



ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ

**ΣΥΝΟΨΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ – ΒΙΟΜΟΡΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ
ΑΡΘΡΟΥ – ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ**

Υγρά απόβλητα

- Επίπεδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων
 - Προεπεξεργασία
 - Πρωτοβάθμια
 - Δευτεροβάθμια
 - Τριτοβάθμια
 - Προχωρημένη
- Τι περιέχεται στα υγρά απόβλητα, ώστε καθορίζει και την παρουσία των μικροοργανισμών

Υγρά απόβλητα

Ενδεικτική ορολογία:

- ❖ Βιοστερεά (Α και Β κατηγορίας)
- ❖ Μη σημειακές και σημειακές πηγές ρύπανσης
- ❖ Θρεπτικά συστατικά
- ❖ Ιλύς
- ❖ Στερεά υλικά
- ❖ Ρύποι προτεραιότητας
- ❖ Δυσκόλως αποδομήσιμα οργανικά
- ❖ Βαρέα μέταλλα
- ❖ Διαλυμένα ανόργανα συστατικά

Υγρά απόβλητα

Παράμετροι - Αναλύσεις:

- ❖ pH
- ❖ Ηλεκτρική αγωγιμότητα
- ❖ Αλκαλικότητα
- ❖ Χλωριούχα συστατικά
- ❖ BOD – COD
- ❖ TN – TKN – $\text{NH}_4^+\text{-N}$ – $\text{NO}_3^-\text{-N}$ – $\text{NO}_2^-\text{-N}$
- ❖ Βακτήρια – Πρωτόζωα – Νηματώδη
- ❖ Μέταλλα

Υγρά απόβλητα

Οργανικά συστατικά υγρών αποβλήτων:

- ❖ Τα οργανικά συστατικά αποτελούνται από συνδυασμό
 - Ανθρακα
 - Υδρογόνου
 - Οξυγόνου
 - Αζώτου
- ❖ Το οργανικό υλικό των υγρών αποβλήτων αποτελείται κυρίως από
 - Πρωτεΐνες
 - Υδατάνθρακες
 - Λίπη και έλαια
 - Ουρία

Υγρά απόβλητα

Τυπική σύσταση αστικών υγρών αποβλήτων :

- ❖ BOD
- ❖ COD
- ❖ TSS – VSS
- ❖ TKN
- ❖ Αμμωνιακό άζωτο
- ❖ Νιτρικά και νιτρώδη
- ❖ Φωσφορικά
- ❖ Αλκαλικότητα

Υγρά απόβλητα

Παράμετροι λειτουργίας βιολογικών συστημάτων:

- ❖ **SRT - Ηλικία ιλύος**
- ❖ **HRT – Υδραυλικός χρόνος παραμονής**
- ❖ **Παραγωγή βιομάζας ($P_{X,VSS}$)**

$$P_{XVSS} = A+B+C+D+E$$

A = ετερότροφη βιομάζα

B = υπολείμματα κυττάρων

C = αυτότροφη βιομάζα

D = μη βιοαποικοδομήσιμα πτητικά στερεά στην είσοδο

E = αδρανή στερεά στην είσοδο

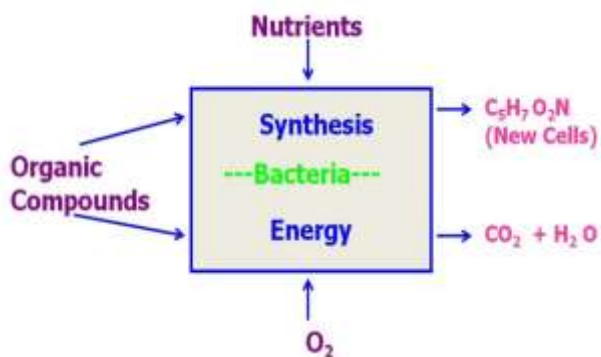
Υγρά απόβλητα

Παράμετροι λειτουργίας βιολογικών συστημάτων:

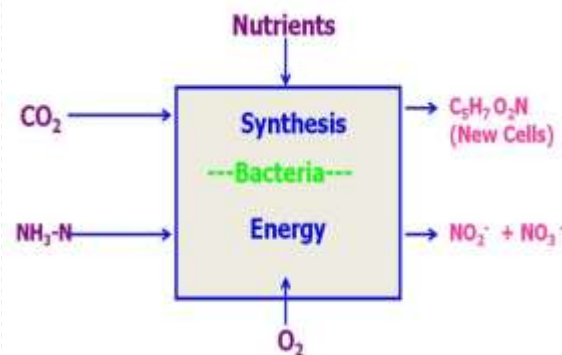
- ❖ **Απόρριψη περισσειας ιλύος (Q_w)**
- ❖ **Δείκτης όγκου ιλύος (Sludge Volume Index, SVI)**
- ❖ **Λόγος F/M**

Υγρά απόβλητα

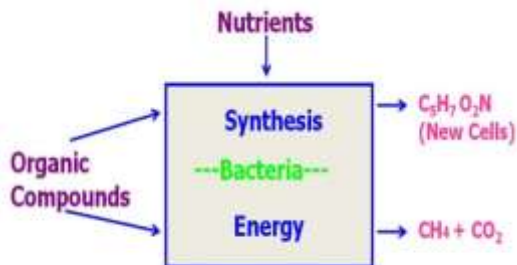
❖ Αερόβιος ετερότροφος μεταβολισμός



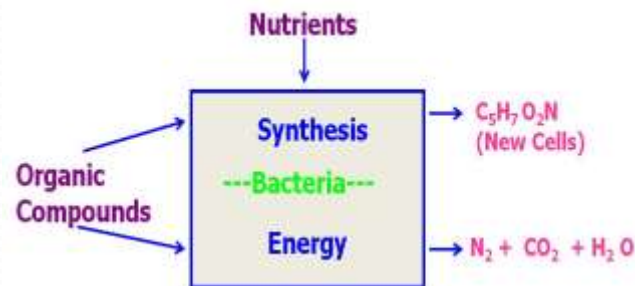
Αερόβιος αυτότροφος μεταβολισμός



❖ Αναερόβια χώνευση



Ανοξικός ετερότροφος μεταβολισμός



Υγρά απόβλητα

Τυπική σύσταση αστικών υγρών αποβλήτων :

Οι μικροοργανισμοί διασπούν βιολογικά τα συστατικά των υγρών αποβλήτων συνήθως με τη βοήθεια οξυγόνου

❖ Οργανική ύλη + μικροοργανισμοί + οξυγόνο →
νέοι μ.ο. + διοξείδιο του άνθρακα + νερό + ενέργεια

Γενικά, τα βακτήρια οξειδώνουν την οργανική ύλη για

- ❖ Την παραγωγή ενέργειας
- ❖ Την αύξηση της βιομάζας
- ❖ Να οξειδώσουν ουσίες από τους νεκρούς μ.ο.

Υγρά απόβλητα

Βέλτιστες θερμοκρασίες για τη βιολογική δραστηριότητα:

Συνήθως αυτές κυμαίνονται από 25 έως 35°C

Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται και υποθερμόφιλες συνθήκες

Η νιτροποίηση παύει σε θερμοκρασία πλησίον των 50°C

Στους 15°C, η μεθανιογένεση αναστέλλεται

Στους 5°C αναστέλλεται η οξείδωση του αζώτου

Στους 2°C ακόμη και τα χημειοετερότροφα βακτήρια μετατρέπονται σε ανενεργά.

Βιομόρια

Πρωτεΐνες – Υδατάνθρακες – Λιπαρά οξέα:

Οι ζωντανοί οργανισμοί είναι αυτόνομα, αυτοπολλαπλασιαζόμενα χημικά συστήματα.

Αποτελούνται από μια ξεχωριστή και περιορισμένη ομάδα μικρών οργανικών μορίων, που κατά βάση είναι ίδια για κάθε είδος ζώντος οργανισμού.

Οι κύριες κατηγορίες:

Σάκχαρα,

Λιπαρά οξέα

Αμινοξέα

Νουκλεοτίδια

Βιομόρια

Πρωτεΐνες – Υδατάνθρακες – Λιπαρά οξέα:

Μακρομόρια ονομάζονται γιγάντια μόρια που αποτελούνται από εκατοντάδες ή χιλιάδες άτομα και έχουν πολύ μεγάλα μοριακά βάρη.

Η μοριακή πολυπλοκότητα μιας τέτοιας δομής μπορεί να γίνει κατανοητή με βάση την κατανόηση της δομής και των ιδιοτήτων των υπομονάδων από τις οποίες αποτελείται.

Από τα μονομερή στο πολυμερές.

Βιομόρια

Στα κύτταρα υπάρχουν τρεις τύποι μακρομορίων

- ❖ οι πολυσακχαρίτες,
- ❖ οι πρωτεΐνες
- ❖ τα νουκλεϊκά οξέα.

Οι πολυσακχαρίτες αποτελούνται από μονομερή σακχάρων

Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από αμινοξέα

Τα νουκλεϊκά οξέα από νουκλεοτίδια.

Λιπίδια

- Τα **λιπίδια** είναι μια ομάδα οργανικών μορίων χημικά ετερογενής, όμως διακρίνονται από μια κοινή ιδιότητα, την **αδιαλυτότητά τους στο νερό**, που οφείλεται στην παρουσία πολλών μη πολικών ομοιοπολικών δεσμών.
- Αν και αδιάλυτα στο νερό, τα λιπίδια είναι διαλυτά σε άλλα λιπίδια ή μη πολικούς οργανικούς διαλύτες όπως ο αιθέρας και το βενζόλιο.
- Τα λιπίδια έχουν διαφορετικούς βιολογικούς ρόλους.

Υδατάνθρακες

ΣΑΚΧΑΡΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΣΑΚΧΑΡΩΝ

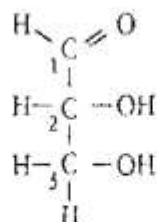
Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες υδατανθράκων βιολογικού ενδιαφέροντος.

