκών στο δίκτυο, μέσω ελεγχόμενης προσθήκης διαλύματος  $\text{NO}_3^-$ , ώστε:

- Να διατηρείται συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  σε όλο το μήκος του δικτύου.
  - Η συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  να είναι υπολειμματική στην έξοδό του.
- ✓ Για να προβλεφθεί η βέλτιστη δόση  $\text{NO}_3^-$  πρέπει να μελετηθεί η κινητική της απονιτροποίησης.



# Κινητική απονιτροποίησης σε συνθήκες δικτύου

Η κατανάλωση  $\text{NO}_3^-$  λαμβάνει χώρα:

- Στο αστικό λύμα (αιωρούμενη βιομάζα)
- Στο βιοφίλμ (καθηλωμένη βιομάζα)

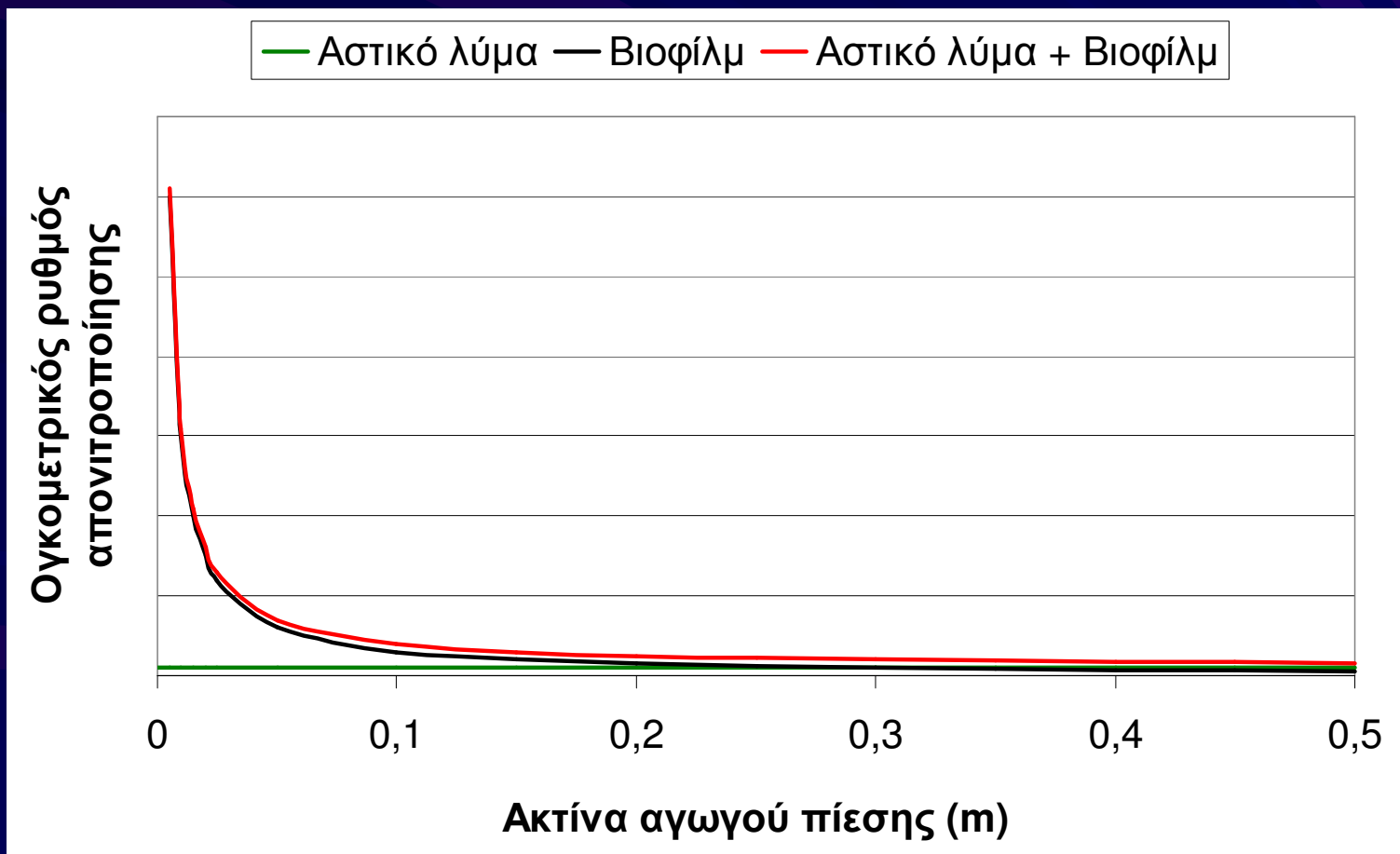
✓ Ο ρυθμός απονιτροποίησης ισούται με το άθροισμα του ρυθμού κατανάλωσης νιτρικού στο αστικό λύμα και στο βιοφίλμ:

$$r_{\text{DN}} = r_{\text{bulk}} + r_{\text{biofilm}} * (V/A)^{-1}$$

# Κινητική απονιτροποίησης σε αγωγό πίεσης

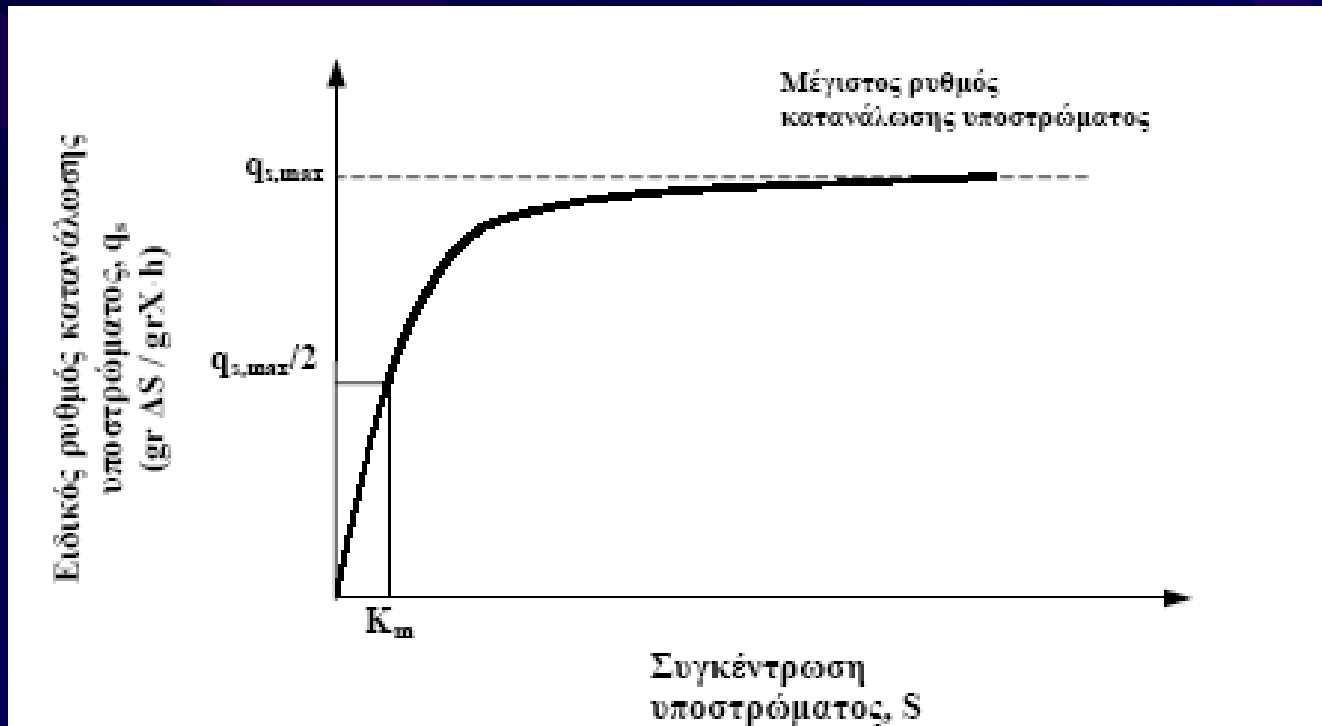
- ✓ Ο συνολικός ρυθμός της απονιτροποίησης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αγωγού:

$$r_{DN} = r_{bulk} + r_{biofilm} * (V/A)^{-1}$$



# Βιοχημική κινητική απονιτροποίησης

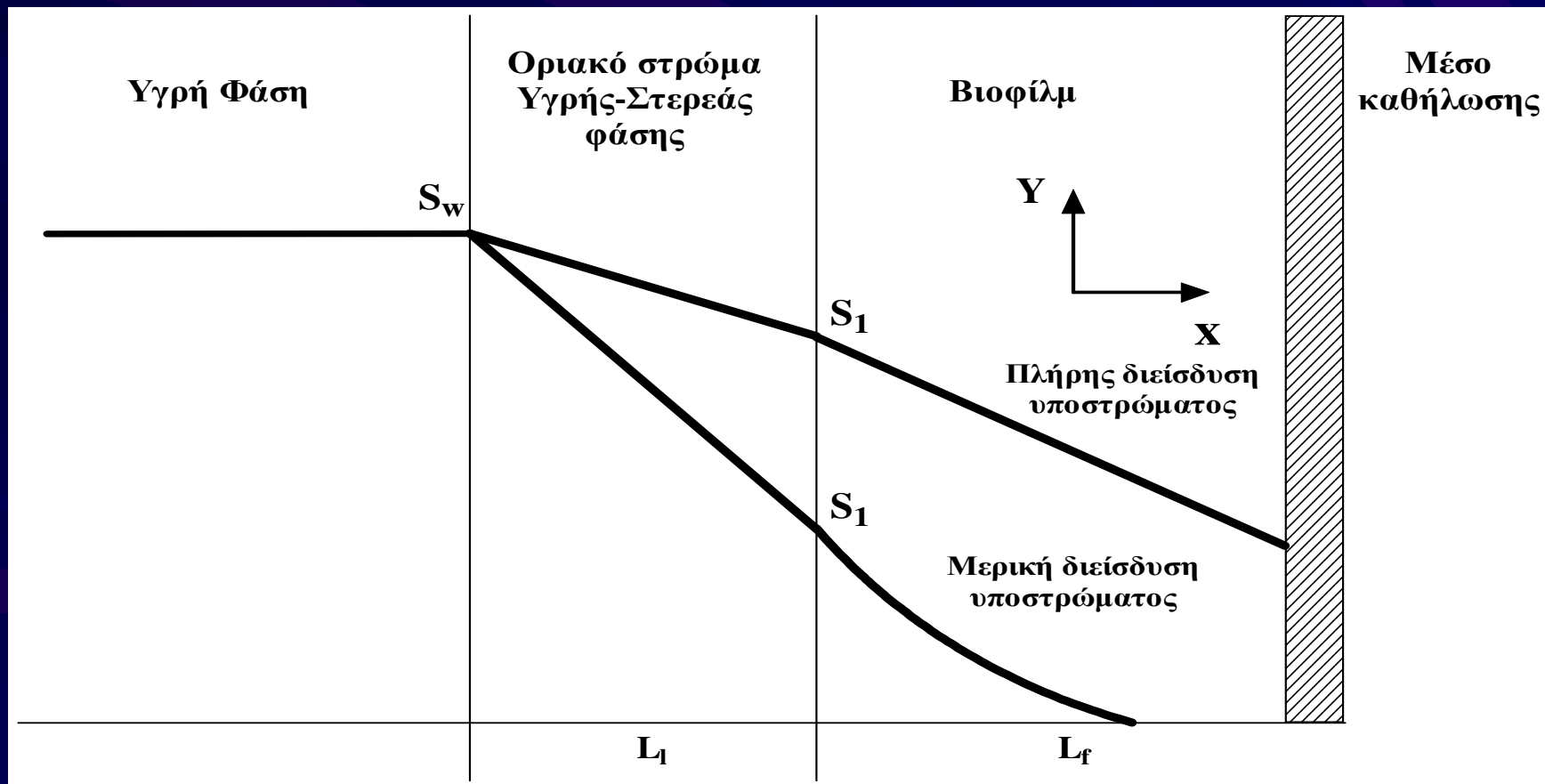
- ✓ Η απονιτροποίηση ακολουθεί τυπική βιοχημική κινητική Michaelis-Menten.



$$q_{DN} = q_{DN} \frac{NO_3-N}{K_{m,NO_3-N} + NO_3-N} \frac{S}{K_{m,S} + S}$$

# Βιοχημική κινητική σε βιοφίλμ

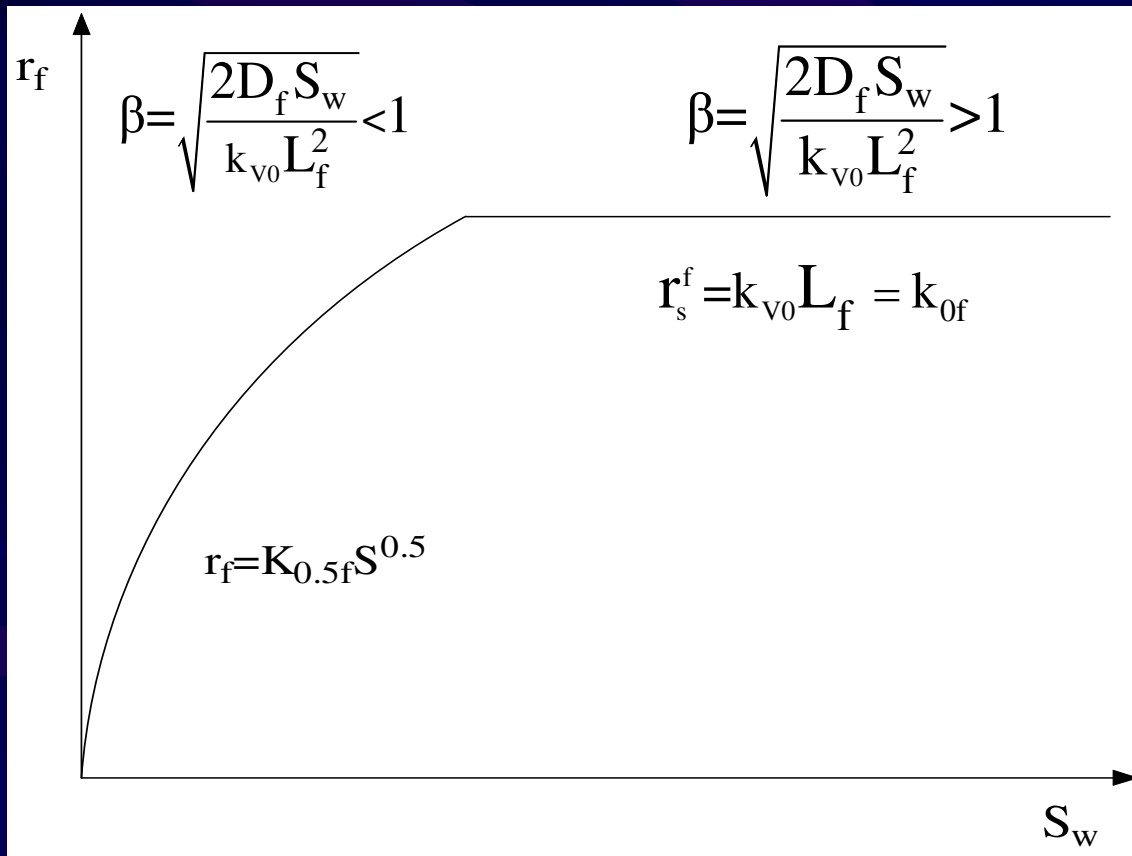
- ✓ Σύμφωνα με την θεωρία βιοφίλμ, μία αντίδραση μηδενικής τάξεως εμφανίζει κινητική μισής τάξεως όταν η διάχυση του ηλεκτρονιακού δέκτη ή δότη δεν είναι πλήρης.



# Βιοχημική κινητική σε βιοφίλμ

- ✓ Η κατανάλωση υποστρώματος αποτελεί συνδυασμό της βιοχημικής κινητικής Michaelis-Menten και φαινόμενων μεταφοράς μάζας.

$$D_f \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = k_{v0} \frac{S}{K_m + S}$$



# Στοχευμένη πειραματική διερεύνηση

- ✓ Η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της προσθήκης νιτρικού για τον έλεγχο δυσοσμίας.
- ✓ Η κινητική μελέτη της απονιτροποίησης σε συνθήκες δικτύου.
- ✓ Η ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης της κατανάλωσης νιτρικού σε συνθήκες δικτύου με στόχο τον προσδιορισμό της βέλτιστης δοσομέτρησης νιτρικού.

# ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΑΣΤΙΚΟ ΛΥΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΔΙΑΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ



# Πειραματική διαδικασία

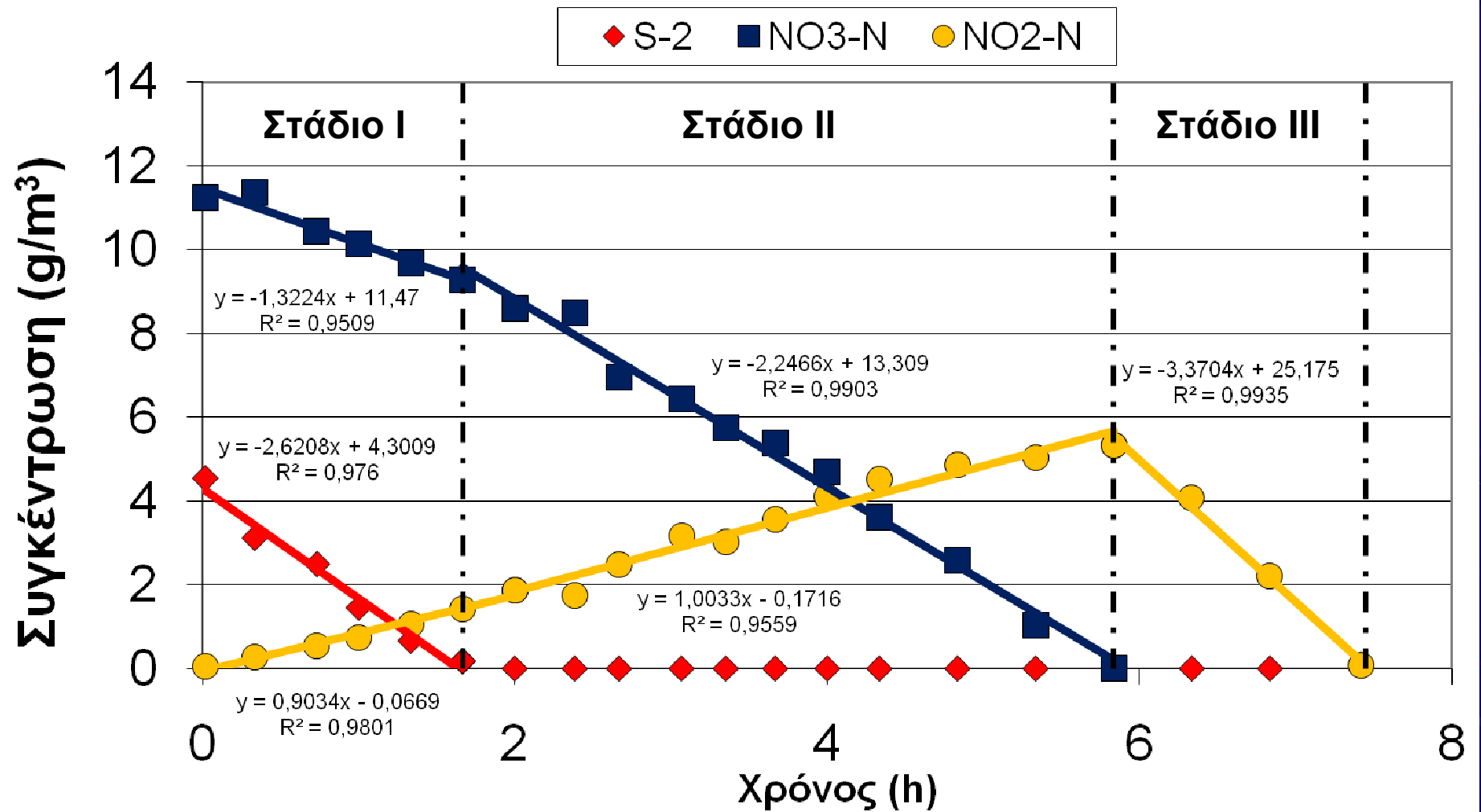
- ✓ Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε batch αντιδραστήρα 5 L.
- ✓ Χρησιμοποιήθηκε αστικό λύμα από το δίκτυο αστικών λυμάτων του Δήμου Ξάνθης.
- ✓ Με προσθήκη θειούχου και νιτρικού (ή νιτρώδους) άλατος, οι αρχικές συγκεντρώσεις  $S^{-2}$ ,  $NO_3-N$ , κατά την εκκίνηση, ήταν:
  - $C_{S^{-2}} = 5 \text{ g/m}^3$
  - $C_{NO_3-N} = 10 \text{ g/m}^3$  ή
  - $C_{NO_2-N} = 16,67 \text{ g/m}^3$



# 1<sup>η</sup> Πειραματική Ομάδα

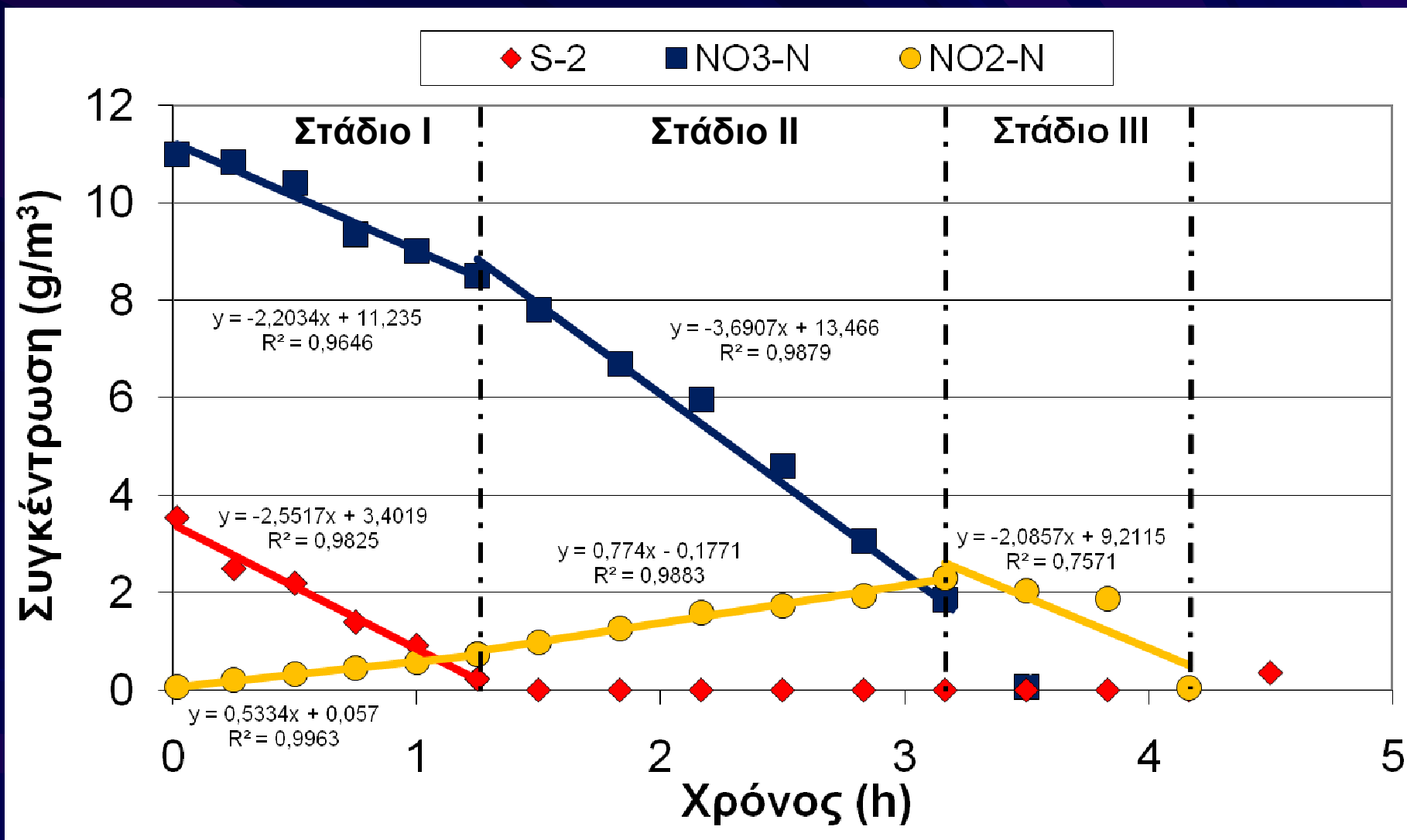
<b>T (°C)</b>	<b>20</b>			<b>25</b>			<b>30</b>		
<b>Πείραμα</b>	<b>A.I</b>	<b>A.II</b>	<b>A.III</b>	<b>A.IV</b>	<b>A.V</b>	<b>A.VI</b>	<b>A.VII</b>	<b>A.VIII</b>	<b>A.IX</b>
<b>SS (g/L)</b>	0,23	0,29	0,19	0,15	0,30	0,24	0,24	0,26	0,30
<b>VSS (g/L)</b>	0,20	0,26	0,18	0,13	0,26	0,20	0,18	0,12	0,26
<b>Ολικό COD (g/m<sup>3</sup>)</b>	674	650	509	435	674	564	575	633	515
<b>Διαλυτό COD (g/m<sup>3</sup>)</b>	300	247	266	236	296	231	280	260	267

# 1<sup>η</sup> πειραματική ομάδα (e<sup>-</sup> Δέκτης NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)



Τυπικό πείραμα στους 20°C

# 1η πειραματική ομάδα (e<sup>-</sup> Δέκτης NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

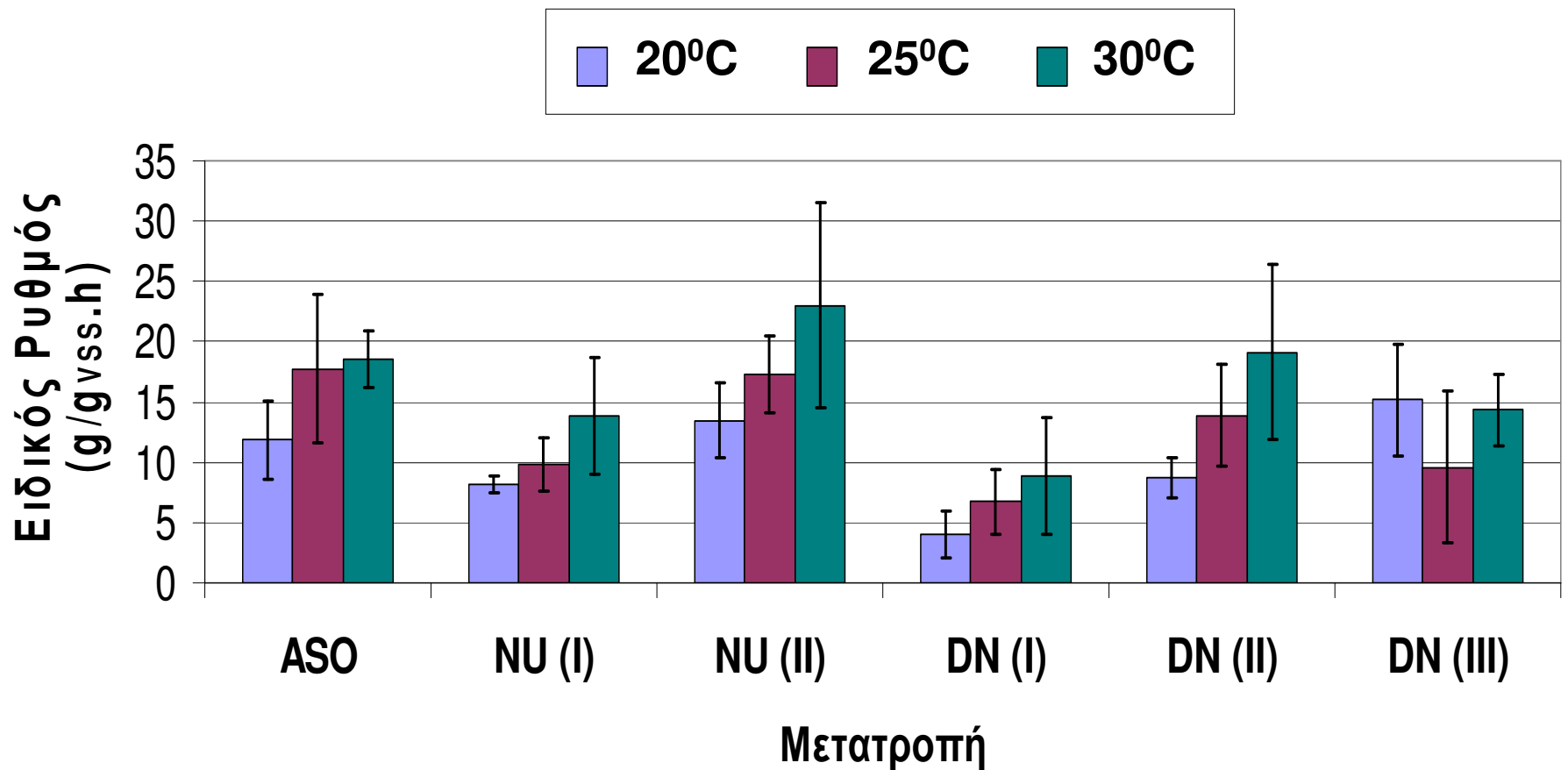


Τυπικό πείραμα στους 30<sup>0</sup>C

# Μέσες τιμές ανοξικών ογκομετρικών ρυθμών

Ρυθμός	Μονάδες	T(°C)		
		20	25	30
		Μέση τιμή (STD)	Μέση τιμή (STD)	Μέση τιμή (STD)
Ανοξική οξείδωση θειούχου	(gS <sup>-2</sup> /m <sup>3</sup> .h)	2,44 (0,26)	3,51 (1,60)	3,36 (0,94)
Αναγωγή νιτρικού (Στάδιο I)	(gN/m <sup>3</sup> .h)	1,75 (0,44)	1,84 (0,27)	2,36 (0,23)
Αναγωγή νιτρικού (Στάδιο II)	(gN/m <sup>3</sup> .h)	2,83 (0,57)	3,26 (0,55)	3,90 (0,42)
Απονιτροποίηση (Στάδιο I)	(gN/m <sup>3</sup> .h)	0,91 (0,59)	1,22 (0,21)	1,42 (0,29)
Απονιτροποίηση (Στάδιο II)	(gN/m <sup>3</sup> .h)	1,87 (0,56)	2,56 (0,32)	3,25 (0,67)
Απονιτροποίηση (Στάδιο III)	(gN/m <sup>3</sup> .h)	3,11 (0,46)	2,00 (1,39)	2,54 (0,47)

