

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ ΜΕΣΩ ΝΙΤΡΩΔΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΑΠΟΝΙΤΡΩΔΟΠΟΙΗΣΗΣ

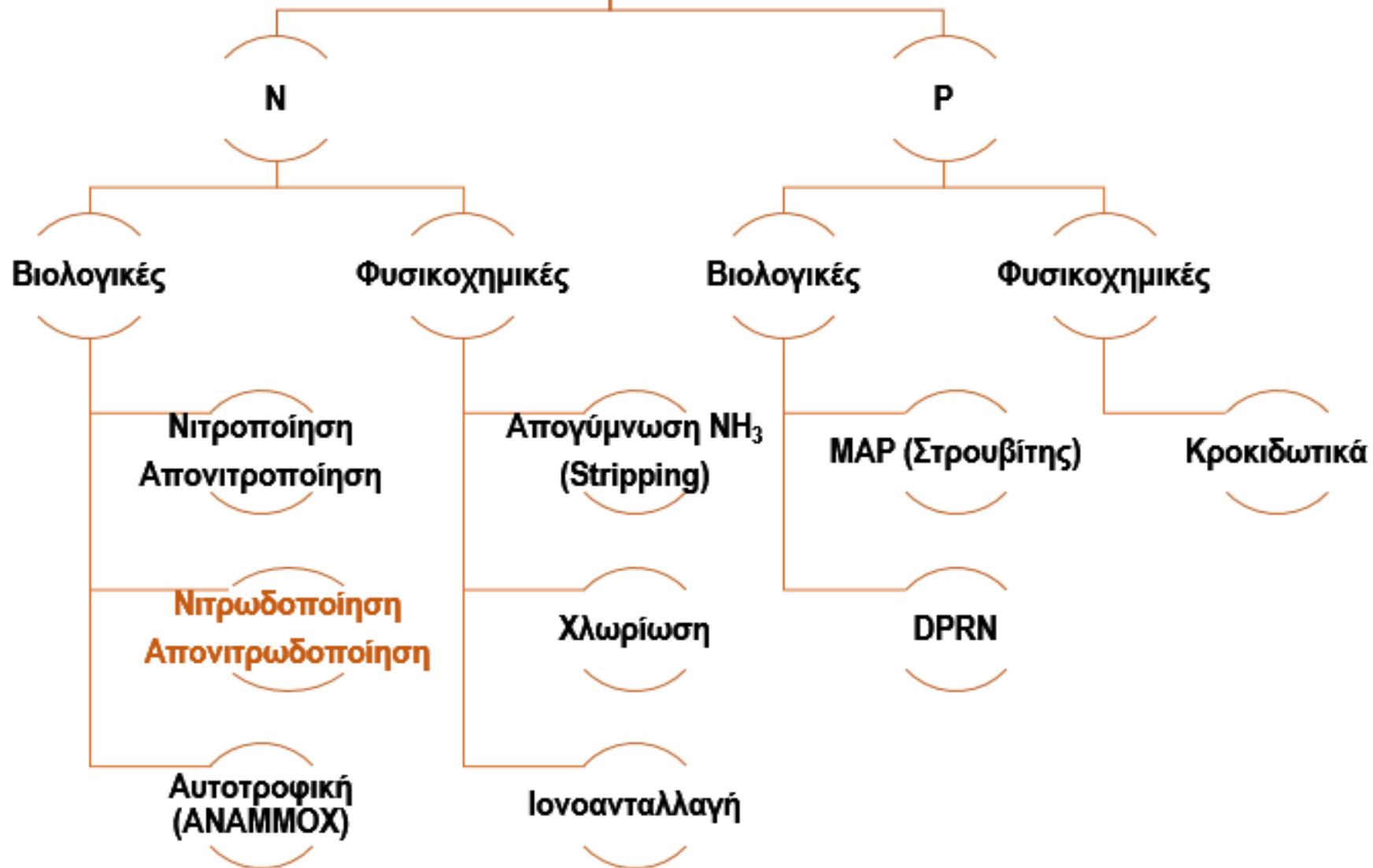
Βέργου Θεοδότη

Επιβλέπων: Δ. Μαμάης, Αναπληρωτής Καθηγητής

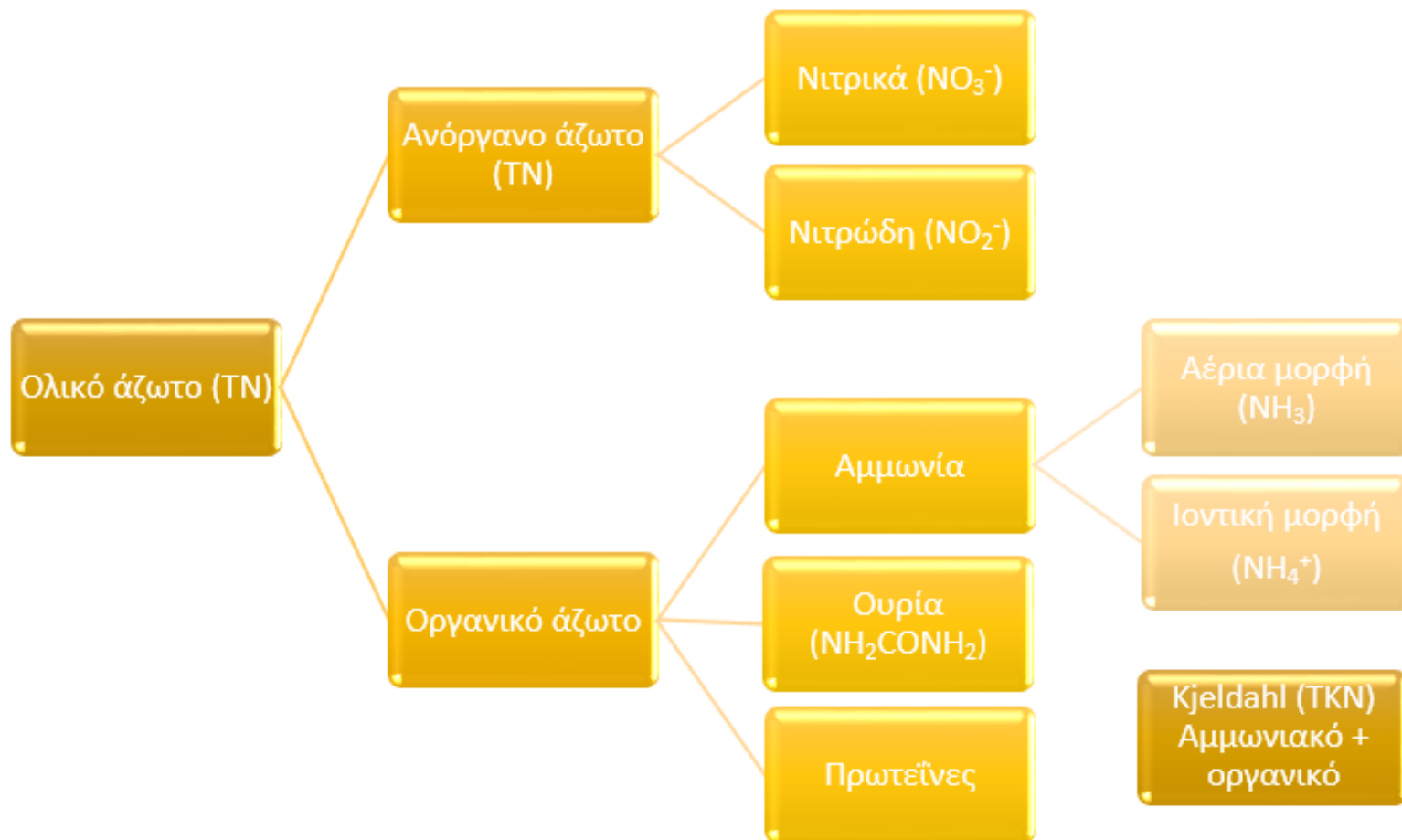
Αθήνα, 04-11-15



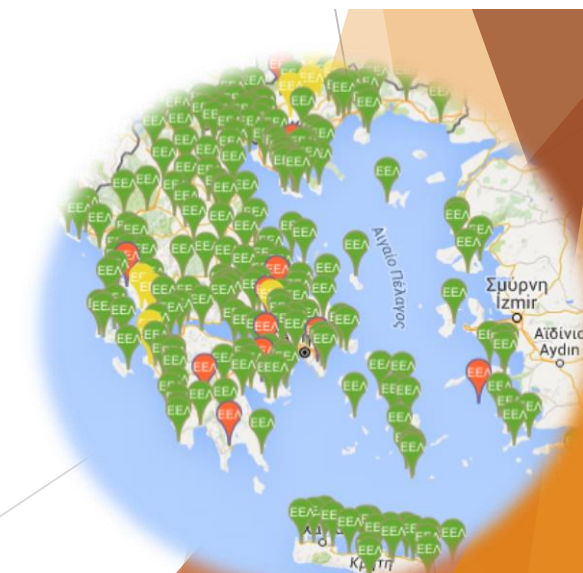
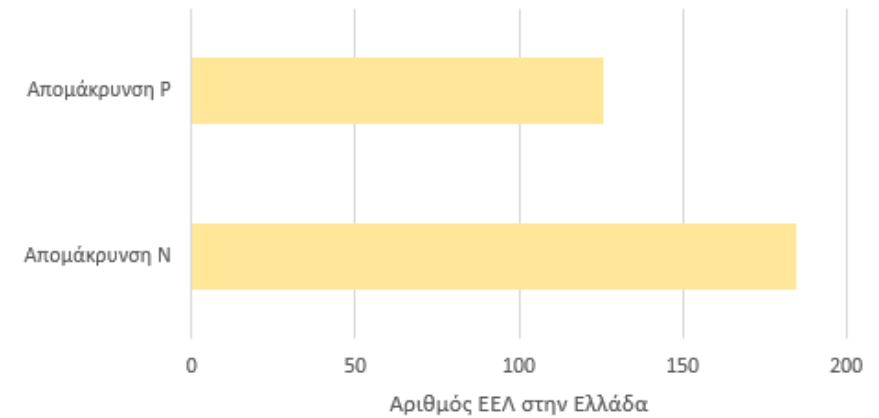
Μέθοδοι απομάκρυνσης Θρεπτικών στοιχείων



Επεξεργασία λυμάτων & στραγγιδίων (ως προς το άζωτο) με στόχο τη μετατροπή της οργανικής σε ανόργανη μορφή



Απομάκρυνση θρεπτικών από τα λύματα



Στραγγίδια ΕΕΛ από:

- ▶ **Αφυδάτωση της Ιλύος**
- ▶ **Πάχυνση της Α' Βάθμιας Ιλύος**