- ❖ Οι μονοσακχαρίτες,
- ❖ Οι δισακχαρίτες
- ❖ Οι ολιγοσακχαρίτες
- ❖ Οι πολυσακχαρίτες

Υδατάνθρακες

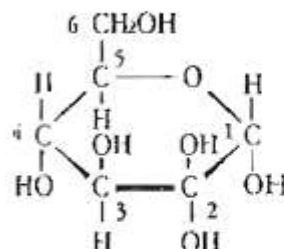
ΣΑΚΧΑΡΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΣΑΚΧΑΡΩΝ

Τριόζες

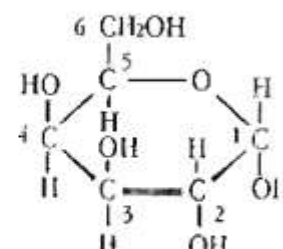


Γλυκεριναλδεΐδη
μόνο σε ευθεία μορφή

Εξόζες

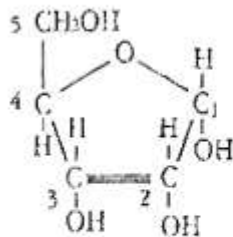


α-Μαννόζη

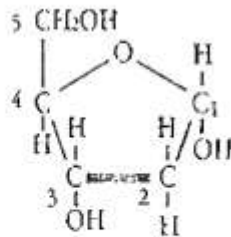


α-Γαλακτόζη

Πεντόζες

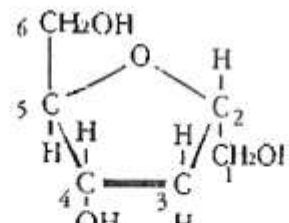


Ριβόζη



Δεοξυριβόζη

Πεντόζες με πολύ διαφορετικές
χημικές ιδιότητες και βιολογικούς ρόλους

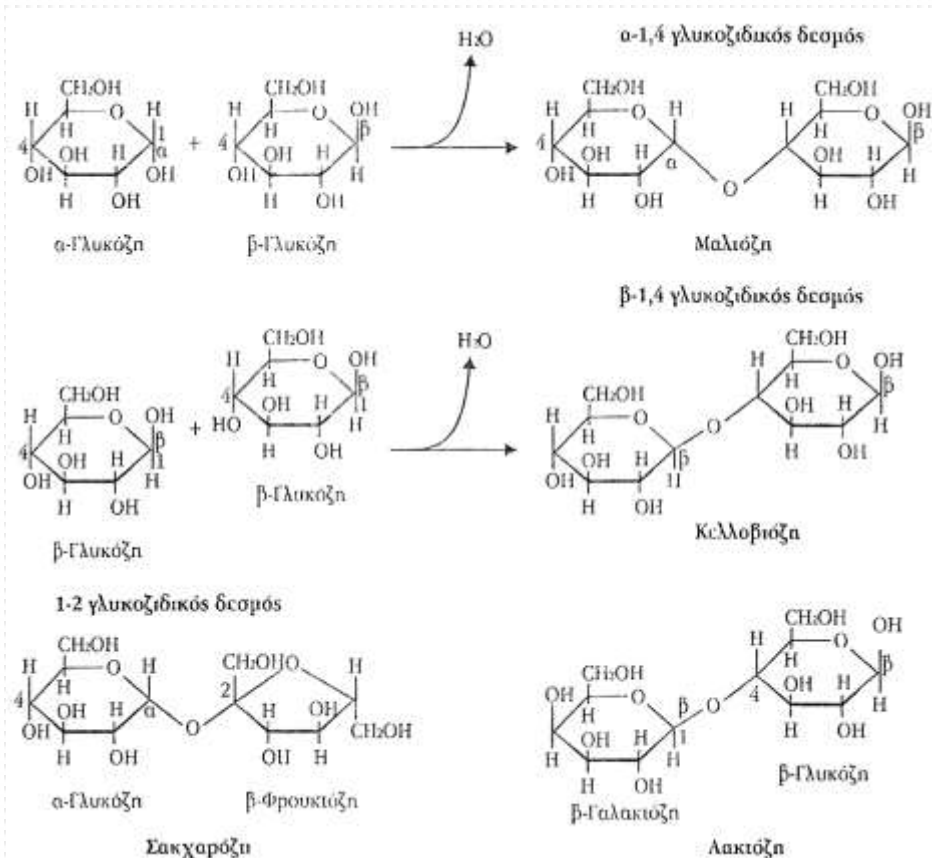


Φρουκτόζη

Ισομερή με ίδιο τύπο $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$
αλλά διαφορετικές χημικές ιδιότητες
και βιολογικούς ρόλους

Υδατάνθρακες

ΣΑΚΧΑΡΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΣΑΚΧΑΡΩΝ



Σχηματισμός δισακχαριτών με γλυκοζιδικούς δεσμούς

Πρωτεΐνες

Βασικής σημασία μακρομόρια αποτελούμενα από C, H, O, N και S.

Καταλαμβάνουν περισσότερο από το 50% του ξηρού βάρους του κυττάρου.

Κάθε πρωτεΐνη αποτελείται από ένα ή περισσότερα πολυπεπίδια.

Ένα πολυπεπίδιο είναι μια γραμμική αλυσίδα **αμινοξέων** που ενώνονται με **πεπτιδικούς δεσμούς**.

Πρωτεΐνες

Όλα τα αμινοξέα έχουν την ίδια κεντρική δομή που αποτελείται από:

- το **άλφα άτομο άνθρακα**, στο οποίο είναι ενωμένα
 - ❖ μια **αμινομάδα** (NH_2),
 - ❖ μια **καρβοξυλομάδα** (COOH),
 - ❖ ένα **υδρογόνο** (H)
 - ❖ μια **ομάδα R**, που ποικίλει στα διάφορα αμινοξέα.

Η ομάδα R διαφέρει στα 20 αμινοξέα

Νουκλεϊκά οξέα

- Το DNA είναι το γενετικό υλικό γιατί περιέχει τα γονίδια που καθορίζουν την αλληλουχία των αμινοξέων κάθε πρωτεΐνης που παράγει ο οργανισμός.
- Κάθε μόριο DNA είναι δίκλωνο αποτελούμενο από δύο πολύ μακριά πολυμερή νουκλεοτιδίων που κρατούνται μαζί με δεσμούς υδρογόνου, σχηματίζοντας τη γνωστή **διπλή έλικα**.
- Τα RNA είναι μονόκλινα πολυμερή νουκλεοτιδίων που μπορεί όμως να αναδιπλωθούν και να πάρουν συγκεκριμένη στερεοδιάταξη που περιέχει και δίκλωνες περιοχές.

Νουκλεϊκά οξέα

Νουκλεοτίδιο, είναι ένωση που αποτελείται από:

1. μια βάση - αδενίνη (A), θυμίνη (T), γουανίνη (G), κυτοσίνη (C) ή ουρακίλη (U)
2. ένα σάκχαρο (ριβόζη ή δεσοξυριβόζη) και
3. φωσφορικό οξύ.

Διακρίνονται σε μονοφωσφορικά, διφωσφορικά και τριφωσφορικά (ATP, GTP, TTP, CTP, UTP) ανάλογα με τον αριθμό των φωσφορικών ριζών τους

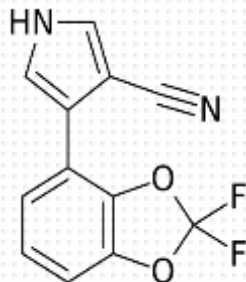
Τα μονονουκλεοτίδια στο DNA και RNA ενώνονται με 3-5 φωσφοδιεστερικούς δεσμούς (ανάμεσα στο OH του σακχάρου του ενός νουκλεοτιδίου και του φωσφορικού του επόμενου).

Ανάλυση άρθρου

- Βιολογική επεξεργασία και διαδοχή σε σύστημα ακινητοποιημένης βιομάζας ανοδικής ροής, το οποίο επεξεργάστηκε υγρό απόβλητο fludioxonil (φαινυλοπυρρολικά)

Ανάλυση άρθρου

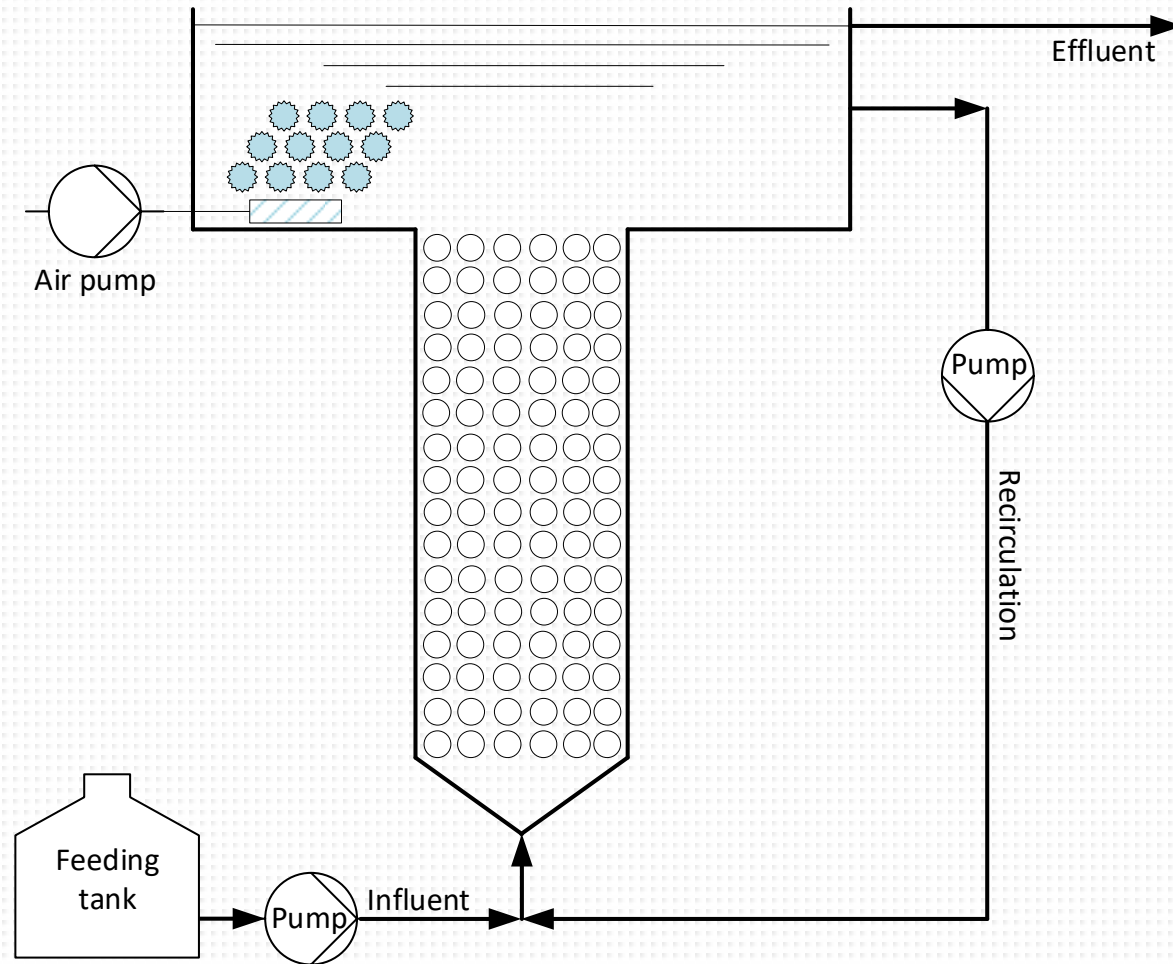
- Βιοαποδόμηση και βακτηριακή διαδοχή σε σύστημα καθηλωμένης βιομάζας ανοδικής ροής που επεξεργάστηκε υγρό αποβλήτο που περιείχε το μυκητοκτόνο **fludioxonil**
- Η ουσία fludioxonil διεγείρει τη σύνθεση της γλυκερόλης, ενός ρυθμιστή της οσμωτικής ενδοκυτταρικής πίεσης των μυκήτων
- Οι φαινυλοπυρρολικές ενώσεις, όπως το **fludioxonil** προκαλούν βλάβες στις κυτταρικές μεμβράνες των μυκήτων.



Ανάλυση άρθρου

- Σύστημα ανοδικής ροής καθηλομένης βιομάζας λειτουργικού όγκου 500 mL (εργαστηριακής κλίμακας)
- Ο βιοαντιδραστήρας πληρώθηκε με πορώδες υλικό (porous beads) όγκου 150 ml
- Το βιολογικό σύστημα λειτούργησε υπό αμιγώς αερόβιες συνθήκες.
- Παροχή αέρα από αντλία και ανακυκλοφορία οξυγονωμένου αποβλήτου στο μικτό υγρό (30 L/h)
- Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου ήταν διαρκώς μεγαλύτερη από 4 mg/L.
- Χρησιμοποιήθηκε προσαρμοσμένη ενεργός ιλύς 50 ml
- HRT 10 days.