# Μέσες τιμές ειδικών ρυθμών



**ASO: Ανοξική οξείδωση θείου**

$$r_s = -dS^2/dt$$

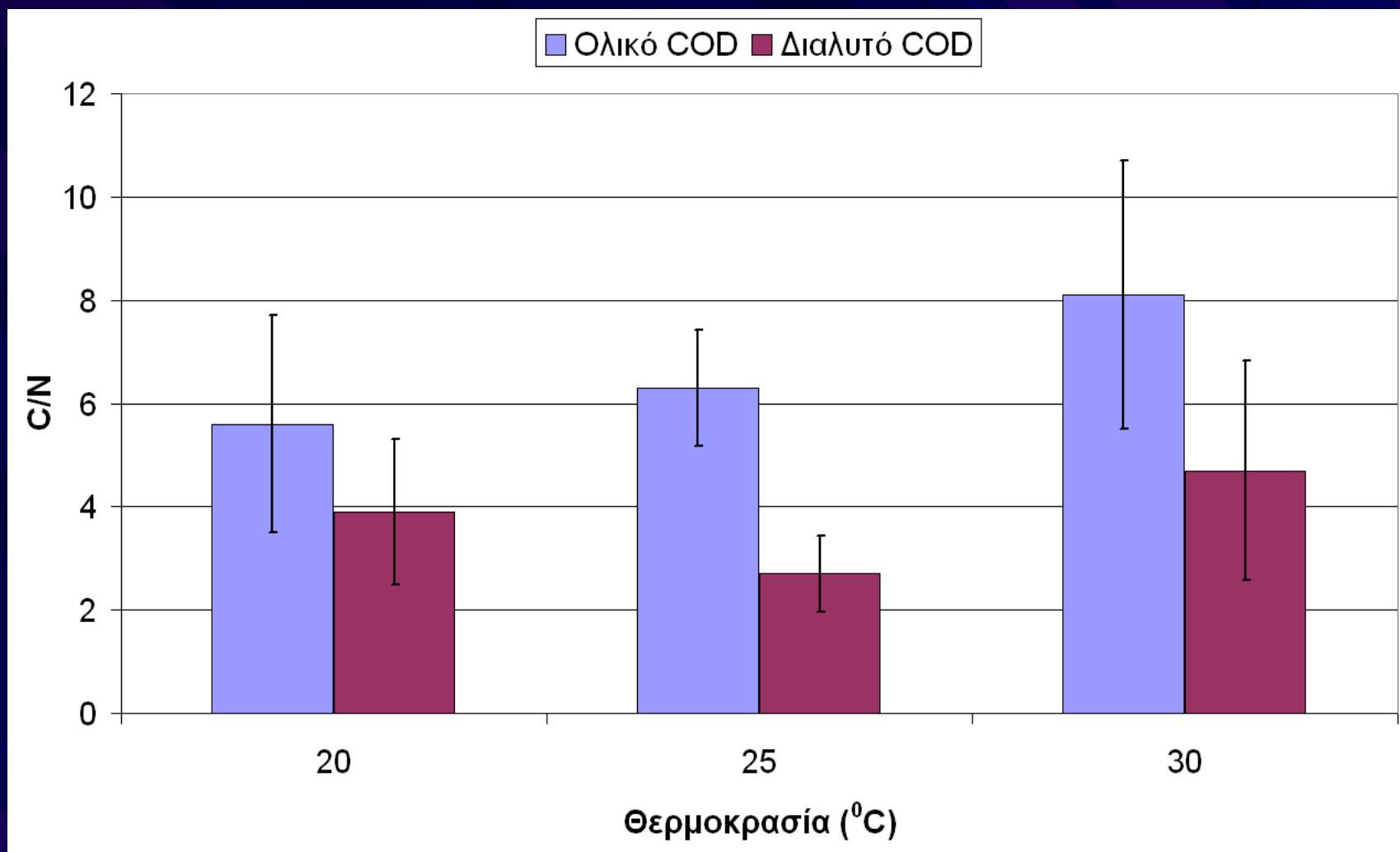
**NU : Αναγωγή νιτρικού**

$$r_{NO_3} = -dNO_3-N/dt$$

**DN : Απονιτροποίηση**

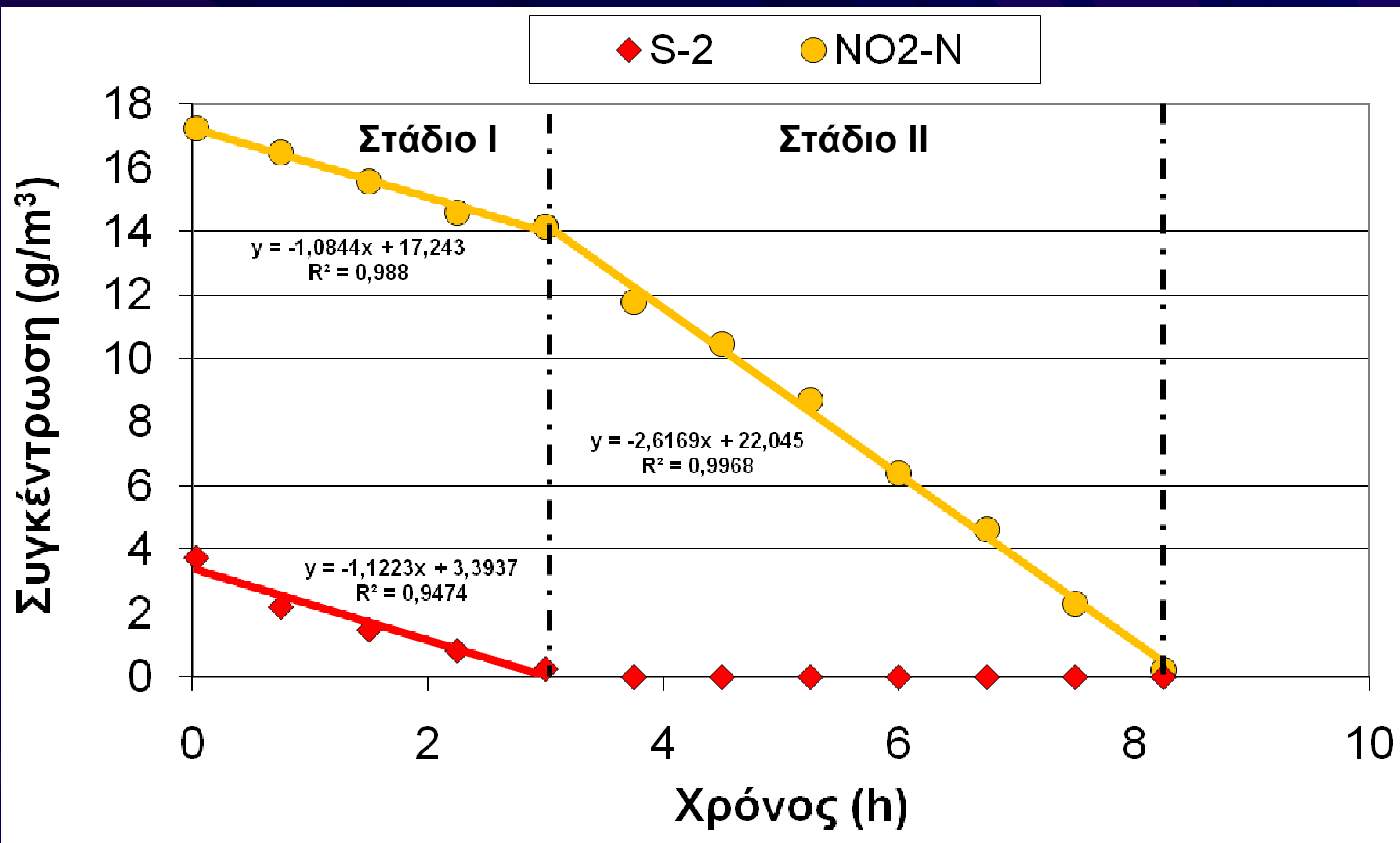
$$r_{NO_2} = dNO_2-N/dt - dNO_3-N/dt$$

## Λόγος C/N (Στάδιο II)



$$\frac{C}{N} = \frac{\Delta COD}{[\Delta NO_3^- - N] - 0,6 \times [\Delta NO_2^- - N]}$$

## 2<sup>η</sup> Πειραματική Ομάδα (e<sup>-</sup> δέκτης NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)



Τυπικό πείραμα (20°C)

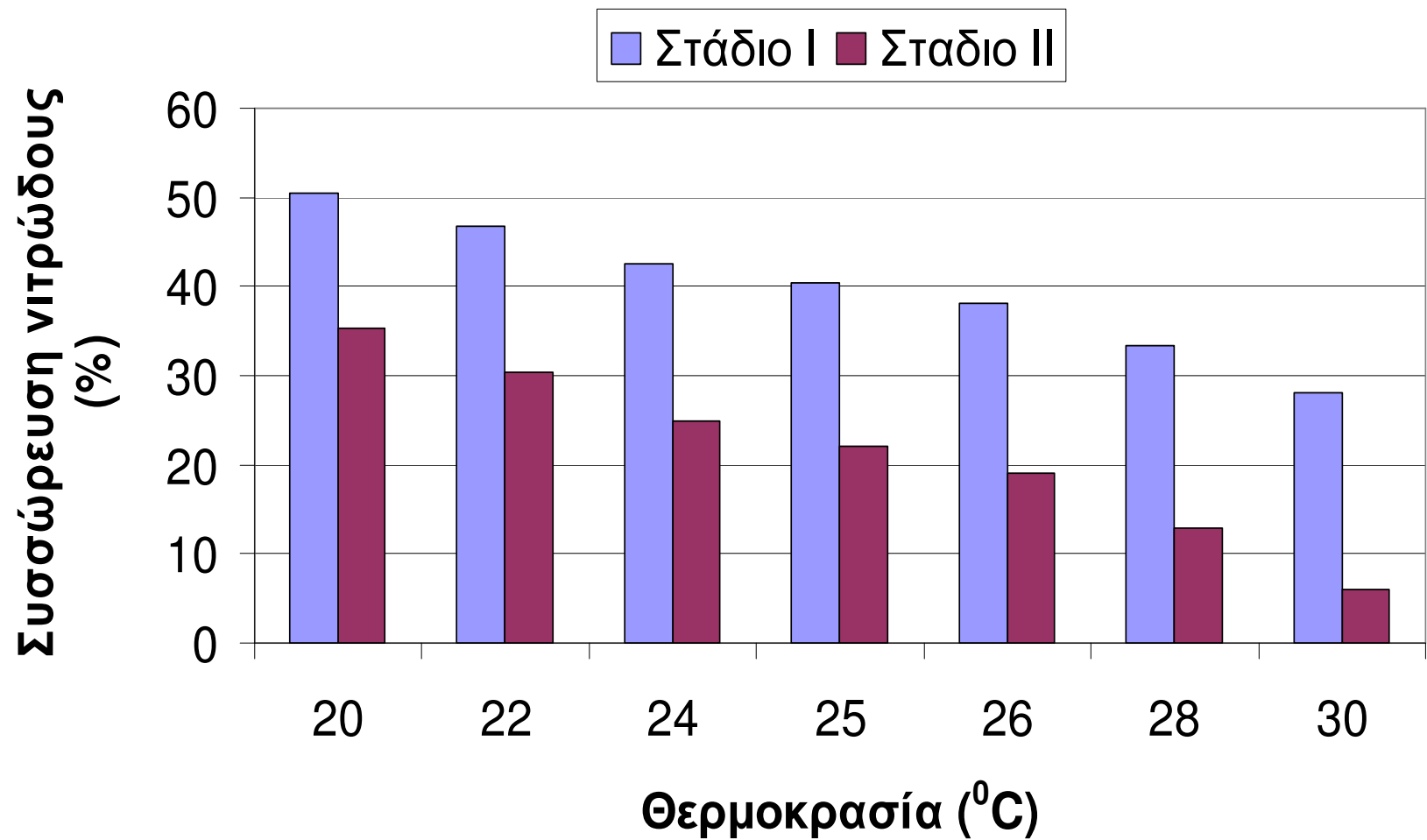
# Εξισώσεις Arrhenius (e<sup>-</sup> δέκτης NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Ρυθμός	Μονάδα	Εξίσωση
Ανοξική οξείδωση θειούχου	gS <sup>-2</sup> /m <sup>3</sup> .h	11,85×1,05 <sup>(T-20)</sup> ×VSS
Αναγωγή νιτρικού (Στάδιο I)	gNO <sub>3</sub> -N/m <sup>3</sup> .h	8,13×1,05 <sup>(T-20)</sup> ×VSS
Αναγωγή νιτρικού (Στάδιο II)	gNO <sub>3</sub> -N/m <sup>3</sup> .h	13,46×1,05 <sup>(T-20)</sup> ×VSS
Απονιτροποίηση (Στάδιο I)	gN/m <sup>3</sup> .h	4,02×1,09 <sup>(T-20)</sup> ×VSS
Απονιτροποίηση (Στάδιο II)	gN/m <sup>3</sup> .h	8,70×1,09 <sup>(T-20)</sup> ×VSS
Απονιτροποίηση (Στάδιο III)	gNO <sub>2</sub> -N/m <sup>3</sup> .h	-

\* Τα πτητικά αιωρούμενα στερεά του αστικού λύματος (VSS) πρέπει να εκφραστούν ως g/L.



# Επίδραση θερμοκρασίας στην συσσώρευση $\text{NO}_2$



# Εξισώσεις Arrhenius (e<sup>-</sup> δέκτης NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

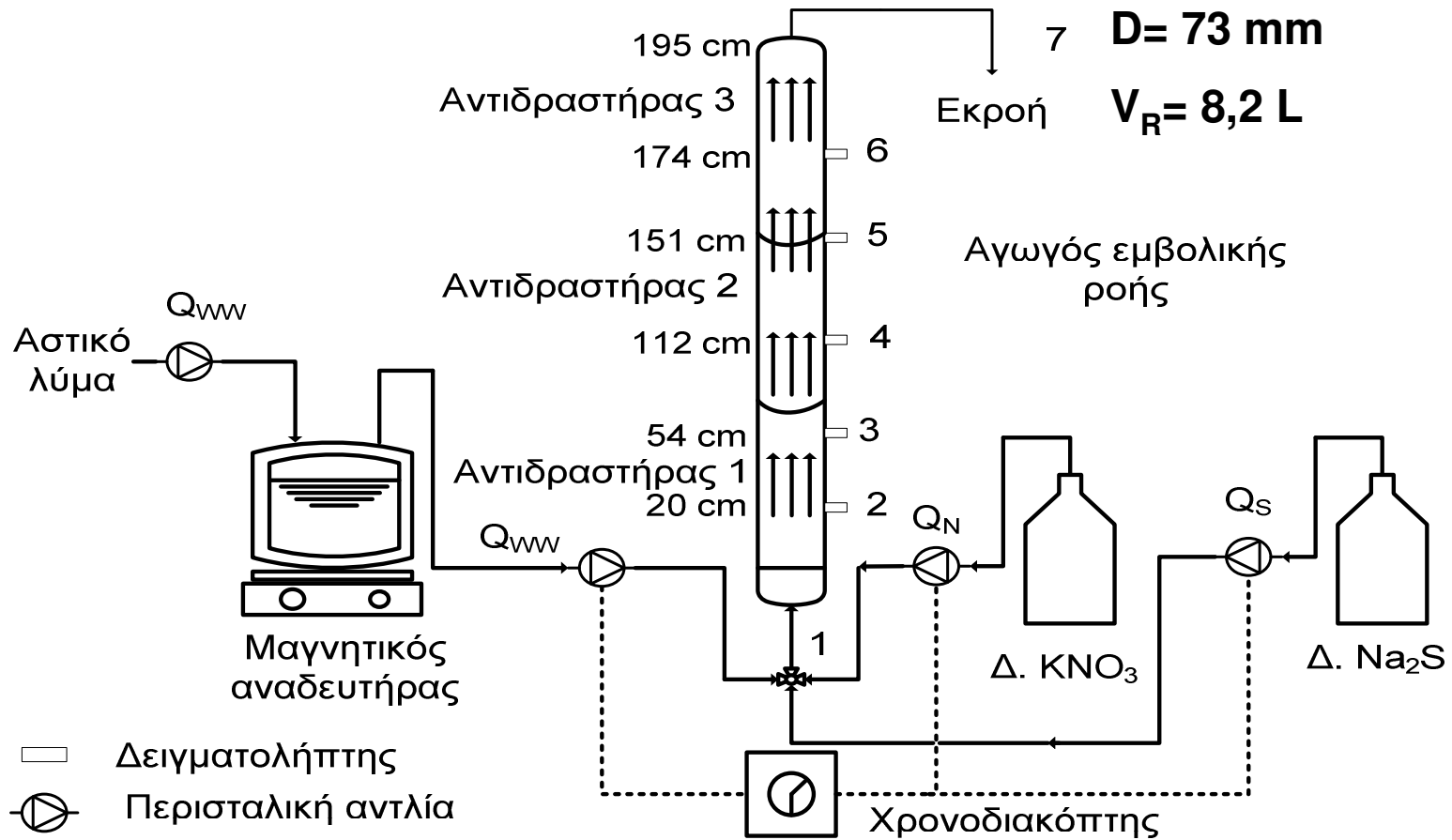
Ρυθμός	Μονάδα	Εξίσωση
Ανοξική οξείδωση θειούχου	gS <sup>-2</sup> /m <sup>3</sup> .h	6,98×1,06 <sup>(T-20)</sup> ×VSS
Απονιτροποίηση (Στάδιο I)	gNO <sub>2</sub> -N/m <sup>3</sup> .h	5,84×1,07 <sup>(T-20)</sup> ×VSS
Απονιτροποίηση (Στάδιο II)	gNO <sub>2</sub> -N/m <sup>3</sup> .h	13,58×1,03 <sup>(T-20)</sup> ×VSS

\* Τα πτητικά αιωρούμενα στερεά του αστικού λύματος (VSS) πρέπει να εκφραστούν ως g/L.

# ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΑΓΩΓΟ ΠΙΕΣΗΣ



# Πειραματική διάταξη



# Σχηματισμός βιοφίλμ



Εκκίνηση λειτουργίας



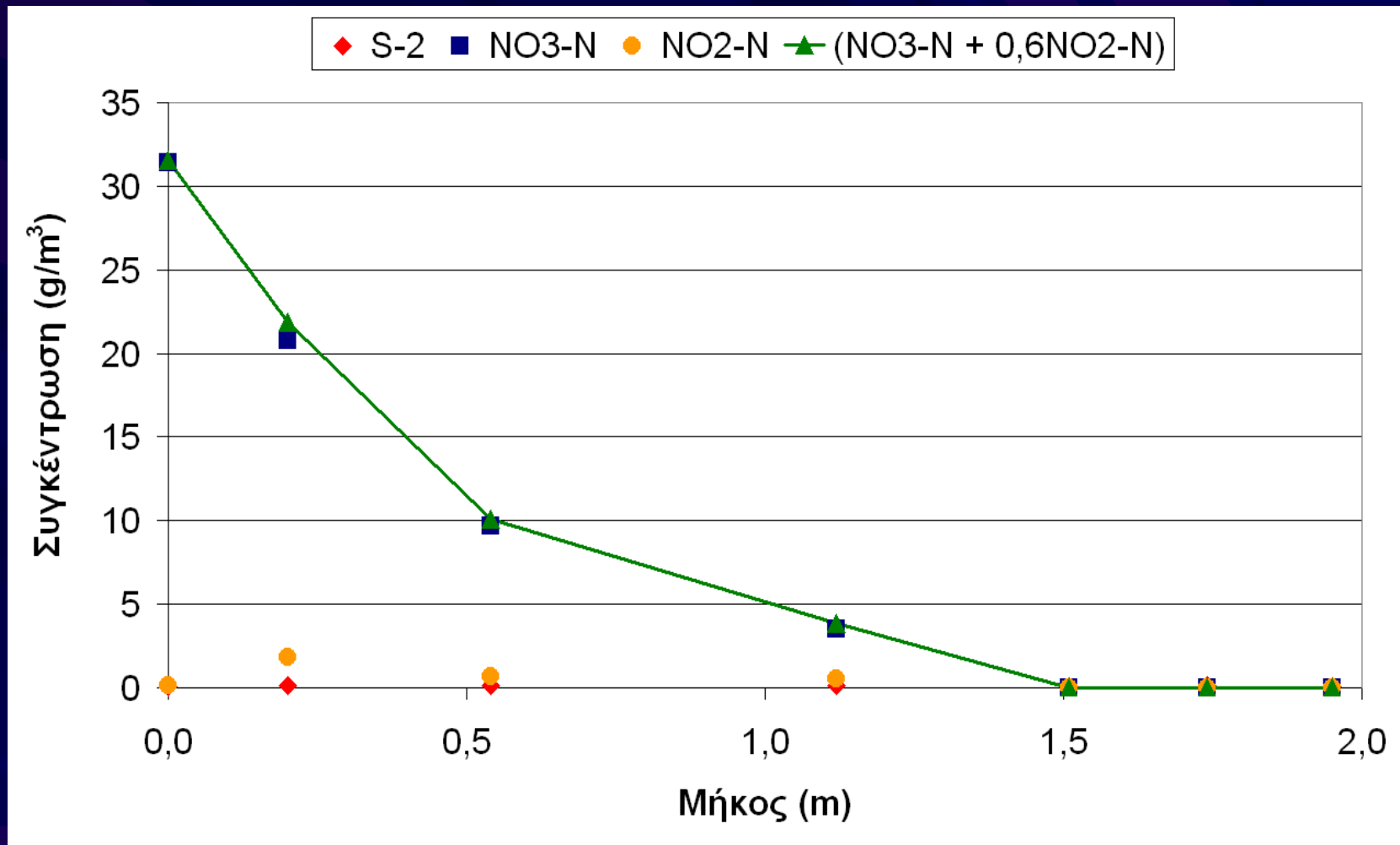
30 ημέρες λειτουργίας



60 ημέρες λειτουργίας

- ✓ Ο αντιδραστήρας τροφοδοτήθηκε με αστικό λύμα και νιτρικό για περίοδο 60 ημερών, πριν την έναρξη των πειραμάτων.

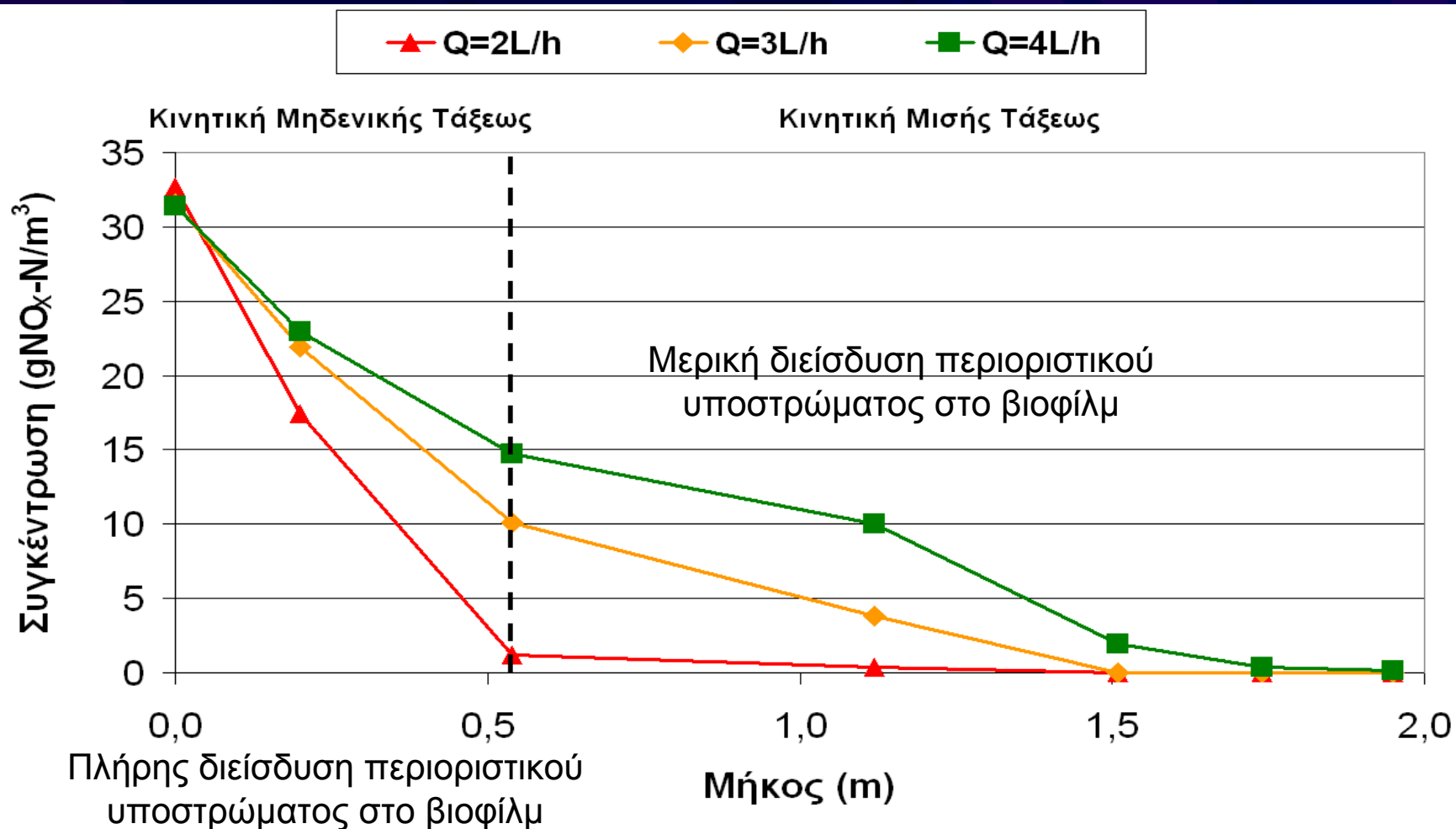
# Πειράματα ετερότροφης απονιτροποίησης



- ✓ Πλήρη παρεμπόδιση παραγωγής υδρόθειου.
- ✓ Περιορισμένη συσσώρευση νιτρώδους, ανεξαρτήτως θερμοκρασίας.

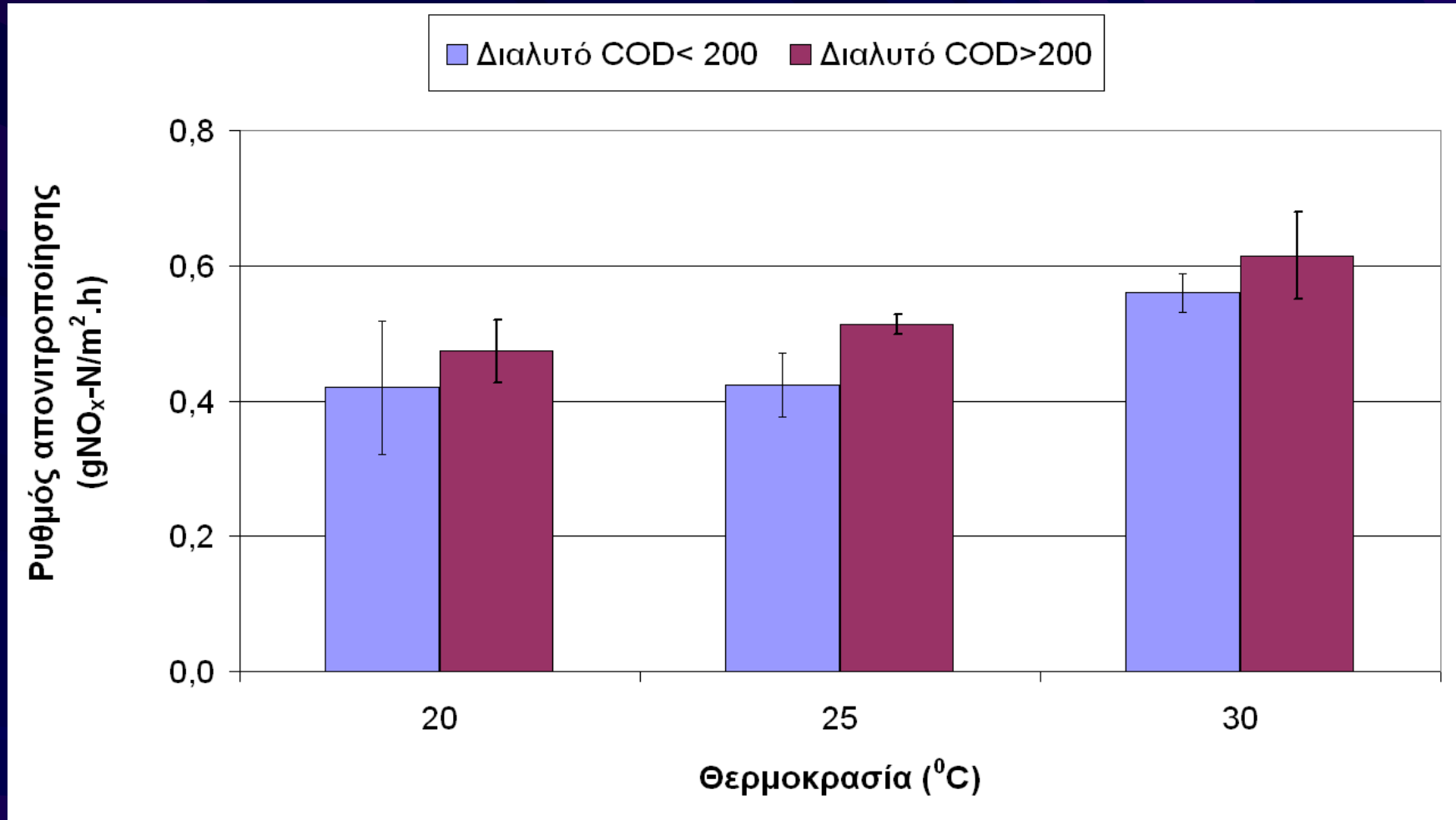


# Κινητική ετερότροφης απονιτροποίησης



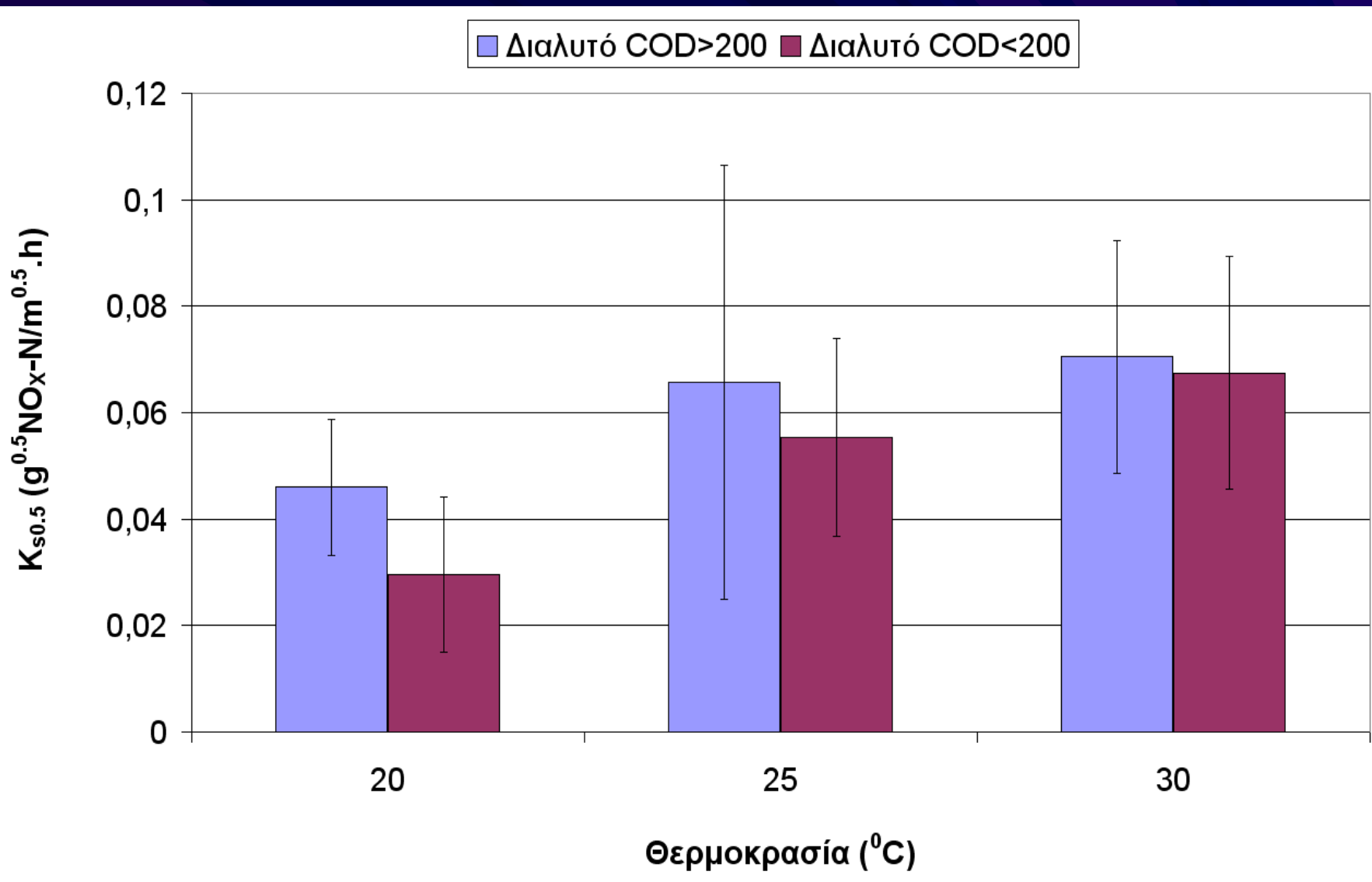
- ✓ Παρατηρείται τυπική κινητική αντιδραστήρα καθηλωμένης βιομάζας.
- ✓ Σε όλα τα πειράματα μπορεί να θεωρηθεί ότι διείσδυση του βιοφίλμ από το νιτρικό είναι πλήρης, ως τα 0,54 m του αγωγού.