- ▶ Πάχυνση της Περίσσειας Ιλύος
- ▶ Ξήρανση της Ιλύος



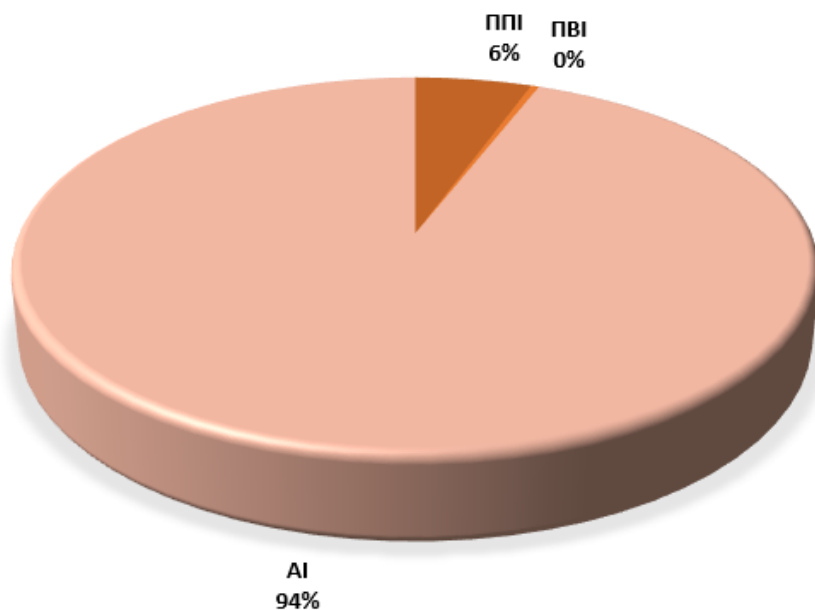
Αποτελούν το 1% της συνολικής ροής μιας ΕΕΛ
Φορτίο αζώτου 10-30% του συνολικού μιας ΕΕΛ

Απομάκρυνση αζώτου από τα στραγγίδια της:

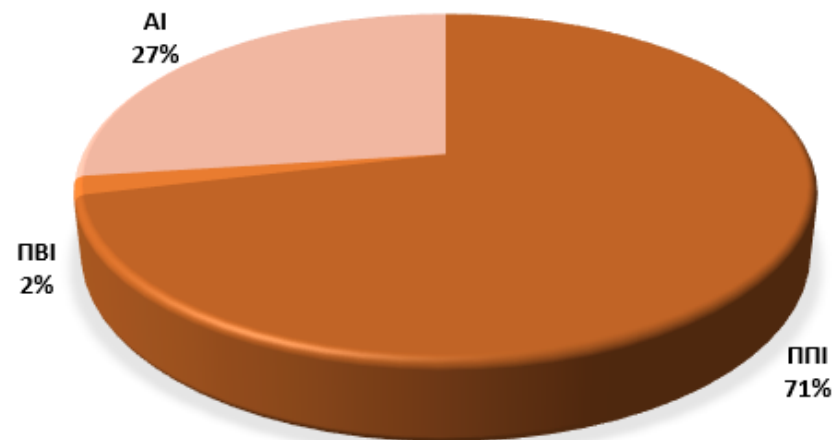
- ▶ Αφυδάτωσης της Ιλύος
- ▶ Πάχυνσης της Α΄ Βάθμιας Ιλύος

Τα στραγγίδια της Α΄ Βάθμιας Πάχυνσης λειτουργούν ως πηγή οργανικού άνθρακα κατά την επεξεργασία.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ NH₄-N ΣΤΑ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΑ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΑ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΑ



