



Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων και Επαναχρησιμοποίηση

Καθηγητής Θρασύβουλος Μανιός

Τμήμα Γεωπονίας

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Τεχνητοί Υγροβιότοποι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

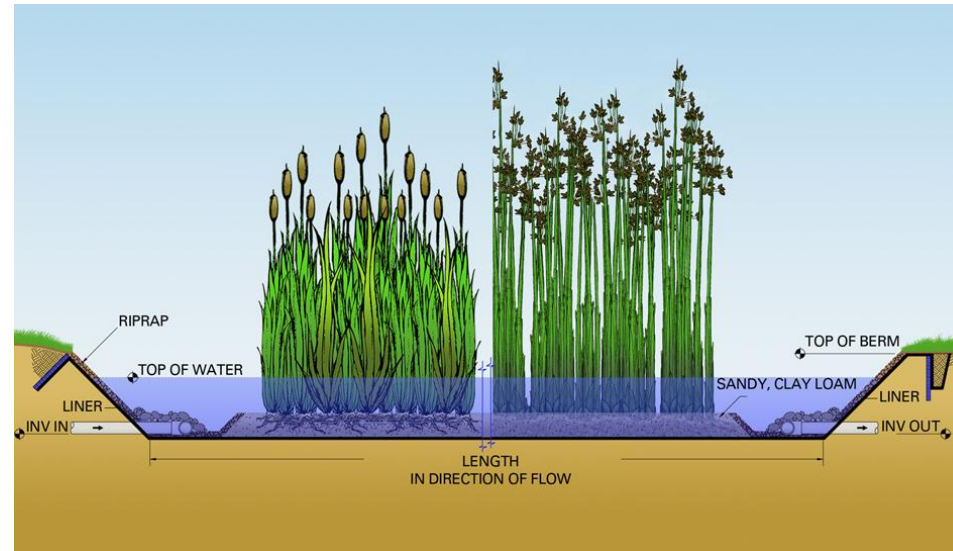
Με την ευγενική βοήθεια του Αναπληρωτή
Καθηγητή Μιχάλη Φουντουλάκη,
Πολυτεχνείο Κρήτης



Τεχνητοί υγρότοποι επεξεργασίας

Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας

- ✓ Τμήματα εδάφους κατακλυζόμενα με νερό
- ✓ Μικρού βάθους
- ✓ Ανάπτυξη φυτών



Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας

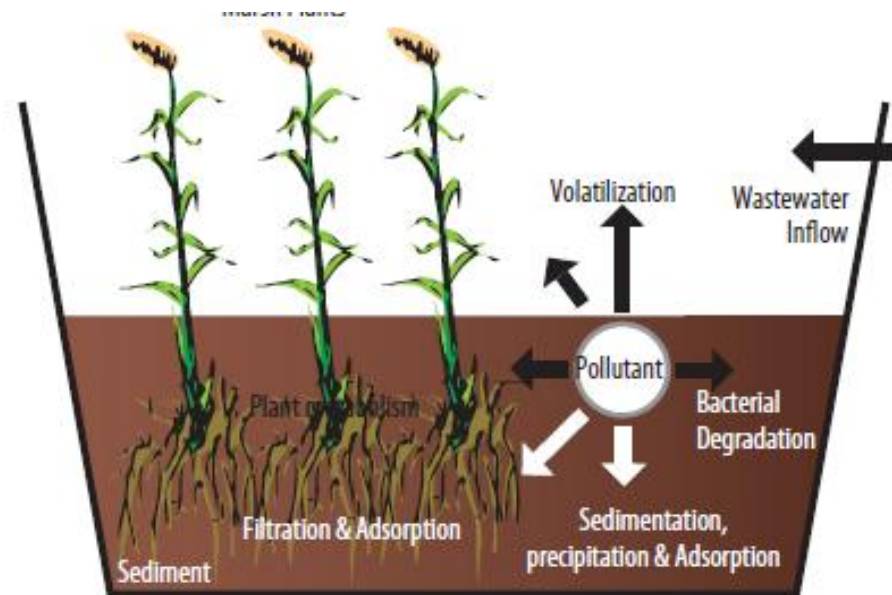
Φυτά

✓ Κυρίως ψαθί, καλάμι, κύπερη



Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας

Μηχανισμοί απομάκρυνσης



- Καθίζηση
- Φίλτραυση
- Βιο-αποδόμηση
- Ρόφηση
- Εξάτμιση
- Οξείδωση
- Φυτοεξυγίανση

Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας

Τεχνητοί υγρότοποι

- ✓ Αποτελεσματική επεξεργασία αποβλήτων
- ✓ Εναρμονισμένοι με το περιβάλλον (αισθητική αναβάθμιση)
- ✓ Πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό, ελάχιστα μηχανικά μέρη)
- ✓ Μεγαλύτερη αντοχή σε ακραίες υδραυλικές και οργανικές φορτίσεις
- ✓ Μεγάλες απαιτήσεις σε επιφάνεια
- ✓ Επηρεάζονται από τις κλιματικές συνθήκες
- ✓ Μεγαλύτερη περίοδο προσαρμογής

Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας

Εφαρμογές

- ✓ Για την επεξεργασία αστικών λυμάτων σε μικρούς οικισμούς
 - Αποδεκτό σύστημα για μικρό κόστος γης
- ✓ Για την επεξεργασία αστικών λυμάτων σε μεμονωμένες κατοικίες
- ✓ Για την επεξεργασία διαφόρων βιομηχανικών αποβλήτων
- ✓ Για την επεξεργασία αγροτικών απορροών
- ✓ Για την επεξεργασία υδάτινων απορροών
- ✓ Για την επεξεργασία αστικής ιλύος

Τεχνητοί Υγρότοποι Επεξεργασίας

Τύποι υγροτόπων

Επιφανειακής ροής

- αναδύομενα φυτά
- βυθιζόμενα φυτά
- επιπλέοντα φυτά

Υποεπιφανειακής ροής

- ✓ Οριζόντιας ροής
- ✓ Κάθετης ροής
 - Ανοδικής ροής
 - Καθοδικής ροής
 - Παλιρροιακής ροής

Επιπλέοντες υγρότοποι

- ✓ Επιπλέοντες νησίδες

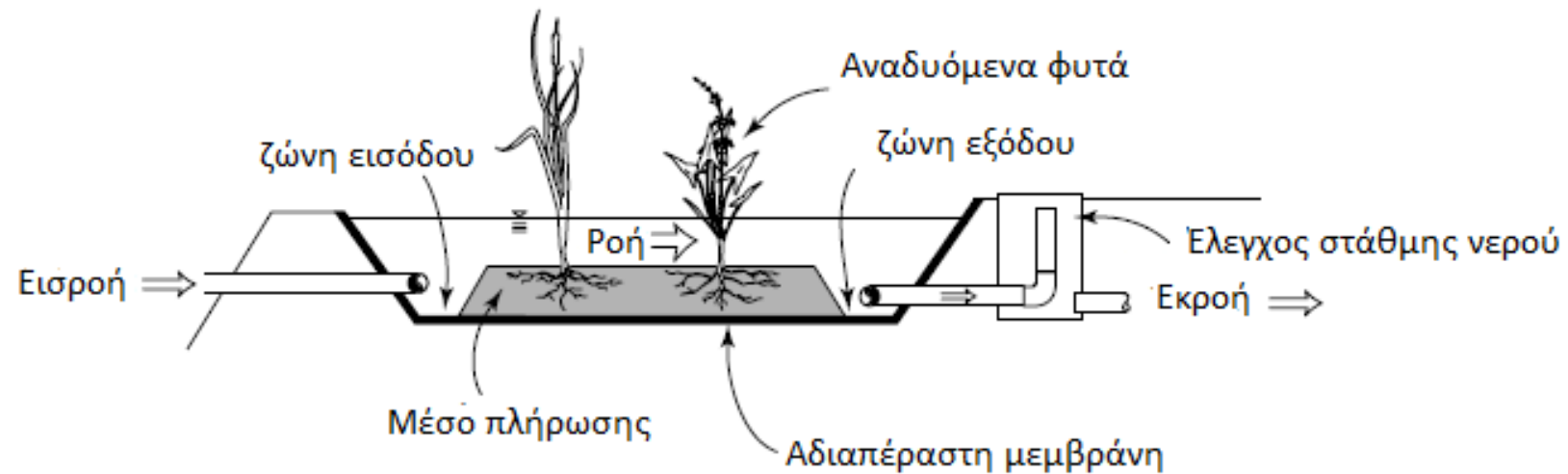
Υβριδικά συστήματα

- ✓ Συνδυασμοί υγροτόπων

Τεχνητοί Υγρότοποι επιφανειακής ροής

Γνωστοί και ως υγρότοποι ελεύθερης υδατικής επιφάνειας

Free Water Surface Constructed Wetlands (FWS CWs)