# Κινητική σταθερά μηδενικής τάξεως





# Κινητική σταθερά μισής τάξεως



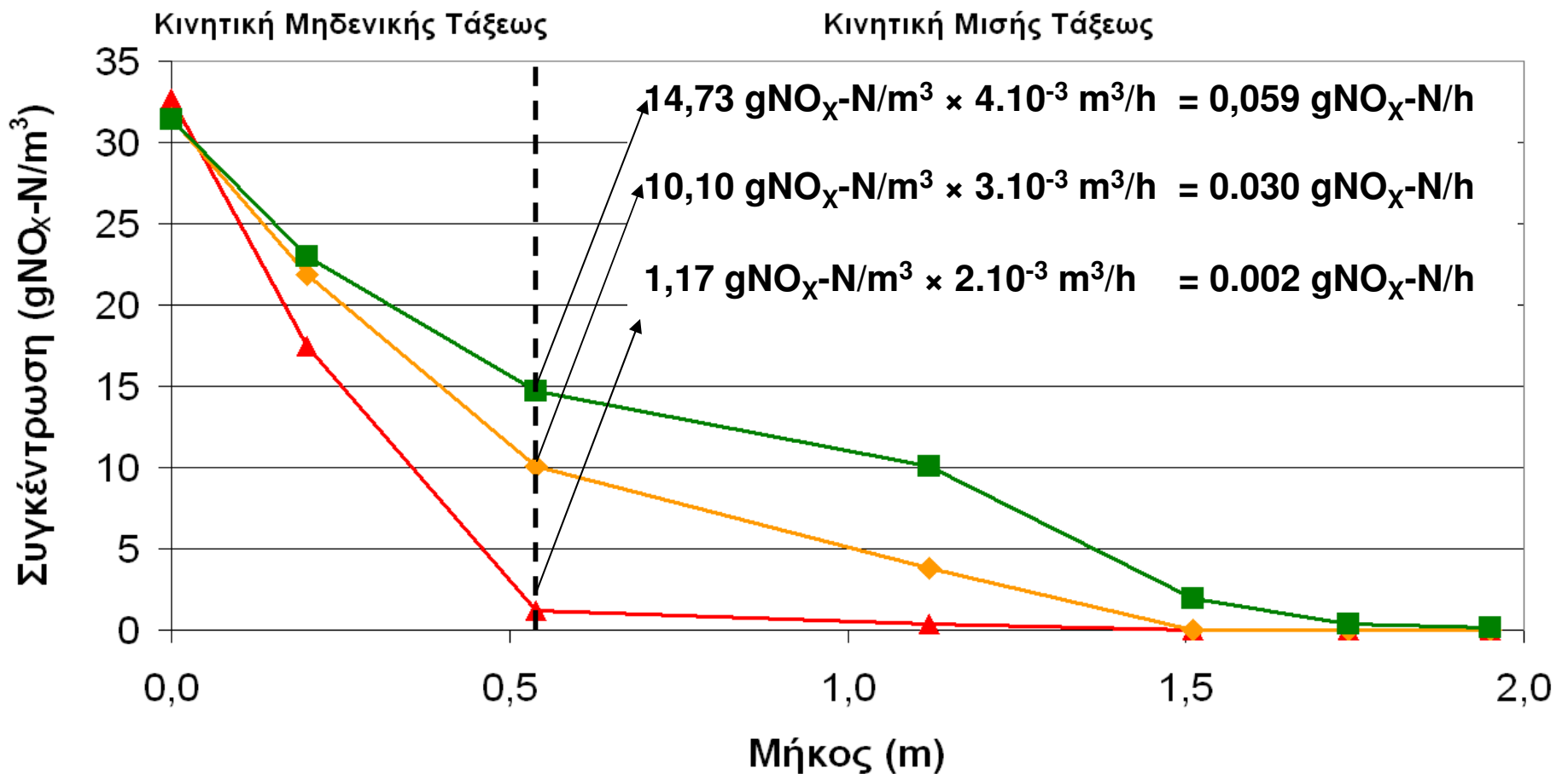
## Επίδραση φαινομένων μεταφοράς στην κινητική ετερότροφης απονιτροποίησης

	T (°C)								
	20			25			30		
Υδραυλική Παροχή (L/h)	2	3	4	2	3	4	3	4	
$K_{s0.5}$ ( $g^{0.5}NO_x-N/m^{0.5}.h$ )	0,018	0,025	0,046	0,036	0,057	0,073	0,052	0,083	

- ✓ Η αύξηση της υδραυλικής παροχής οδηγεί σε αύξηση της κινητικής σταθεράς μισής τάξεως.
- ✓ Εκτιμάται ότι η αύξηση της ταχύτητας ροής μειώνει το οριακό στρώμα υγρής-στερεάς φάσης και ευνοείται ο ρυθμός απονιτροποίησης.

# Μετάβαση τάξεως κινητικής

▲ L=0,13 gNO<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup>.h (2L/h)  
 ◆ L=0,20 gNO<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup>.h (3L/h)  
 ■ L=0,27 gNO<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup>.h (4L/h)



- ✓ Η αυξημένη φόρτιση βιοφιλμ οδηγεί σε αύξηση του πάχους του βιοφιλμ, προσαρμόζοντας την συγκέντρωση του βιοφιλμ σε νέα κατάσταση μετάβαση κινητικής.
- ✓ Η αύξηση της φόρτισης οδηγεί σε αύξηση του πάχους του βιοφιλμ.

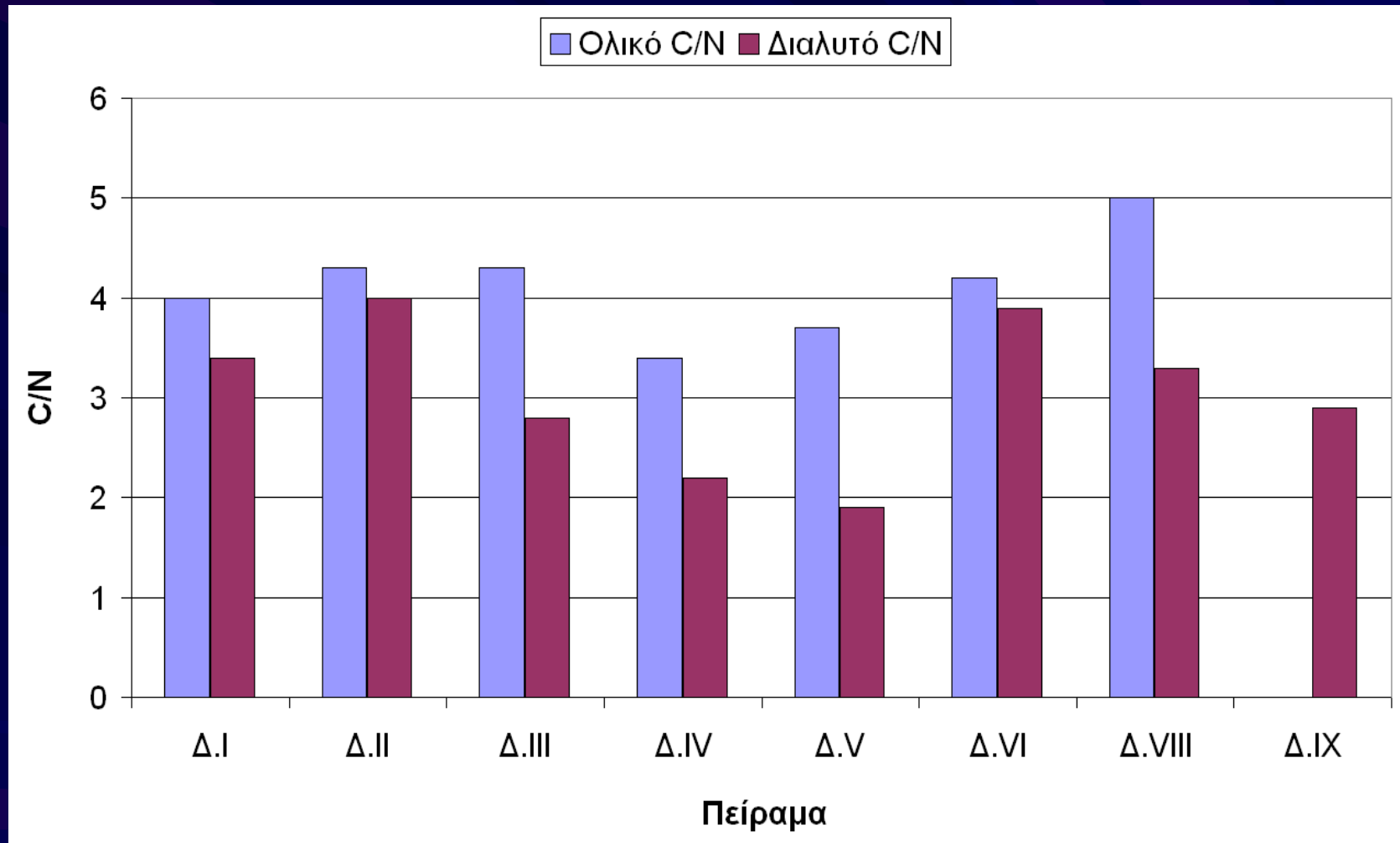
$$\beta = \sqrt{\frac{2D_f S_w}{k_{v0} L_f^2}} < 1$$

# Χαρακτηριστικά βιοφίλμ αγωγού

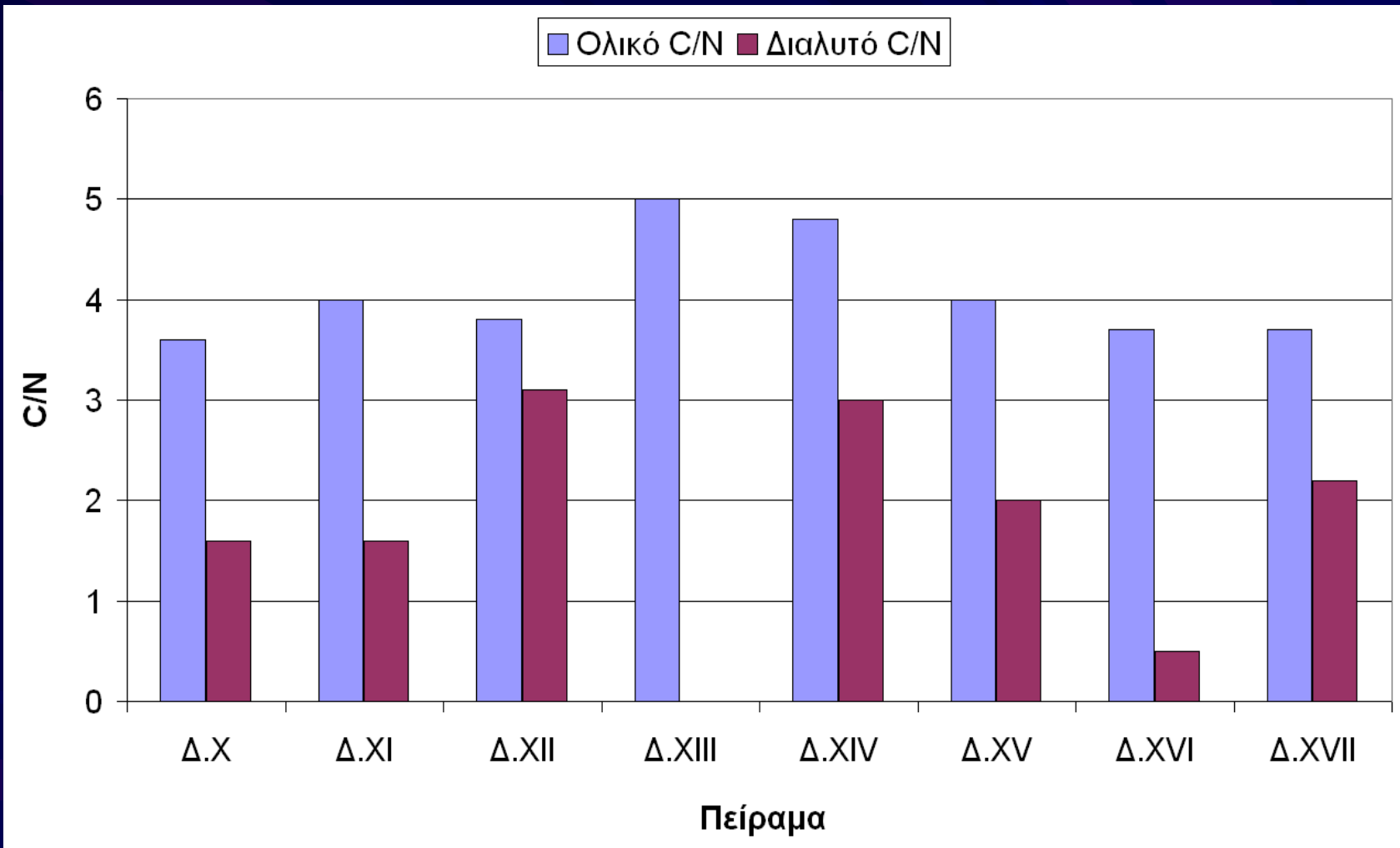
	Επιφάνεια αγωγού (m <sup>2</sup> )	Ολικά Στερεά (g/m <sup>2</sup> )	Πτητικά Στερεά (g/m <sup>2</sup> )
Αντιδραστήρας 1	0,14	64,29	31,9
Αντιδραστήρας 2	0,14	50,00	28,5
Αντιδραστήρας 3	0,14	42,86	21,3

- ✓ Παρατηρείται μείωση της βιομάζας κατά μήκος του αγωγού.
- ✓ Θεωρώντας ομογενές βιοφίλμ με πυκνότητα 1 g/ml, το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 43-64 μm.

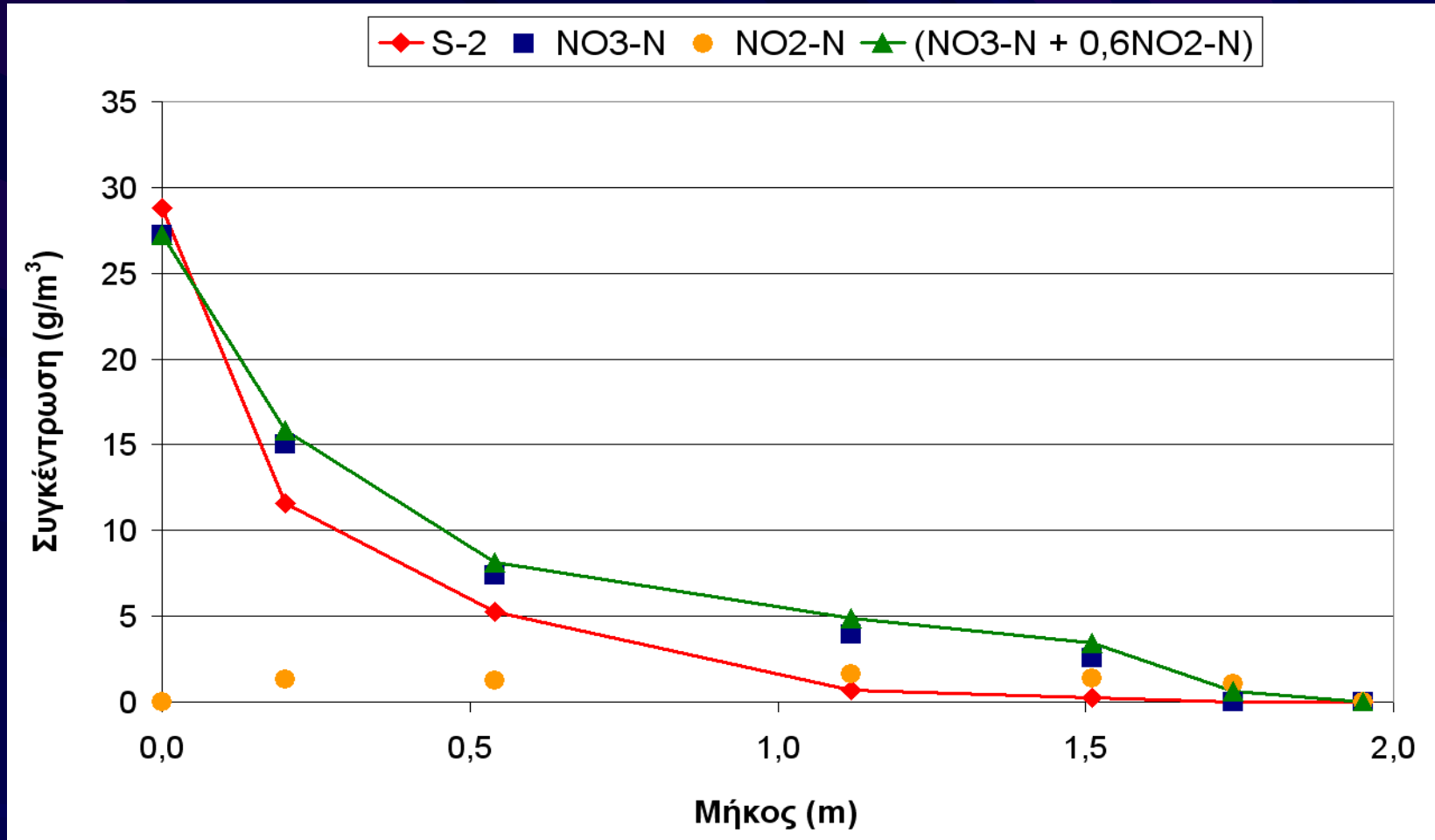
# Λόγος C/N (Διαλυτό COD > 200 g/m<sup>3</sup>)



# Λόγος C/N (Διαλυτό COD < 200 g/m<sup>3</sup>)

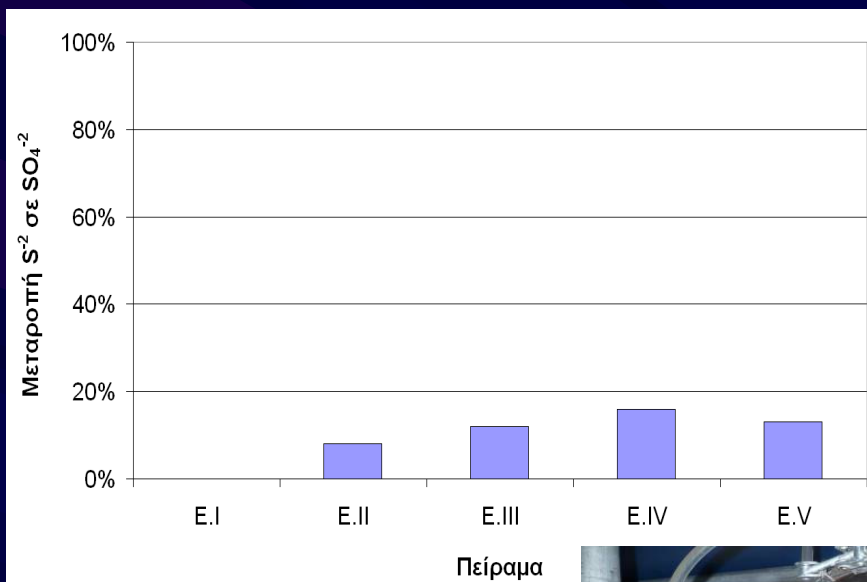


# Πειράματα μιξότροφης απονιτροποίησης



- ✓ Το θειούχο αρχικά οξειδώνεται μέσω αναγωγής νιτρικού.
- ✓ Η παραγωγή του παρεμποδίζεται μέχρι την πλήρη απονιτροποίηση.
- ✓ Περιορισμένη συσσώρευση νιτρώδους, ανεξαρτήτως θερμοκρασίας.

# Προϊόν ανοξικής οξείδωσης θειούχου

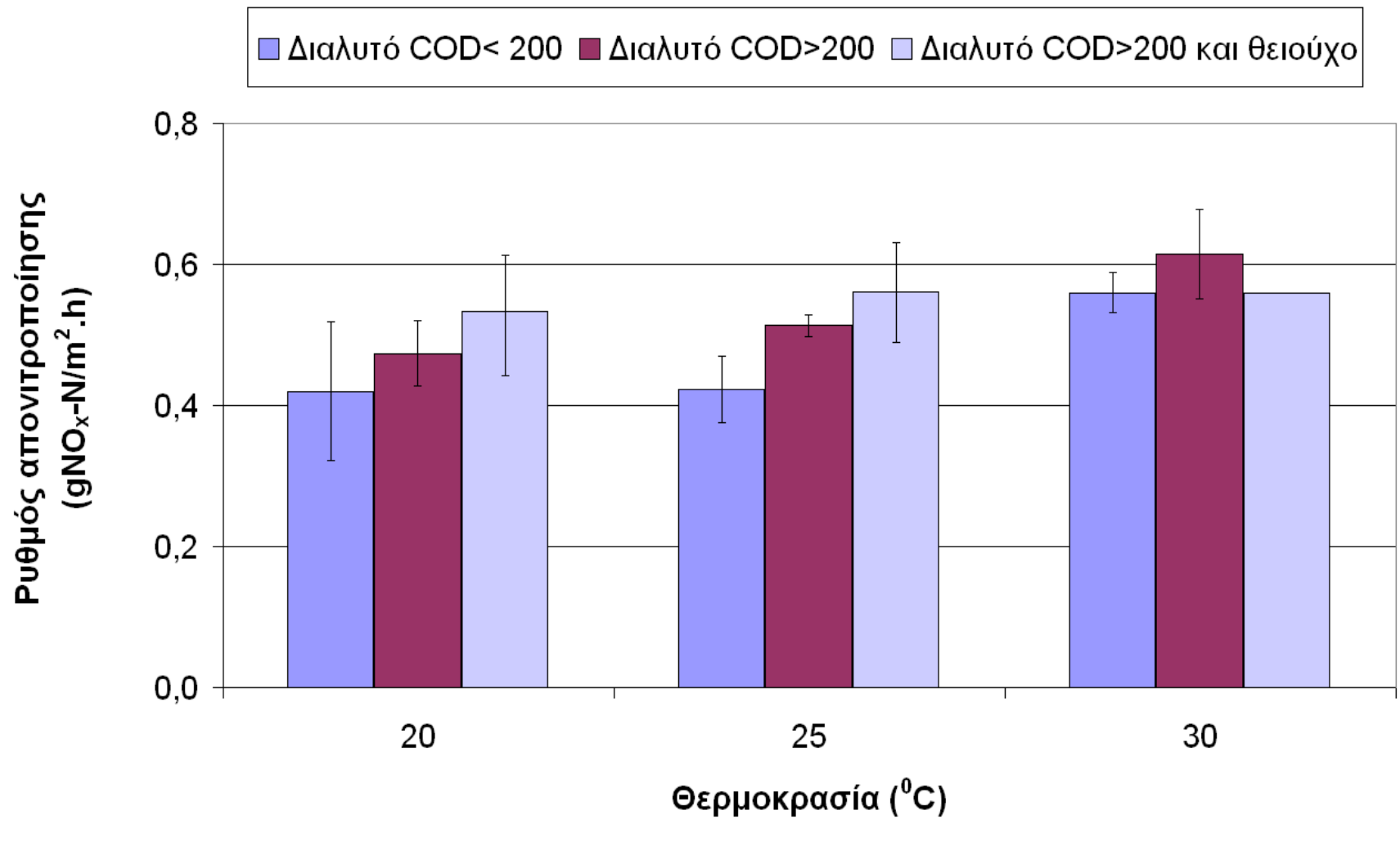


✓ Το προϊόν οξείδωσης είναι ένα ενδιάμεσο προϊόν της αντίδρασης, πιθανόν ατομικό θείο.

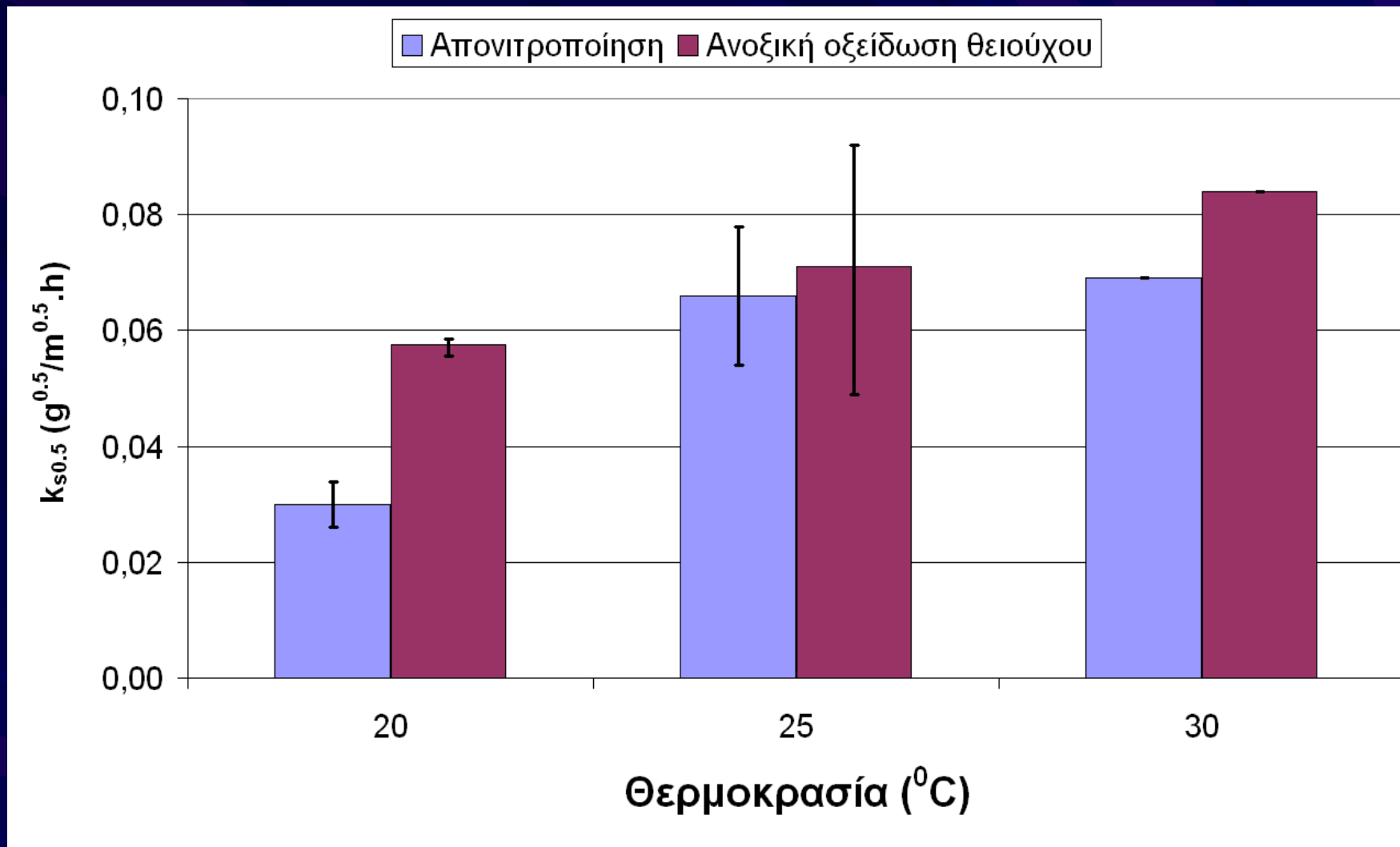




# Σύγκριση ρυθμών απονιτροποίησης



# Κινητική σταθερά μισής τάξεως

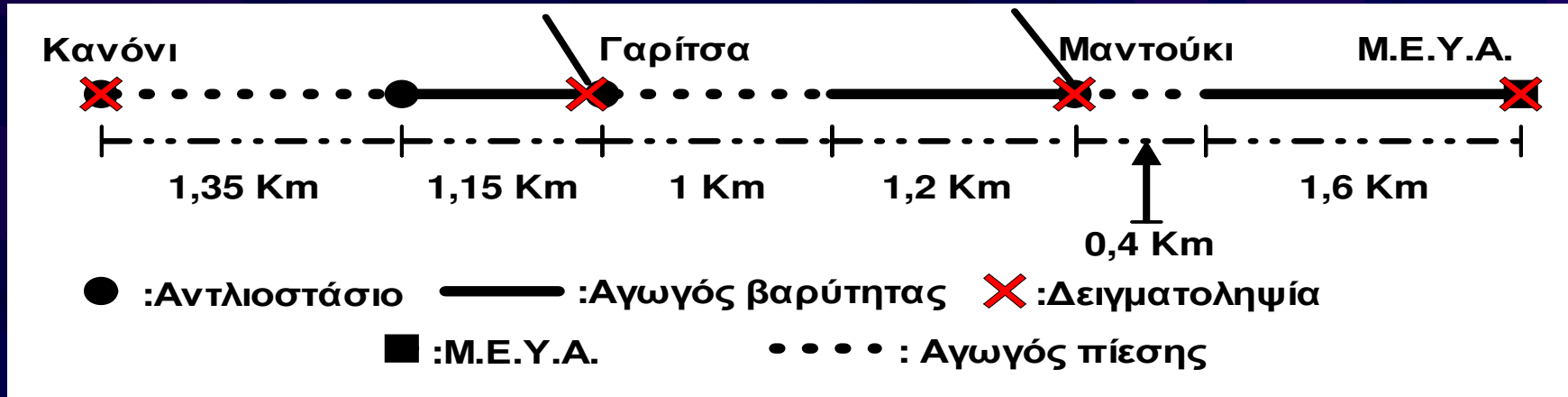


# Εξισώσεις Arrhenius

Ρυθμός	Μονάδα	Διείσδυση στο βιοφίλμ	Εξίσωση
<b>Ανοξική οξείδωση θειούχου</b>	gS <sup>-2</sup> /m <sup>2</sup> .h	<b>Πλήρης</b>	$r_s^f = k_s^f \times a^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD>200 g/m <sup>3</sup> )			$*1,09 \times 1,01^{(T-20)}$
	gS <sup>-2</sup> /m <sup>2</sup> .h	<b>Μερική</b>	$r_s^f = k_{s0.5}^f \times [S^{-2}]^{0.5} \times a^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD>200 g/m <sup>3</sup> )			$0,058 \times [S^{-2}]^{0.5} \times 1,04^{(T-20)}$
<b>Μιξότροφη απονιτροποίηση</b>	gNO <sub>x</sub> -N/m <sup>2</sup> .h	<b>Πλήρης</b>	$r_s^f = K_s^f \times a^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD>200 g/m <sup>3</sup> )			$0,53 \times 1,01^{(T-20)}$
	gNO <sub>x</sub> -N/m <sup>2</sup> .h	<b>Μερική</b>	$r_s^f = K_{s0.5}^f \times [NO_x-N]^{0.5} \times a^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD>200 g/m <sup>3</sup> )			$0,030 \times [NO_x-N]^{0.5} \times 1,10^{(T-20)}$
<b>Ετερότροφη απονιτροποίηση</b>	gNO <sub>x</sub> -N/m <sup>2</sup> .h	<b>Πλήρης</b>	$r_s^f = K_s^f \times a^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD>200 g/m <sup>3</sup> )			$0,47 \times 1,03^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD<200 g/m <sup>3</sup> )			$0,42 \times 1,02^{(T-20)}$
	gNO <sub>x</sub> -N/m <sup>2</sup> .h	<b>Μερική</b>	$r_s^f = K_{s0.5}^f \times [NO_x-N]^{0.5} \times a^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD>200 g/m <sup>3</sup> )			$0,046 \times [NO_x-N]^{0.5} \times 1,05^{(T-20)}$
Αστικό λύμα (SCOD<200 g/m <sup>3</sup> )			$0,030 \times [NO_x-N]^{0.5} \times 1,09^{(T-20)}$