Nitritation
denitritation

short-cut
nitrification
denitrification

nitrogen removal
over nitrite

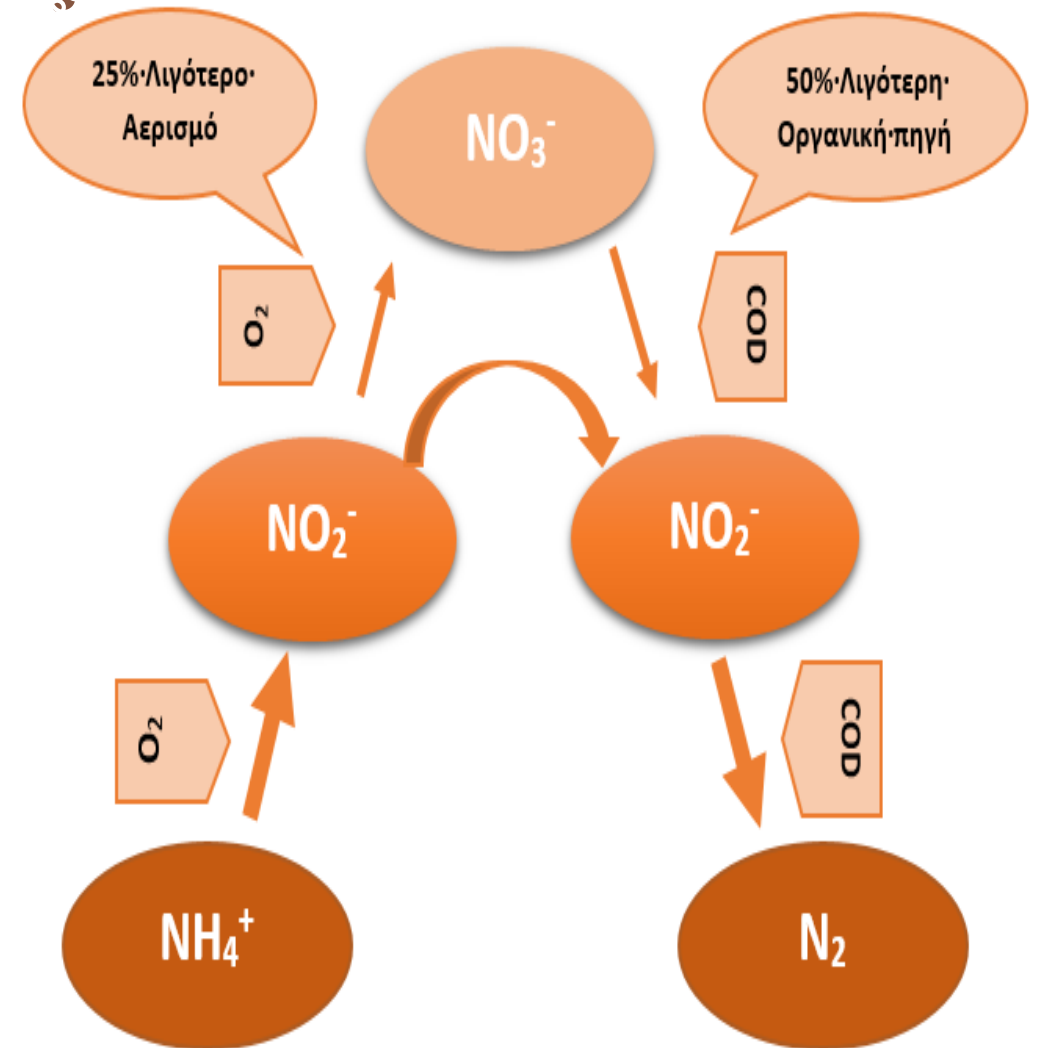
Νιτρωδοποίηση – απονιτρωδοποίηση στην επεξεργασία στραγγιδίων

Νιτροποίηση: νιτρωδοποίηση & νιτρικοποίηση

Απονιτροποίηση: απονιτρωδοποίηση & απονιτρικοποίηση

Η νιτρωδοποίηση – απονιτρωδοποίηση επιτυγχάνει:

- 90-95% απομάκρυνση N
- 25% εξοικονόμηση O₂
- 50% μειωμένη ζήτηση προστιθέμενης πηγής C
- 75% μείωση της παραγόμενης βιομάζας
- Αύξηση ρυθμού απονιτρωδοποίησης κατά 63%
- Σύστημα ευέλικτο με start – up συνήθως διάρκειας 3 εβδομάδων
- Εμβολιασμός αντιδραστήρα από κεντρική μονάδα επεξεργασίας



Τεχνολογίες απομάκρυνσης αζώτου στα στραγγίδια

- ▶ Αντιδραστήρες συνεχούς ροής CSTR
- ▶ Αντιδραστήρες διακοπτόμενου έργου SBR

- ▶ Αντιδραστήρες SHARON
- ▶ Αντιδραστήρες ANAMMOX
- ▶ Αντιδραστήρες Nitritation – ANAMMOX
- ▶ Αντιδραστήρες SHARON – ANAMMOX
- ▶ Αντιδραστήρες Deammonification (DEMON)
- ▶ Αντιδραστήρες DEAMOX
- ▶ Αντιδραστήρες Bio –Augmentation (INTPI, BAR, BABE)
- ▶ Αντιδραστήρες CANON
- ▶ Αντιδραστήρες OLAND

Νιτρωδοποίηση – Απονιτρωδοποίηση VS ANAMMOX

ANAMMOX

- 50% αμμωνιακού οξειδώνεται σε νιτρώδες άζωτο
- 57% εξοικονόμηση O₂
- Χωρίς προσθήκη πηγής C
- 80% μείωση της παραγόμενης βιομάζας

ΟΜΩΣ:

- start-up μεγάλης διάρκειας (5 μηνών έως και μερικών ετών χωρίς εμβολιασμό)
- Εμβολιασμός από αντιδραστήρες ίδιου τύπου σε μεγάλη απόσταση από την Ελλάδα

Παρεμπόδιση δράσης μικροοργανισμών νιτροποίησης - απονιτροποίησης

- ▶ Νιτρωδοποίηση: βακτήρια AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria)
- ▶ Νιτρικοποίηση: βακτήρια NOB (Nitrite oxidizing bacteria)

Η ανάπτυξη των AOB και NOB παρεμποδίζεται λόγω FA (NH_3), FNA (HNO_2).