Ανάλυση άρθρου



Ανάλυση άρθρου

- Το υγρό απόβλητο περιείχε 250 mg/L fludioxonil ως μοναδική πηγή άνθρακα και αζώτου
- Ανόργανα συστατικά και ιχνοστοιχεία

1 mM Na_2HPO_4 ,

4 mM KH_2PO_4 ,

5 mM KCl ,

2 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,

2 mM $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

70 μM $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,

2 mM $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,

3 μM $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,

1 μM Na_2SeO_3 , σεληνιτης νατριου

3 μM $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, χλωριουχο κοβαλτιο

3 μM $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, μολυβδαινικό νατριο

2 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,

1 μM H_3BO_4 υπερβορικό οξυ

Ανάλυση άρθρου

- Φυσικοχημικές αναλύσεις

- ❖ BOD_5

- ❖ COD

- ❖ EC

- ❖ pH

- ❖ TKN

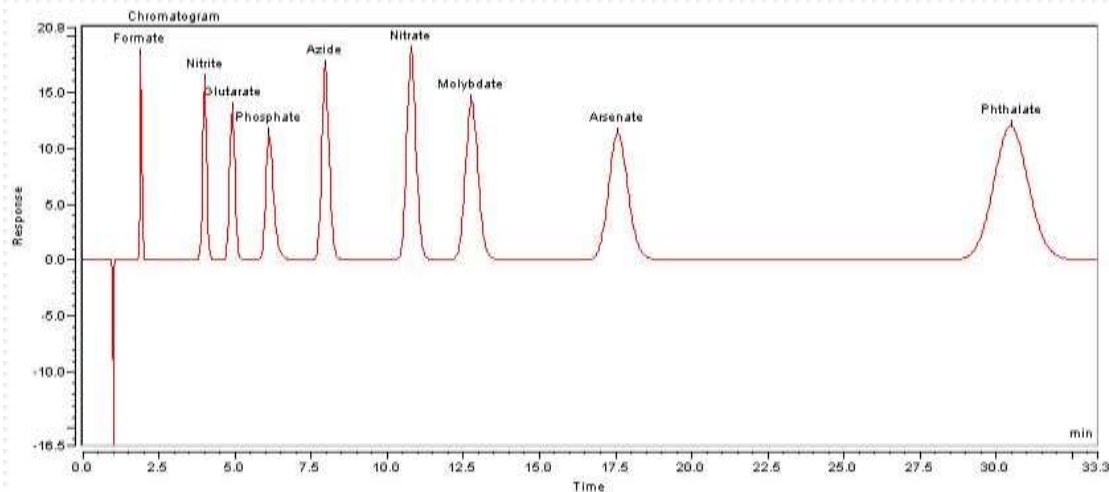
- ❖ $NH_4^{+}-N$

- ❖ $NO_3^{-}-N$ (στήλη καδμίου)

«Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater» (Clesceri et al. 1998)

Ανάλυση άρθρου

- Αναλυτικό προσδιορισμός fludioxonil και φθορίου (F^-)
 - ❖ Ο προσδιορισμός τους πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή υγρής χρωματογραφίας (HPLC)
 - ❖ HPLC-PDA χρωματογράφος (ECOM, Czech Republic)



Ανάλυση άρθρου

- Χρωματογραφία
 - ❖ Ο όρος χρωματογραφία περιλαμβάνει αναλυτικές τεχνικές με σκοπό τον διαχωρισμό των συστατικών μιγμάτων ουσιών
 - ❖ Διαπιστώνεται η παρουσία ή μη συστατικών σε μείγματα που περιέχουν άλλες ουσίες-προσμίξεις
 - ❖ Η επιβεβαίωση της ταυτότητας των συστατικών προϋποθέτει το χρωματογραφικό διαχωρισμό αυτών
 - ❖ Περιλαμβάνει μία κινητή φάση (mobile phase), μεταφέρει υπό ροή τις διαχωριζόμενες ουσίες & συστατικά ενός μείγματος- διαμέσου στατικής φάσης (static phase).

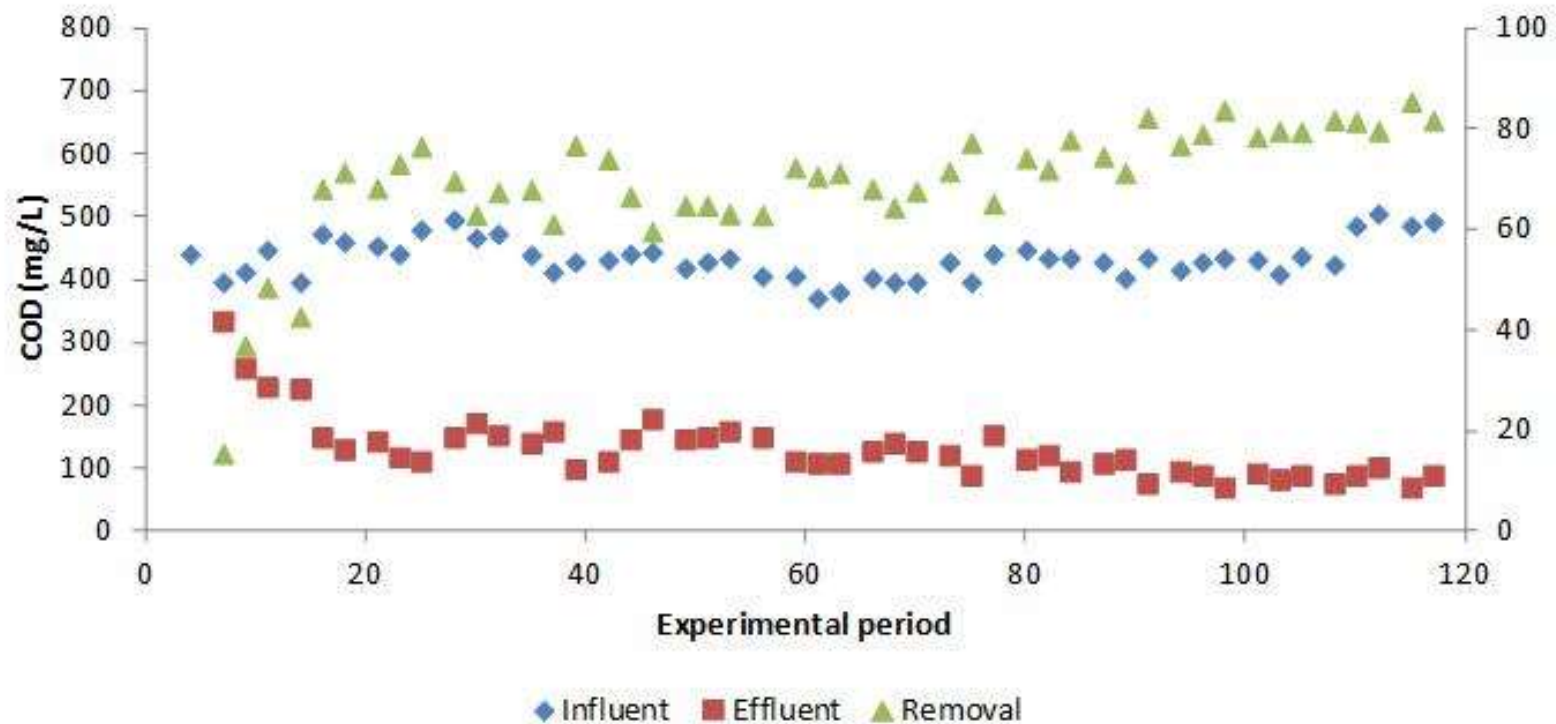
Ανάλυση άρθρου

- Χρωματογραφία
 - ❖ Οι δύο φάσεις (κινητή και στατική) επιλέγονται έτσι, ώστε τα συστατικά του δείγματος να κατανέμονται μεταξύ των δύο σε διαφορετικό βαθμό και συνεπώς να καθυστερούν περισσότερο ή λιγότερο μέχρι τον διαχωρισμό τους.
 - ❖ Αέρια Χρωματογραφία (GC)
 - ❖ HPLC (High Pressure Liquid Chromatography ή High Performance Liquid Chromatography – Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Πίεσης ή Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης)

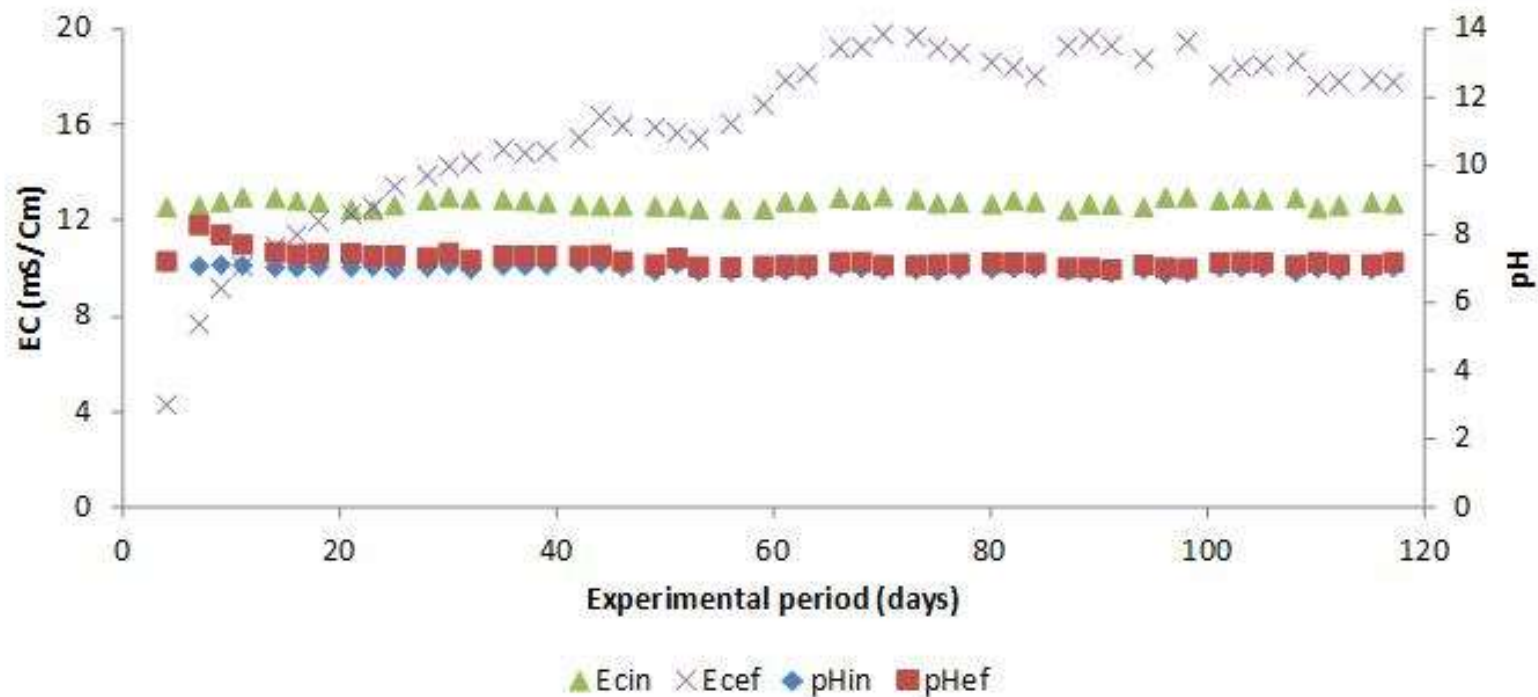
Ανάλυση άρθρου

- Εξαγωγή γενωμικού DNA (genomic DNA)
 - ❖ Χρήση εκκινητών new515F (5'-GTG YCA GCM GCC GCG GTA A-3') & 909R (5'-CCC CGYC AAT TCM TTT RAG T-3')
 - ❖ Ενίσχυση της V4-V5 περιοχής του γονιδίου 16S rRNA
 - ❖ Πραγματοποίηση της αλυσιδωτής αντίδρασης της πολυμεράσης (Polymerase Chain Reaction) σε θερμικό κυκλοποιητή.
 - ❖ Αλληλούχιση υψηλής απόδοσης illumina sequencing