# Δίκτυο εφαρμογής

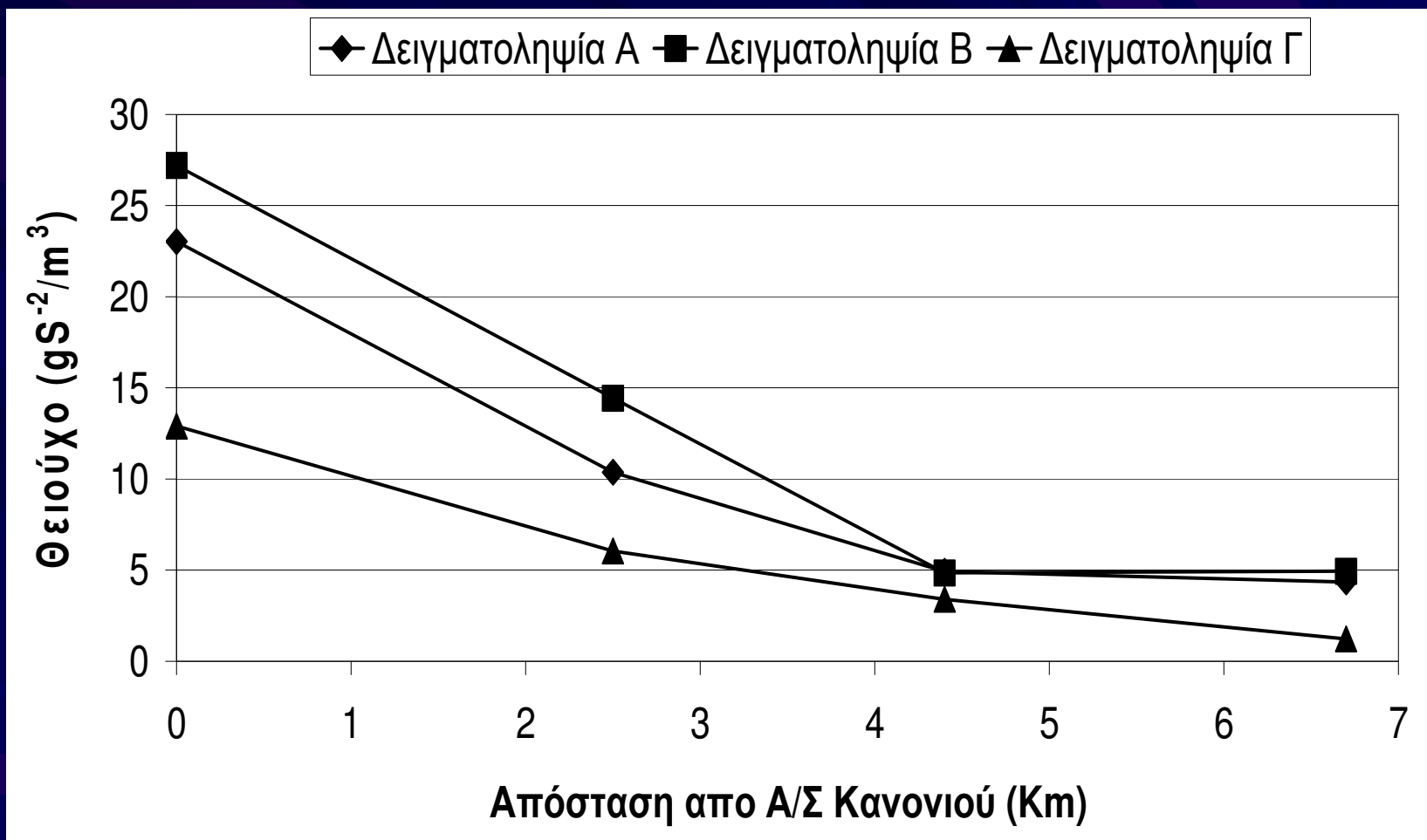


ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2004

ΜΕΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΗΝ Μ.Ε.Υ.Α.: 500 m<sup>3</sup>/h

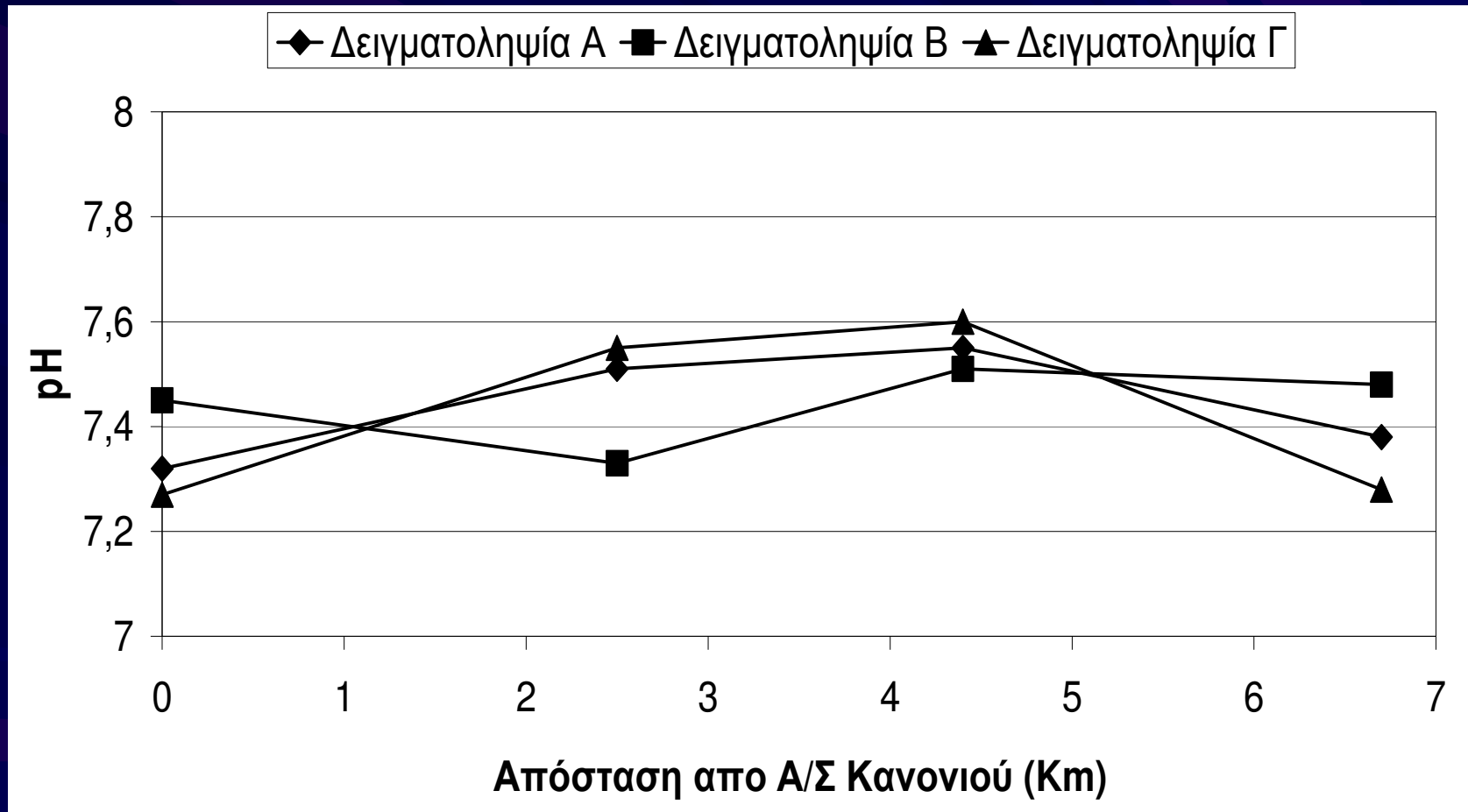
- ✓ Η προσθήκη νιτρικού έγινε με δοσομέτρηση διαλύματος  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  στο Α/Σ Κανονιού. Δοκιμάστηκαν 3 διαφορετικές δοσομετρήσεις:
  - 4,8 Kg  $\text{NO}_3\text{-N/h}$
  - 2,6 Kg  $\text{NO}_3\text{-N/h}$
  - 1,2 Kg  $\text{NO}_3\text{-N/h}$

# Συνθήκες δικτύου πριν την προσθήκη $\text{NO}_3^-$



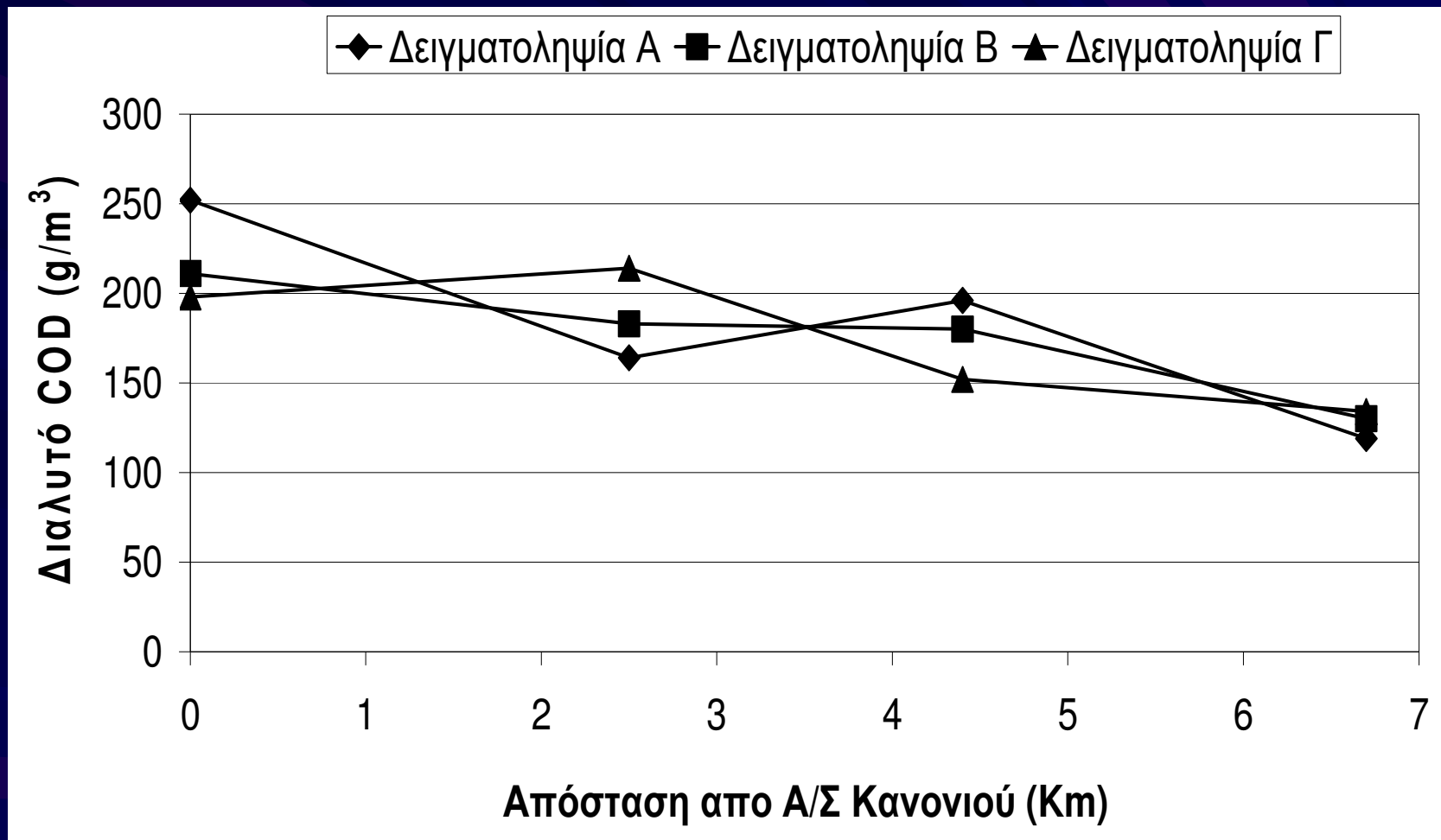
# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

## Μεταβολή pH



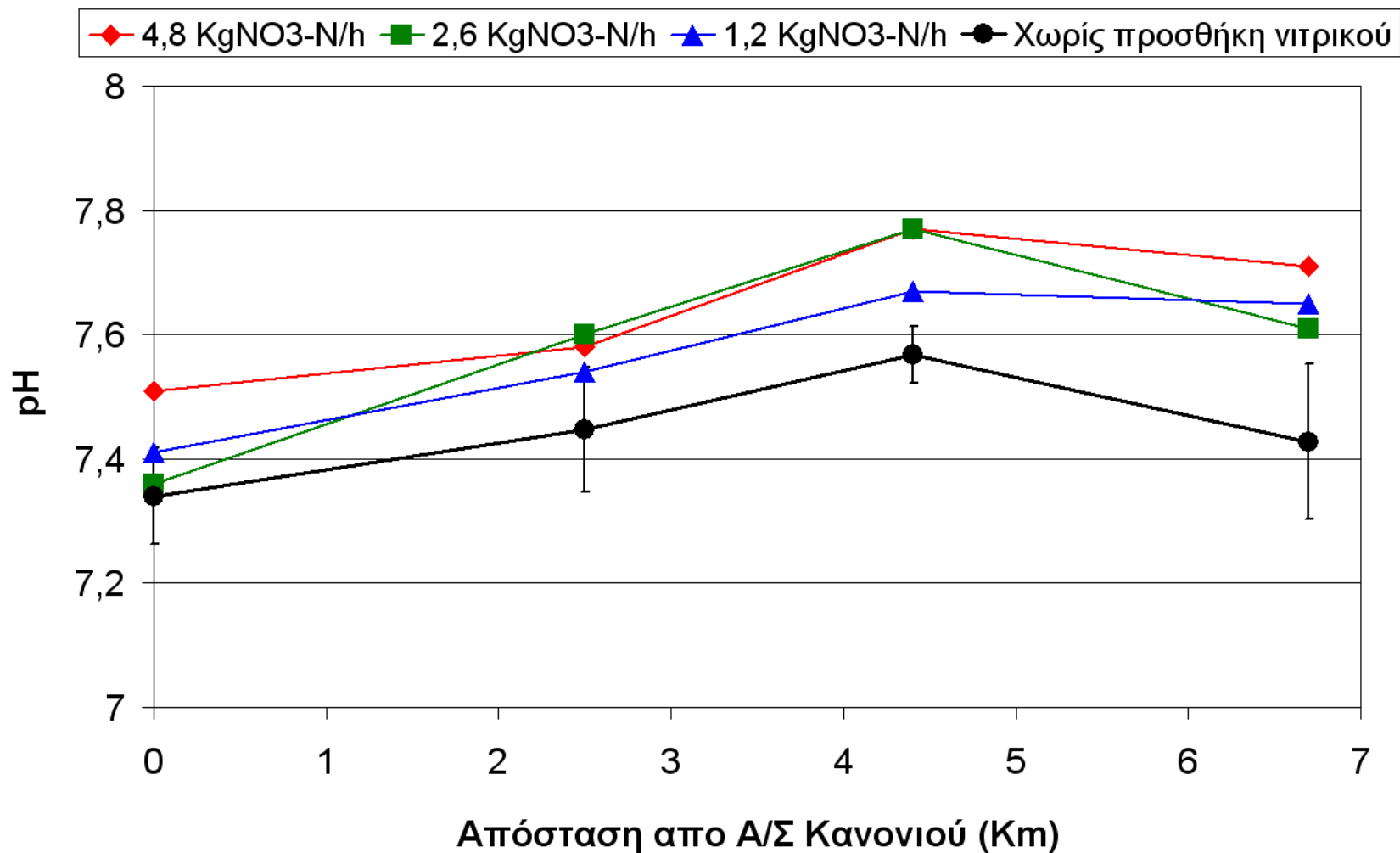
# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

## Μεταβολή διαλυτού COD

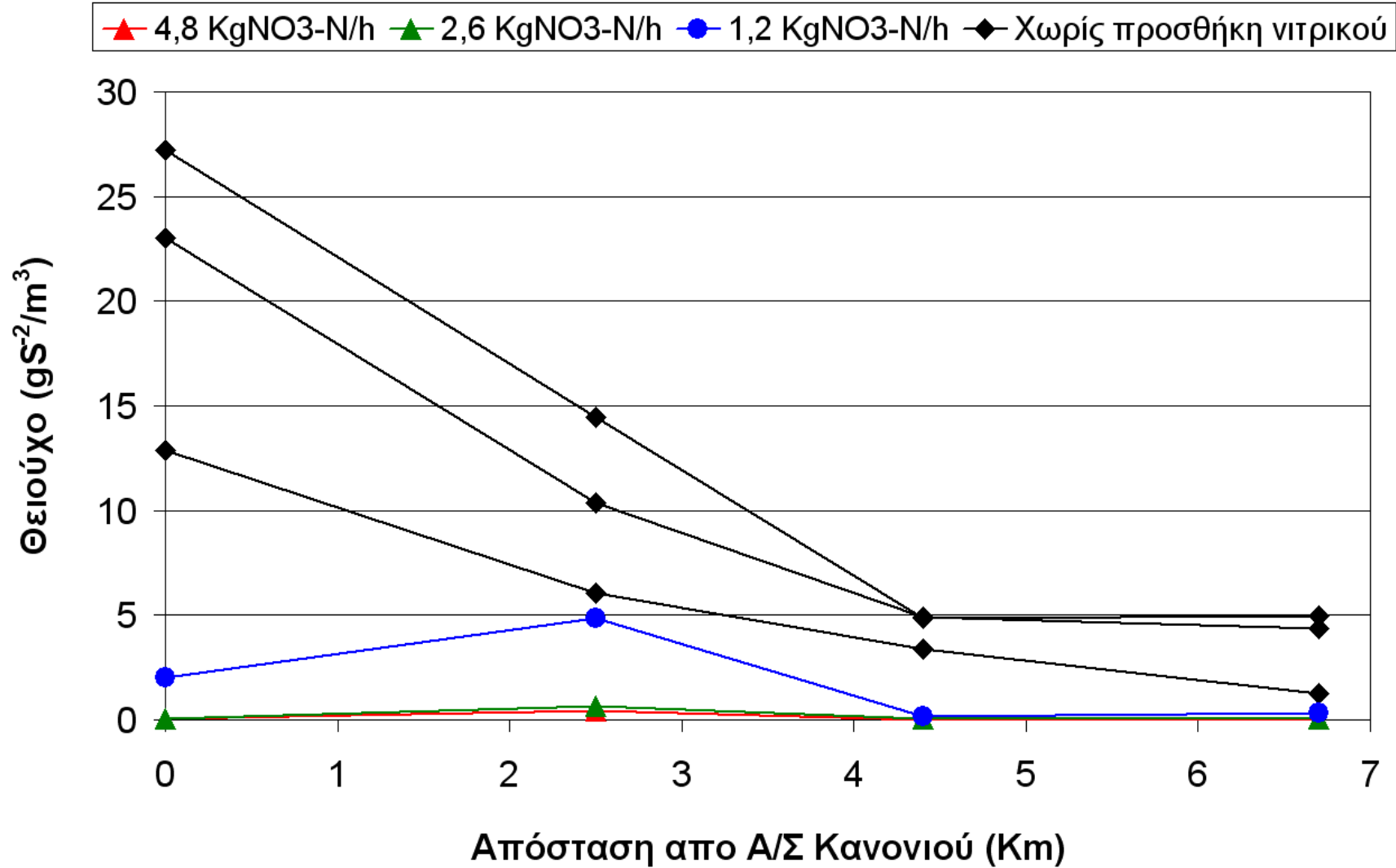




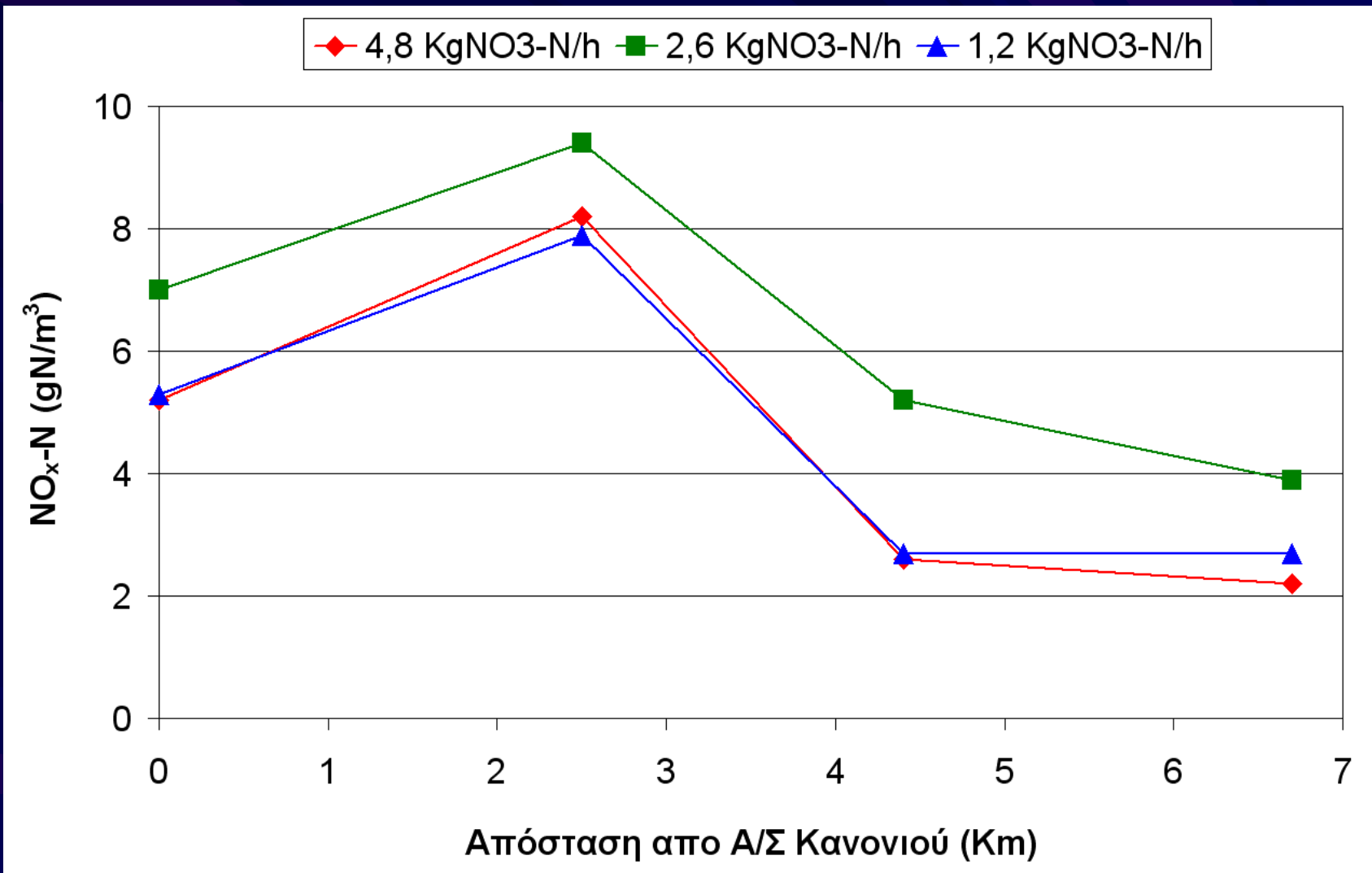
# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>



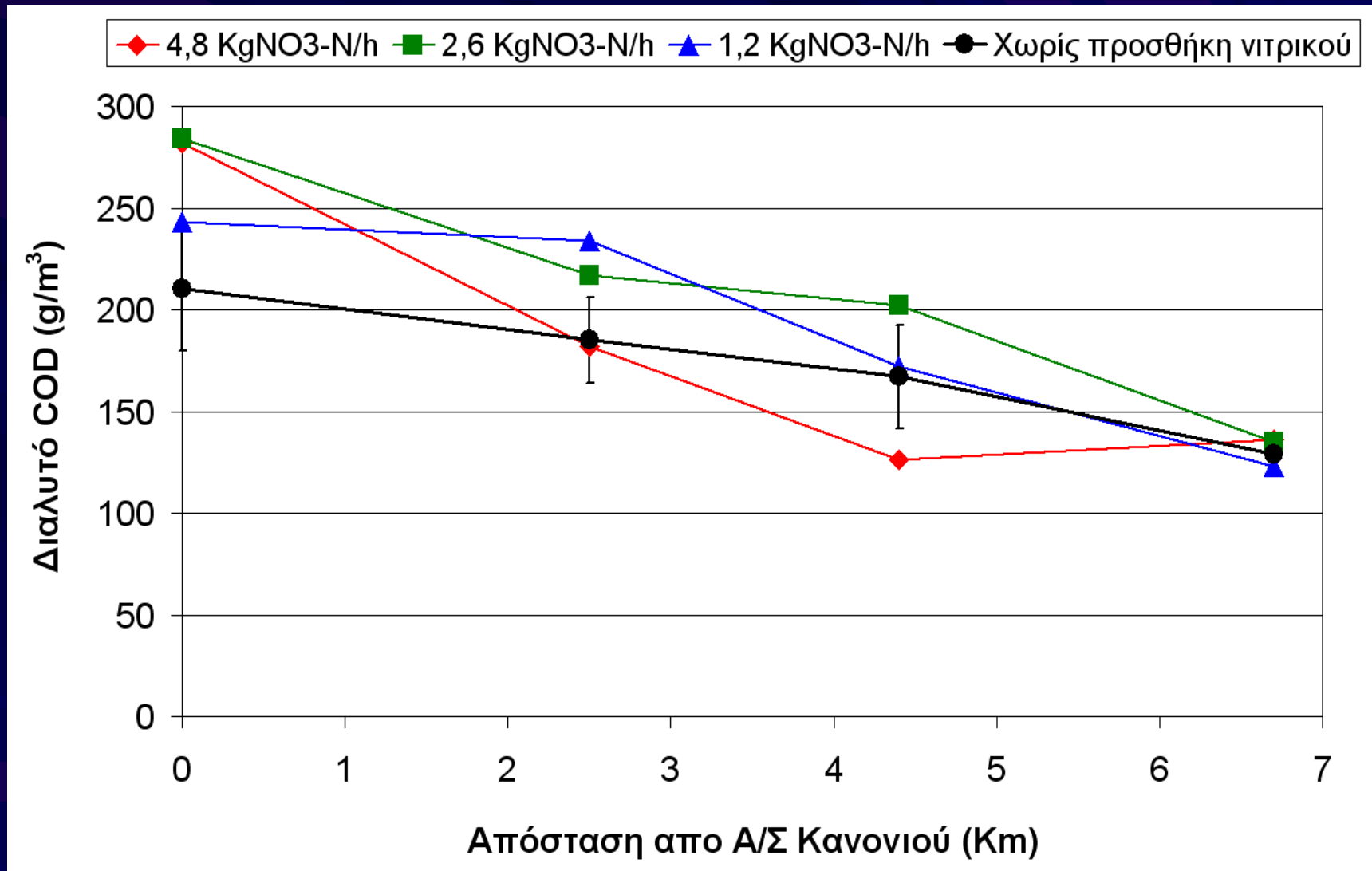
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$



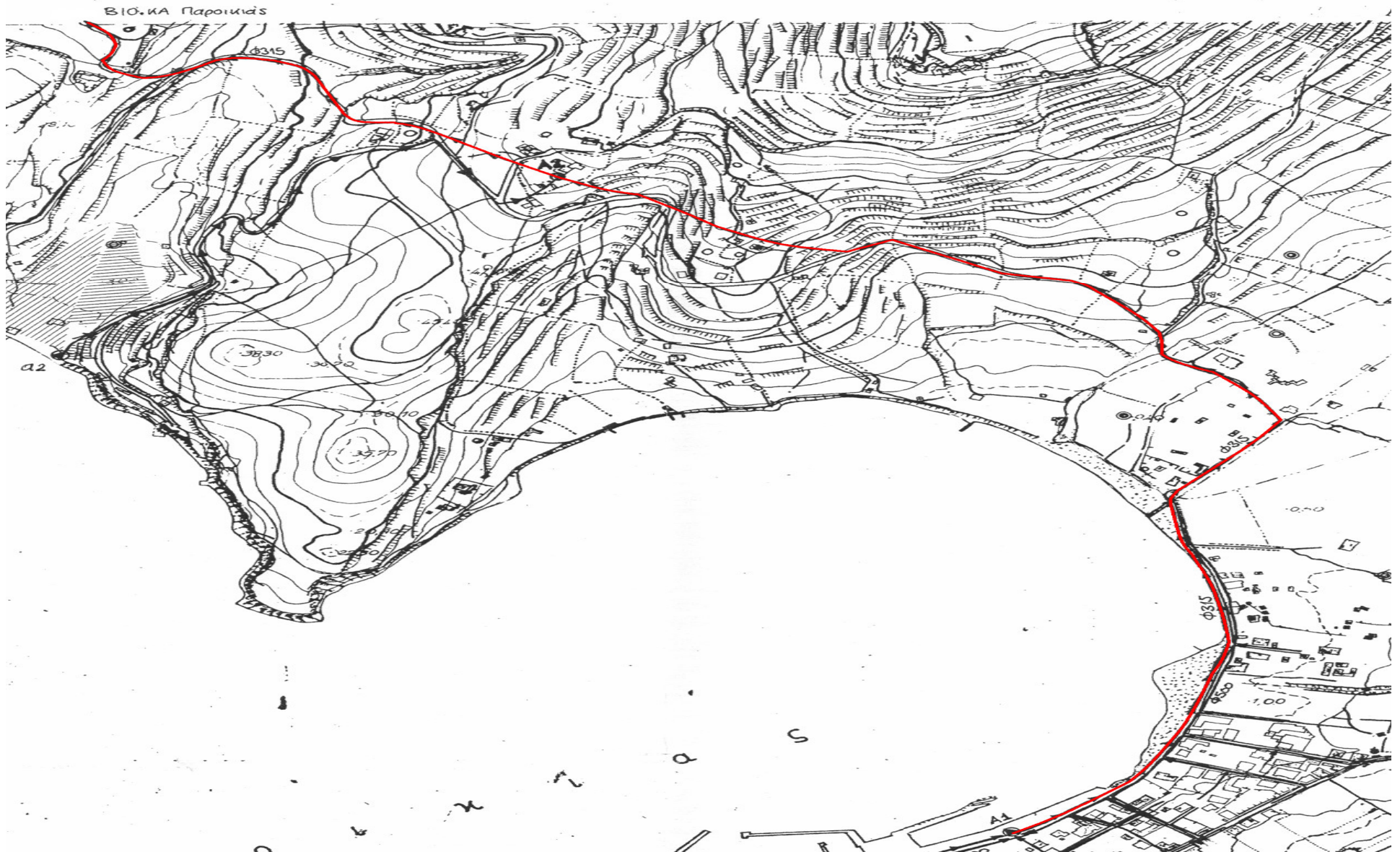
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$