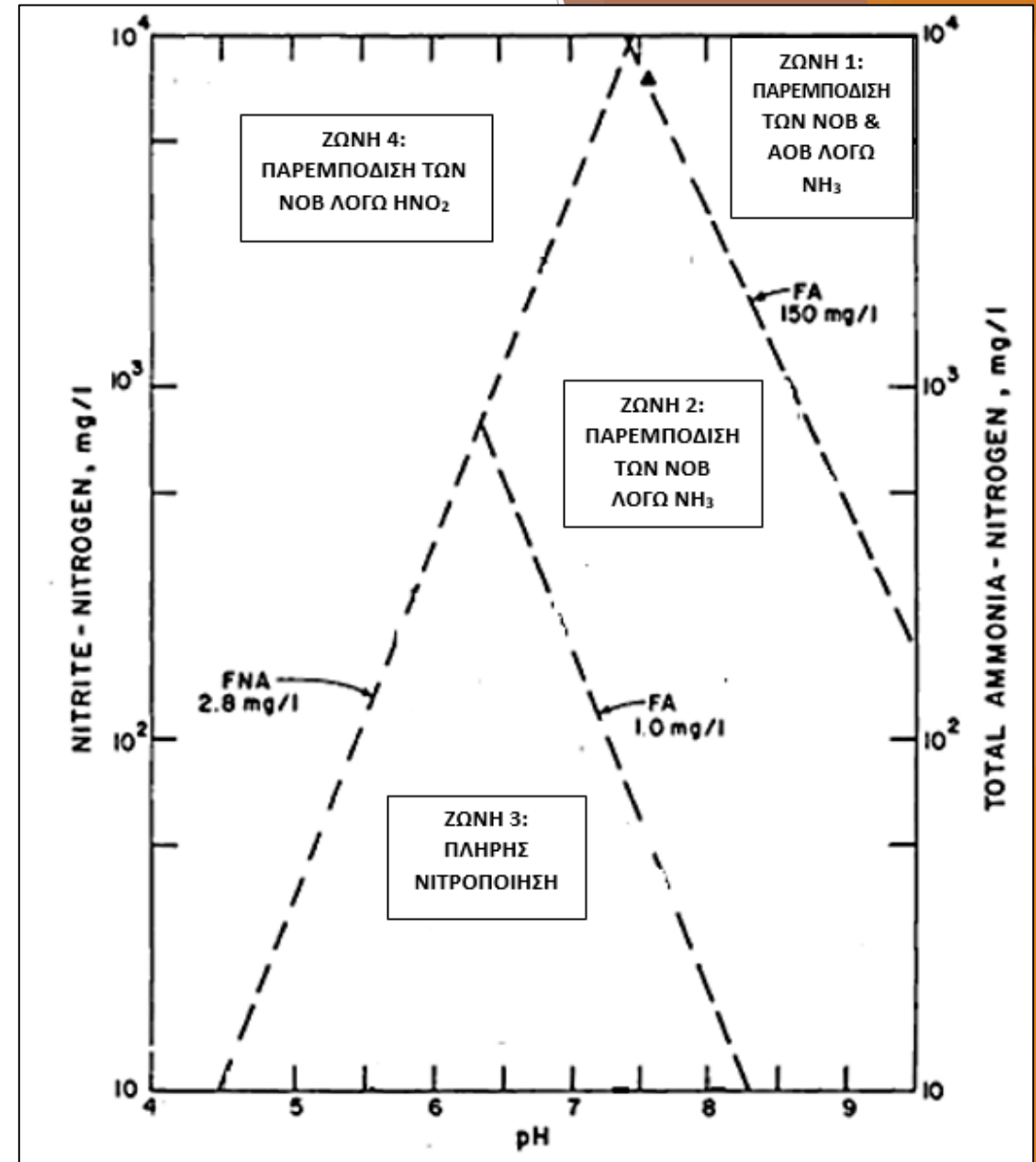
Αναχαίτηση NOB:

$\text{NH}_3 = 0.1-1 \text{ mg/l}$ και $\text{HNO}_2 > 2.8 \text{ mg/l}$

Αναχαίτηση NOB + AOB:

$\text{NH}_3 = 10-150 \text{ mg/l}$

Τα χαμηλότερα επίπεδα αναχαίτησης των NOB οδηγούν στη συσσώρευση νιτρωδών (NO_2^-) (νιτρωδοποίηση).



Ταχύτητα ανάπτυξης των AOB (Παράμετροι που επιδρούν στη νιτροδοποίηση-απονιτροδοποίηση)

$$\mu_{AOB} = \mu_{AOBm}^{20} \cdot \theta^{(T-20)} \cdot \frac{S_{NH_4-N}}{K_{NH_4-N} + S_{NH_4-N}} \cdot \frac{K_{I,AOB}}{K_{I,AOB} + S_{NH_3}} \cdot \frac{DO}{K_{O,AOB} + DO} \cdot \frac{S_{ALK}}{K_{ALK} + S_{ALK}}$$

Επίδραση τροφής

Επίδραση διαλυμένου οξυγόνου

Επίδραση θερμοκρασίας

Έκφραση της παρεμπόδισης

Επίδραση αλκαλικότητας (pH)

Από την ταχύτητα ανάπτυξης και με ειδική φθορά $b_H = 0.06d^{-1}$ μέσω της λειτουργικής εξίσωσης προκύπτει ο χρόνος παραμονής θ των AOB.

Στοιχεία σχεδιασμού

- ▶ Πληθυσμός: 1.000.000 ισοδύναμοι κάτοικοι
- ▶ BOD = 60 gr/μόνιμο κάτοικο/ημέρα
- ▶ COD = 120 gr/μόνιμο κάτοικο/ημέρα.
- ▶ Ολικά αιωρούμενα στερεά TSS = 75 gr/μόνιμο κάτοικο/ημέρα
- ▶ Ολικό άζωτο = 12 gr/μόνιμο κάτοικο/ημέρα
- ▶ Ολικό φώσφορο = 2.5 gr/μόνιμο κάτοικο/ημέρα.
- ▶ pH = 8
- ▶ Θερμοκρασία στραγγιδίων 20° C
- ▶ Θερμοκρασία λυμάτων 21° C

Χαρακτηριστικά στραγγιδίων από Αφυδάτωση και Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Παράμετροι	Στραγγίδια από ΠΠΙ	Στραγγίδια από ΑΙ	Τελικά Στραγγίδια
Παροχή Q (m ³ /d)	2 241	2 166	4 407
COD (mg/l)	1 712	1 077	1 400
BOD ₅ (mg/l)	1 113	700	910
S _{NH4-Νεισόδου} (mg/l)	71	1 207	629
TSS (mg/l)	3 137	1 326	2 247
Αλκαλικότητα (mg CaCO ₃ /l)	698	4 750	2 690

Συστήματα συνεχούς ροής επεξεργασίας στραγγιδίων (Βασικά στοιχεία διαστασιολόγησης)



Continuous Stirred
Tank Reactors
CSTR

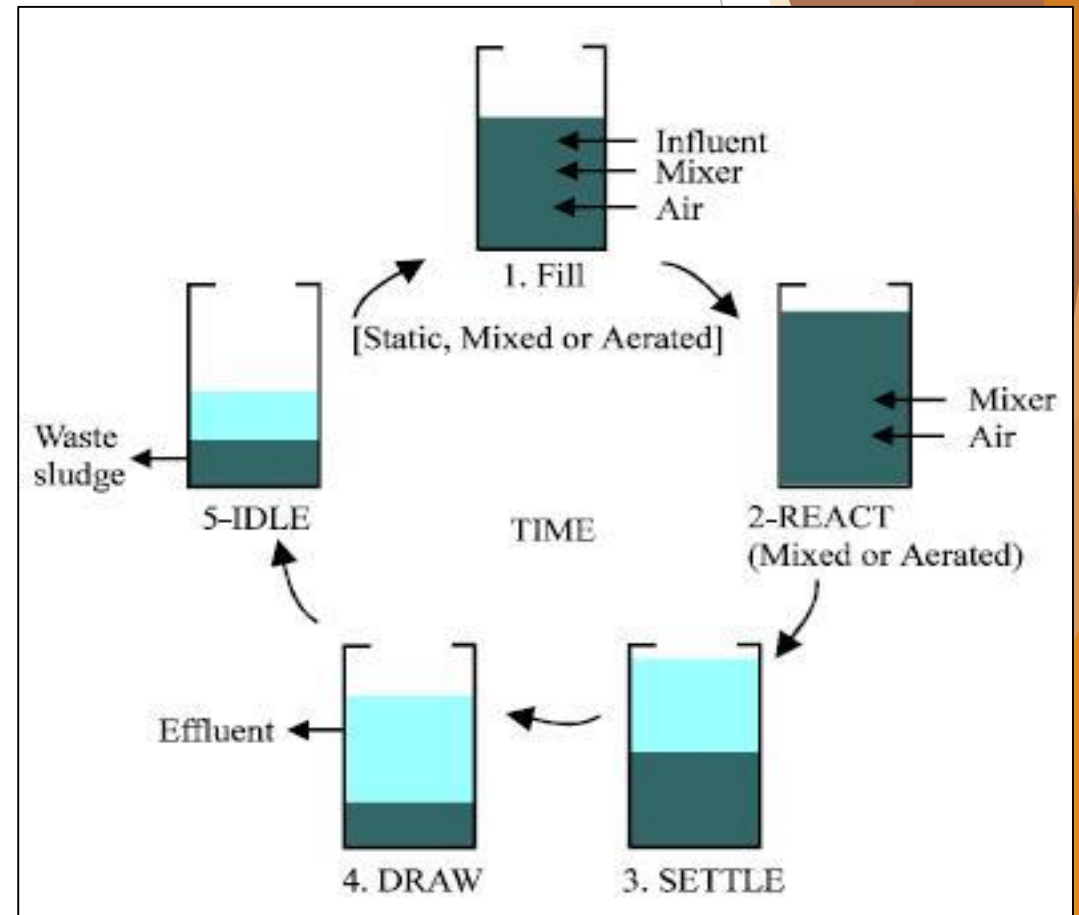
- ▶ Αερόβια δεξαμενή (νιτρωδοποίηση)
- ▶ Ανοξική δεξαμενή (απονιτρωδοποίηση)
- ▶ Δεξαμενή Τελικής Καθίζησης (ΔΤΚ)
- ▶ Συστήματα επανακυκλοφορίας (εξωτερικής για την ιλύ και εσωτερικής αποκλειστικά για τα νιτρώδη)