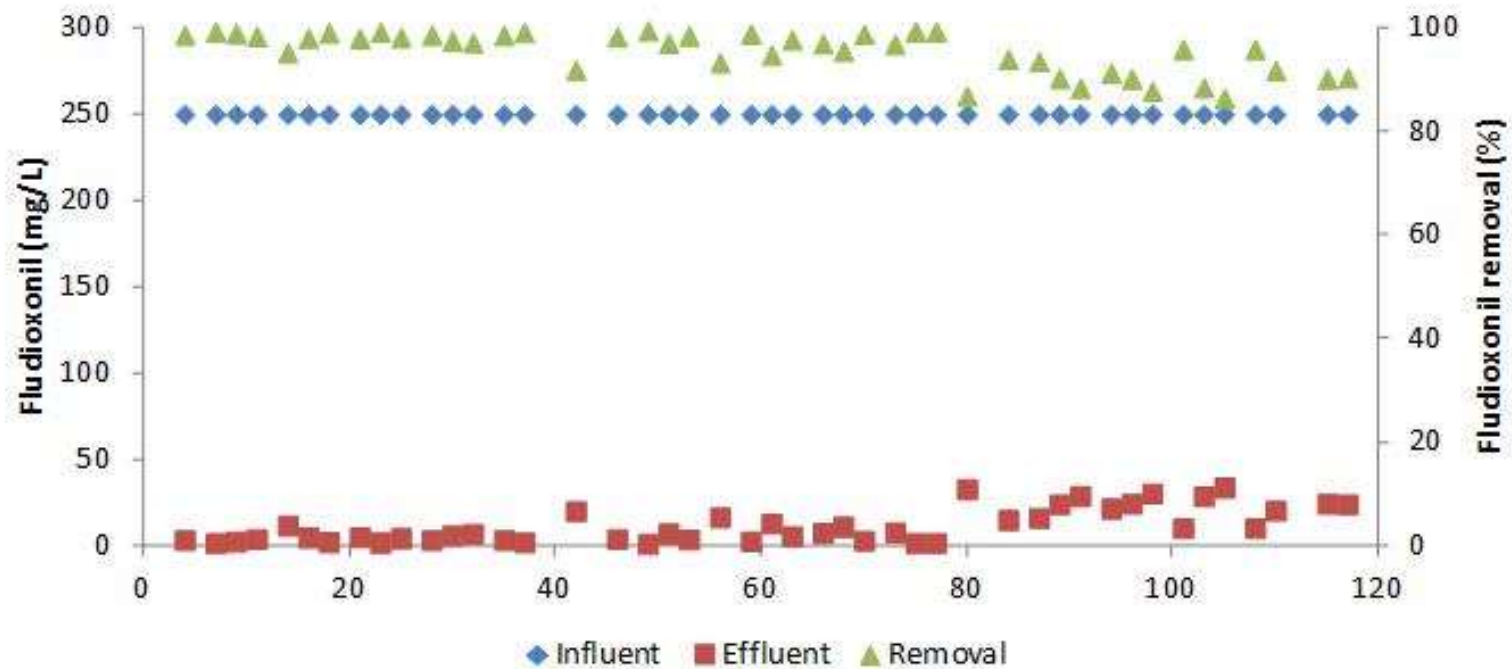
Ανάλυση άρθρου



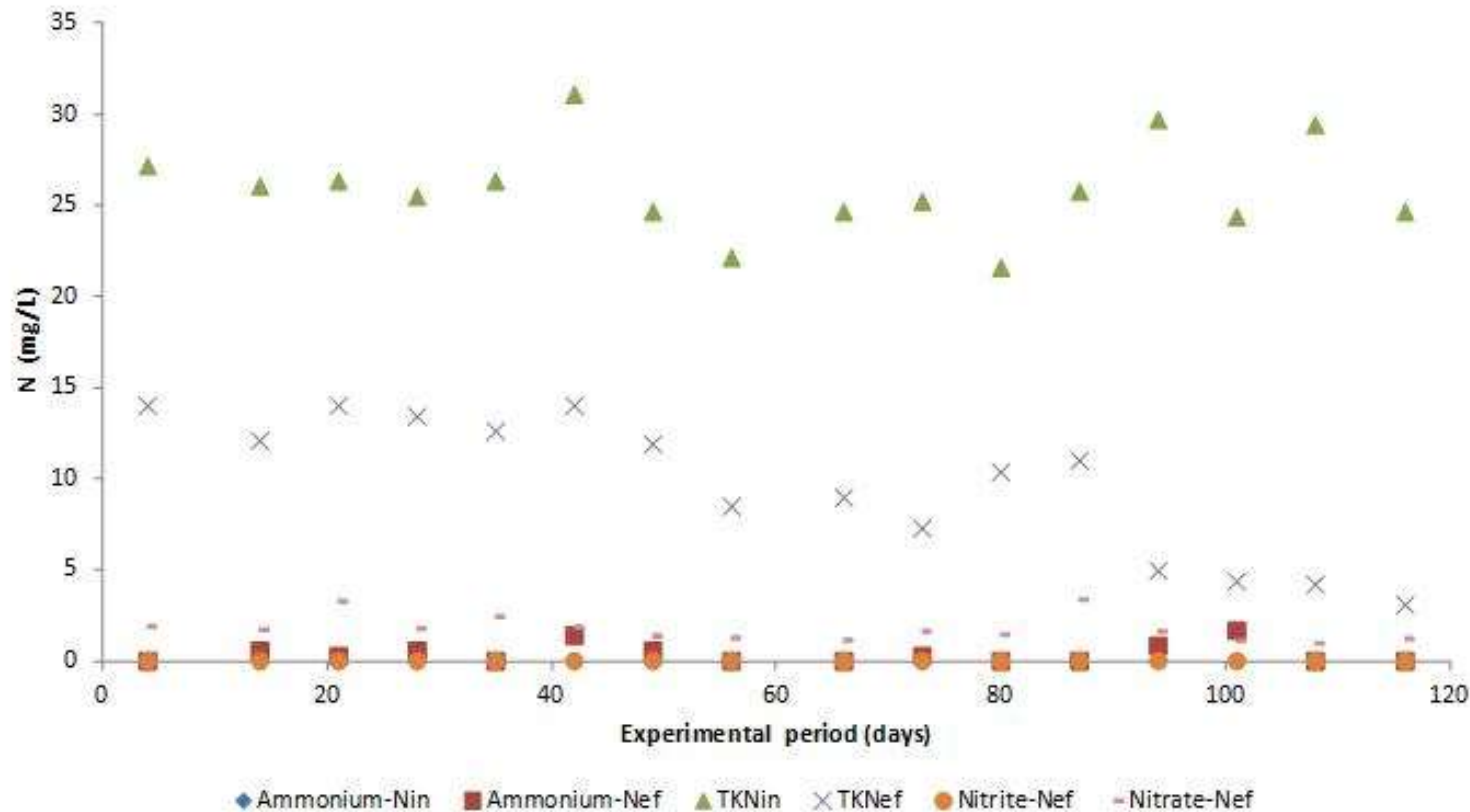
Ανάλυση άρθρου



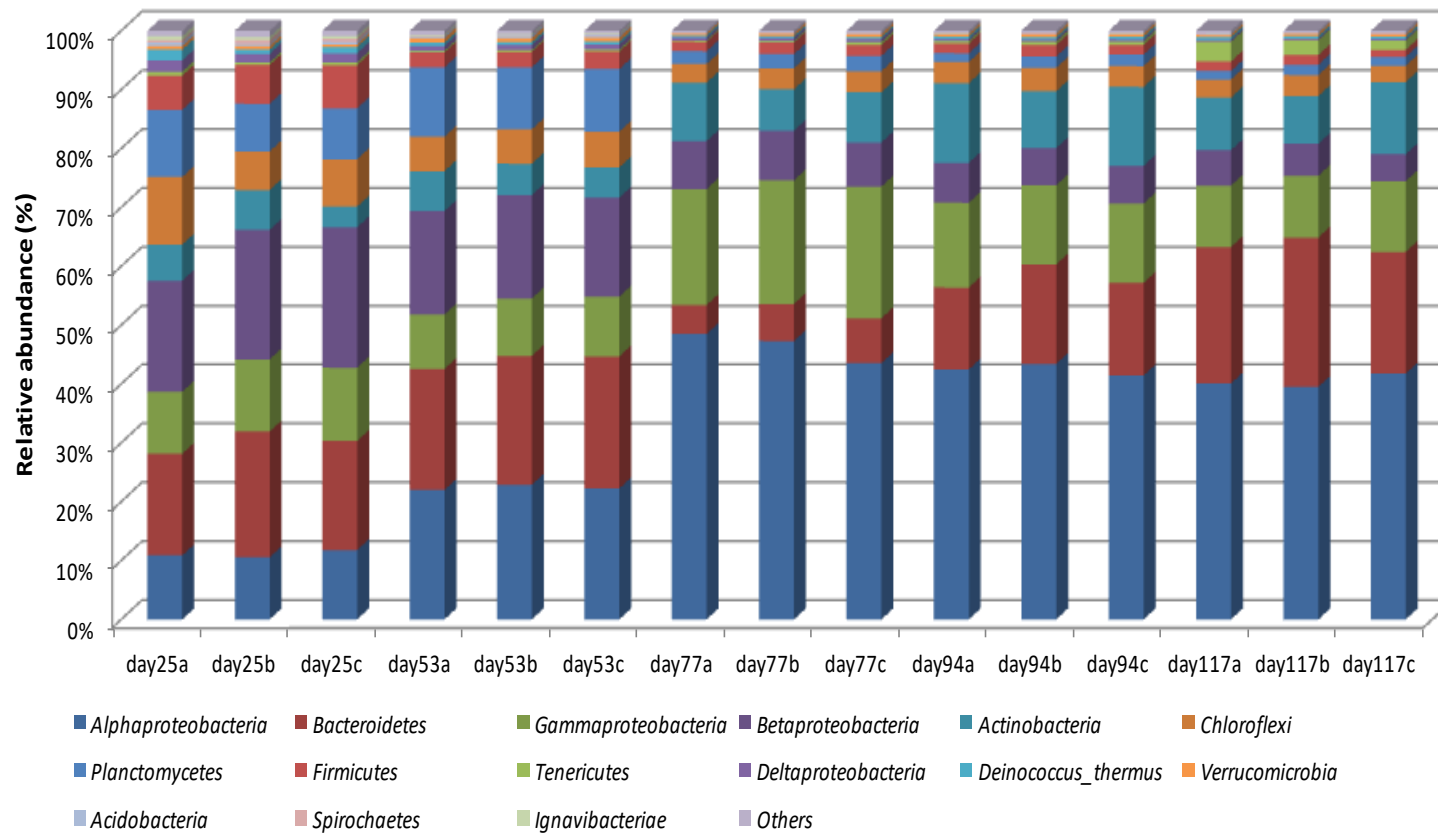
Ανάλυση άρθρου



Ανάλυση άρθρου



Ανάλυση άρθρου



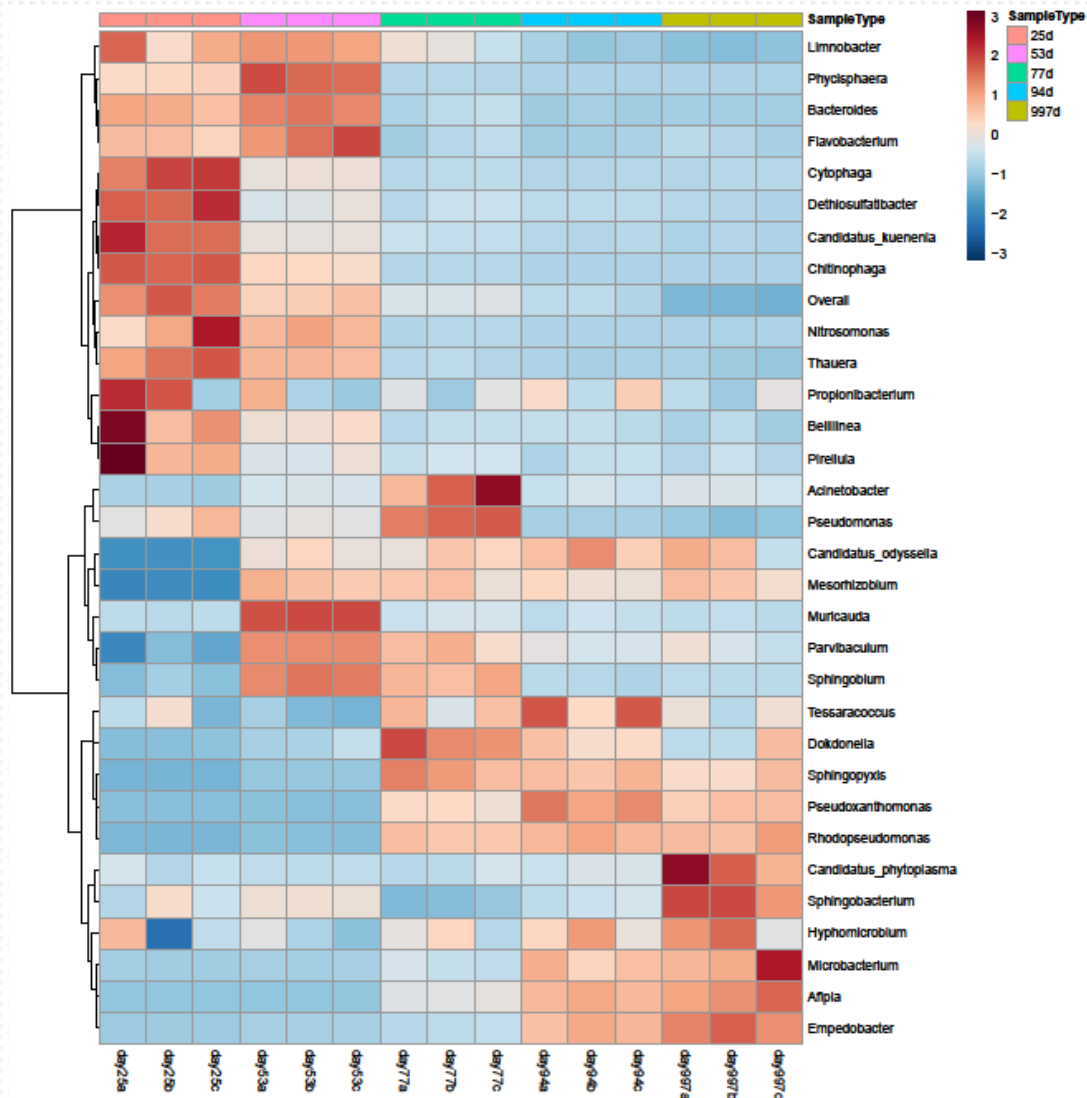
Ανάλυση άρθρου

	day 25	day 53	day 77	day 94	day 117
<i>Alphaproteobacteria</i>	11.07 ± 0.64 (a)	22.37 ± 0.46 (b)	46.44 ± 2.59 (d)	42.44 ± 0.99 (c)	40.46 ± 1.17 (c)
<i>Bacteroidetes</i>	19.06 ± 2.10 (c)	21.62 ± 0.97 (cd)	6.28 ± 1.36 (a)	15.52 ± 1.49 (b)	23.07 ± 2.35 (d)
<i>Gammaaproteobacteria</i>	11.74 ± 1.05 (b)	9.73 ± 0.45 (a)	21.03 ± 1.34 (d)	13.77 ± 0.54 (c)	10.99 ± 0.90 (ab)
<i>Betaproteobacteria</i>	21.57 ± 2.51 (d)	17.32 ± 0.43 (c)	8.03 ± 0.49 (b)	6.49 ± 0.25 (ab)	5.34 ± 0.72 (a)
<i>Actinobacteria</i>	5.48 ± 1.72 (a)	5.75 ± 0.91 (a)	8.49 ± 1.45 (ab)	12.20 ± 2.19 (c)	9.77 ± 2.19 (bc)
<i>Chloroflexi</i>	8.69 ± 2.52 (c)	5.92 ± 0.12 (b)	3.44 ± 0.25 (a)	3.71 ± 0.25 (a)	3.14 ± 0.39 (a)