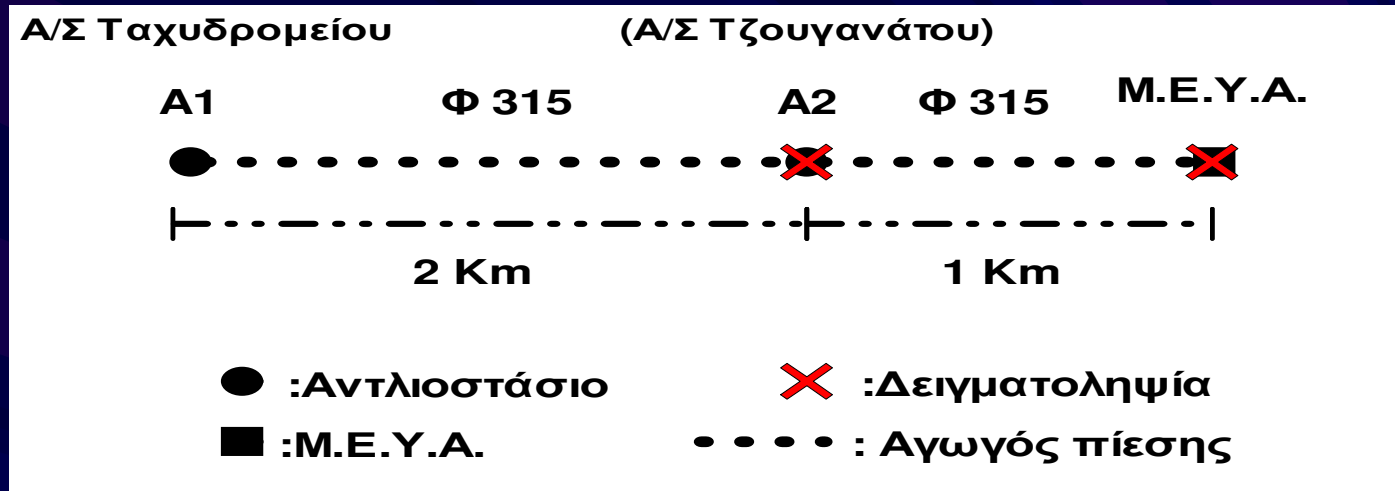
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$



# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΠΑΡΟΙΚΙΑΣ ΠΑΡΟΥ



# Δίκτυο εφαρμογής



ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2005

ΜΕΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΗΝ Μ.Ε.Υ.Α.: 100 m<sup>3</sup>/h

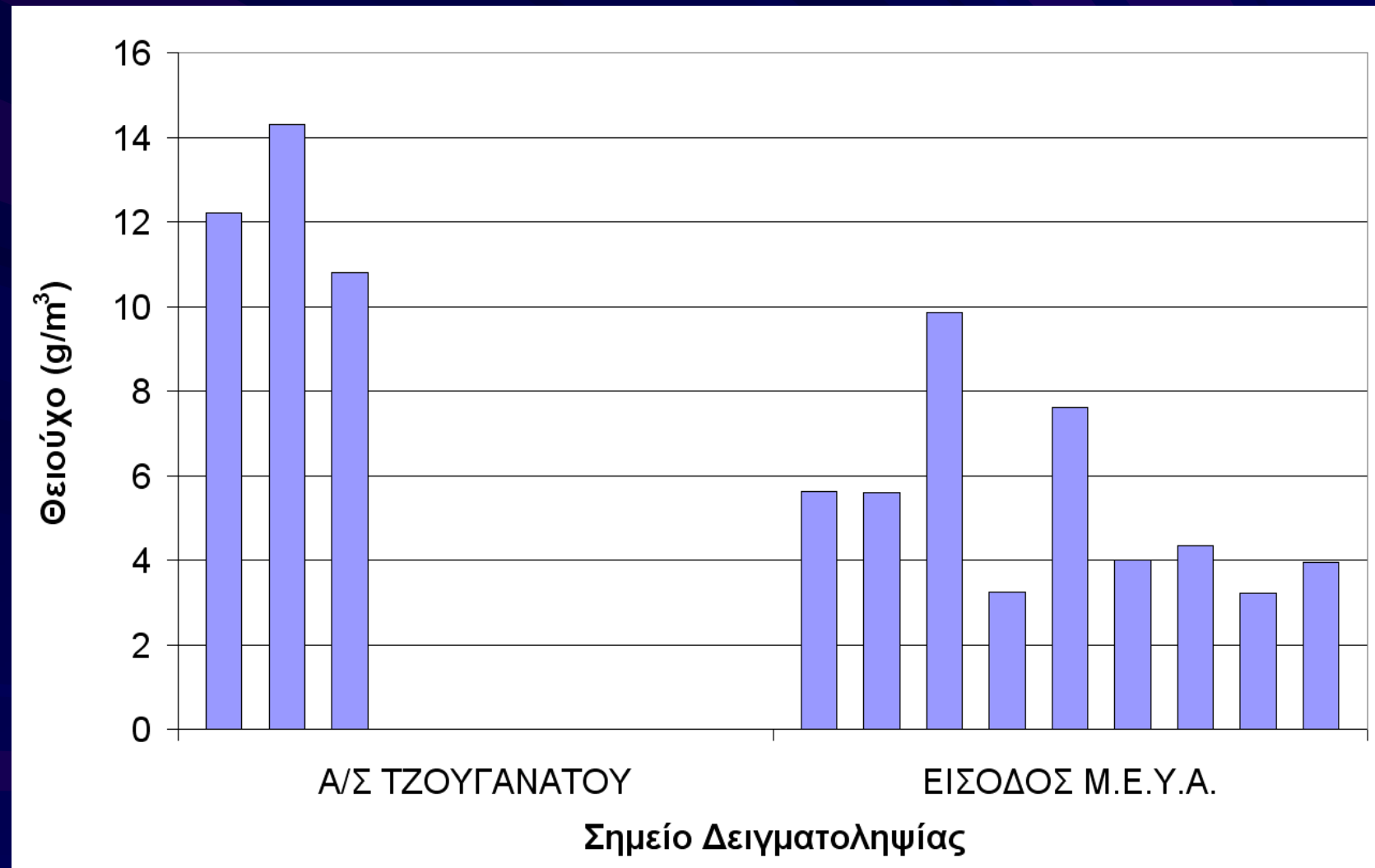
✓ Η προσθήκη νιτρικού έγινε με δοσομέτρηση διαλύματος NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> στο Α/Σ Α1 (Ταχυδρομείο).

- 2,3 Kg NO<sub>3</sub>-N/h
- 1,4 Kg NO<sub>3</sub>-N/h
- 1,1 Kg NO<sub>3</sub>-N/h

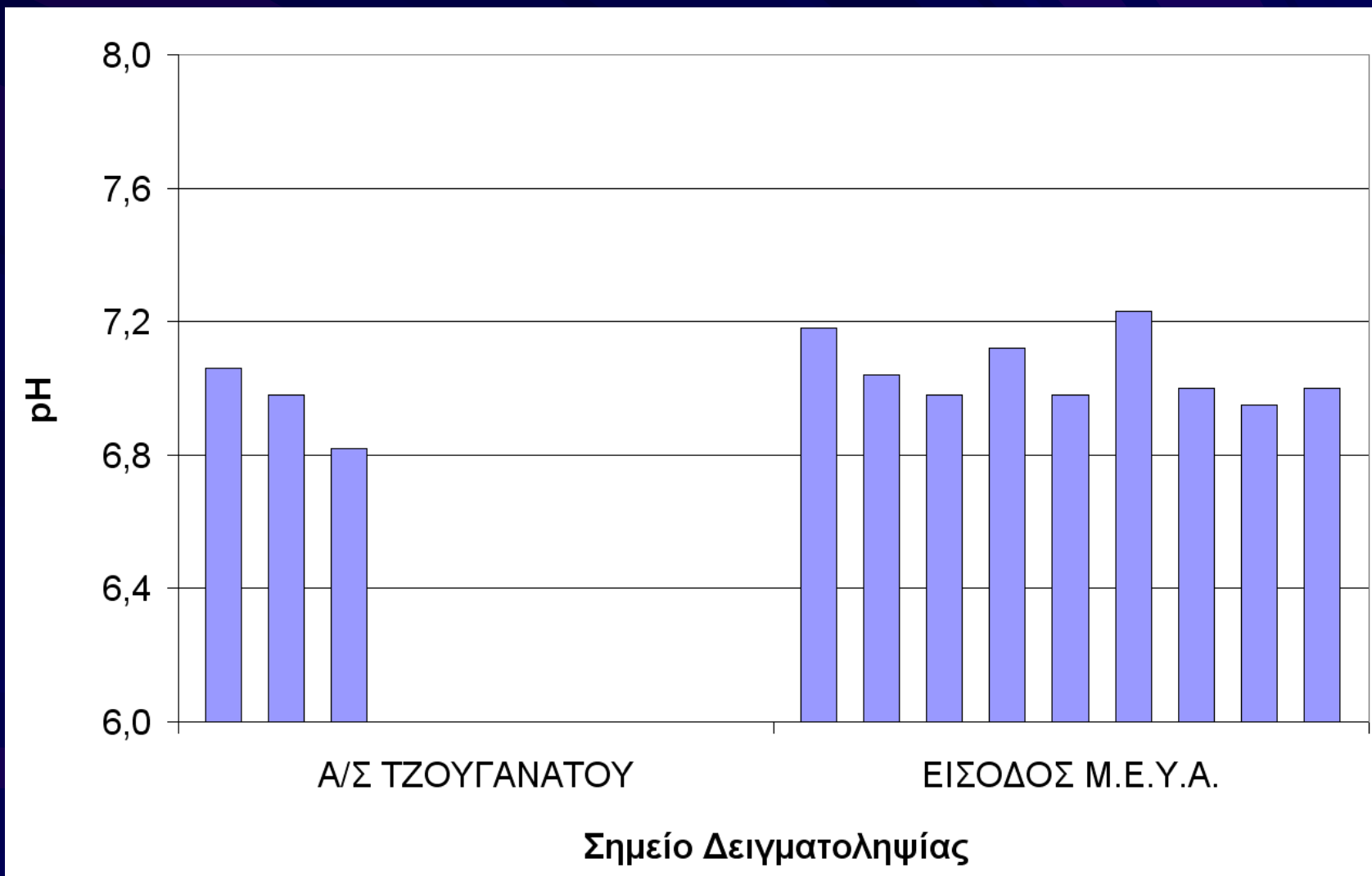




# Συνθήκες δικτύου πριν την προσθήκη $\text{NO}_3^-$

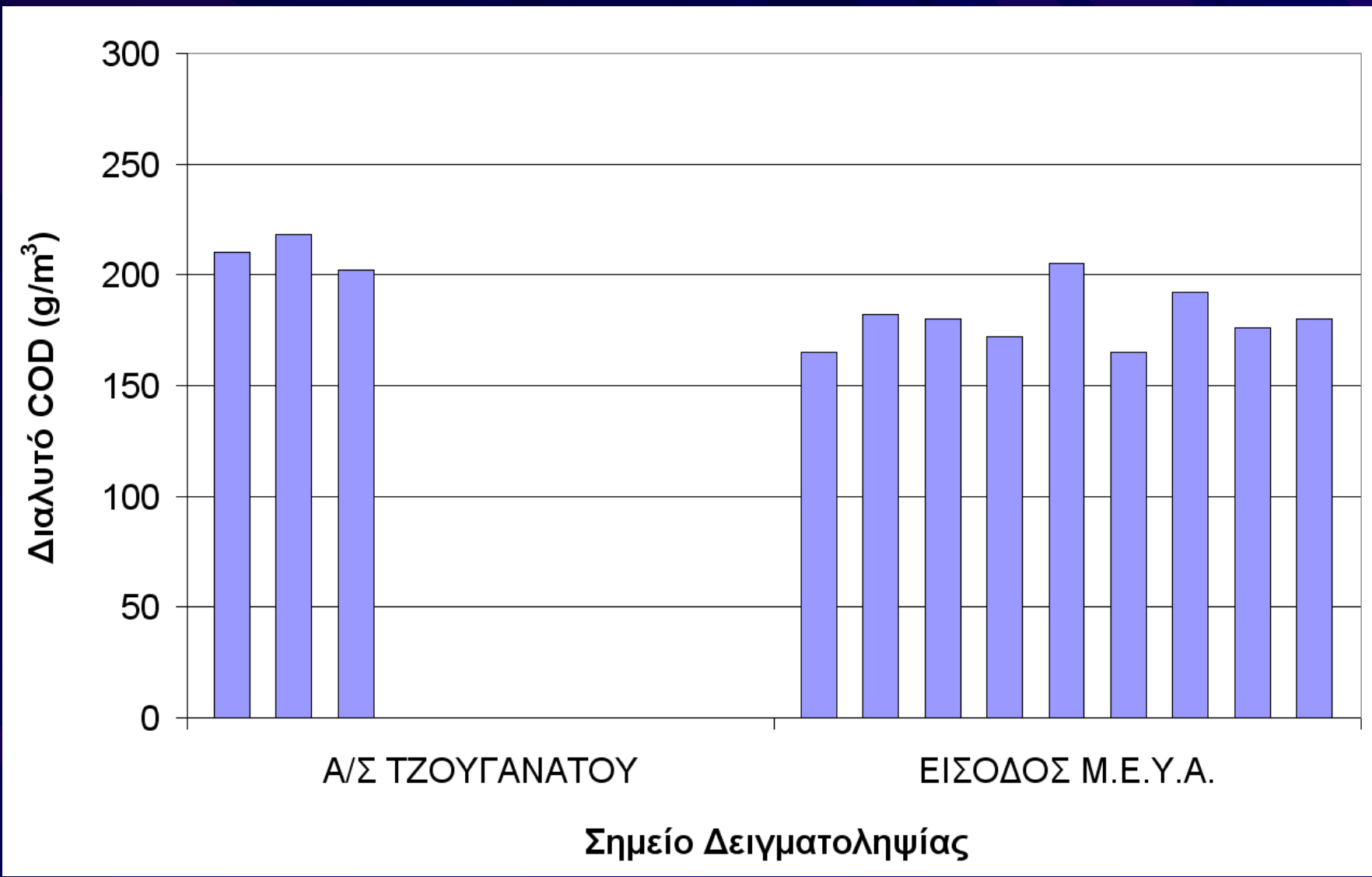


# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

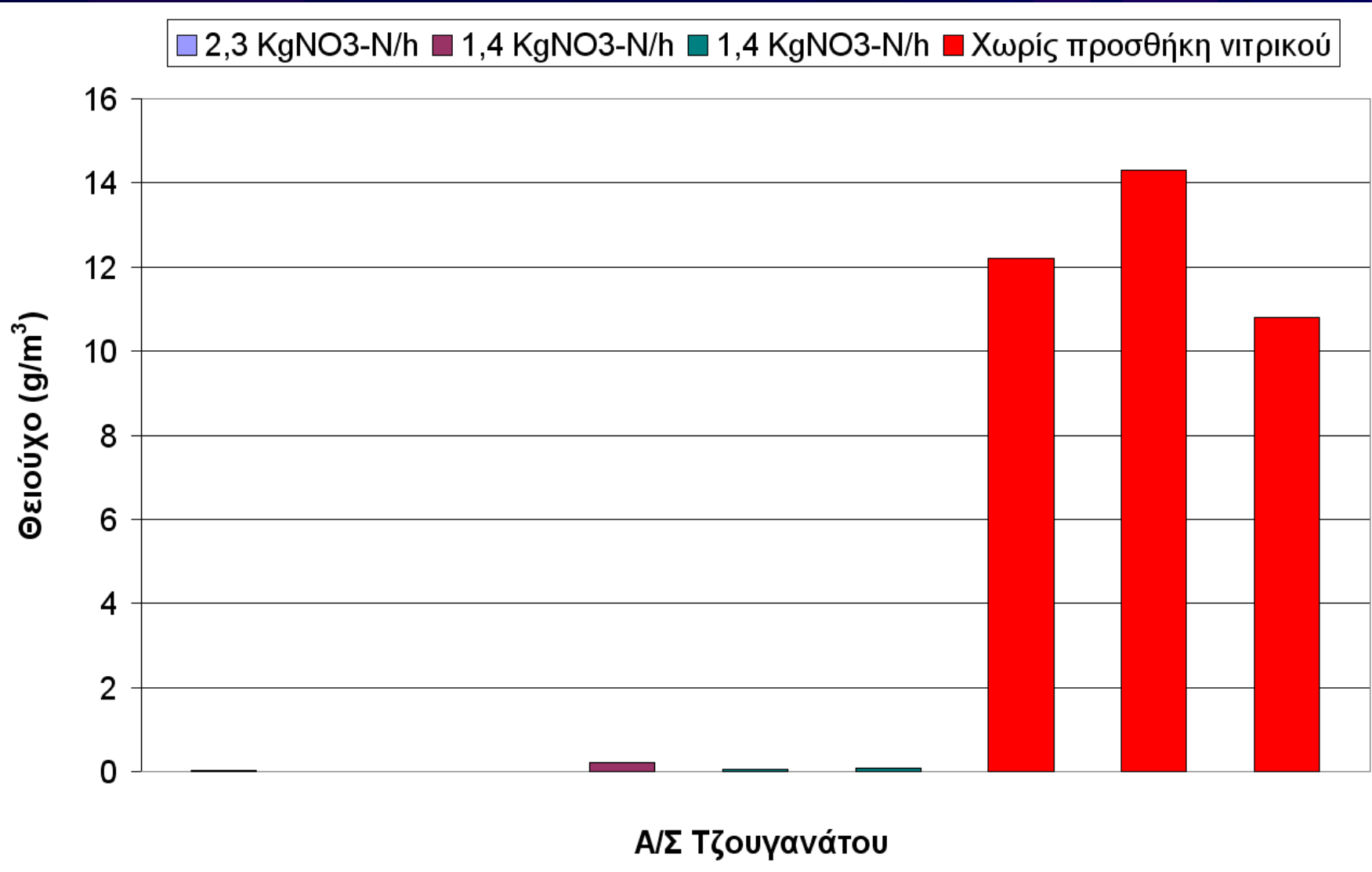




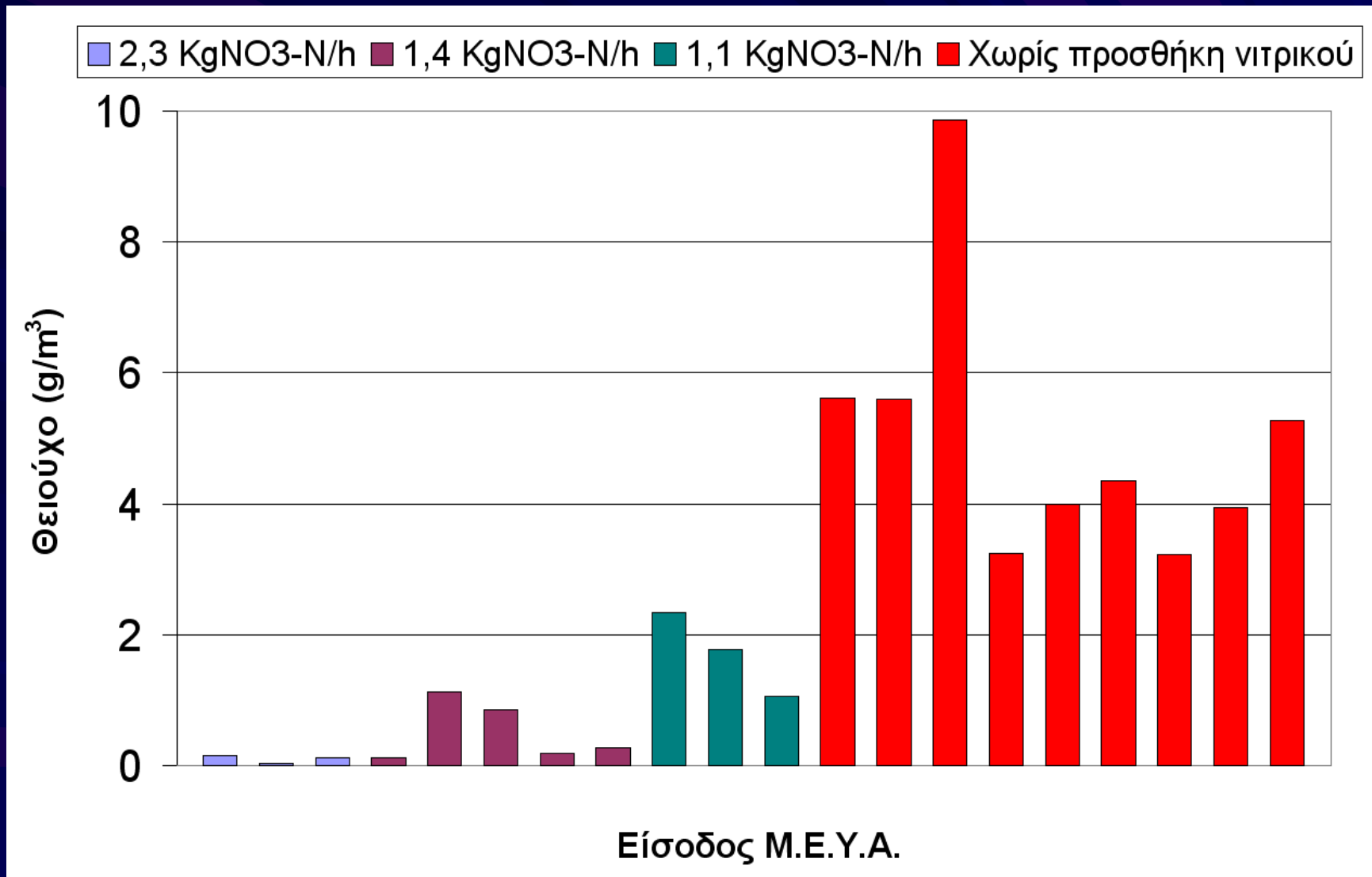
# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>



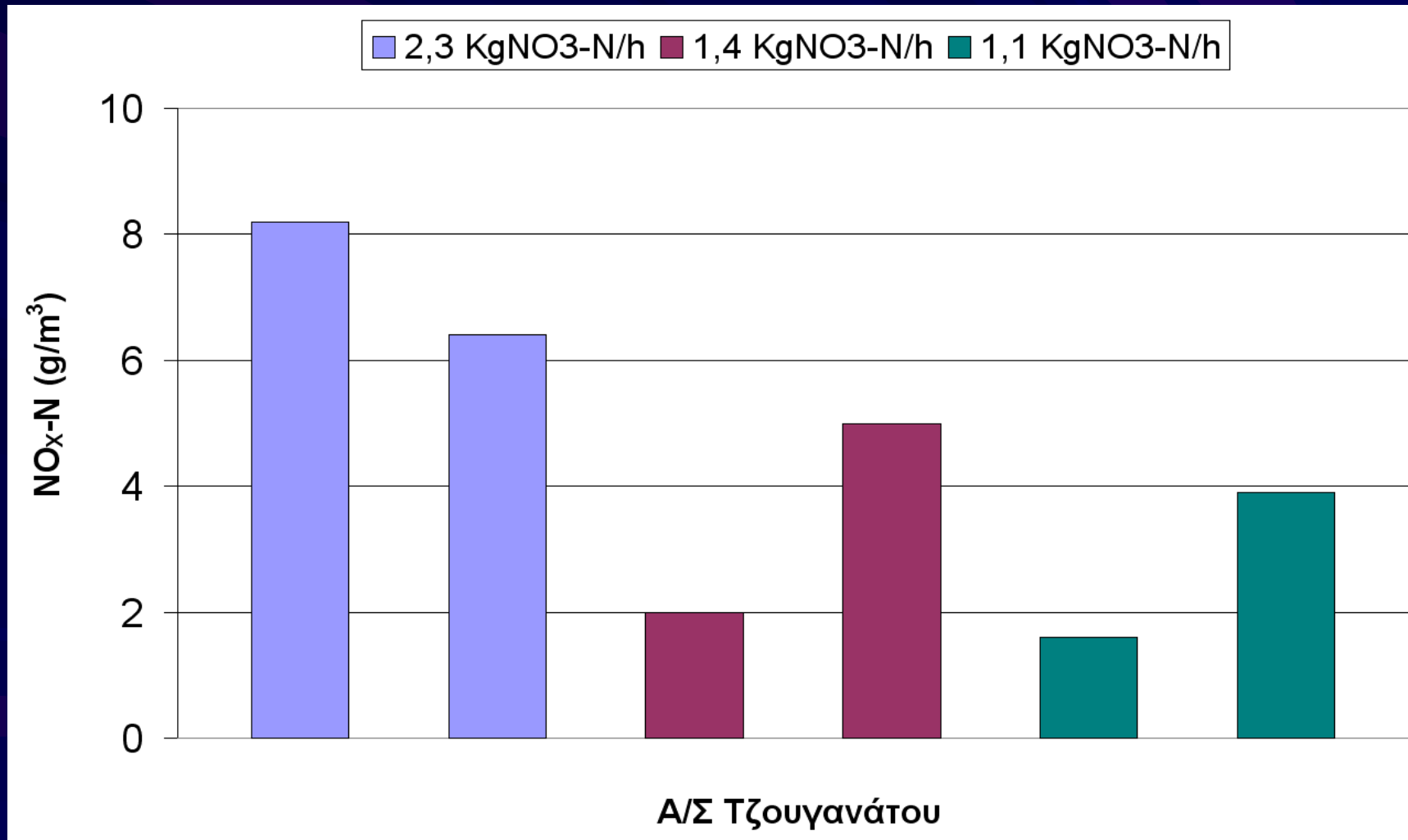
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$ (Α/Σ Τζουγανάτου)



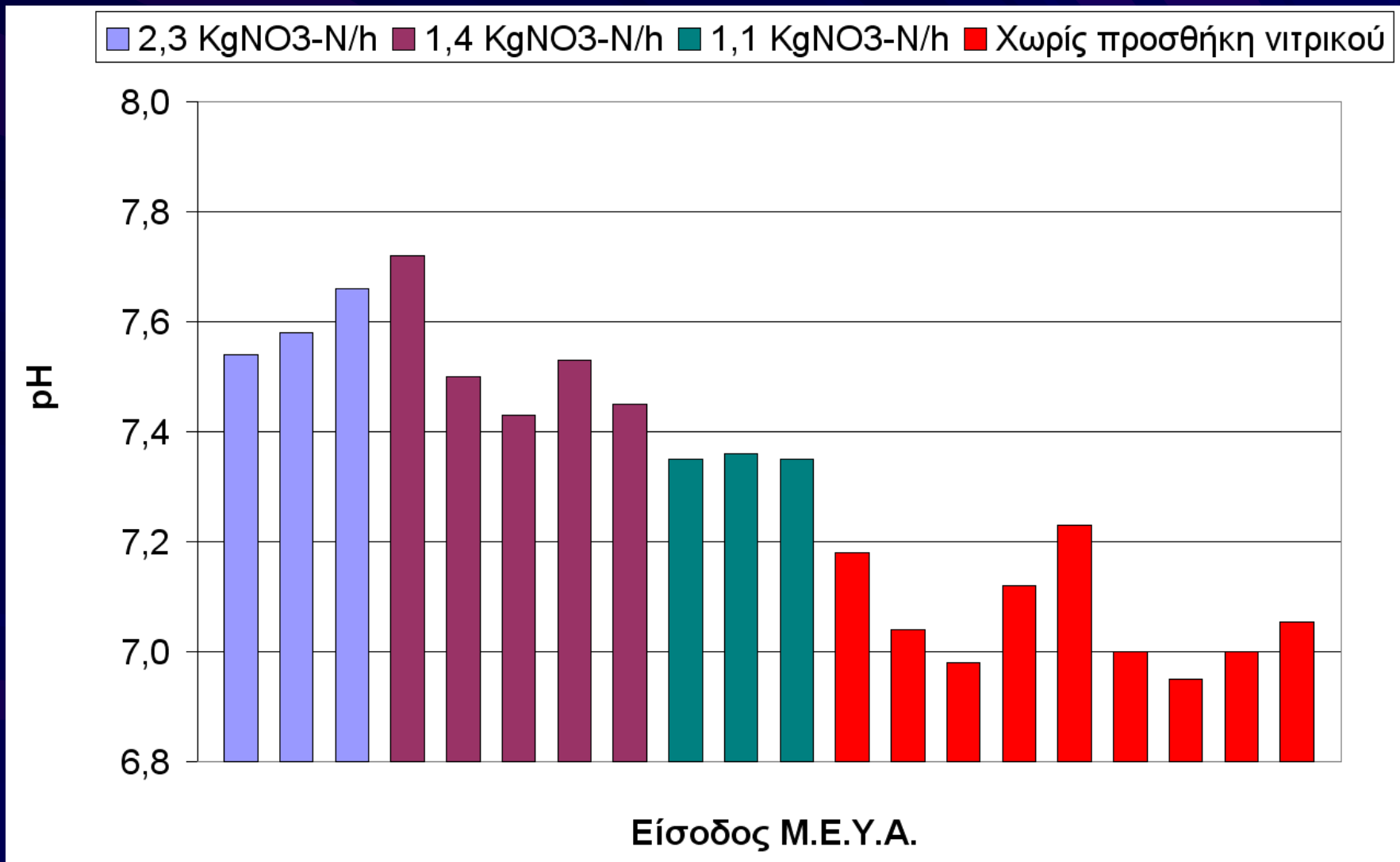
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$ (Είσοδος Μ.Ε.Υ.Α. Παροικιάς)



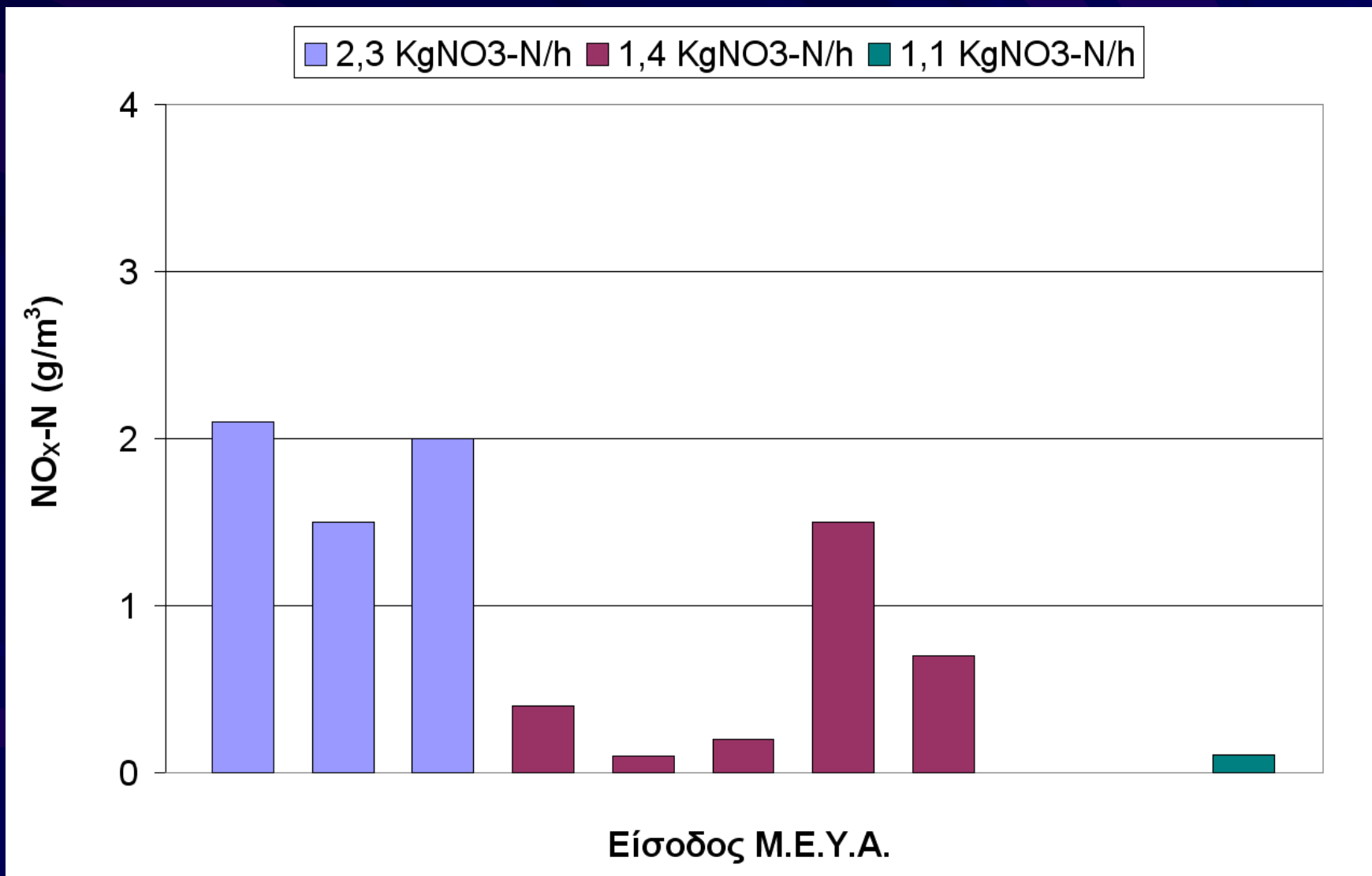
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$ (Α/Σ Τζουγανάτου)



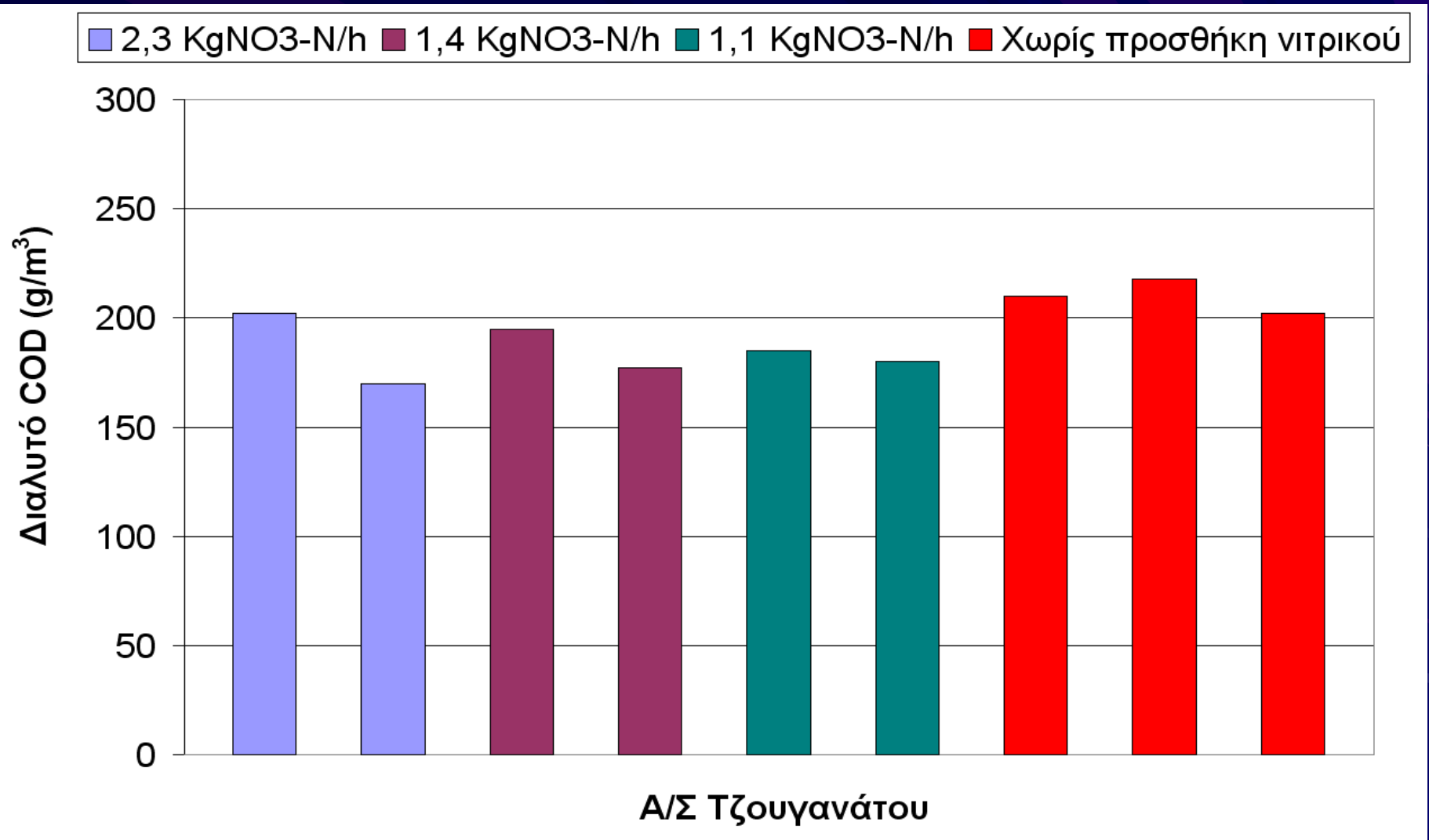
# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ $\text{NO}_3^-$ (Είσοδος Μ.Ε.Υ.Α.)