Συστήματα διακοπτόμενου έργου ή εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας (Βασικά στοιχεία διαστασιολόγησης)

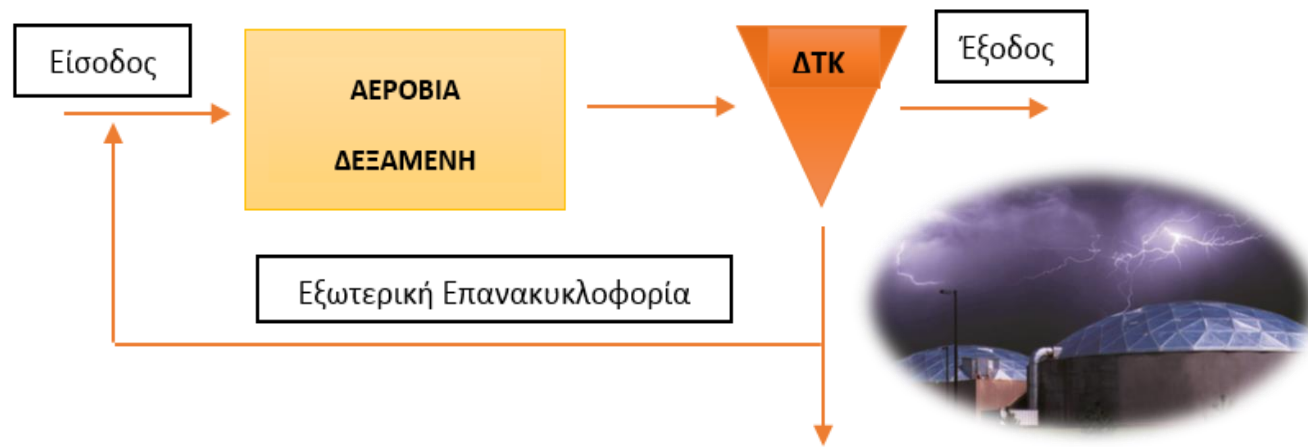
Sequencing Batch Reactors

SBR

- ▶ Αριθμός κύκλων λειτουργίας σε ένα 24ώρο ($m=2$)
- ▶ Σταθερός όγκος (V_s)
- ▶ Όγκος πλήρωσης
- ▶ $T_{total} = 12h$
- ▶ ο χρόνος πλήρωσης $t_f=0.5h$
- ▶ ο χρόνος καθίζησης $t_s=1h$
- ▶ ο χρόνος εκκένωσης $t_D=0.5h$
- ▶ Στο στάδιο αντίδρασης παρουσιάζεται εναλλαγή αερόβιων ($T_{αερ}$) και ανοξικών ($T_{ανοξ}$) συνθηκών.
- ▶ Ο χρόνος αντίδρασης $t_R = T_{effective} = T_{αερ} + T_{ανοξ} = 22h$



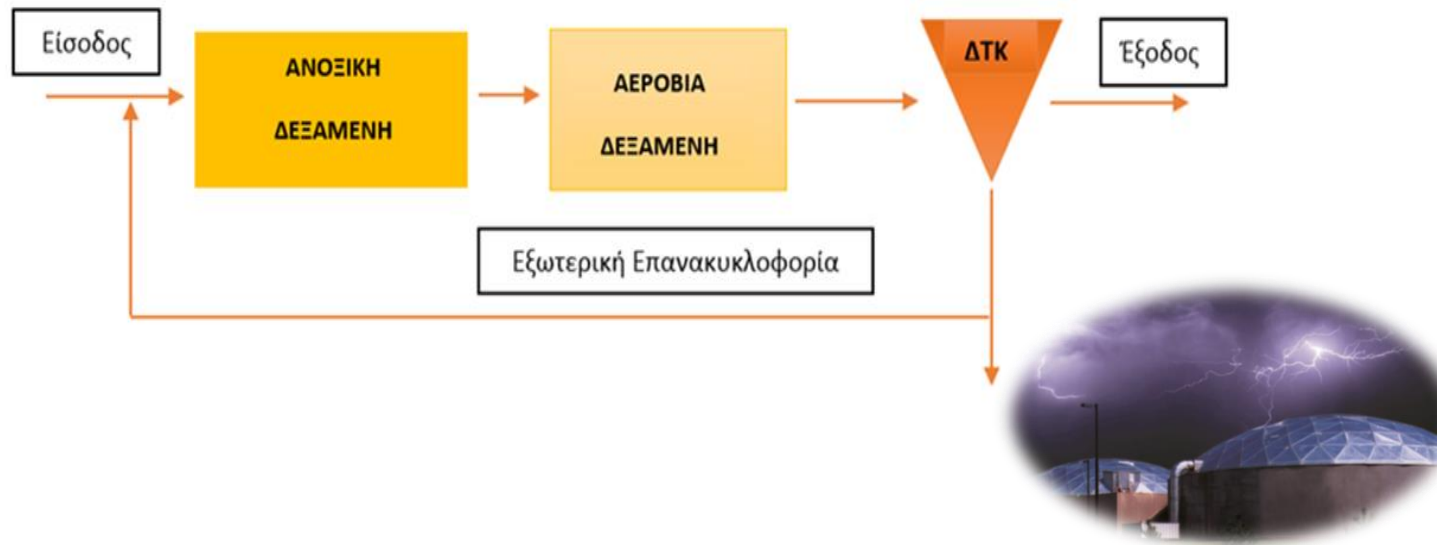
Σενάριο Πρώτο



- ▶ Επεξεργασία στραγγιδίων Αφυδάτωσης Ιλύος
- ▶ Μόνο νιτρωδοποίηση
- ▶ Νιτρωδοποίηση (μετατροπή σε νιτρώδη) μόνο της μισής ποσότητας του αμμωνιακού αζώτου της εισόδου