<i>Planctomycetes</i>	9.39 ± 1.77 (b)	11.00 ± 0.68 (c)	2.40 ± 0.21 (a)	1.79 ± 0.25 (a)	1.57 ± 0.17 (a)
<i>Firmicutes</i>	6.59 ± 0.76 (c)	2.68 ± 0.24 (b)	1.80 ± 0.18 (a)	1.74 ± 0.17 (a)	1.48 ± 0.25 (a)
<i>Tenericutes</i>	0.53 ± 0.13 (a)	0.32 ± 0.03 (a)	0.34 ± 0.15 (a)	0.54 ± 0.10 (a)	2.49 ± 0.88 (b)
<i>Deltaproteobacteria</i>	1.63 ± 0.25 (c)	0.84 ± 0.01 (b)	0.47 ± 0.03 (a)	0.33 ± 0.02 (a)	0.27 ± 0.04 (a)
<i>Deinococcus-Thermus</i>	1.21 ± 0.54 (b)	0.52 ± 0.02 (a)	0.36 ± 0.04 (a)	0.45 ± 0.04 (a)	0.43 ± 0.04 (a)
<i>Verrucomicrobia</i>	0.53 ± 0.09 (b)	0.73 ± 0.03 (c)	0.40 ± 0.07 (a)	0.44 ± 0.04 (ab)	0.42 ± 0.04 (a)
<i>Acidobacteria</i>	0.47 ± 0.10 (c)	0.37 ± 0.03 (b)	0.08 ± 0.01 (a)	0.04 ± 0.00 (a)	0.03 ± 0.00 (a)
<i>Spirochaetes</i>	0.55 ± 0.11 (b)	0.09 ± 0.01 (a)	0.06 ± 0.01 (a)	0.05 ± 0.01 (a)	0.05 ± 0.01 (a)
<i>Ignavibacteriae</i>	0.53 ± 0.10 (c)	0.16 ± 0.03 (b)	0.02 ± 0.01 (a)	0.03 ± 0.00 (a)	0.02 ± 0.00 (a)
Others	0.96 ± 0.08 (c)	0.58 ± 0.07 (b)	0.36 ± 0.05 (a)	0.44 ± 0.02 (ab)	0.48 ± 0.11 (ab)