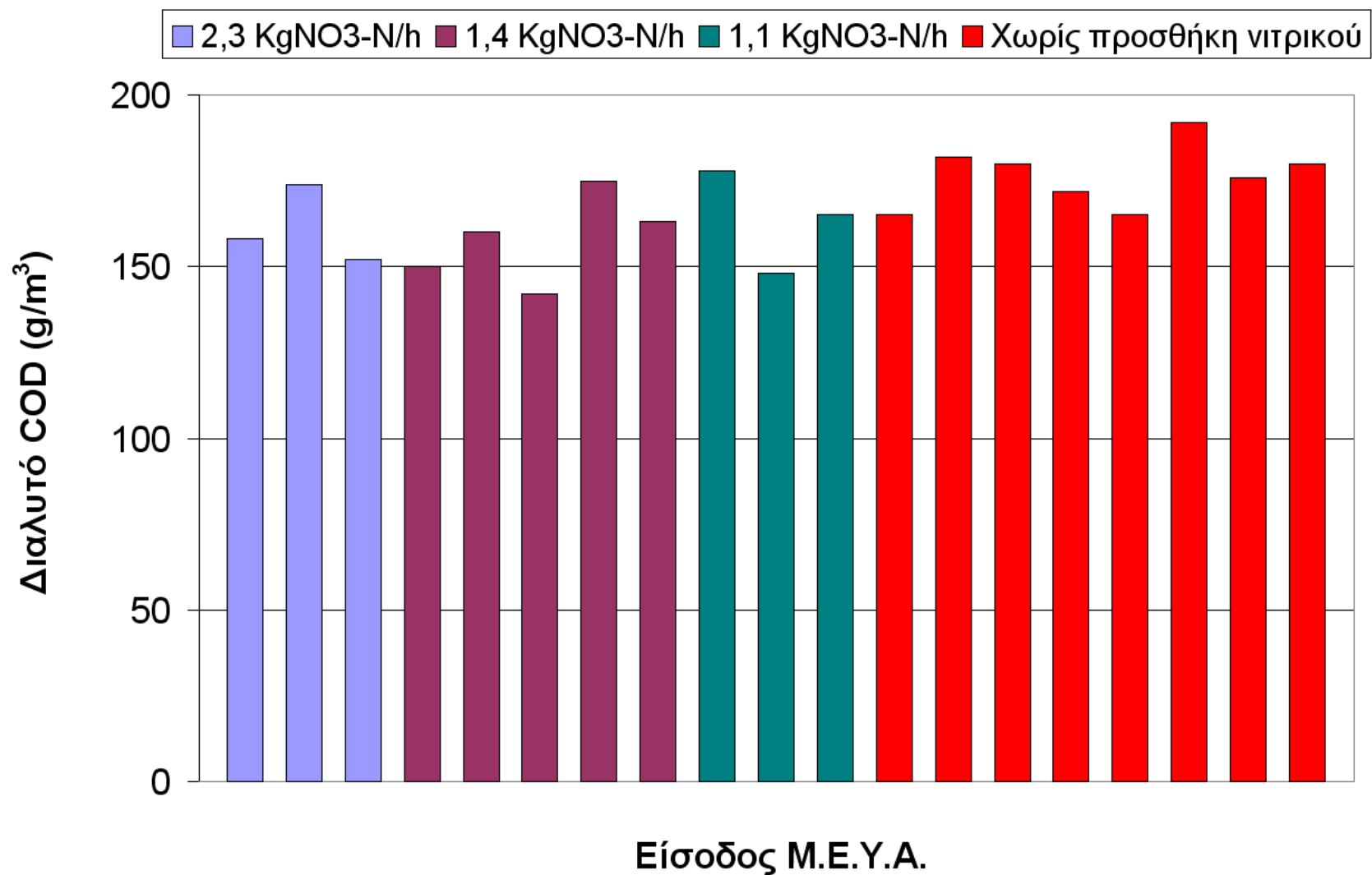
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$ (Είσοδος Μ.Ε.Υ.Α. Παροικιάς)



# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$ (Α/Σ Τζουγανάτου)

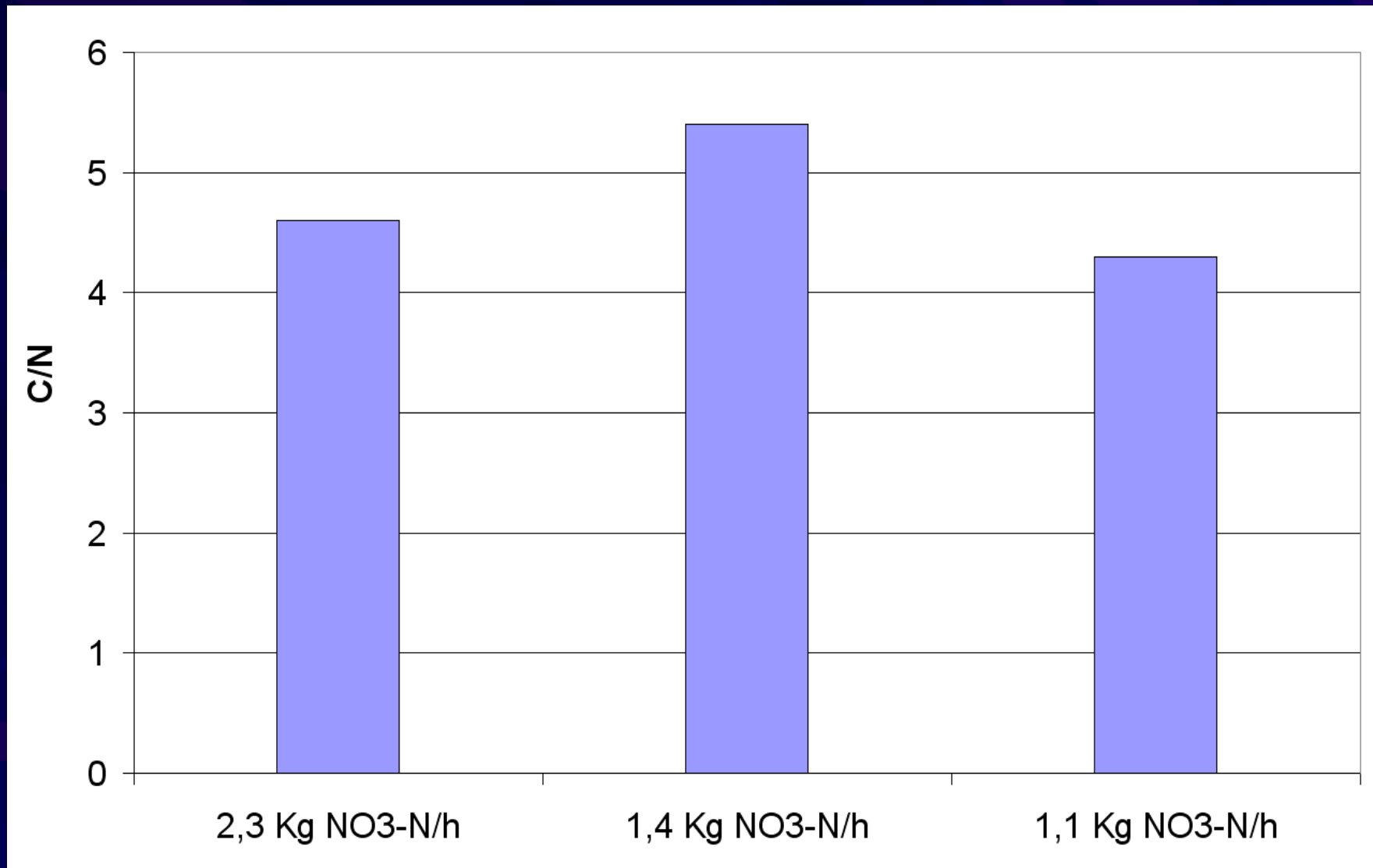


# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$ (Είσοδος Μ.Ε.Υ.Α. Παροικιάς)





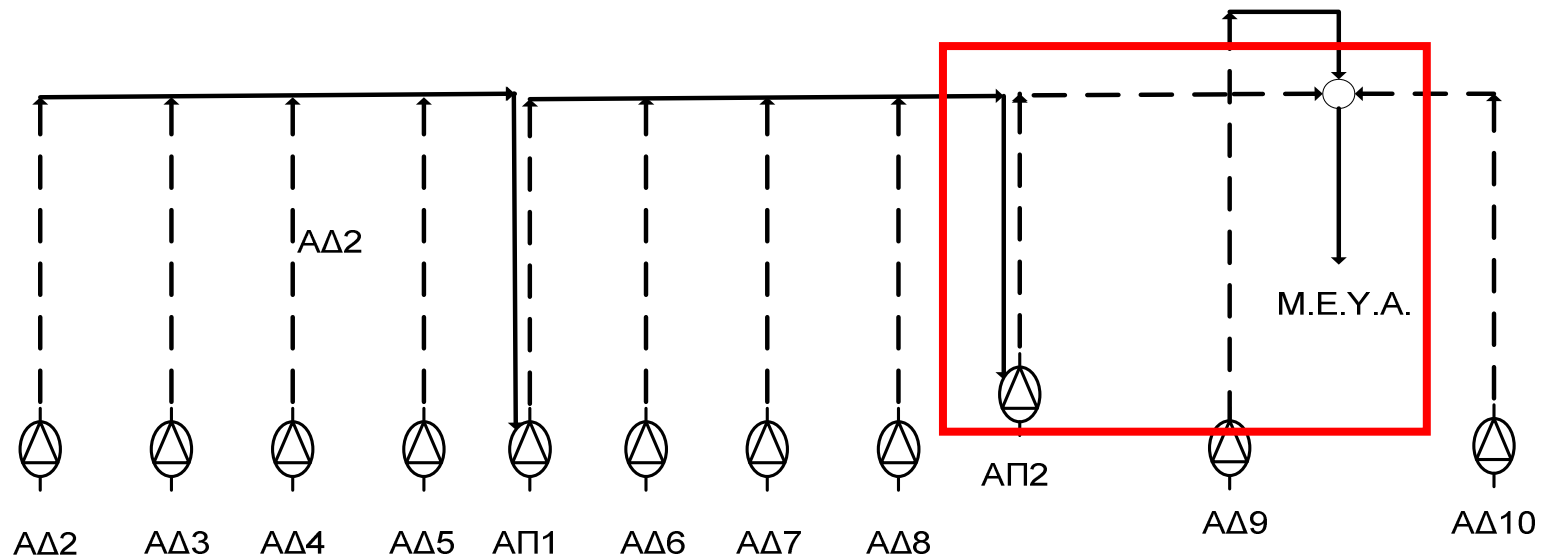
## Λόγος C/N (Μέσες τιμές)



# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΑΛΗΟΥ ΚΑΒΑΛΑΣ



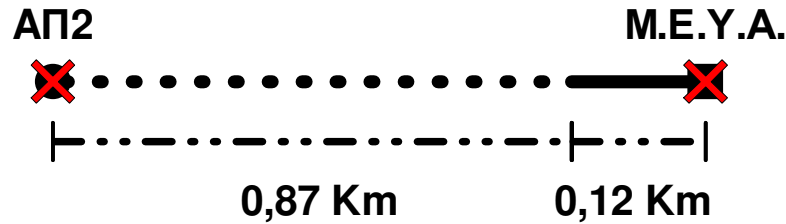
# Δίκτυο εφαρμογής



--- : Αγωγός Πίεσης  
— : Αγωγός Βαρύτητας

Σκαρίφημα Δικτύου αστικών λυμάτων Παληού

# Δίκτυο εφαρμογής



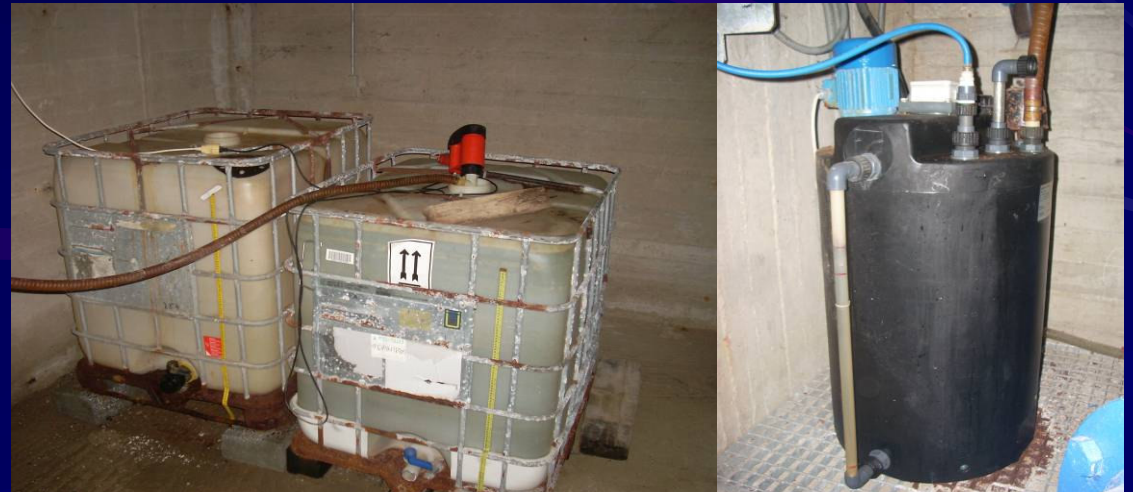
● :Αντλιοστάσιο    ——— :Αγωγός βαρύτητας    X :Δειγματοληψία  
■ :Μ.Ε.Υ.Α.            ····· : Αγωγός πίεσης

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ-ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2005 και 2006

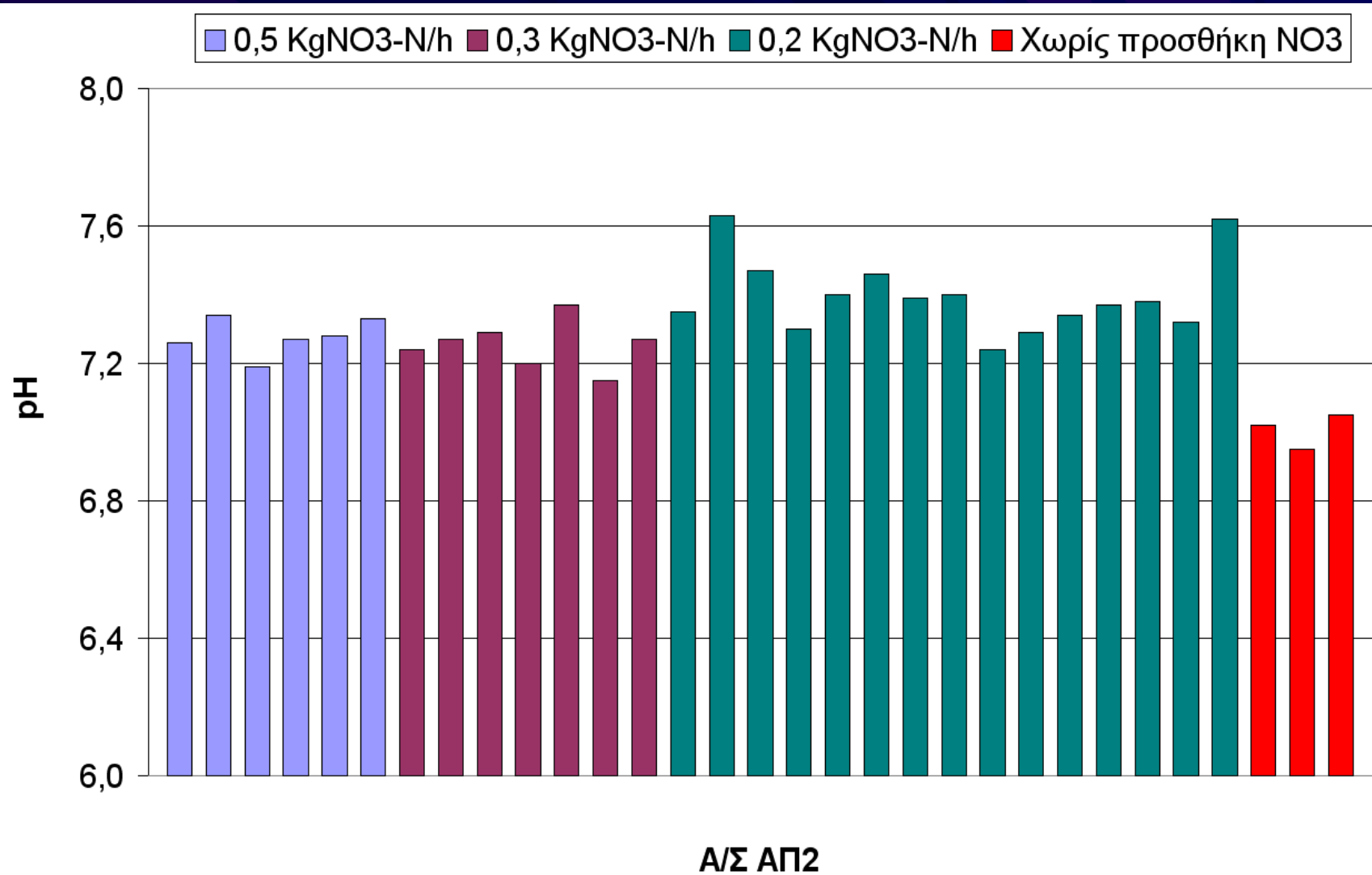
ΜΕΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΗΝ Μ.Ε.Υ.Α.: 47 m<sup>3</sup>/h

✓ Η προσθήκη νιτρικού έγινε με δοσομέτρηση διαλύματος  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  στο Α/Σ ΑΠ2.

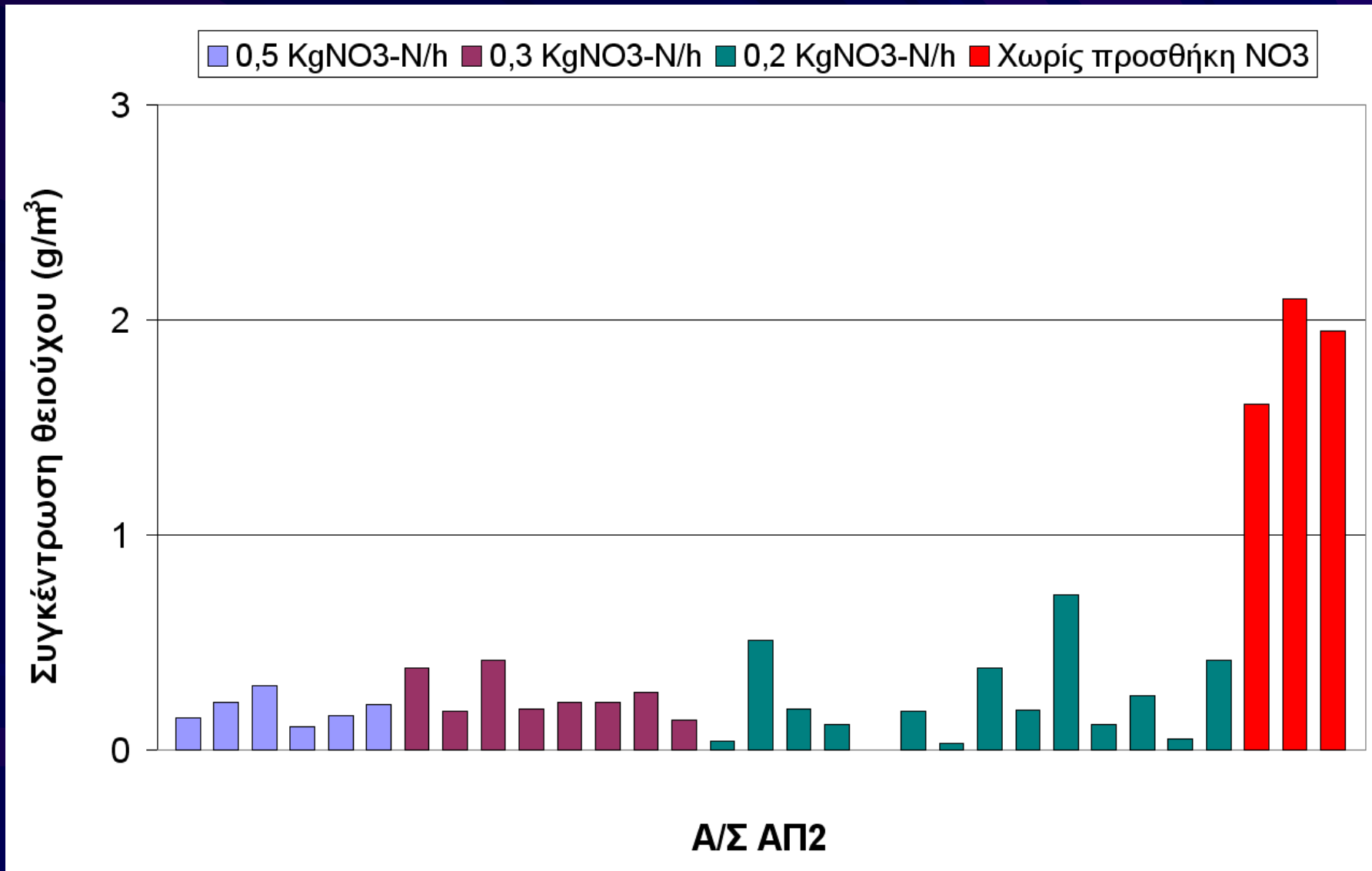
- 0,5 Kg  $\text{NO}_3\text{-N/h}$
- 0,3 Kg  $\text{NO}_3\text{-N/h}$
- 0,2 Kg  $\text{NO}_3\text{-N/h}$



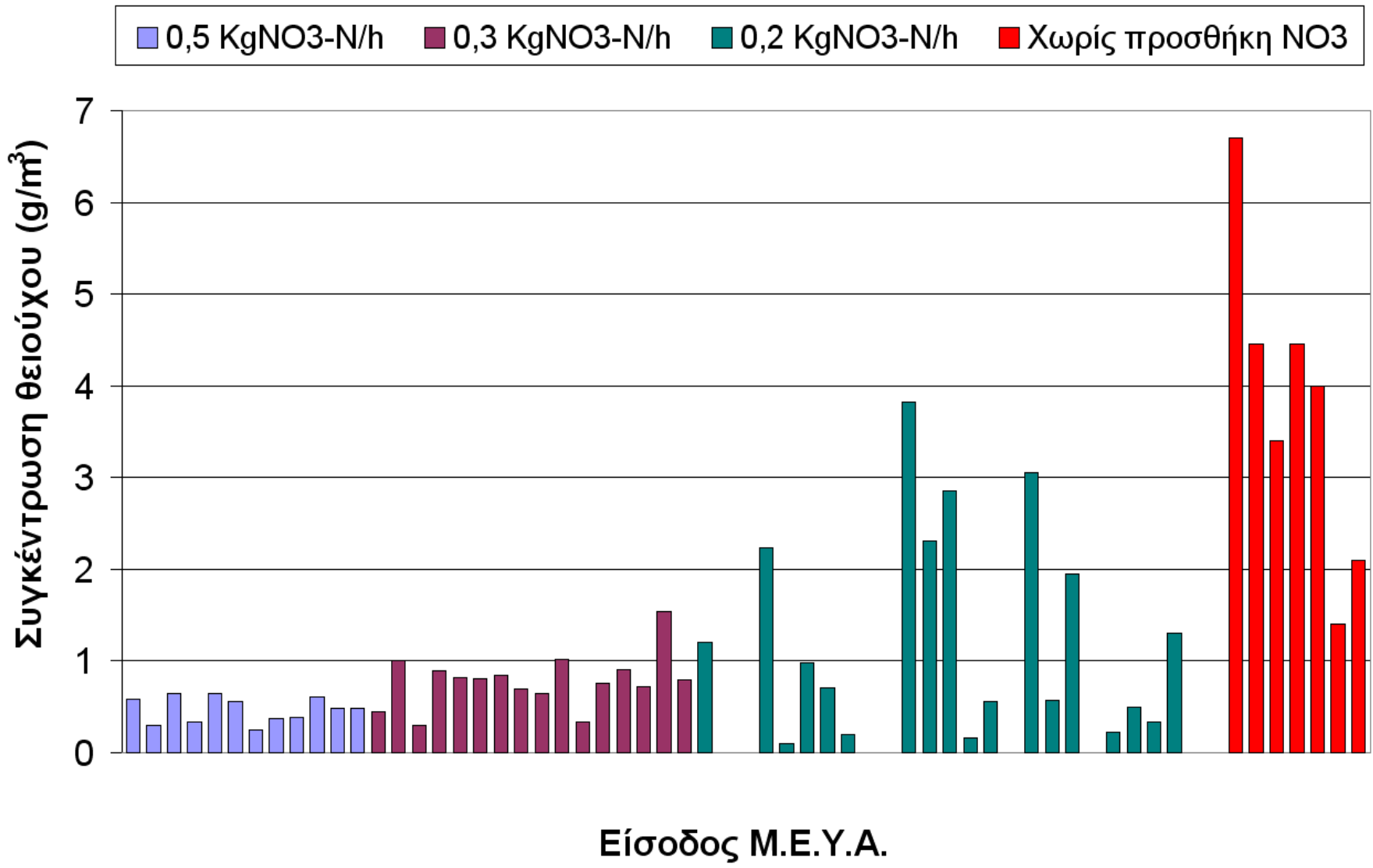
# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>



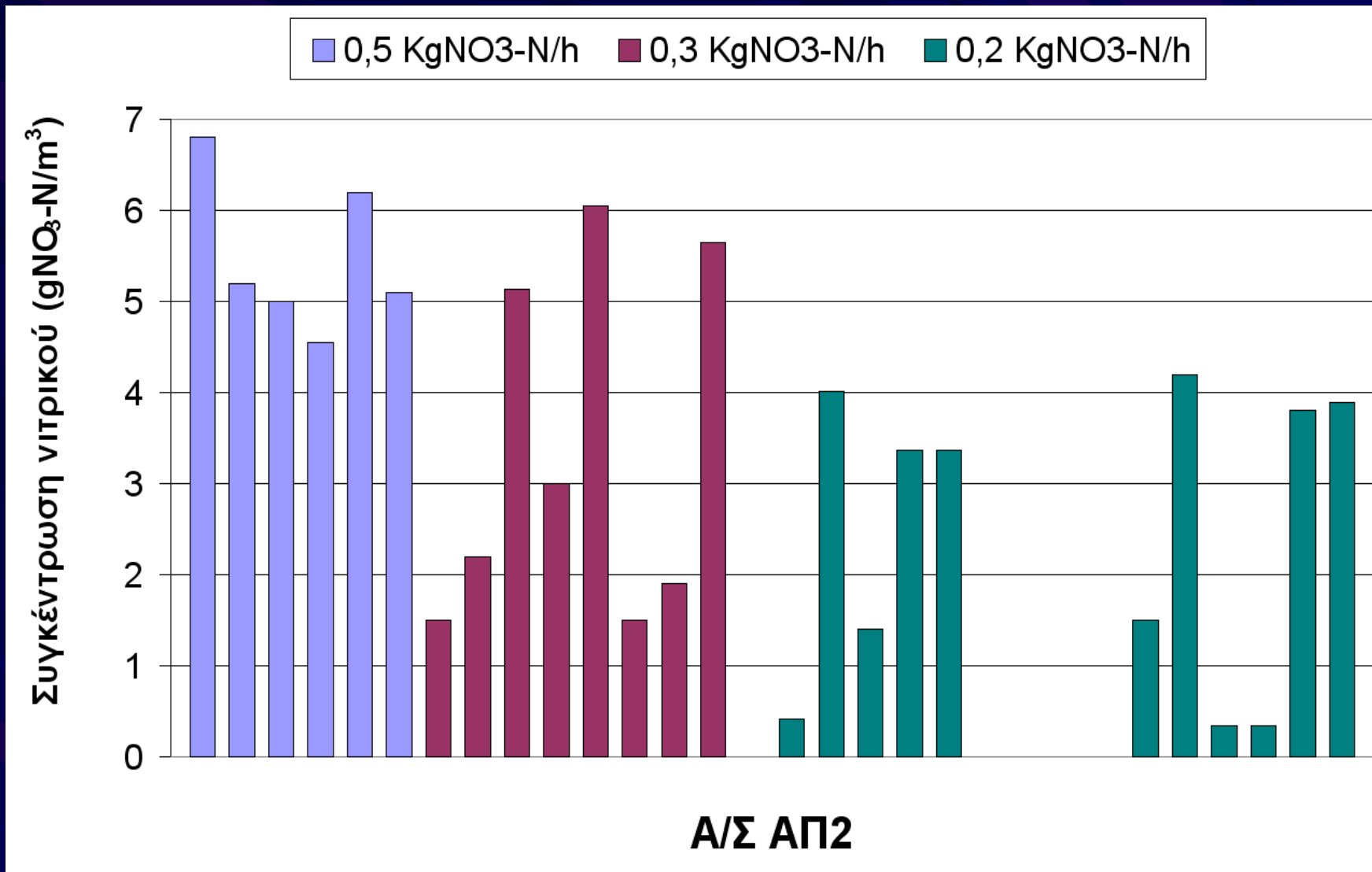
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$



# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$

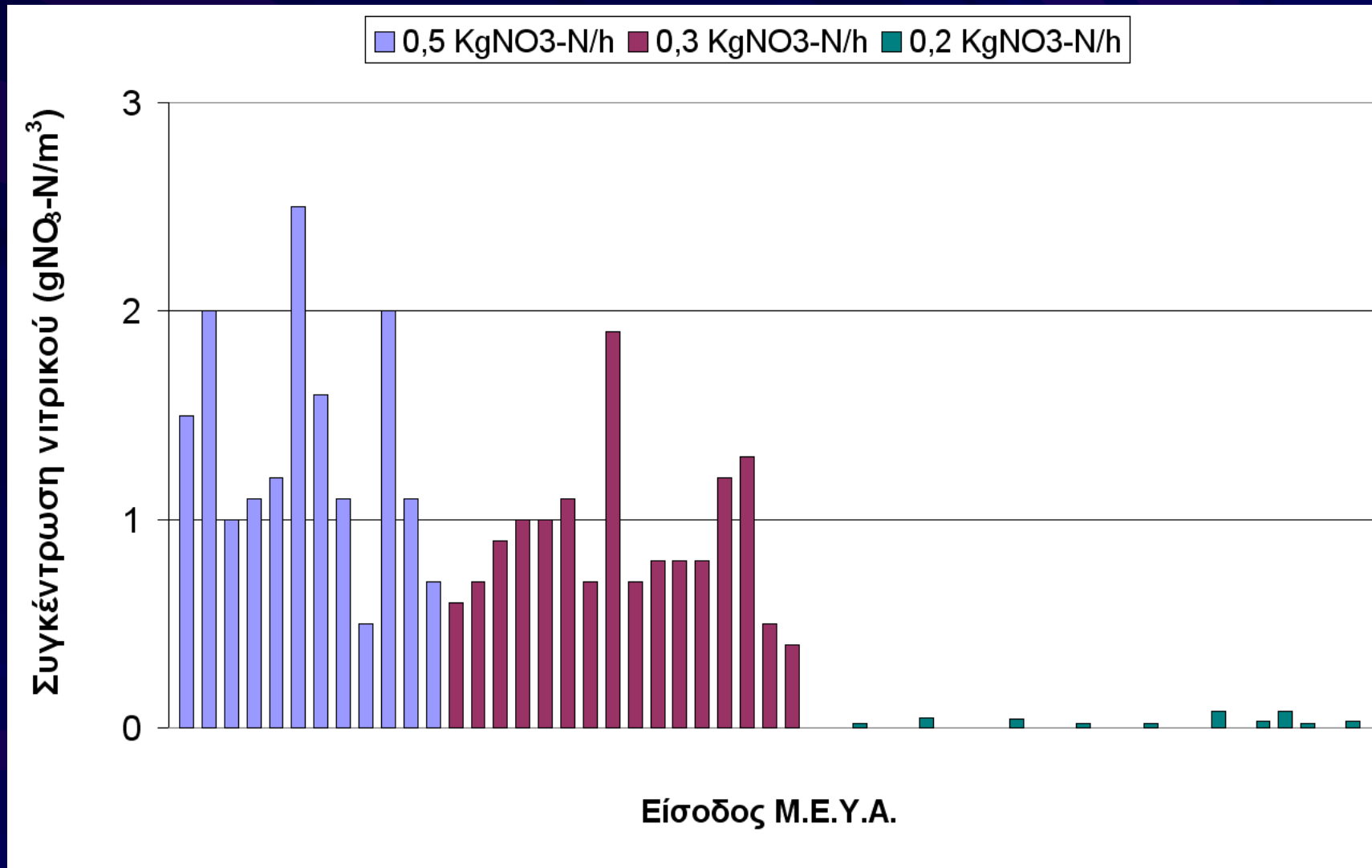


# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$

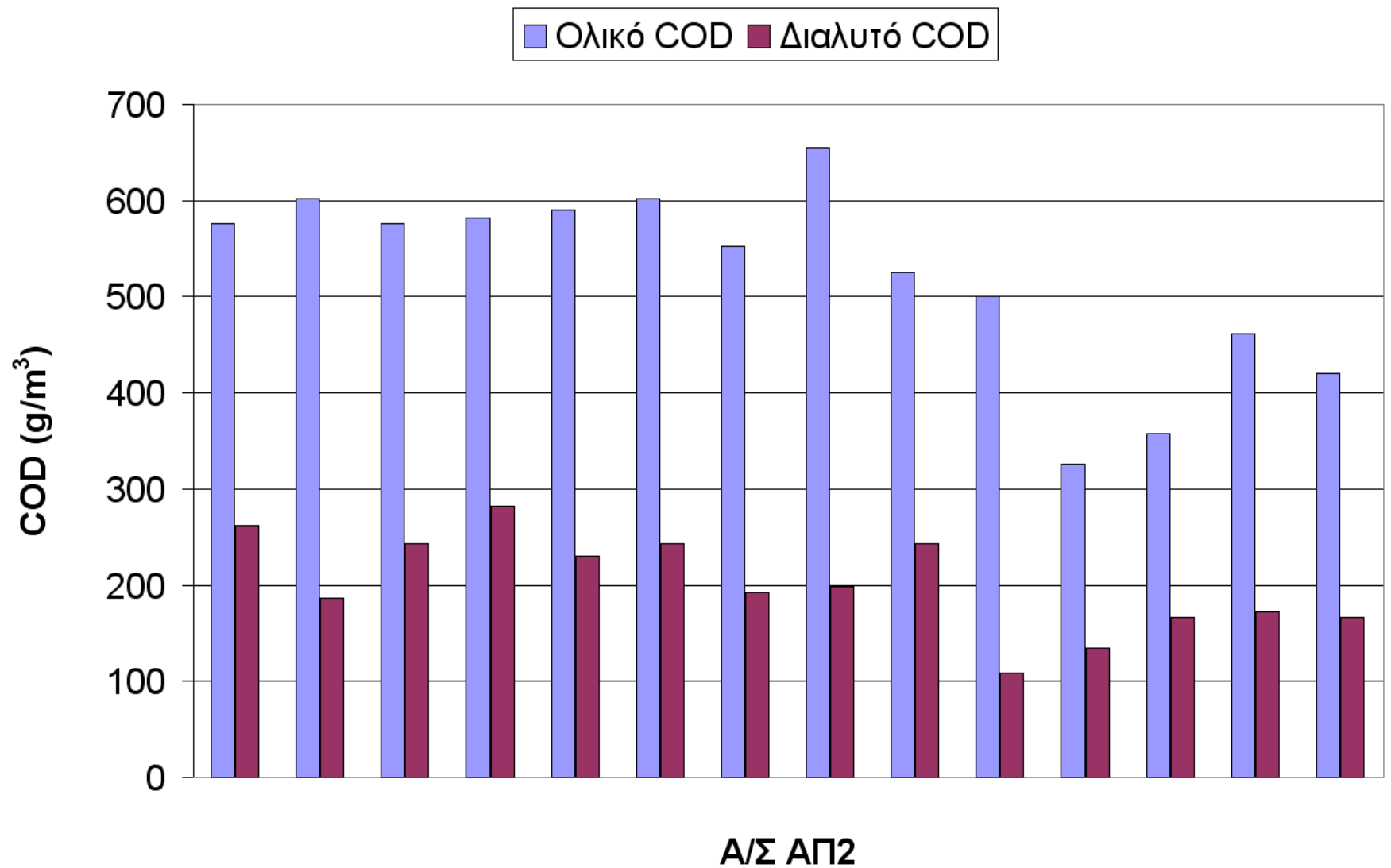




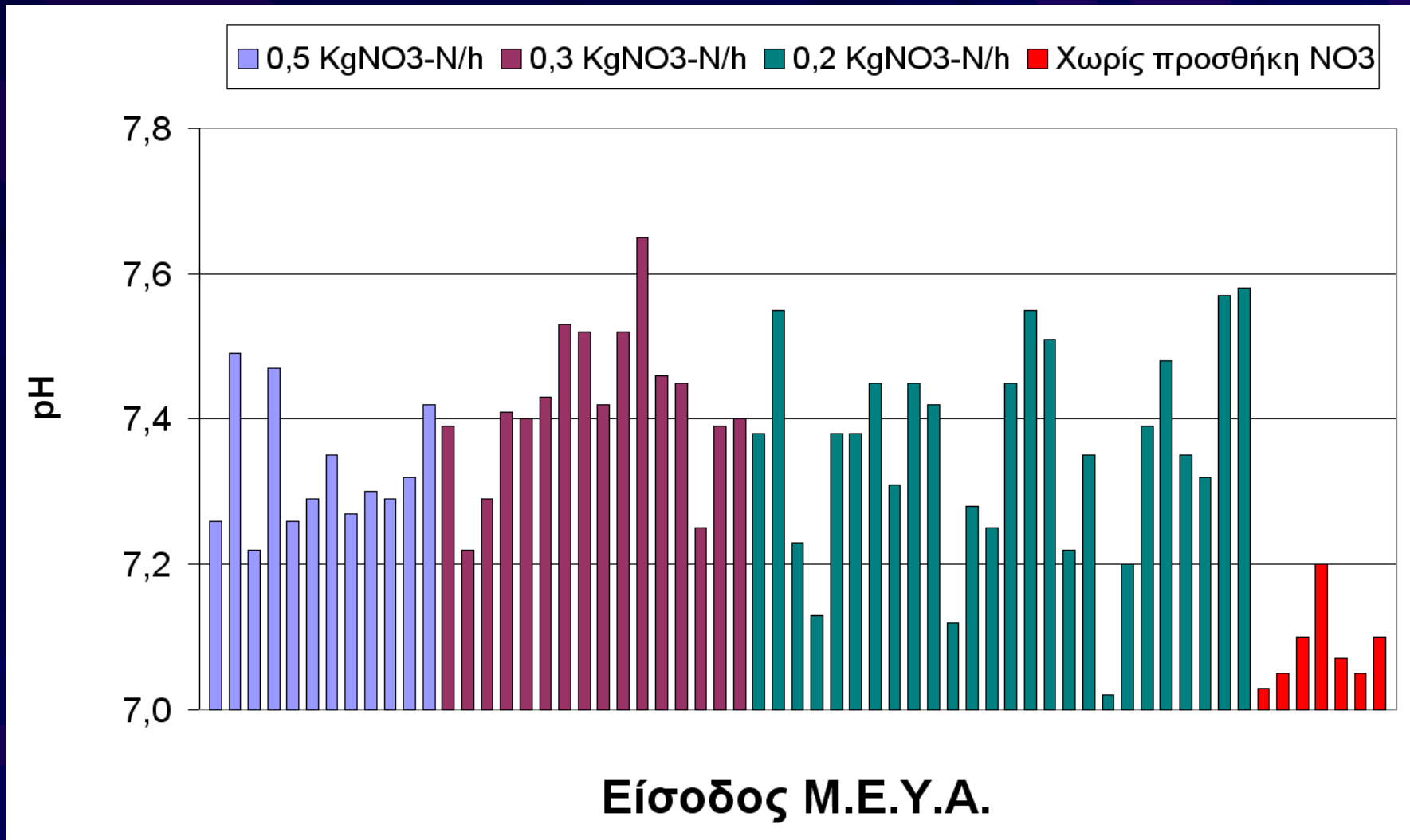
# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$



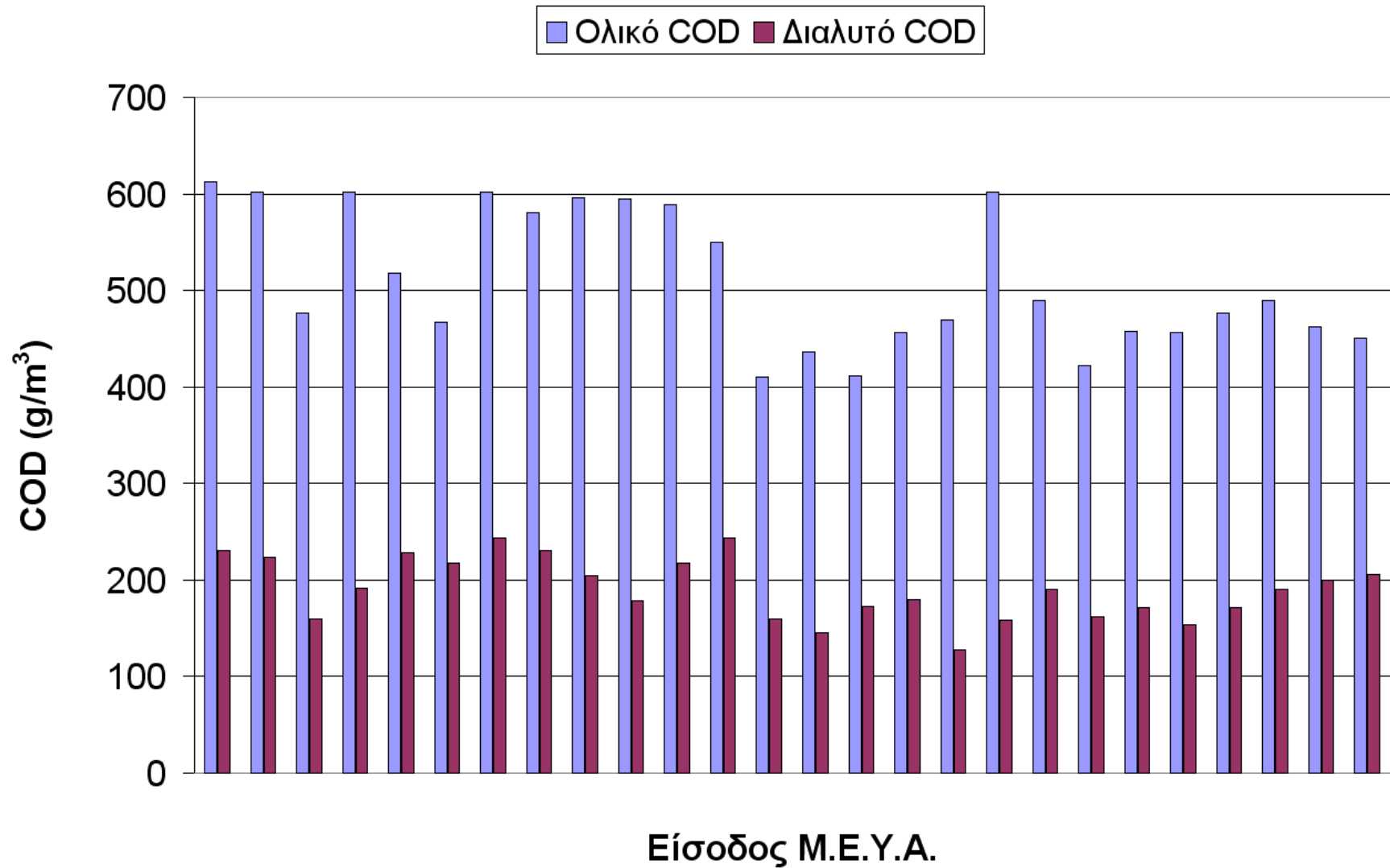
# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ $\text{NO}_3^-$



# ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>



# Συνθήκες δικτύου με προσθήκη $\text{NO}_3^-$



# Συμπεράσματα

- ✓ Η εφαρμογή πλήρους κλίμακας της προτεινόμενης μεθόδου αποδείχθηκε επιτυχής στα τρία δίκτυα εφαρμογής.
- ✓ Οι συγκεντρώσεις ολικού υδρόθειου μπορούν να περιοριστούν σε τιμές  $<1 \text{ g/m}^3$  με αμελητέα επιβάρυνση της συγκέντρωσης νιτρικού στην Μ.Ε.Υ.Α.
- ✓ Με βάση τα πειράματα πεδίου, οι προτεινόμενες βέλτιστες βέλτιστη δοσομέτρησεις νιτρικού για τα 3 δίκτυα είναι:
  - $2 \text{ KgNO}_3\text{-N/h}$  για το δίκτυο αστικών λυμάτων Δήμου Κερκυραίων
  - $1,4\text{-}2,3 \text{ KgNO}_3\text{-N/h}$  για το δίκτυο αστικών λυμάτων Παροικιάς
  - $0,3\text{-}0,5 \text{ KgNO}_3\text{-N/h}$  για το δίκτυο αστικών λυμάτων Παληού

# Συμπεράσματα

- ✓ Το **λειτουργικό κόστος της μεθόδου** (προμήθεια διαλύματος  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) την καλοκαιρινή περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος)
  - 9874 € για το δίκτυο αστικών λυμάτων Δήμου Κερκυραίων
  - 6912-11355 € για το δίκτυο αστικών λυμάτων Παροικιάς
  - 1481-2468 € για το δίκτυο αστικών λυμάτων Παληού
  - \* 240 €/ tn  $\text{NH}_4\text{NO}_3$
- ✓ Ωστόσο, λόγω της χρήσης Δ.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , αυξάνεται το ημερήσιο φορτίο αμμωνίας κατά:
  - 10% για το δίκτυο αστικών λυμάτων Δήμου Κερκυραίων
  - 18-27% για το δίκτυο αστικών λυμάτων Παροικιάς
  - 12-20% για το δίκτυο αστικών λυμάτων Παληού

# Ανάπτυξη λογισμικού πρόβλεψης δοσομέτρησης νιτρικού σε δίκτυα αστικών λυμάτων

- Στόχος: Η πρόβλεψη της βέλτιστης δοσομέτρησης νιτρικού σε υπό πίεση δίκτυα.
- ✓ Απαραίτητη προϋπόθεση:
- Προσδιορισμός των ανοξικών ρυθμών στο αστικό λύμα και στο βιοφίλμ
- Σύνδεση των ρυθμών με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά που ορίζουν ένα υπό πίεση δίκτυο.

# Παραδοχές μαθηματικού ομοιώματος

- ✓ Θεωρείται μόνιμη υδραυλική ροή λυμάτων.
- ✓ Στο δίκτυο θεωρείται σταθερή θερμοκρασία και συγκέντρωση στερεών στο αστικό λύμα.
- ✓ Τα αντλιοστάσια θεωρούνται ιδανικοί αντιδραστήρες συνεχούς ροής υπό ανάδευση (CSTR).
- ✓ Οι αγωγοί πίεσης θεωρούνται ιδανικοί αντιδραστήρες εμβολικής ροής (PFR).
- ✓ Στο δίκτυο επικρατούν συνθήκες ισορροπίας ροής.



# Παραδοχές μαθηματικού ομοιώματος

- ✓ Η συγκέντρωση διαλλελυμένου οξυγόνου είναι μηδενική.
- ✓ Η συγκέντρωση νιτρικού/νιτρώδους στο αστικό λύμα, πριν το σημείο δοσομέτρησης νιτρικού, είναι μηδενική.
- ✓ Το ομοίωμα θεωρεί περίσσεια οργανικού υποστρώματος.
- ✓ Η προσθήκη νιτρικού γίνεται με μόνιμη δοσομέτρηση διαλύματος νιτρικού.
- ✓ Σε αντλιοστάσια, οι ανοξικές μετατροπές πραγματοποιούνται αποκλειστικά στο αστικό λύμα δικτύου.
- ✓ Στους αγωγούς πίεσης, οι ανοξικές μετατροπές πραγματοποιούνται στο αστικό λύμα και στο βιοφίλμ του αγωγού.

## Παραδοχές ομοιώματος λογισμικού

- ✓ Για τους ρυθμούς των ανοξικών μετατροπών στο αστικό λύμα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις Arrhenius

Ρυθμός	Μονάδα	Εξίσωση
Ανοξική οξείδωση θειούχου	$\text{gS}^{-2}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$11,85 \times 1,05^{(T-20)} \times \text{VSS}$
Αναγωγή νιτρικού (Στάδιο I)	$\text{gNO}_3\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$8,13 \times 1,05^{(T-20)} \times \text{VSS}$
Αναγωγή νιτρικού (Στάδιο II)	$\text{gNO}_3\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$13,46 \times 1,05^{(T-20)} \times \text{VSS}$
Απονιτροποίηση (Στάδιο I)	$\text{gN}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$4,02 \times 1,09^{(T-20)} \times \text{VSS}$
Απονιτροποίηση (Στάδιο II)	$\text{gN}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$8,70 \times 1,09^{(T-20)} \times \text{VSS}$
Απονιτροποίηση (Στάδιο III)	$\text{gNO}_2\text{-N}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$	$13,58 \times 1,03^{(T-20)} \times \text{VSS}$

\* Το λογισμικό θεωρεί την συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS) του αστικού λύματος δικτύου σταθερή και ίση με 0,14 g/L.

# Παραδοχές ομοιώματος λογισμικού

- ✓ Για τους ρυθμούς των ανοξικών μετατροπών στο βιοφίλμ χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις Arrhenius

Ρυθμός	Μονάδα	Εξίσωση
Ανοξική οξείδωση θειούχου	$\text{gS}^{-2}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	$0,058 \times [\text{S}^{-2}] \times 1,04^{(T-20)}$
Μιξότροφη απονιτροποίηση	$\text{gNO}_3\text{-N}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	$0,030 \times [\text{NO}_3\text{-N}]^{0.5} \times 1,10^{(T-20)}$
Ετερότροφη απονιτροποίηση	$\text{gNO}_3\text{-N}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	$0,046 \times [\text{NO}_3\text{-N}]^{0.5} \times 1,05^{(T-20)}$

- Η δραστηριότητα του βιοφίλμ δεν συμβάλει στην συσσώρευση νιτρώδους.
  - Το νιτρώδες που παράγεται από το αστικό λύμα δεν καταναλώνεται από το βιοφίλμ, μέχρι το νιτρικό να μειωθεί σε συγκέντρωση ίση με την σταθερά ημικορεσμού της αναγωγής νιτρικού ( $0,97 \text{ gNO}_3\text{-N}/\text{m}^3$ ).
  - Γίνεται η θεώρηση ότι η μετατροπές ακολουθούν κινητική μισής τάξεως, λόγω των υψηλότερων φορτίσεων που οδηγούν σε βιοφίλμ μεγάλου πάχους.
- ❖ Σε αγωγούς πιλοτικής κλίμακας, το πάχος ενός ανοξικού βιοφίλμ κυμαίνεται μεταξύ 1000-2000  $\mu\text{m}$ . (Æsoy *et al.* 1997)

# Απαιτούμενα δεδομένα εισόδου

- ✓ Η μέση ωριαία υδραυλική παροχή λυμάτων ( $m^3/h$ ).
- ✓ Η συγκέντρωση θειούχου (συγκέντρωση ολικού υδρόθειου) στο αστικό λύμα δικτύου, πριν το σημείο δοσομέτρησης νιτρικού ( $g/m^3$ ).
- ✓ Η θερμοκρασία του αστικού λύματος.
- ✓ Ο αριθμός αντλιοστασίων.
- ✓ Ο όγκος κάθε αντλιοστασίου ( $m^3$ ).
- ✓ Η διάμετρος κάθε αγωγού πίεσης (mm).
- ✓ Το μήκος κάθε αγωγού πίεσης (Km).
- ✓ Η συγκέντρωση νιτρικού στην δεξαμενή δοσομέτρησης ( $KgNO_3-N/m^3$ ).
- ✓ Η επιθυμητή συγκέντρωση νιτρικού στην έξοδο του δικτύου εφαρμογής ( $gNO_x-N/m^3$ ).  
Όπου  $NO_x-N = NO_3-N + 0,6 \times NO_2-N$ .

# Περιβάλλον λογισμικού

## Απαιτούμενα δεδομένα εισόδου

Pythagoras II

Διαγράμματα Περι

**Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων ΔΠΘ**

Απαιτούμενη Παροχή Νιτρικού Αζώτου: 231,24 l/h

Όγκος Αντλιοστασίου: 75 m<sup>3</sup>

Μέση Υδραυλική Παροχή: 100 m<sup>3</sup>/h

Συγκέντρωση Ολικού Υδρόθειου: 0 g/m<sup>3</sup>

Θερμοκρασία Λύματος: 27,5 °C

Επιθυμητή Τελική Συγκέντρωση NO<sub>x</sub>-N: 1 g/m<sup>3</sup>

Συγκέντρωση Νιτρικού Αζώτου στη Δεξαμενή Παροχής: 8,56 kg/m<sup>3</sup>

Πλήθος Αντλιοστασίων: 2

Αντλιοστάσιο: [Dropdown]

Διάμετρος: 315 mm

Μήκος: 2 km

**Έλεγχος Δυσσομίας και Διάβρωσης σε Δίκτυα Αστικών Λυμάτων με Προσθήκη Νιτρικού**

**Διάγραμμα Ανοξικών Μετατροπών**

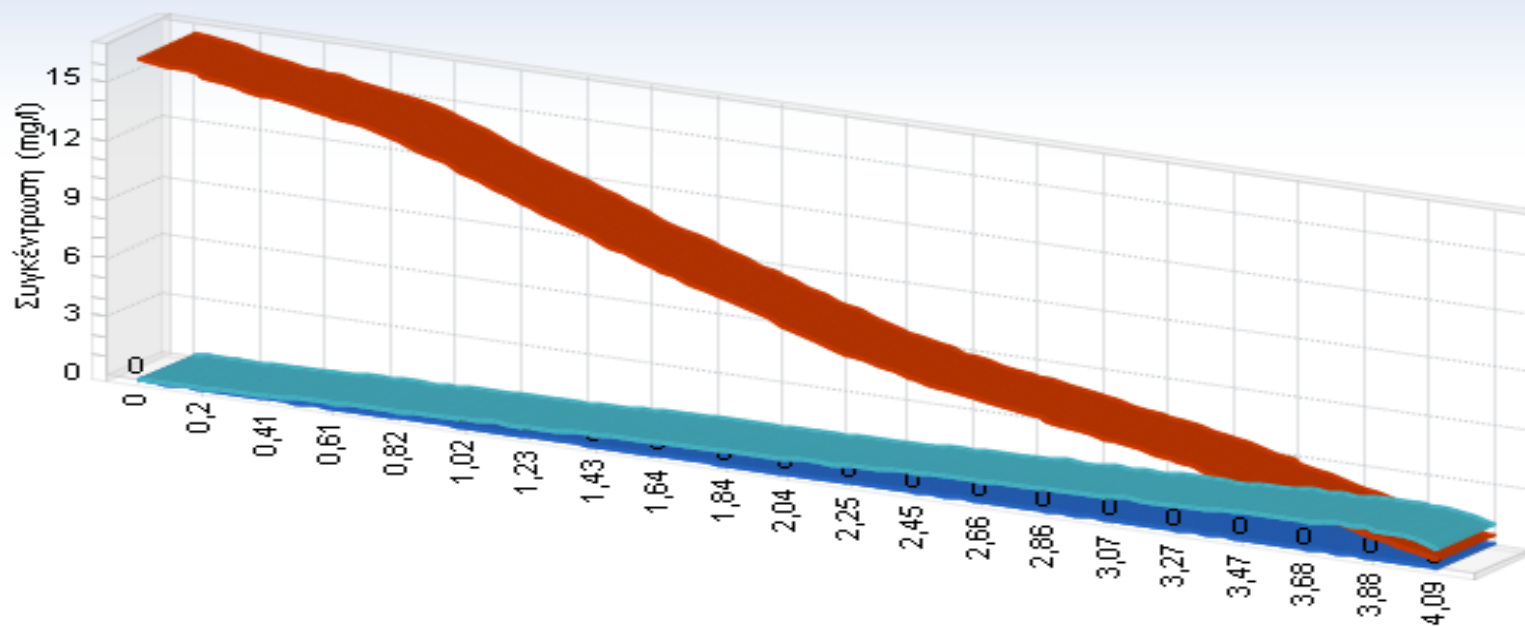
Διάγραμμα Νιτρικού Αζώτου

Επιλογή Δοσομέτρησης

# Περιβάλλον λογισμικού

Γραφική απεικόνιση μεταβολής  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{S}^{2-}$

Διάγραμμα



Τελική Συγκέντρωση  $\text{NO}_x\text{-N}$   
1 mg/l

Συγκέντρωση Υδρόθειου

Συγκέντρωση Νιτρικού Αζώτου

Συγκέντρωση Νιτρώδους Αζώτου

# Προσομοίωση συνθηκών Δικτύου αστικών λυμάτων Παροικιάς

---

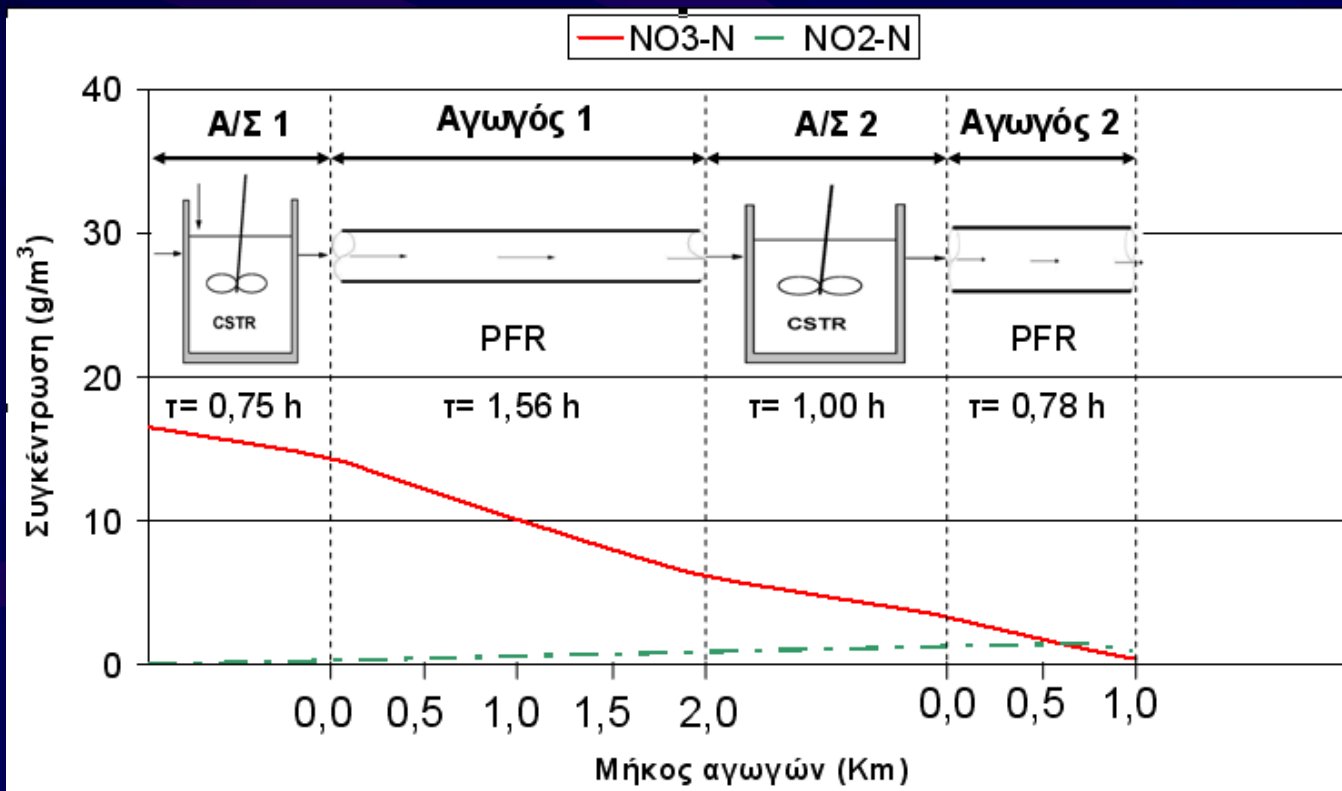
Υδραυλική παροχή λυμάτων ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	100
Θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ )	27,5
Αριθμός αντλιοστασίων	2
Όγκος αντλιοστασίου 1 ( $\text{m}^3$ )	75,0
Όγκος αντλιοστασίου 2 ( $\text{m}^3$ )	100,0
Μήκος αγωγού 1 (Km)	2,0
Διάμετρος αγωγού 1 (mm)	315
Μήκος αγωγού 2 (Km)	1,0
Διάμετρος αγωγού 1 (mm)	315
Συγκέντρωση θειούχου στο σημείο δοσομέτρησης ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	0,0
Επιθυμητή συγκέντρωση $\text{NO}_x\text{-N}$ στην έξοδο του δικτύου ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	1,0
Συγκέντρωση νιτρικού στην δεξαμενή δοσομέτρησης ( $\text{KgNO}_3\text{-N}/\text{m}^3$ )	87,5