Παράμετροι	Μονάδες	Τιμές
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην είσοδο $S_{NH4-N, εισ}$	mg/l	1 207
Συγκέντρωση νιτρωδών στην έξοδο $S_{NO2-N, εξ}$	mg/l	603.50
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο $S_{NH4-N, εξ}$	mg/l	603.50

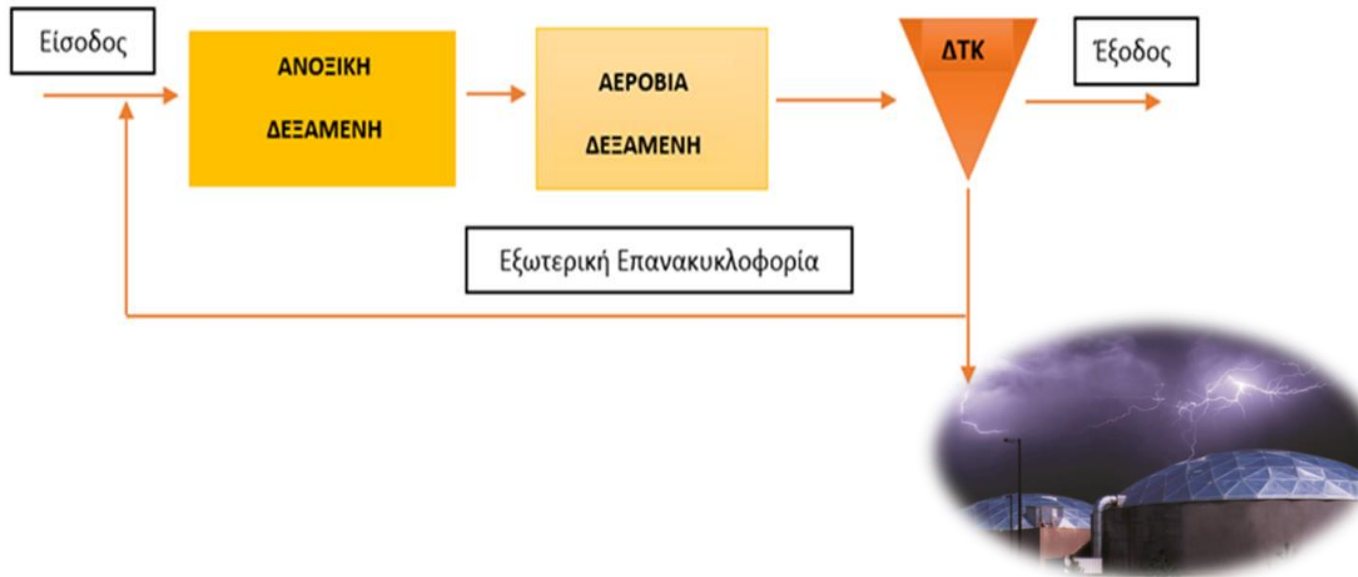
Σενάριο Δεύτερο



- ▶ Επεξεργασία στραγγιδίων Αφυδάτωσης Ιλύος
- ▶ Νιτρωδοποίηση - απονιτρωδοποίηση
- ▶ Κατά τη νιτρωδοποίηση, μετατροπή σε νιτρώδη μόνο της μισής ποσότητας του αμμωνιακού αζώτου της εισόδου

Παράμετροι	Μονάδες	Τιμές
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην είσοδο $S_{NH4-N, εισ}$	mg/l	1 207
Συγκέντρωση νιτρωδών στην είσοδο αερόβιας $S_{NO2-N, εισ}$	mg/l	1 034.36
Συγκέντρωση νιτρωδών στην έξοδο $S_{NO2-N, εξ}$	mg/l	603.50
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο $S_{NH4-N, εξ}$	mg/l	172.64

Σενάριο Τρίτο

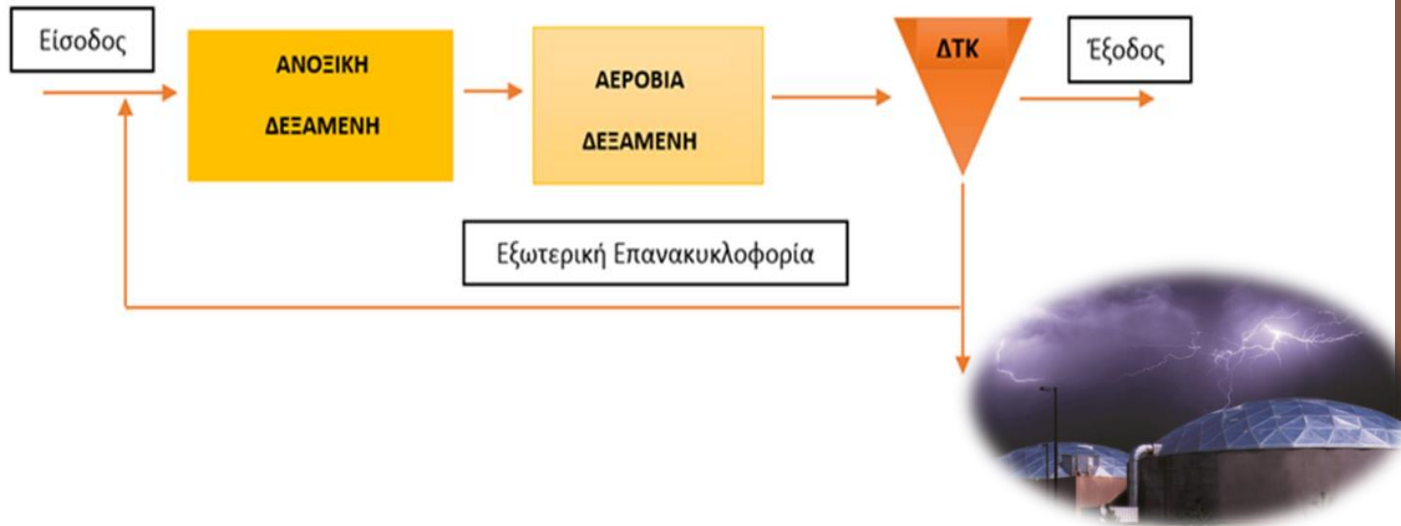


- ▶ Επεξεργασία στραγγιδίων Αφυδάτωσης Ιλύος και Πάχυνσης Πρωτοβάθμιας Ιλύος
- ▶ Νιτρωδοποίηση – απονιτρωδοποίηση
- ▶ Διατήρηση φορτίων αμμωνιακού αζώτου και νιτρικών εξόδου από το δεύτερο σενάριο
- ▶ Κατά τη νιτρωδοποίηση, μετατροπή σε νιτρώδη μόνο η μισή ποσότητα του αμμωνιακού αζώτου της εισόδου

Παράμετροι	Μονάδες	Τιμές
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην είσοδο $S_{NH4-N, \epsilon\iota\sigma}$	mg/l	629
Συγκέντρωση νιτρικών στην είσοδο αερόβιας $S_{NO2-N, \epsilon\iota\sigma}$	mg/l	892.68
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο $S_{NH4-N, \epsilon\chi}$	mg/l	84.85

Στόχος η ελαχιστοποίηση του ανοξικού όγκου & χρόνου αντίστοιχα

Σενάριο Τέταρτο



- ▶ Επεξεργασία στραγγιδίων Αφυδάτωσης Ιλύος και Πάχυνσης Πρωτοβάθμιας Ιλύος
- ▶ Νιτρωδοποίηση – απονιτρωδοποίηση
- ▶ Μηδενική συγκέντρωση των νιτρικών στην έξοδο
- ▶ Ελάχιστη συγκέντρωση FA = 5 mg/l στην έξοδο για αναχαίτηση NOB