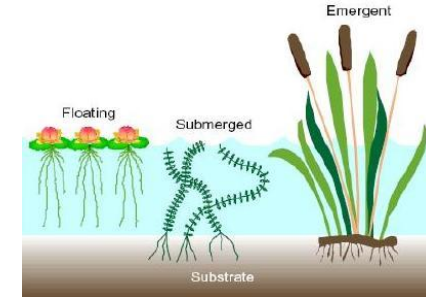
- ✓ Οριζόντια ροή
- ✓ Ύψος μέσου πληρώσεως περίπου 50 cm (συνήθως χώμα)
- ✓ Βάθος νερού 20-50 cm (έλεγχος στάθμης στην έξοδο)

Τεχνητοί Υγρότοποι επιφανειακής ροής



Τεχνητοί Υγρότοποι επιφανειακής ροής

- ✓ Χρησιμοποιούνται κυρίως αναδυόμενα φυτά αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και βυθισμένα ή επιπλέοντα φυτά



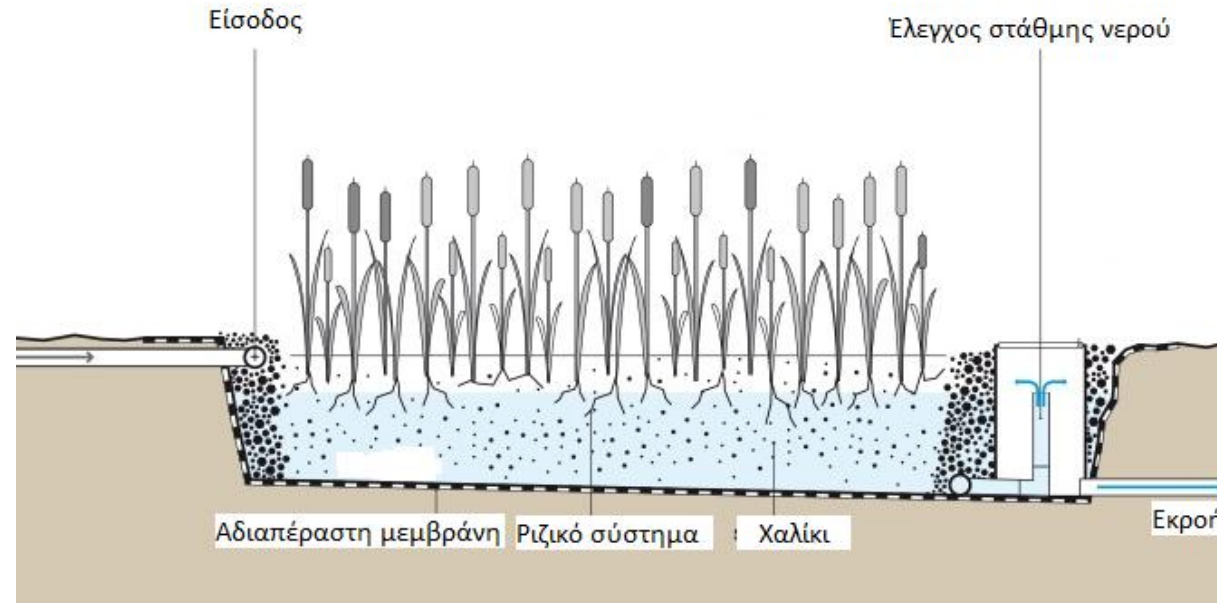
- ✓ Μηχανισμοί απομάκρυνσης (καθίζηση, φίλτρανση, βιοαποδόμηση, οξείδωση, προσρόφηση, κατακρήμινση κλπ)
- ✓ Βρίσκουν εφαρμογή κυρίως για την επεξεργασία χαμηλού ρυπαντικού και μικροβιακού φορτίου νερά όπως: δευτεροβάθμια επεξεργασμένη εκροή αστικών λυμάτων, αστικές, γεωργικές και βιομηχανικές υδάτινες απορροές.
- ✓ Ευνοεί την ανάπτυξη άγριας ζωής (έντομα, αμφίβια, ψάρια, ερπετά, πουλιά και θηλαστικά)
- ✓ Έχουν μεγάλη αντοχή σε διακυμάνσεις ροής
- ✓ Έχουν συνήθως μικρότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τους υποεπιφανειακούς υγροτόπους