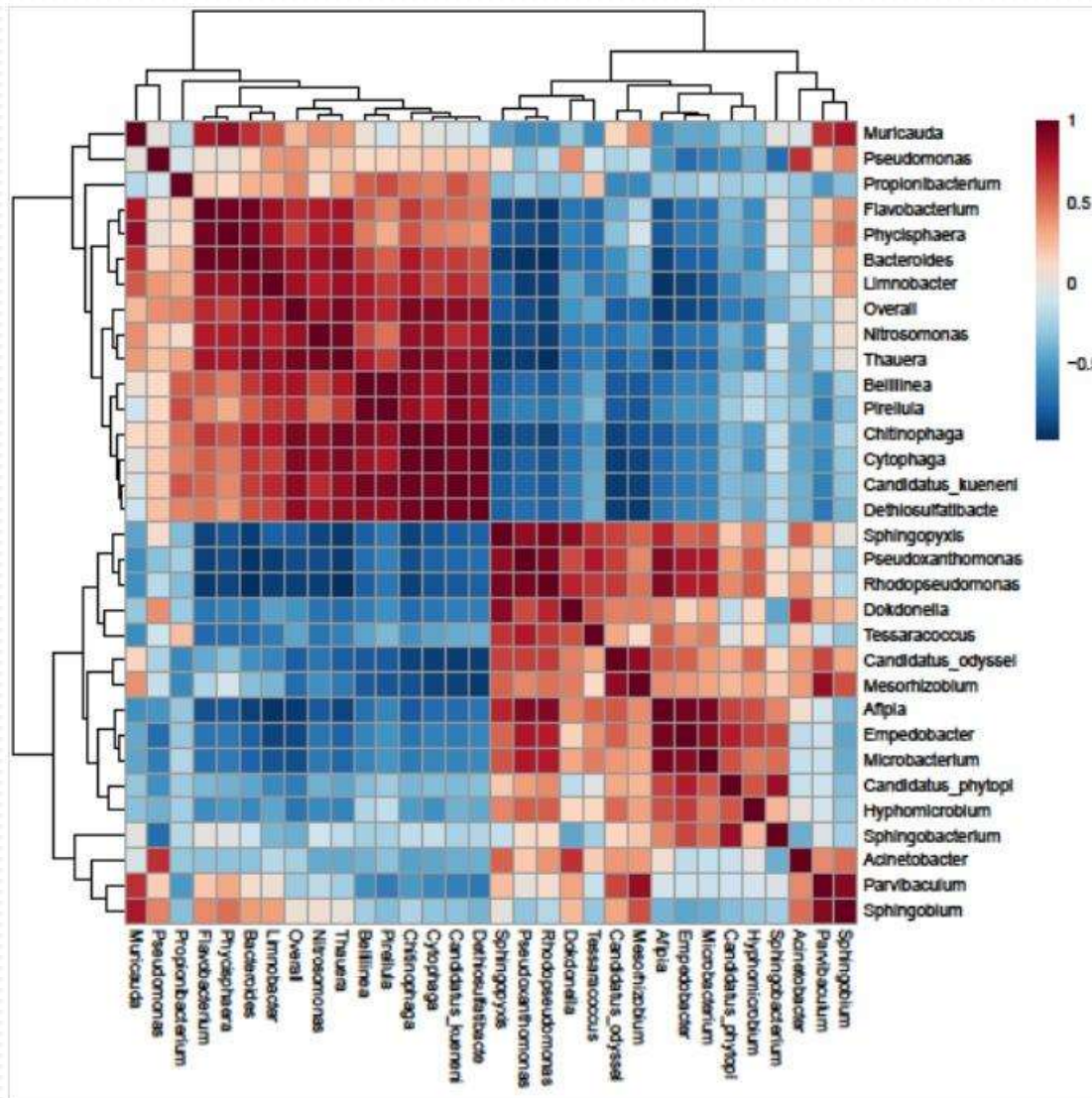
Ανάλυση άρθρου

	day 25	day 53	day 77	day 94	day 117
<i>Thauera</i>	14.35 ± 1.57 (c)	10.87 ± 0.27 (b)	3.47 ± 0.24 (a)	2.81 ± 0.16 (a)	2.26 ± 0.46 (a)
<i>Bellilinea</i>	6.52 ± 1.85 (b)	3.57 ± 0.11 (a)	2.20 ± 0.14 (a)	2.16 ± 0.08 (a)	1.74 ± 0.19 (a)
<i>Pirellula</i>	2.42 ± 0.86 (b)	0.97 ± 0.08 (a)	0.75 ± 0.07 (a)	0.60 ± 0.10 (a)	0.56 ± 0.07 (a)
<i>Pseudomonas</i>	3.17 ± 0.57 (b)	2.59 ± 0.09 (b)	5.09 ± 0.23(c)	1.54 ± 0.03 (a)	1.21 ± 0.09 (a)
<i>Hyphomicrobium</i>	2.72 ± 0.75 (a)	2.72 ± 0.22 (a)	3.08 ± 0.25 (a)	3.44 ± 0.29 (a)	3.68 ± 0.39 (a)
<i>Bacteroides</i>	1.18 ± 0.12 (b)	1.52 ± 0.05 (c)	0.32 ± 0.06 (a)	0.18 ± 0.02 (a)	0.18 ± 0.01 (a)
<i>Propionibacterium</i>	1.30 ± 0.58 (a)	0.72 ± 0.34 (a)	0.68 ± 0.18 (a)	0.91 ± 0.22 (a)	0.60 ± 0.17 (a)
<i>Ca. kuenenia</i>	1.92 ± 0.25 (c)	0.65 ± 0.01 (b)	0.32 ± 0.02 (a)	0.18 ± 0.02 (a)	0.14 ± 0.01 (a)
<i>Phycisphaera</i>	3.50 ± 0.22 (b)	7.56 ± 0.52 (c)	0.30 ± 0.02 (a)	0.14 ± 0.01 (a)	0.12 ± 0.01 (a)
<i>Flavobacterium</i>	3.42 ± 0.27 (b)	5.08 ± 0.61 (c)	1.08 ± 0.24 (a)	0.81 ± 0.07 (a)	1.06 ± 0.13 (a)
<i>Acinetobacter</i>	0.48 ± 0.08 (a)	1.47 ± 0.06 (a)	4.76 ± 1.36 (b)	1.20 ± 0.12 (a)	1.41 ± 0.08 (a)
<i>Tessaracoccus</i>	1.39 ± 0.70 (ab)	0.70 ± 0.26 (a)	2.49 ± 0.52 (bc)	3.62 ± 0.79 (c)	1.78 ± 0.43 (ab)
<i>Dethiosulfatibacter</i>	1.57 ± 0.14 (c)	0.48 ± 0.09 (b)	0.28 ± 0.04 (a)	0.23 ± 0.01 (a)	0.20 ± 0.03 (a)
<i>Cytophaga</i>	1.98 ± 0.24 (c)	0.68 ± 0.01 (b)	0.16 ± 0.03 (a)	0.10 ± 0.01 (a)	0.10 ± 0.01 (a)
<i>Dokdonella</i>	1.48 ± 0.04 (a)	1.99 ± 0.15 (ab)	4.88 ± 0.39 (d)	3.40 ± 0.23 (c)	2.76 ± 0.82 (bc)
<i>Empedobacter</i>	0.03 ± 0.01 (a)	0.69 ± 0.07 (a)	2.40 ± 0.37 (b)	11.76 ± 0.97 (c)	16.20 ± 1.35 (d)
<i>Chitinophaga</i>	4.32 ± 0.10 (c)	1.93 ± 0.09 (b)	0.21 ± 0.02 (a)	0.08 ± 0.01 (a)	0.07 ± 0.00 (a)
<i>Sphingobacterium</i>	1.48 ± 0.49 (b)	1.98 ± 0.06 (b)	0.44 ± 0.12 (a)	1.32 ± 0.10 (b)	3.95 ± 0.47 (c)
<i>Limnobacter</i>	1.61 ± 0.35 (c)	1.68 ± 0.06 (c)	0.97 ± 0.11 (b)	0.49 ± 0.05 (a)	0.40 ± 0.01 (a)
<i>Sphingopyxis</i>	0.53 ± 0.10 (a)	2.37 ± 0.04 (a)	15.12 ± 1.69 (c)	13.11 ± 0.52 (bc)	11.16 ± 1.33 (b)
<i>Mesorhizobium</i>	0.78 ± 0.03 (a)	2.07 ± 0.07 (c)	1.92 ± 0.16 (bc)	1.82 ± 0.06 (b)	1.94 ± 0.14 (bc)
<i>Ca. phytoplasma</i>	0.35 ± 0.13 (a)	0.29 ± 0.02 (a)	0.34 ± 0.13 (a)	0.53 ± 0.08 (a)	2.49 ± 0.72 (b)
<i>Muricauda</i>	0.29 ± 0.02 (a)	3.10 ± 0.08 (c)	0.54 ± 0.09 (b)	0.38 ± 0.06 (a)	0.29 ± 0.05 (a)
<i>Rhodopseudomonas</i>	0.11 ± 0.02 (a)	0.43 ± 0.04 (a)	6.35 ± 0.16 (b)	7.04 ± 0.38 (b)	6.98 ± 0.71 (b)
<i>Pseudoxanthomonas</i>	0.04 ± 0.01 (a)	0.05 ± 0.01 (a)	2.38 ± 0.18 (b)	4.04 ± 0.31 (d)	3.04 ± 0.13 (c)
<i>Nitrosomonas</i>	1.42 ± 0.59 (b)	1.13 ± 0.08 (b)	0.06 ± 0.00 (a)	0.02 ± 0.00 (a)	0.02 ± 0.00 (a)
<i>Parvibaculum</i>	1.00 ± 0.24 (a)	3.12 ± 0.05 (d)	2.60 ± 0.26 (c)	1.97 ± 0.14 (b)	2.02 ± 0.16 (b)
<i>Microbacterium</i>	0.03 ± 0.00 (a)	0.06 ± 0.01 (a)	0.50 ± 0.09 (a)	1.67 ± 0.17 (b)	2.49 ± 0.82 (b)
<i>Afipia</i>	0.02 ± 0.01 (a)	0.03 ± 0.00 (a)	1.46 ± 0.07 (b)	2.94 ± 0.19 (c)	3.60 ± 0.41 (d)
<i>Ca. odysseella</i>	0.04 ± 0.01 (a)	1.88 ± 0.13 (b)	2.04 ± 0.21 (b)	2.54 ± 0.30 (b)	2.10 ± 0.60 (b)
<i>Sphingobium</i>	0.35 ± 0.16 (a)	2.87 ± 0.09 (d)	2.28 ± 0.12 (c)	0.73 ± 0.04 (b)	0.81 ± 0.01 (b)
Others	40.21 ± 1.17 (e)	34.72 ± 0.53 (d)	30.50 ± 0.15 (c)	28.21 ± 0.31 (b)	24.64 ± 0.33 (a)

Ανάλυση άρθρου



Ανάλυση άρθρου



Τεχνητοί υδροβιότοποι

- Τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων απαιτούν
 - ❖ σημαντικές εισροές χημικών και ενέργειας
 - ❖ προϋποθέτουν την παρουσία εκπαιδευμένου προσωπικού
 - ❖ η ωφέλιμη ζωή τέτοιων συστημάτων είναι περιορισμένη
 - ❖ το κόστος αντικατάστασης / ανακατασκευής είναι αρκετά υψηλό.
- Το πρόβλημα εντείνεται σε αναπτυσσόμενες χώρες όπου δεν υπάρχουν οι κατάλληλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας

Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Εναλλακτικά έχουν προταθεί τεχνολογίες
 - ❖ χαμηλής ενέργειας,
 - ❖ απλούστερες στη λειτουργία
 - ❖ χαμηλού κόστους.
- Μιμούνται τη λειτουργία και τις διαδικασίες των φυσικών οικοσυστημάτων, όπως λίμνες και υγρό(βιο)τοποι,
- Ονομάζονται «φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων» (NTS).
- Αλληλεπίδραση των λυμάτων, του εδάφους, των φυτών, των μικροοργανισμών και της ατμόσφαιρας

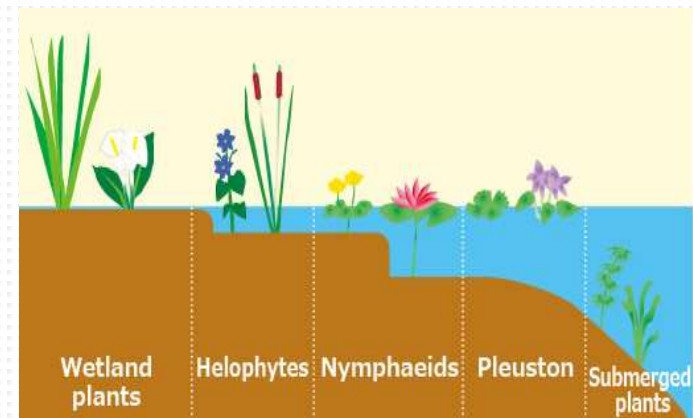
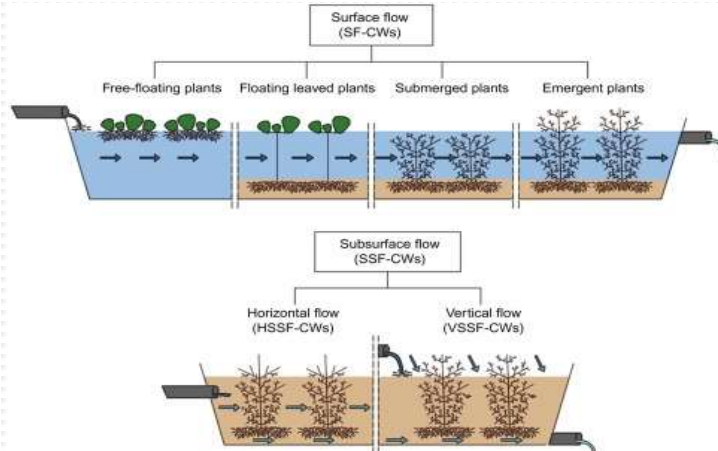
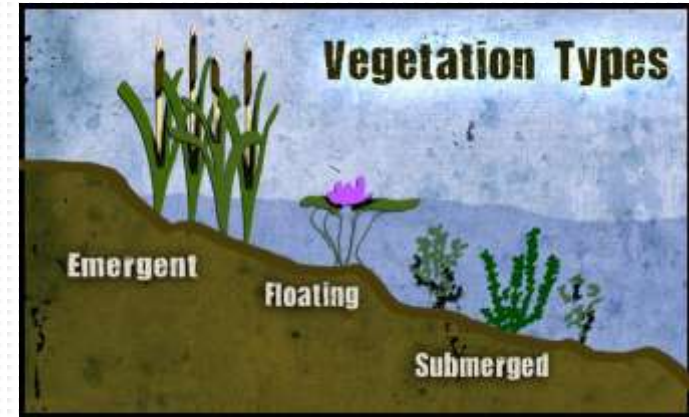
Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία:
 - ❖ αστικών λυμάτων (κυρίως για μικρές κοινότητες)
 - ❖ βιομηχανικών υγρών αποβλήτων
 - ❖ αποβλήτων ορυχείων
 - ❖ αποβλήτων κλωστοϋφαντουργίας
 - ❖ αποβλήτων ελαιουργίας
 - ❖ επιφανειακών πλημμυρικών απορροών (γεωργικές εκτάσεις, αυτοκινητόδρομους)
 - ❖ διασταλάγματα ΧΥΤΑ

Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Τύποι Τεχνητών Υγροβιοτόπων
- Επιφανειακής ροής (Free water surface treatment wetlands - FWS)
 - ❖ Αναδυόμενα φυτά
 - ❖ Βυθιζόμενα φυτά
 - ❖ Πλωτοί υγροβιότοποι
- Υποεπιφανειακής ροής (Subsurface)
 - ❖ Συστήματα οριζόντιας ροής (horizontal subsurface flow HSF)
 - ❖ Συστήματα κατακόρυφης ροής (vertical flow VF)

Τεχνητοί υγροβιότοποι



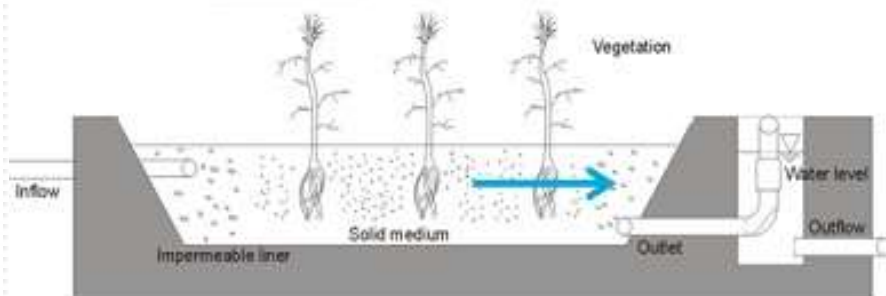
Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Ο κλασικός τύπος κατακόρυφης ροής είναι αυτός που χρησιμοποιείται συχνότερα σε εφαρμογές πλήρους κλίμακας (υπό περιοδική τροφοδοσία)
- Οι τυπικοί ρύποι που τίθενται προς επεξεργασία:
 - ❖ οργανική ύλη
 - ❖ άζωτο, φώσφορος
 - ❖ βαρέα μέταλλα
 - ❖ φαρμακευτικά προϊόντα,
 - ❖ ενδοκρινικοί διαταρράκτες
 - ❖ παθογόνοι μικροοργανισμοί

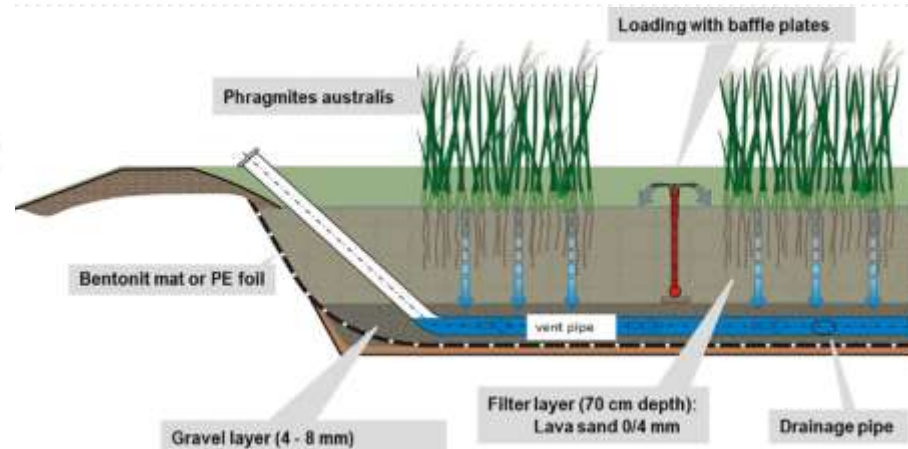
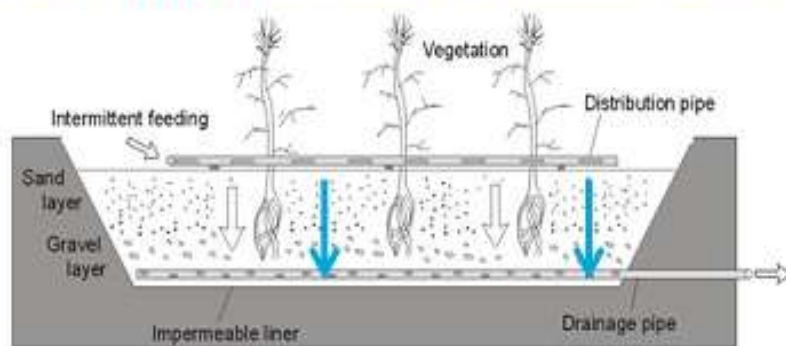
Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Οριζόντιας και κατακόρυφης ροής

Subsurface **horizontal** flow constructed wetlands (CWM1)



Subsurface **vertical** flow constructed wetlands (CW2D)



Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Το υλικό του υποστρώματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών.

Εξασφαλίζει:

- ❖ υποστήριξη για τη βλάστηση.
- ❖ διήθηση και σωστή αποστράγγιση λυμάτων με αποφυγή απόφραξης.
- ❖ περιοχή προσκόλλησης για μικροοργανισμούς για ανάπτυξη βιοφίλμ.
- ❖ επεξεργασία μέσω διαδικασιών προσρόφησης και μετασχηματισμού.

Τεχνητοί υδροβιότοποι

- Είδη υλικών που χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα:
 - ❖ πυριγενή πετρώματα (γρανίτης, ρυόλιθος, γρανοδιορίτης)
 - ❖ ανθρακούχα
 - ❖ δολομίτης
 - ❖ ζεόλιθος
 - ❖ βωξίτης
 - ❖ ενεργός άνθρακας
 - ❖ ασβεστίτης
 - ❖ τέφρα
 - ❖ κάρβουνο

Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Είδη φυτών που χρησιμοποιούνται:
- Αναδυόμενα μακροφύτα που μπορούν να αναπτυχθούν σε συνθήκες κορεσμού ή ημι-κορεσμού. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είδη στην Ευρώπη περιλαμβάνουν:
 - ❖ τον κοινό κάλαμο (*Phragmites australis*)
 - ❖ την τύφη (*Typha latifolia*),
 - ❖ τον σκίρπο που μοιάζει με χορτάρι (*Scirpus spp.*),
 - ❖ βούρλα (*Juncus spp.*)
 - ❖ σπαθόχορτο (*Carex spp.*)

Τεχνητοί υδροβιότοποι

- Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων διακρίνονται σε:

Φυσικούς

- ❖ Διήθηση,
- ❖ καθίζηση,
- ❖ καθίζηση στο υπόστρωμα
- ❖ πτητικοποίηση.

Χημικούς

- Οξείδωση,
- ανταλλαγή ιόντων,
- προσρόφηση,
- καθίζηση,
- αποικοδόμηση UV.

Τεχνητοί υδροβιότοποι

- Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων διακρίνονται σε:

Βιολογικούς

- ❖ βακτηριακή αποικοδόμηση,
- ❖ μικροβιακή κατανάλωση,
- ❖ νιτροποίηση,
- ❖ απονιτροποίηση,
- ❖ απορρόφηση φυτών,
- ❖ βιοαποικοδόμηση,
- ❖ φυτοαποικοδόμηση

Τεχνητοί υγροβιότοποι

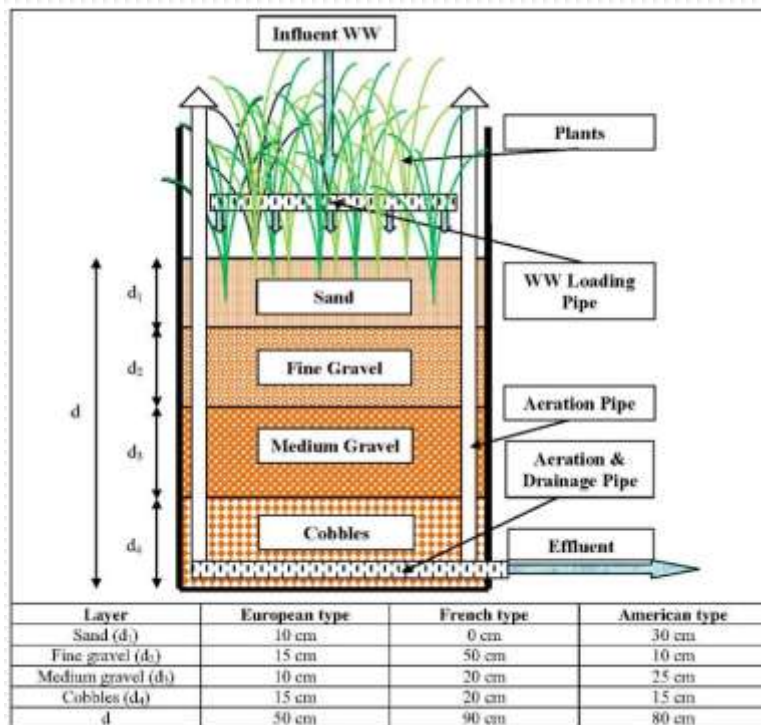
Αιωρούμενα στερεά	Καθίζηση, Διήθηση Βιοαποδόμηση
Διαλυτός οργανικός άνθρακας	Αερόβια βιοαποδόμηση, Αναερόβια βιοαποδόμηση
Άζωτο	Αμμωνιοποίηση, Νιτροποίηση, Απονιτροποίηση, Προσρόφηση, Φυτοαπορρόφηση, Πτητικοποίηση
Φώσφορος	Προσρόφηση, Καθίζηση, Φυτοαπορρόφηση
Μέταλλα	Προσρόφηση, Ιοντοανταλλαγή, Κατακρήμιση Φυτοαπορρόφηση, Βιοαποδόμηση
Παθογόνα	UV ακτινοβολία, Θάνατος, Καθίζηση, Διήθηση

Τεχνητοί υγροβιότοποι

Ενδεικτικός πίνακας απομακρύνσεων για τεχνητούς υγροβιότοπους κατά την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων

%Removal	BOD	COD	TKN	NH ₄ -N	TP	TSS	STUDY
	90,8	89,0	83,9	83,8	38,8	90,4	Gikas et al., 2011
	92,3	91,7	89,3	90,7	67,3	96	Gikas et al., 2007
	64-82	62-85	44-67	43-69	30-45	30-46	Stefanakis & Tsihritzis, 2012
	90	88	53	57	28	92	Abou-Elela & Hellal, 2012