Παράμετροι	Μονάδες	Τιμές
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην είσοδο $S_{\text{NH}_4\text{-N}, \text{εισ}}$	mg/l	629
Συγκέντρωση νιτρικών στην είσοδο αερόβιας $S_{\text{NO}_2\text{-N}, \text{εισ}}$	mg/l	1 189.29
Συγκέντρωση νιτρικών στην έξοδο $S_{\text{NO}_2\text{-N}, \text{εξ}}$	mg/l	297
Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο $S_{\text{NH}_4\text{-N}, \text{εξ}}$	mg/l	84.24
Συγκέντρωση αμμωνίας στην έξοδο $S_{\text{NH}_3, \text{εξ}}$	mg/l	5.00

Στόχος ο μέγιστος βαθμός απομάκρυνσης του αμμωνιακού αζώτου

Εξασφάλιση αλκαλικότητας συστήματος

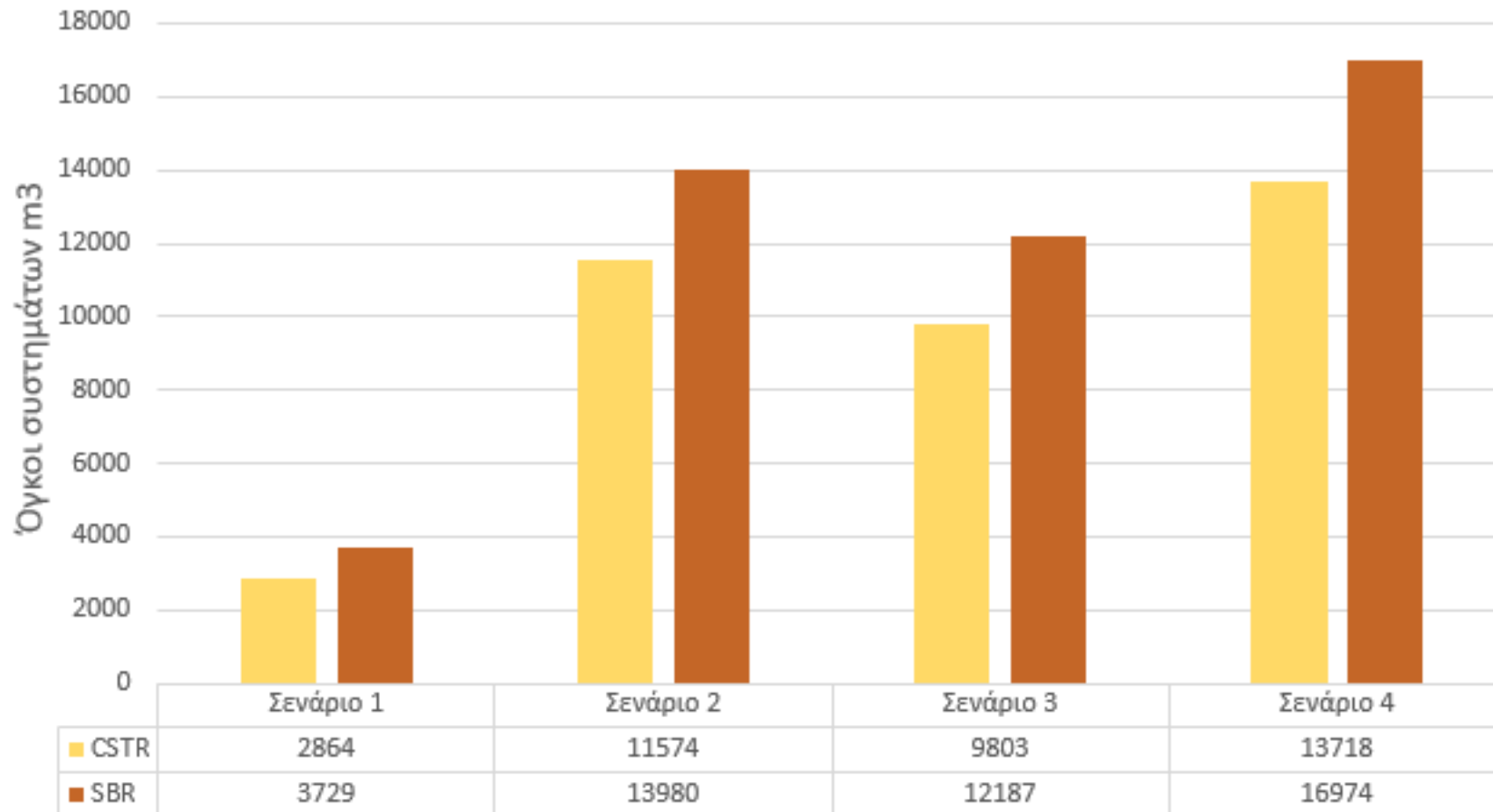
- ▶ 1 mol αμμωνιακών παράγει 2 moles κατιόντων υδρογόνου (H⁺)
- ▶ Έτσι εξουδετερώνεται 1 mol H⁺ από 1 mol αλκαλικότητας οπότε για να μείνει σταθερό το pH πρέπει να προστεθεί επιπλέον 1 mol αλκαλικότητας.
- ▶ Εναλλακτικά στο σύστημα εφαρμόζεται νιτρωδοποίηση κατά 50% του αμμωνιακού αζώτου (σταθερό pH)
- ▶ Αλκαλικότητα προστίθεται και κατά την απονιτρωδοποίηση: 1 mol NO₂⁻ δίνει 1 mol αλκαλικότητας