Τεχνητοί Υγρότοποι επιφανειακής ροής

- ✓ Απαιτούν μεγαλύτερη έκταση για να επιτύχουν την ίδια ποιότητα εκροής με τους υποεπιφανειακού υγροτόπους
- ✓ Έχουν μεγαλύτερη εξάρτηση από τις κλιματικές συνθήκες σε σχέση με τους υποεπιφανειακούς υγροτόπους
 - ✓ Ψυχρά κλίματα → μικρότερες αποδόσεις
 - ✓ Θερμά κλίματα → μεγαλύτερη εξάτμιση → χαμηλότερη ποιότητα εκροής
- ✓ Υπάρχει μεγαλύτερη παρουσία κουνουπιών
- ✓ Υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος έκθεσης σε παθογόνους μικροοργανισμούς

Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Οριζόντιας ροής



- ✓ Οριζόντια ροή
- ✓ Ύψος μέσου πλήρωσης 40-80 cm (συνήθως χαλίκι)
- ✓ Το νερό ρέει κάτω από την επιφάνεια του μέσου πλήρωσης

Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Οριζόντιας ροής



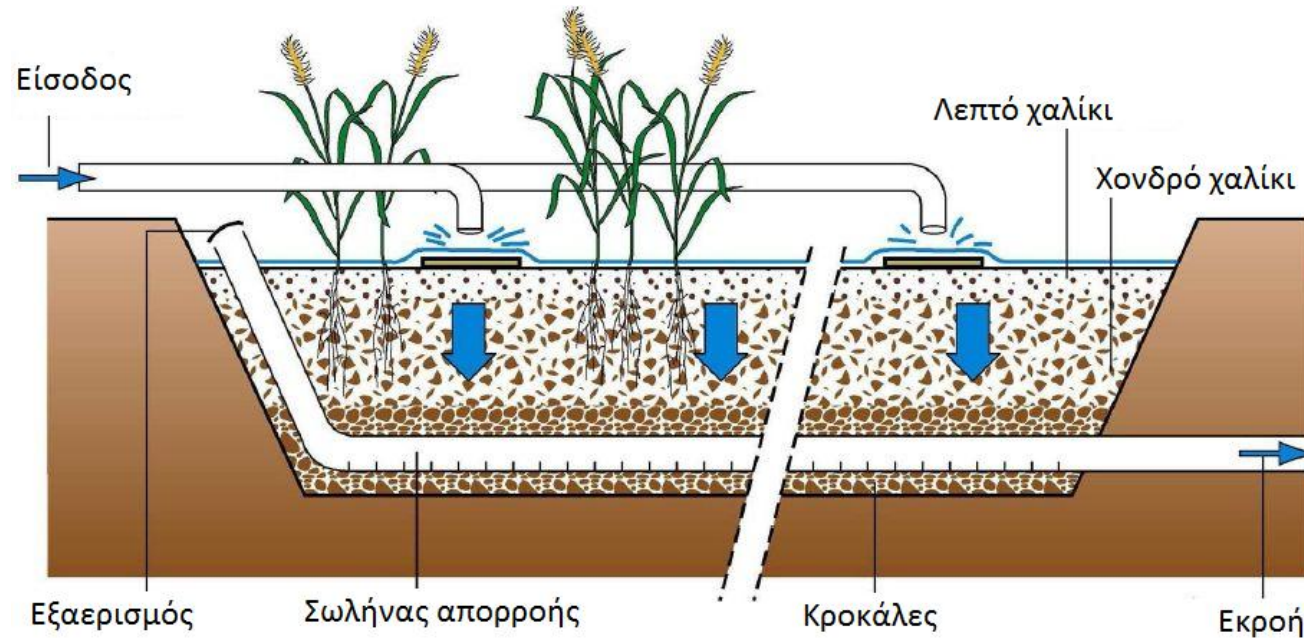
Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Οριζόντιας ροής