Τεχνητοί υγροβιότοποι



Κύτταρο κατακόρυφης ροής με 3 σχεδιαστικές παραλλαγές



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Κατακόρυφης ροής υγροβιότοπος στη Γαλλία (ισοδύναμο 1250 κατοίκων), (α) είσοδος (χονδρή σχάρα), (β) ιλύς στην επιφάνεια (στάδιο 1), (γ) παροχή αέρα, (δ) συνολική άποψη του κυττάρου

Τεχνητοί υγροβιότοποι

Κατακόρυφης ροής
ευρωπαϊκού τύπου
(ισοδύναμο 1000
κατοίκων) (α) είσοδος (β)
εσχάρωση (λεπτές
σχάρες) (γ) σιφώνι, (δ)
κύτταρο οριζόντιας ροής
στο στάδιο 3, (ε) γενική
άποψη των κυττάρων του
τεχνητού υγροβιότοπου



(a)



(b)



(c)

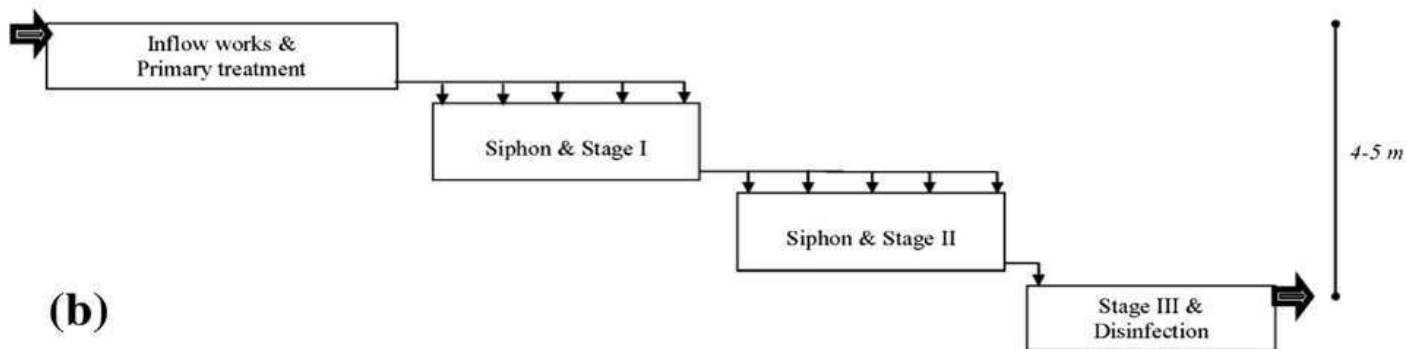
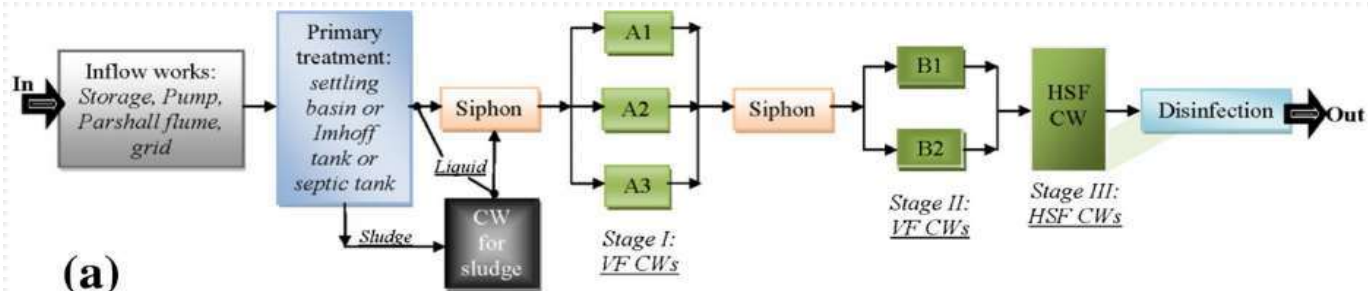


(d)



(e)

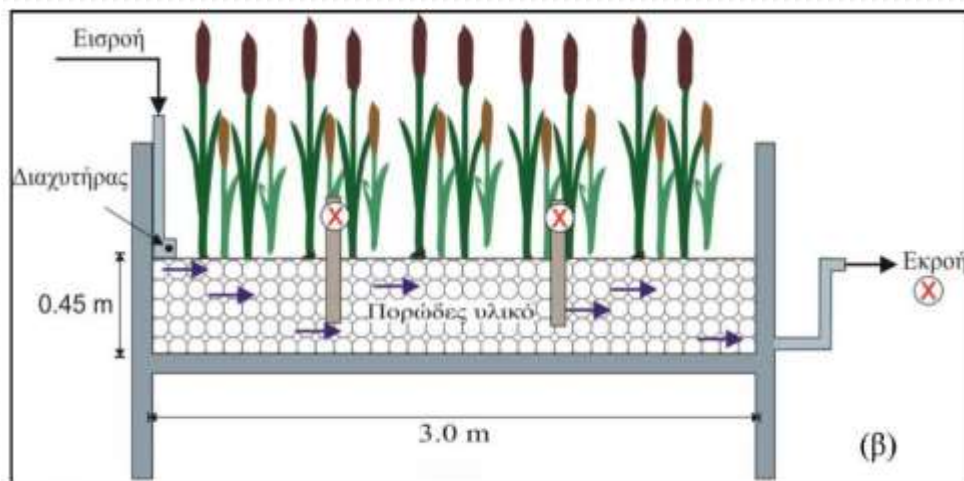
Τεχνητοί υγροβιότοποι



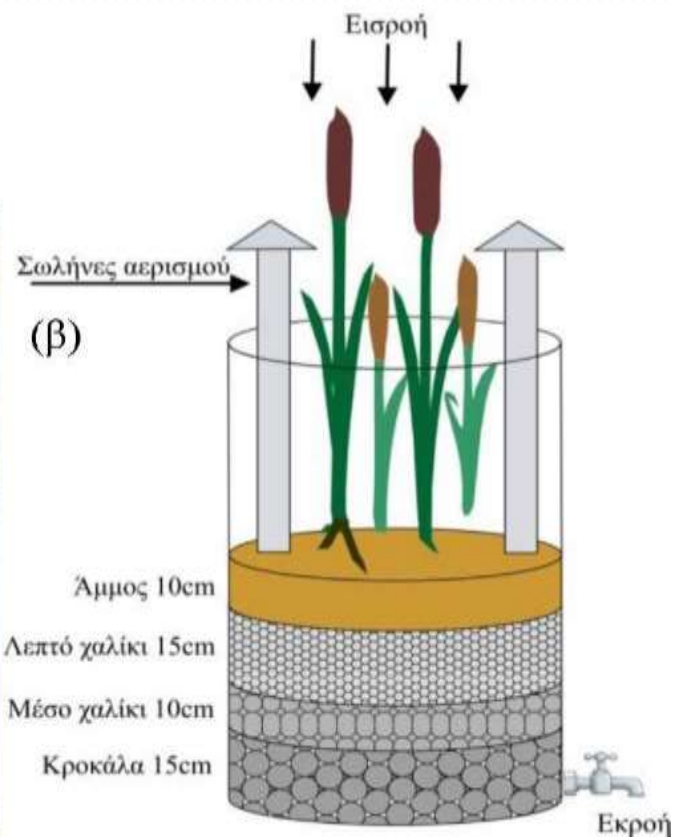
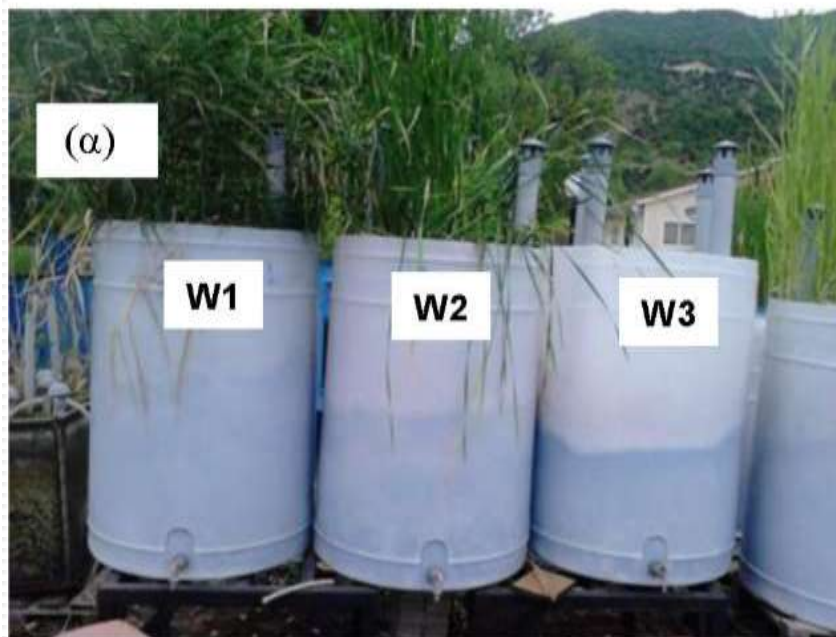
Σχηματική αναπαράσταση υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής για την επεξεργασία αστικού υγρού αποβλήτου

Τεχνητοί υγροβιότοποι

(α) Πιλοτικές μονάδες οριζόντιας υπόγειας ροής,
(β) Τομή κατά μήκος της πιλοτικής μονάδας ΤΥΟΥΡ.



Τεχνητοί υγροβιότοποι



Σχήμα 3.2. (α) Πιλοτικές μονάδες κατακόρυφης ροής, (β) Διαστρωμάτωση πιλοτικής μονάδας ΤΥΚΡ.

Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Thurston et al. (2001)
Χρησιμοποίησαν υγρό απόβλητο εκροής έπειτα από δευτεροβάθμια επεξεργασία
- Δυνατότητα απομάκρυνσης:
 - ❖ κύστες *Giardia* (απομάκρυνση 88%)
 - ❖ ωοκύστες *Cryptosporidium* (απομάκρυνση 64%)
 - ❖ Coliphages, βακτηριοφάγοι, (απομάκρυνση 95)
 - ❖ Ολικά κολοβακτηρίδια (απομάκρυνση 98%)
 - ❖ Κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (απομάκρυνση 98%)

Τεχνητοί υγροβιότοποι

- Punyapwar & Mutnuri (2020)
Χρησιμοποίησαν αστικό υγρό απόβλητο (BOD 130 mg/L, COD 230 mg/L) και μοριακές τεχνικές υψηλής απόδοσης (*illumina sequencing*)
- Τα κύρια φύλα στο υγρό απόβλητο ήταν τα *Actinobacteria* και *Bacteroidetes*
- Ενώ *Firmicutes*, *Proteobacteria* (υποομάδες Alpha-, Gamma-, Beta-, Delta-), *Cyanobacteria*, *Acidobacteria*, *Nitrospirae* κυριάρχησαν στον τεχνητό υγροβιότοπο κατακόρυφης ροής (φυτό *Canna indica*)
- Σε επίπεδο γένους ανιχνεύθηκαν *Rhodopseudomonas*, *Enterobacter*, *Acidovorax*, *Bacteroides*, *Chryseobacterium*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*