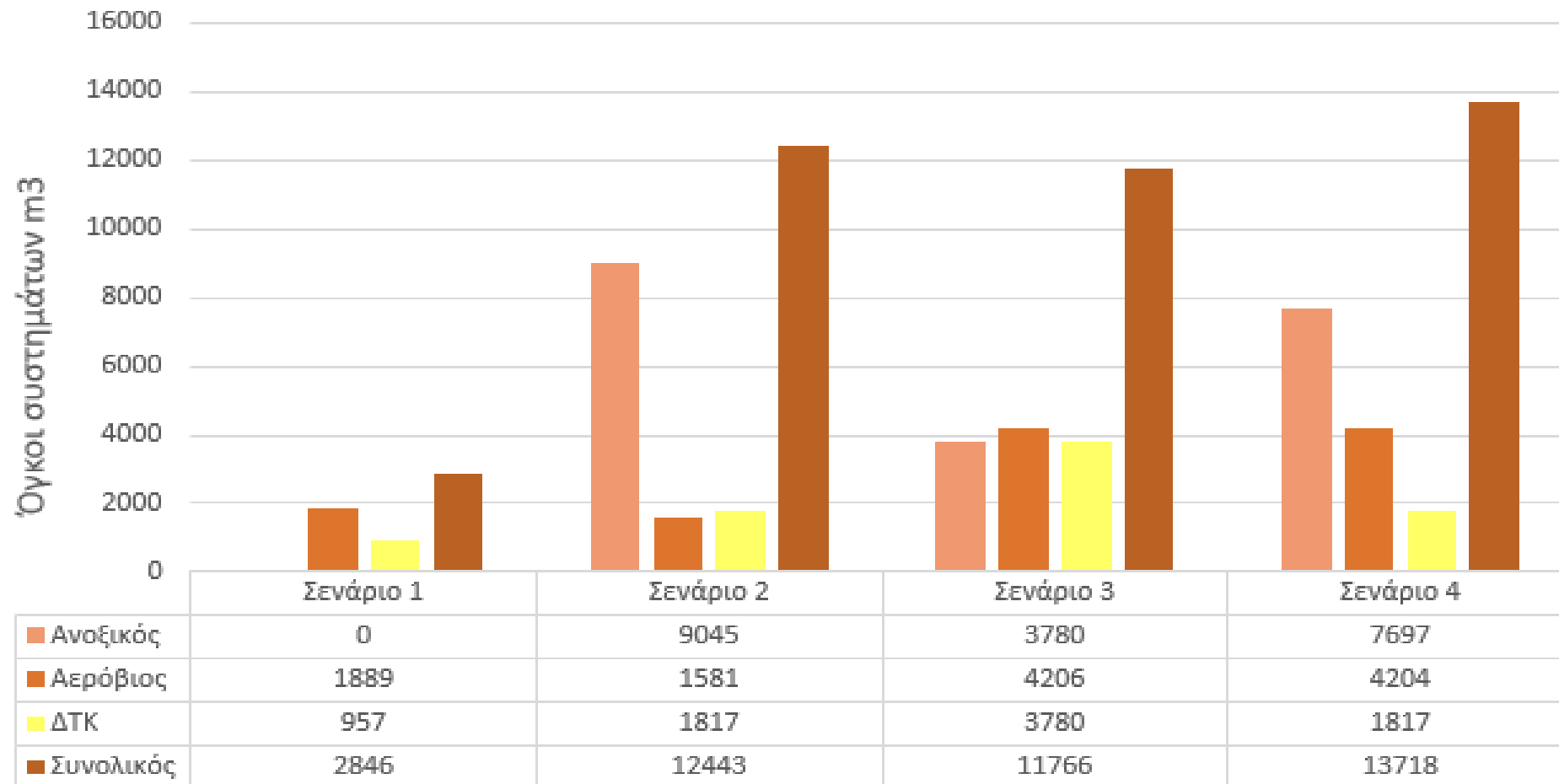
1 mol		1 mol		2 moles
86 moles		43 moles		86 moles

Ολικοί όγκοι αντιδραστήρων ανά σενάριο λειτουργίας

Μείωση των όγκων των αντιδραστήρων κατά 17% με επιλογή MLSS = 6000 mg/l



Όγκοι επιμέρους δεξαμενών αντιδραστήρα συνεχούς ροής ανά σενάριο λειτουργίας



Ζήτηση σε οξυγόνο των συστημάτων

Διάσπαση οργανικού φορτίου

Απονιτροδοποίηση

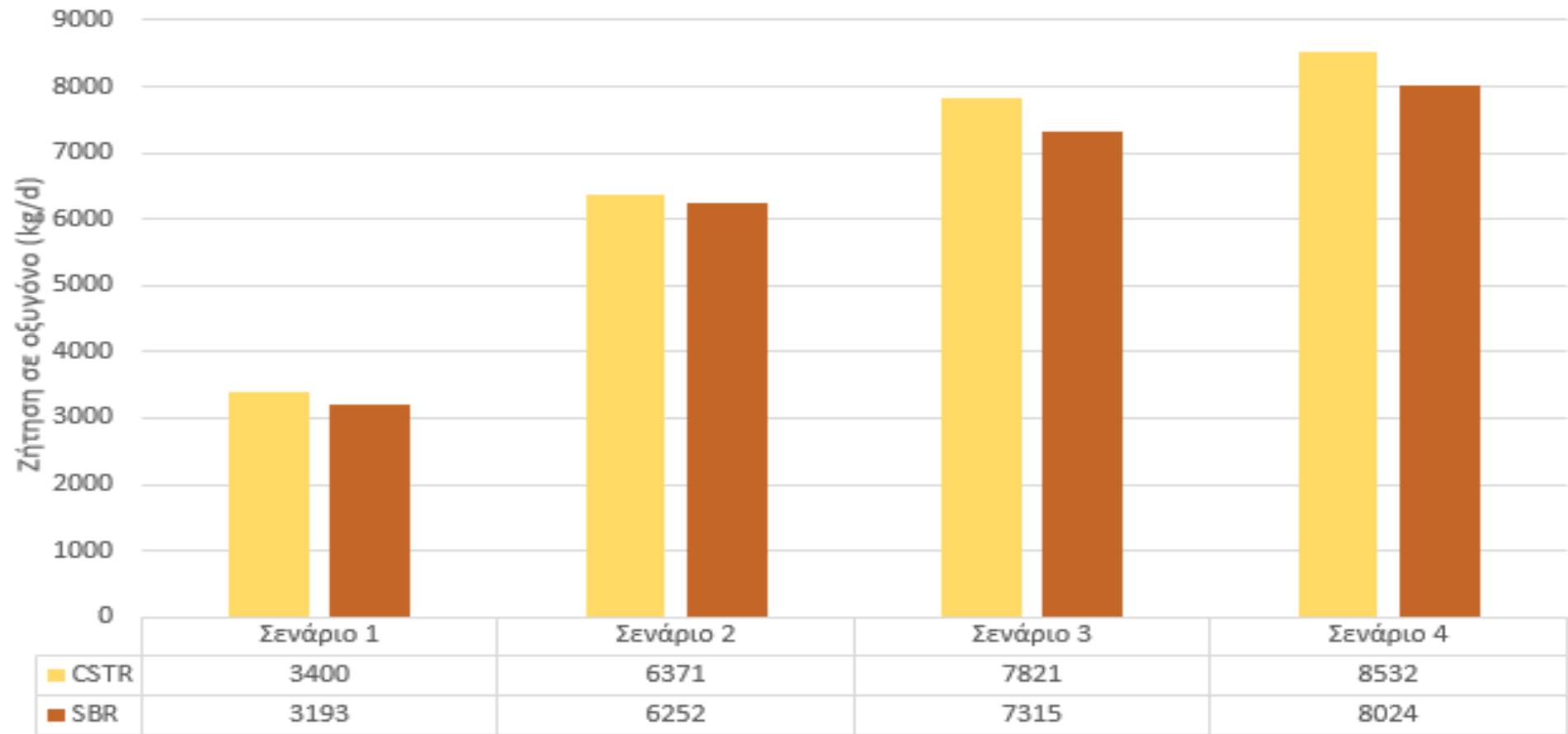
$$R = \left[f - \frac{k_e \cdot Y_H}{1 + b_H \cdot \theta_c} \right] \cdot E_H \cdot Q \cdot F_O + 3.25 \cdot Q \cdot E_n \cdot S_{NH}^o - 1.72 \cdot Q \cdot (\Delta NO_2^-)_{dn}$$

Νιτροδοποίηση

$$R = 0.59 \cdot E_H \cdot Q \cdot F_O + 3.25 \cdot Q \cdot E_n \cdot S_{NH}^o - 1.72 \cdot Q \cdot (\Delta NO_2^-)_{dn} + 0.024 \cdot V \cdot S \cdot R_{et}$$

Ενδογενής αναπνοή

Ζήτηση σε οξυγόνο αντιδραστήρων ανά σενάριο λειτουργίας





Τέλος παρουσίασης

Ευχαριστώ για την προσοχή σας