- ✓ Βρίσκουν εφαρμογή κυρίως για την επεξεργασία πρωτοβάθμια επεξεργασμένης εκροή αστικών λυμάτων αλλά και σε πολλά άλλα βιομηχανικά υγρά απόβλητα.
- ✓ Έχουν συνήθως μεγαλύτερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τους επιφανειακούς υγροτόπους
- ✓ Απαιτούν μικρότερη έκταση για να επιτύχουν την ίδια ποιότητα εκροής με τους επιφανειακούς υγροτόπους
- ✓ Η επιφάνεια του μέσου πλήρωσης ευνοεί την ανάπτυξη βιοφιλμ και κατά συνέπεια ευνοεί την βιοαποδόμηση των ρύπων
- ✓ Μικρότερη εξάρτηση από τις κλιματικές συνθήκες
- ✓ Δεν ευνοούν την ανάπτυξη κουνουπιών
- ✓ Μειωμένος κίνδυνος έκθεσης σε παθογόνους μικροοργανισμούς
- ✓ Πιθανά προβλήματα έμφραξης → χαμηλότερες αποδόσεις

Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Κάθετη ροής



- ✓ Κάθετη ροή
- ✓ Βάθος 50-120 cm
- ✓ Μέσο πλήρωσης : χαλίκια/άμμος αυξανόμενης κοκκομετρίας με το βάθος
- ✓ Η φόρτιση των συστημάτων γίνεται ανά διαστήματα (3-12 ανά ημέρα)

Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Κάθετης ροής



Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Κάθετης ροής

- ✓ Βρίσκουν εφαρμογή κυρίως για την επεξεργασία πρωτοβάθμια επεξεργασμένης εκροή αστικών λυμάτων αλλά και σε πολλά άλλα βιομηχανικά υγρά απόβλητα.
- ✓ Υπάρχουν διάφοροι τύποι υγροτόπων κάθετης ροής
- ✓ Έχουν όλα τα πλεονεκτήματα των υποεπιφανειακής ροής υγροτόπων και επιπλέον σε σχέση με τους οριζόντιας ροής:
- ✓ Απαιτούν μικρότερη έκταση- μικρότερο κόστος κατασκευής
- ✓ Ευνοούν την μεταφορά οξυγόνου
- ✓ Ευνοούν την νιτρικοποίηση

- ✓ Πιθανά προβλήματα έμφραξης → χαμηλότερες αποδόσεις
- ✓ Μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις- μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος

Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Κάθετης ροής

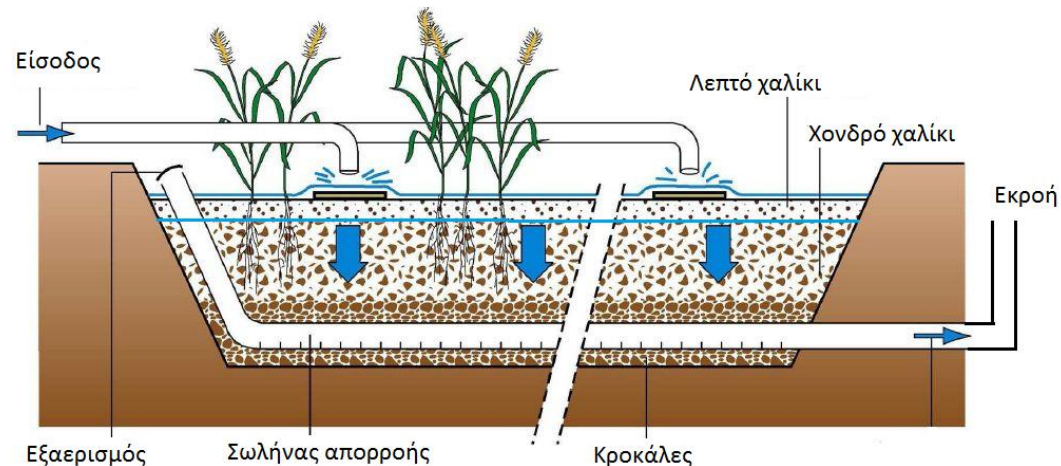
Υπάρχουν πολλές διαφορετικές παραλλαγές υγροτόπων κάθετης ροής όπως:

- ✓ Γαλλικό σύστημα : Απουσία λεπτόκοκκων υλικών → δυνατότητα επεξεργασίας ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων
- ✓ Ανακυκλοφορία εκροής: αυξάνει το χρόνο επαφής με το μέσο → αυξάνει την απόδοση επεξεργασίας
- ✓ Ανοδική ροή: αυξάνει το χρόνο επαφής με το μέσο, δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες στο πυθμένα και αερόβιες στην επιφάνεια → αυξάνει την απόδοση επεξεργασίας,