---



# Προσομοίωση συνθηκών Δικτύου αστικών λυμάτων Παροικιάς

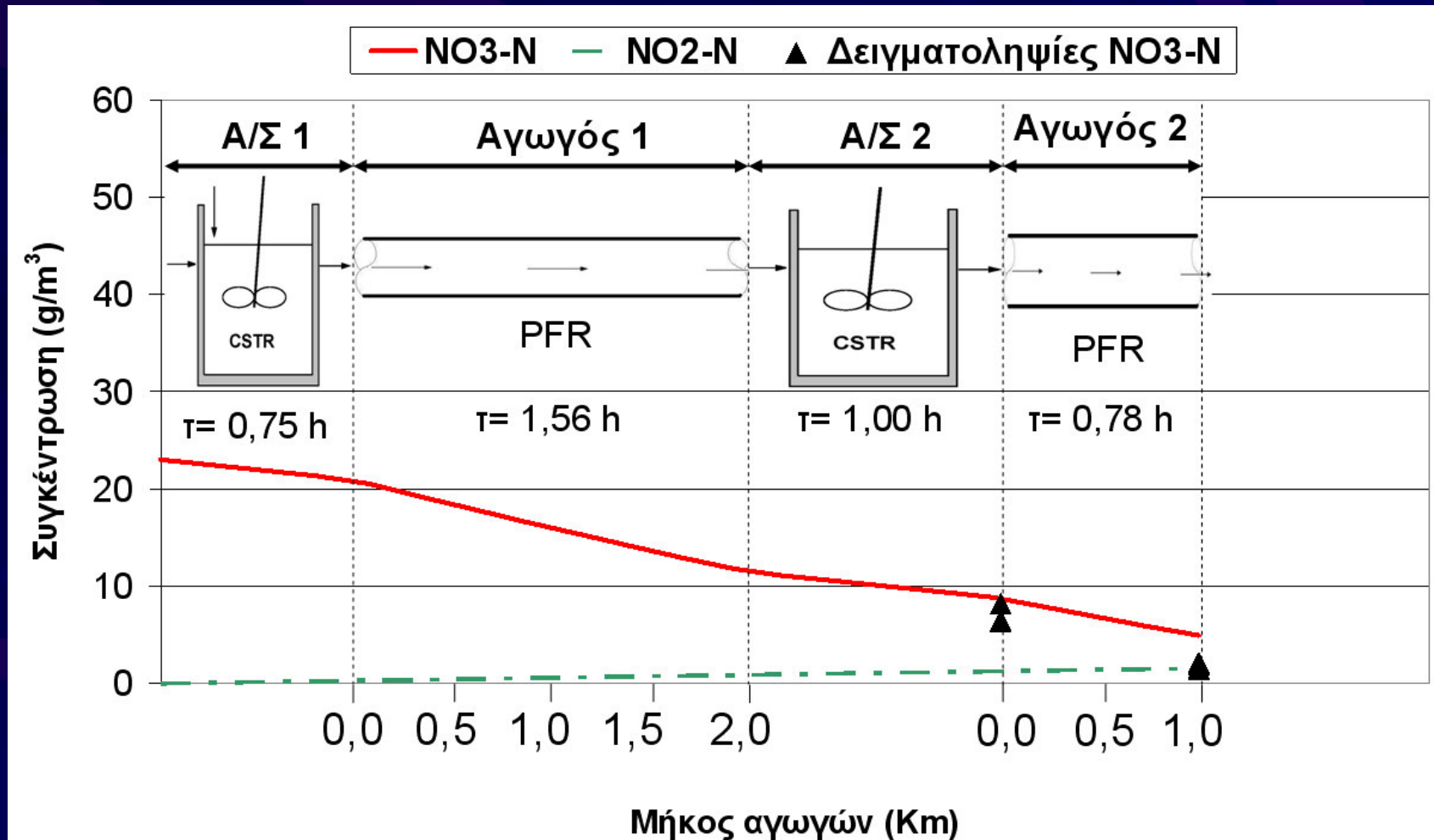
- ✓ Με βάση τις δειγματοληψίες, η προτεινόμενη δόσομετρηση πρέπει να είναι 1,4-2,3 KgNO<sub>3</sub>-N/h.
- ✓ Το μοντέλο προβλέπει ως βέλτιστη δόσομετρηση 1,65 KgNO<sub>3</sub>-N/h.





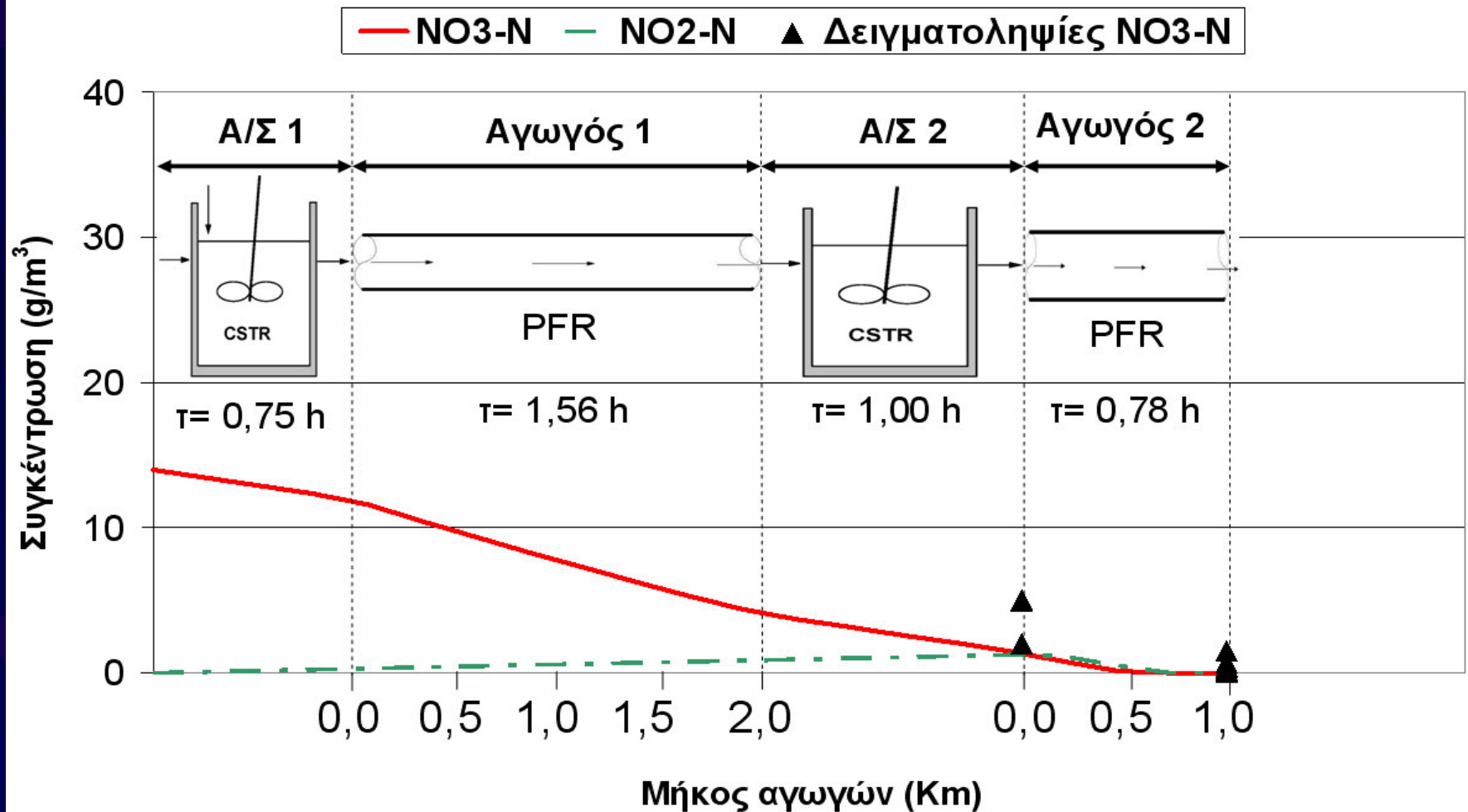
# Σύγκριση προσομοίωσης ομοιώματος και δειγματοληψιών (Δίκτυο Παροικιάς)

2,3 KgNO<sub>3</sub>-N/h



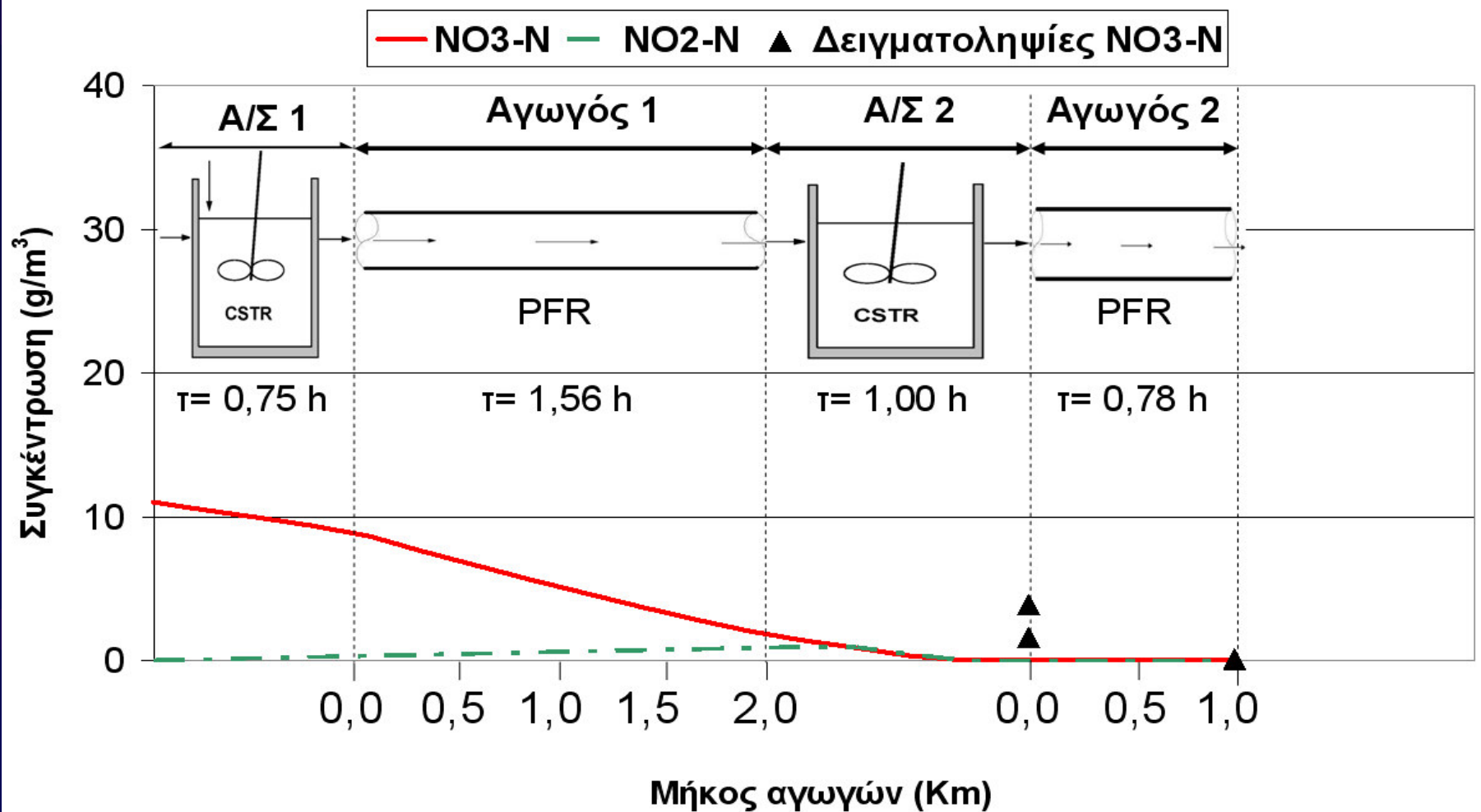
# Σύγκριση προσομοίωσης ομοιώματος και δειγματοληψιών (Δίκτυο Παροικιάς)

1,4 KgNO<sub>3</sub>-N/h



# Σύγκριση προσομοίωσης ομοιώματος και δειγματοληψιών (Δίκτυο Παροικιάς)

1,1 KgNO<sub>3</sub>-N/h



# Προσομοίωση συνθηκών Δικτύου αστικών λυμάτων Παληού

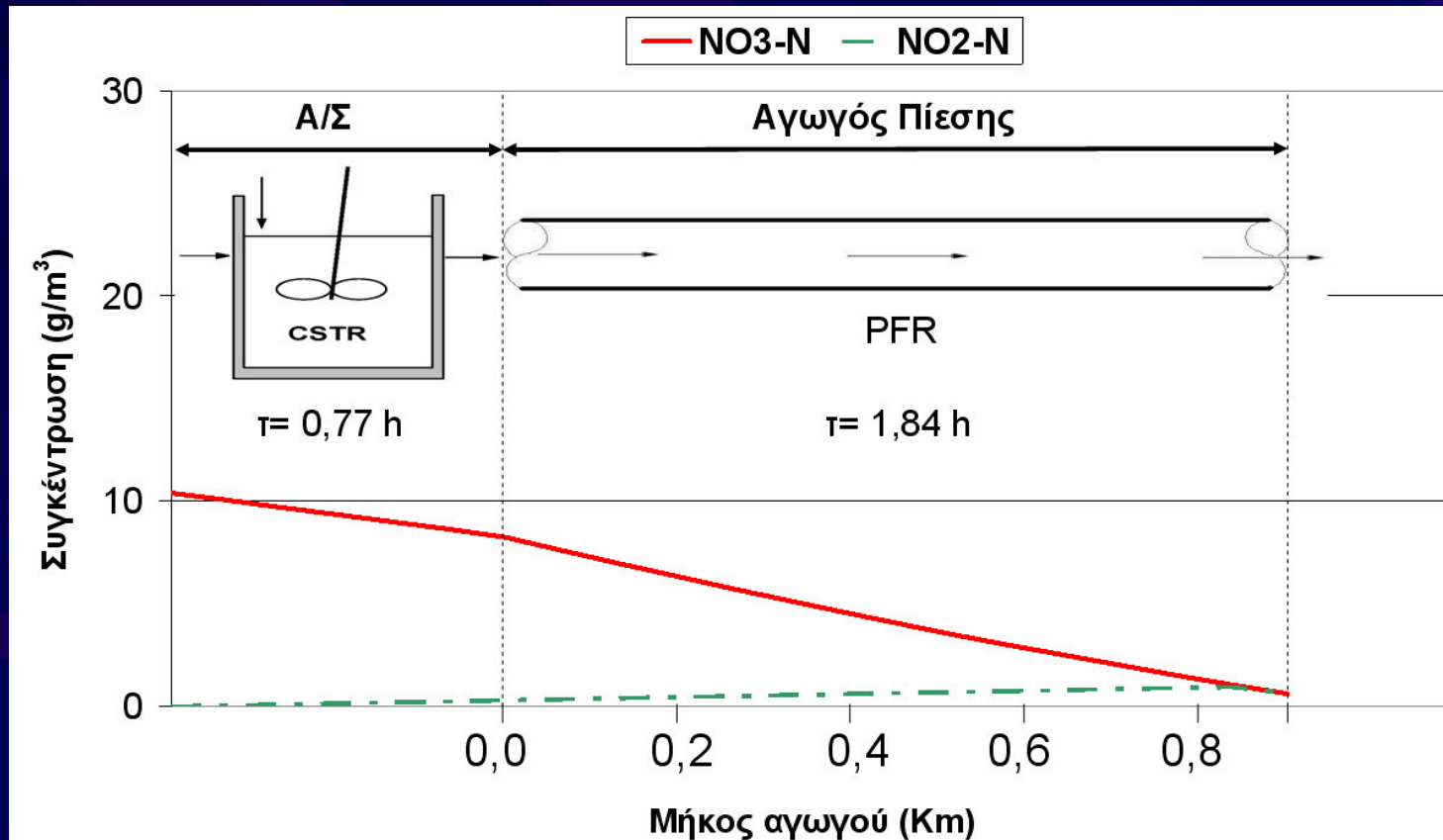
---

Υδραυλική παροχή λυμάτων (m <sup>3</sup> /h)	47
Θερμοκρασία (°C)	27,5
Αριθμός αντλιοστασίων	1
Όγκος αντλιοστασίου (m <sup>3</sup> )	36,0
Μήκος αγωγού (Km)	0,874
Διάμετρος αγωγού (mm)	355
Συγκέντρωση θειούχου στο σημείο δοσομέτρησης (g/m <sup>3</sup> )	0,0
Επιθυμητή συγκέντρωση NOx-N στην έξοδο του δικτύου (g/m <sup>3</sup> )	1,0
Συγκέντρωση νιτρικού στην δεξαμενή δοσομέτρησης (KgNO <sub>3</sub> -N/m <sup>3</sup> )	8,75

---

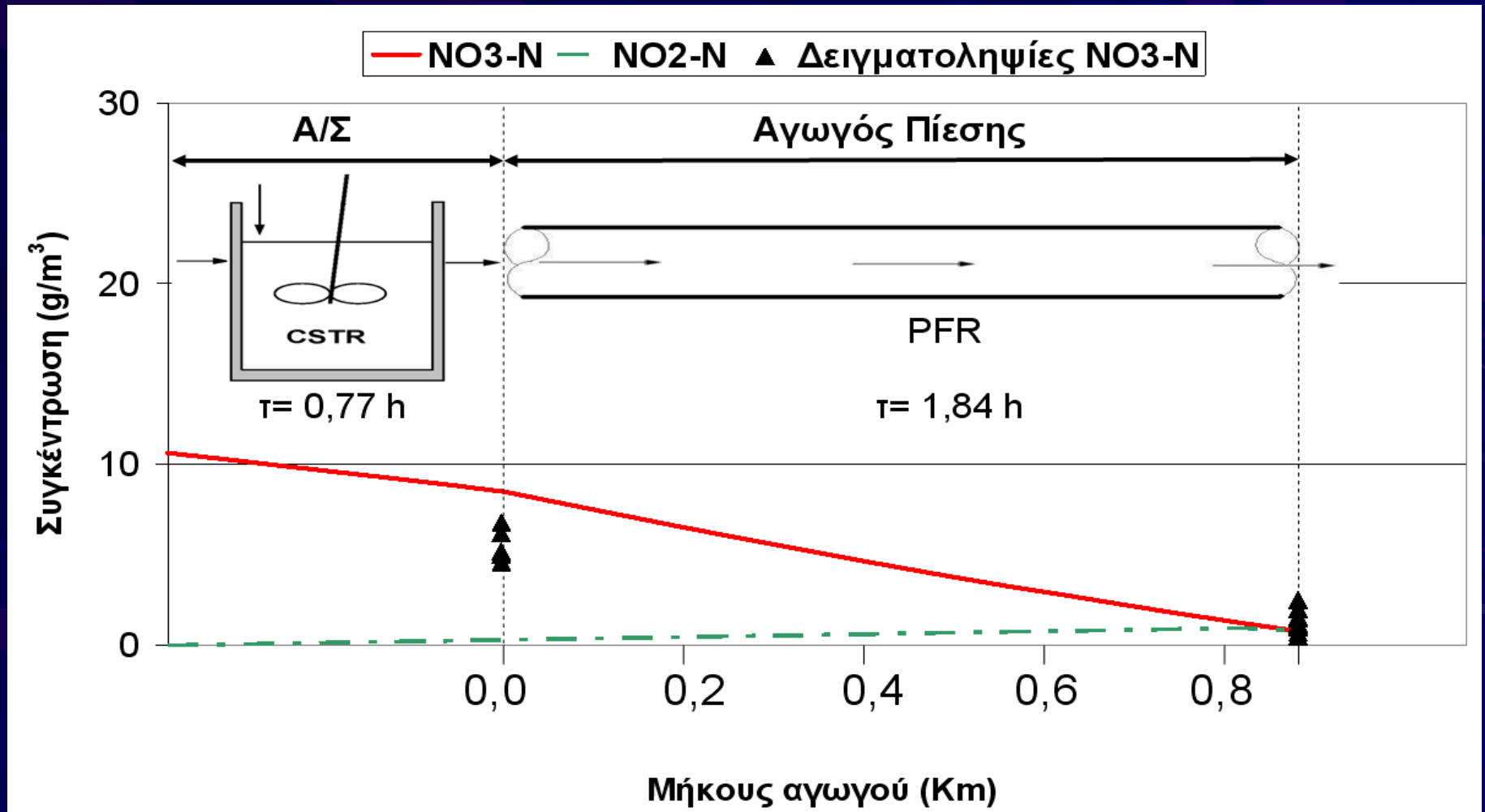
# Προσομοίωση συνθηκών Δικτύου αστικών λυμάτων Παληού

- ✓ Με βάση τις δειγματοληψίες, η προτεινόμενη δόσομέτρηση πρέπει να είναι 0,3-0,5 KgNO<sub>3</sub>-N/h.
- ✓ Το μοντέλο προβλέπει ως βέλτιστη δόσομέτρηση 0,49 KgNO<sub>3</sub>-N/h.



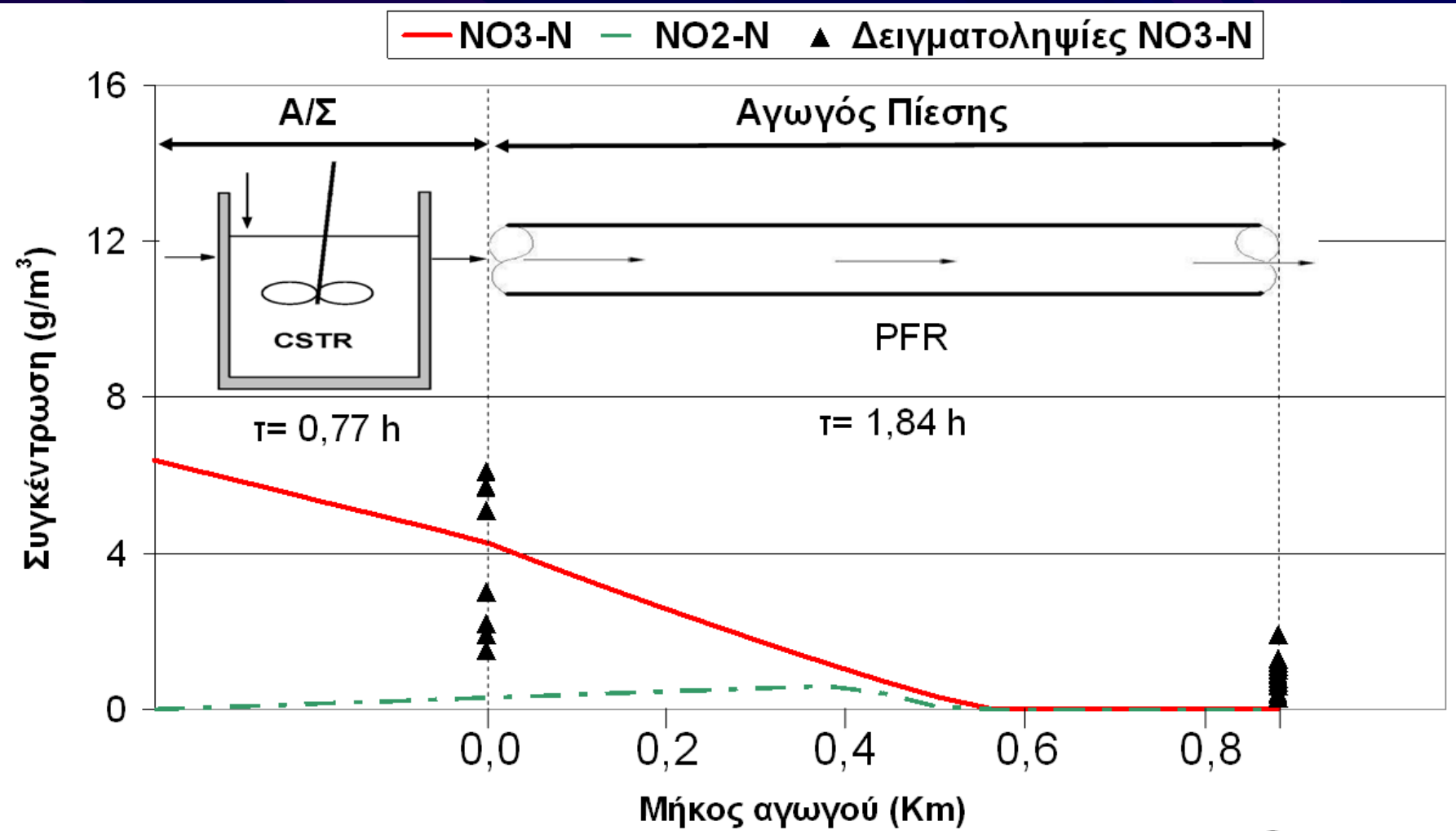
# Σύγκριση προσομοίωσης ομοιώματος και δειγματοληψιών (Δίκτυο Παληού)

0,5 KgNO<sub>3</sub>-N/h



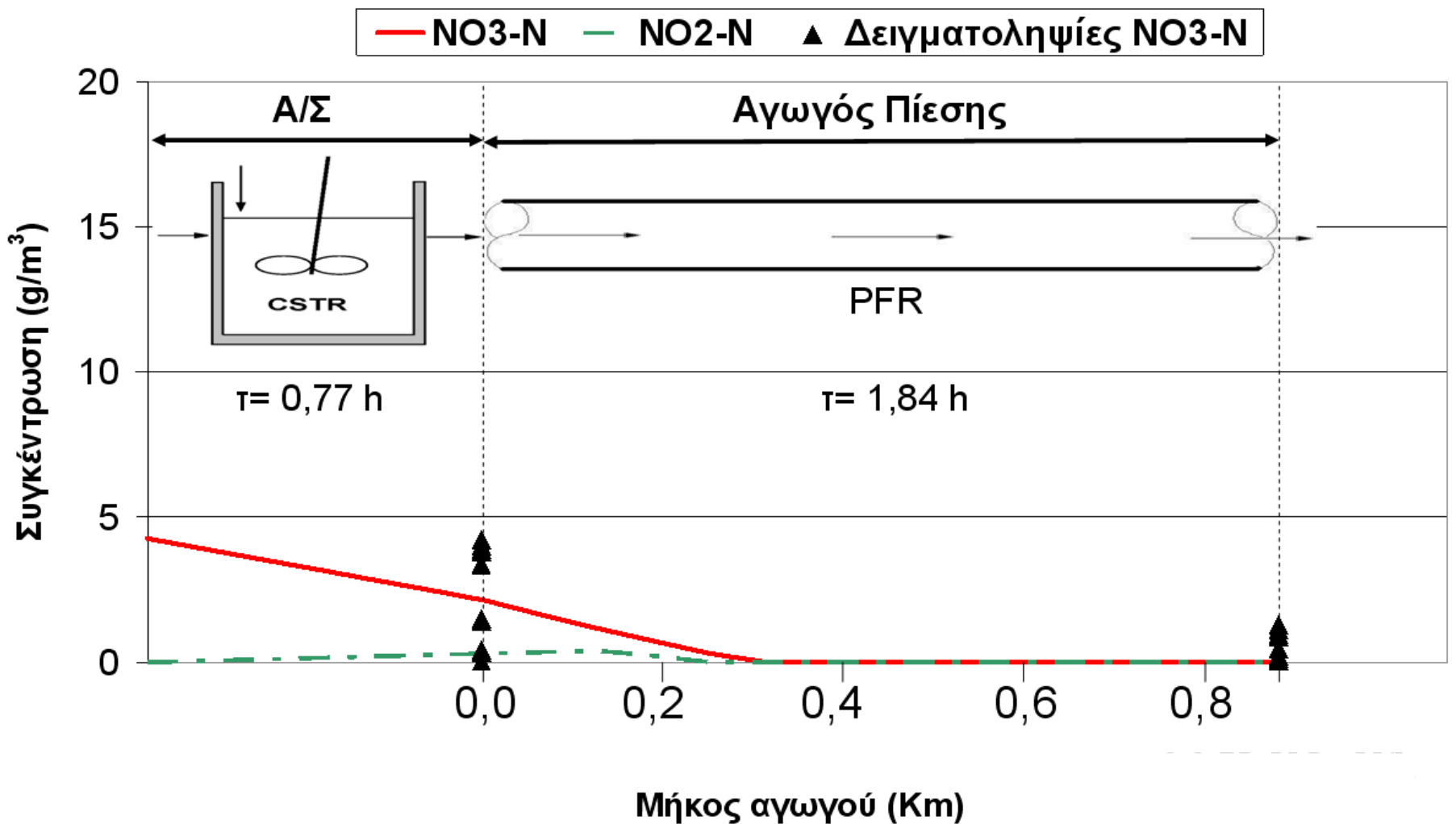
# Σύγκριση προσομοίωσης ομοιώματος και δειγματοληψιών (Δίκτυο Παληού)

0,3 KgNO<sub>3</sub>-N/h



# Σύγκριση προσομοίωσης ομοιώματος και δειγματοληψιών (Δίκτυο Παληού)

0,2 KgNO<sub>3</sub>-N/h





# Συμπεράσματα

- ✓ Το μαθηματικό ομοίωμα που αναπτύχθηκε προσδιορίζει με ακρίβεια την βέλτιστη δοσομέτρηση νιτρικού.
- ✓ Επίσης, προσεγγίζει ικανοποιητικά τις μεταβολές νιτρικού σε δίκτυα που αποτελούνται από αντλιοστάσια και αγωγούς πίεσης.
- ✓ Σε γενικές γραμμές, λόγω των αυστηρά αναερόβιων συνθηκών που θεωρεί, προσδιορίζει ελαφρώς υψηλότερους ρυθμούς απονιτροποίησης και, επομένως, υψηλότερες δοσομετρήσεις νιτρικού.



# Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Διαχείρισης & Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων

Παρουσίαση Διδακτορικής Διατριβής

**Έλεγχος Δυσοσμίας σε Δίκτυα Αστικών Λυμάτων  
με Προσθήκη Νιτρικού**