Τεχνητοί Υγρότοποι υπο-επιφανειακής ροής

Κάθετης ροής

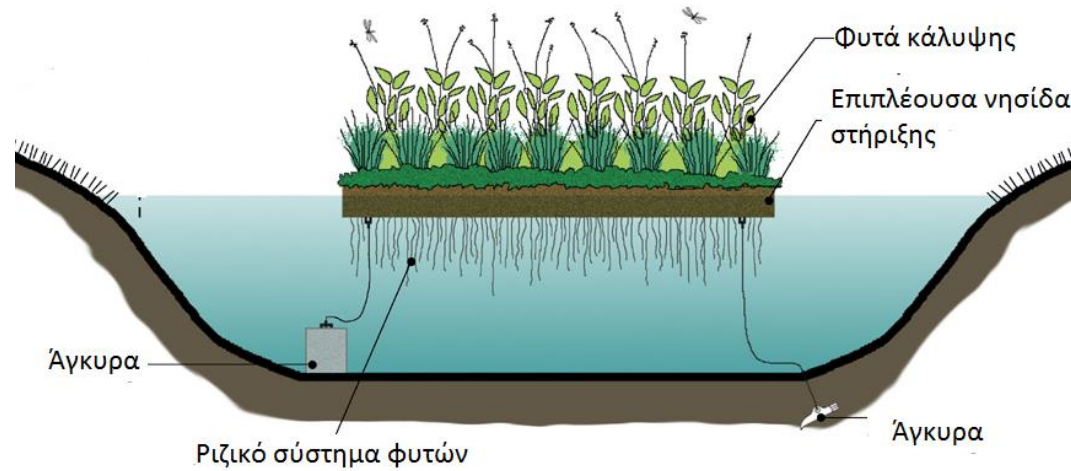
- ✓ Παλιρροιακής ροής: αυξάνει το χρόνο επαφής με το μέσο → αυξάνει την απόδοση επεξεργασίας,
- ✓ Κορεσμένης κάθετης ροής: αυξάνει το χρόνο επαφής με το μέσο → αυξάνει την απόδοση επεξεργασίας, αναερόβιες συνθήκες



Υβριδικά συστήματα

- ✓ Σκοπό έχουν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα και να απαλείψουν τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου υγροτόπου
- ✓ Διάφορες παραλλαγές
 - Κάθετης – οριζόντιας
 - Οριζόντιας- κάθετης
 - Οριζόντιας-κάθετης -οριζόντιας

Επιπλέοντες υγρότοποι επεξεργασίας



- ✓ Ονομάζονται και επιπλέοντες νησίδες
- ✓ Νέα τεχνολογία
- ✓ Δεν υπάρχει μέσο πλήρωσης
- ✓ Τα φυτά αναπτύσσονται σε μια επιπλέουσα πλατφόρμα

Επιπλέοντες υγρότοποι επεξεργασίας



Επιπλέοντες υγρότοποι επεξεργασίας

- ✓ Συνδυάζουν μια λίμνη επεξεργασίας με ένα σύστημα επιπλέουσας βλάστησης που λειτουργεί σαν υδροπονική καλλιέργεια
- ✓ Μπορούν να τοποθετηθούν σε υπάρχοντα φυσικά συστήματα
- ✓ Δεν επηρεάζονται από διακυμάνσεις στην ροή εισόδου
- ✓ Εφαρμόζονται κυρίως για την επεξεργασία υδάτινων απορροών και ρυπασμένων φυσικών οικοσυστημάτων
- ✓ Πολύ μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας
- ✓ Ευκολία στην αποσυναρμολόγηση

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας

Επεξεργασία αστικών λυμάτων

- ✓ Οι υγρότοποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δευτεροβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων
- ✓ Η εφαρμογή τους είναι οικονομικά και πρακτικά εφικτή για μικρούς οικισμούς (<2.000 ι.κ)
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία λυμάτων σε μεμονωμένες κατοικίες ή για την επεξεργασία γκρι νερών
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προχωρημένη επεξεργασία δευτεροβάθμια επεξεργασμένης εκροής

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Αστικά λύματα- Πυργού, Ηρακλείου Κρήτης

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας

Επεξεργασία αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων

- ✓ Οι υγρότοποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από νερά πλύσεων και υδάτινες απορροές κτηνοτροφικών μονάδων
- ✓ Κυρίως χρησιμοποιούνται συστήματα ελεύθερης υδατικής επιφάνειας
- ✓ Το ρυπαντικό φορτίο είναι υψηλότερο από τα αστικά λύματα
- ✓ Η επεξεργασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρωτοβάθμια

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Υγρά απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων- Tohuku, University,
Ιαπωνία

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Υγρά απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων- Ontario, ΗΠΑ

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας

Επεξεργασία αποβλήτων ορυχείων

- ✓ Οι υγρότοποι χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία όξινων αποστραγγίσεων ορυχείων
- ✓ Αυξάνουν το pH και μειώνουν τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων
- ✓ Αποτελεί διαδεδομένη πρακτική στη ΗΠΑ σε ανθρακορυχεία ενώ η εφαρμογή τους επεκτείνεται και σε άλλου είδους ορυχεία (χρυσού, χαλκού, μόλυβδου, ψευδαργύρου κλπ.)

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Στραγγίσματα ορυχείου Pennsylvania, ΗΠΑ

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Στραγγίσματα ορυχείου Pennsylvania, ΗΠΑ

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας

Επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων

- ✓ Οι υγρότοποι χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από βιομηχανίες τροφίμων με μεγάλο οργανικό και αζωτούχο φορτίο. Απαιτείται συνήθως προ-επεξεργασία πριν την εφαρμογή
- ✓ Τα απόβλητα της χαρτοβιομηχανίας μπορούν επίσης να επεξεργαστούν με τεχνητούς υγροτόπους
- ✓ Οι υγρότοποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προχωρημένη επεξεργασία νερών διεργασίας και βρόχινων απορροών από διωλιστήρια πετρελαίου.

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Απόβλητα βιομηχανίας χημικών- Changshu, Κίνα

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας

Επεξεργασία στραγγισμάτων χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων

- ✓ Τα στραγγίσματα αποτελούν ένα ιδιαίτερα επιβλαβές είδος αποβλήτων (βαρέα μέταλλα, υδρογονάνθρακες, μικρορυπαντές κλπ.), δύσκολα βιοαποδομήσιμο
- ✓ Σε πολλές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί ρύπανση των υπόγειων υδάτων και του εδάφους
- ✓ Οι υγρότοποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία των στραγγισμάτων
- ✓ Έχουν πολύ μικρότερο κόστος από τις άλλες προτεινόμενες τεχνολογίες

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Στραγγίσματα ΧΥΤΑ- British Columbia, Καναδάς

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας

Επεξεργασία αστικών υδάτινων απορροών

- ✓ Οι υγρότοποι αποτελούν καθιερωμένη πρακτική για την επεξεργασία των υδάτινων απορροών
- ✓ Δεν χρειάζεται προ-επεξεργασία
- ✓ Μπορούν να αναβαθμίσουν αισθητικά τις αστικές περιοχές
- ✓ Σε ορισμένες περιπτώσεις εξετάζεται η απόρριψη της πρώτης απορροής (first flush)

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Απορροές δρόμων (Georgia και Austin, ΗΠΑ)

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Απορροές αυτοκινητόδρομου –Oslo, Νορβηγία

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας

Επεξεργασία αγροτικών απορροών

- ✓ Οι αγροτικές απορροές περιέχουν κυρίως αιωρούμενα στερεά, νιτρικά, φωσφορικά και φυτοφάρμακα.
- ✓ Η περιεκτικότητά τους στις παραπάνω ουσίες εξαρτάται πολύ από τις γεωργικές πρακτικές που ακολουθούνται, το ύψος της βροχής, τον τύπο του εδάφους και την τοπογραφία
- ✓ Οι υγρότοποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία των αγροτικών απορροών

Υγρότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας



Αγροτικές απορροές - ΗΠΑ

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

Nivala, J., Headley, T., Wallace, S., Bernhard, K., Brix, H., Afferden, M., Muller, R.A. 2013. Comparative analysis of constructed wetlands: The design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany. *Ecological Engineering*, 6, 527-543.