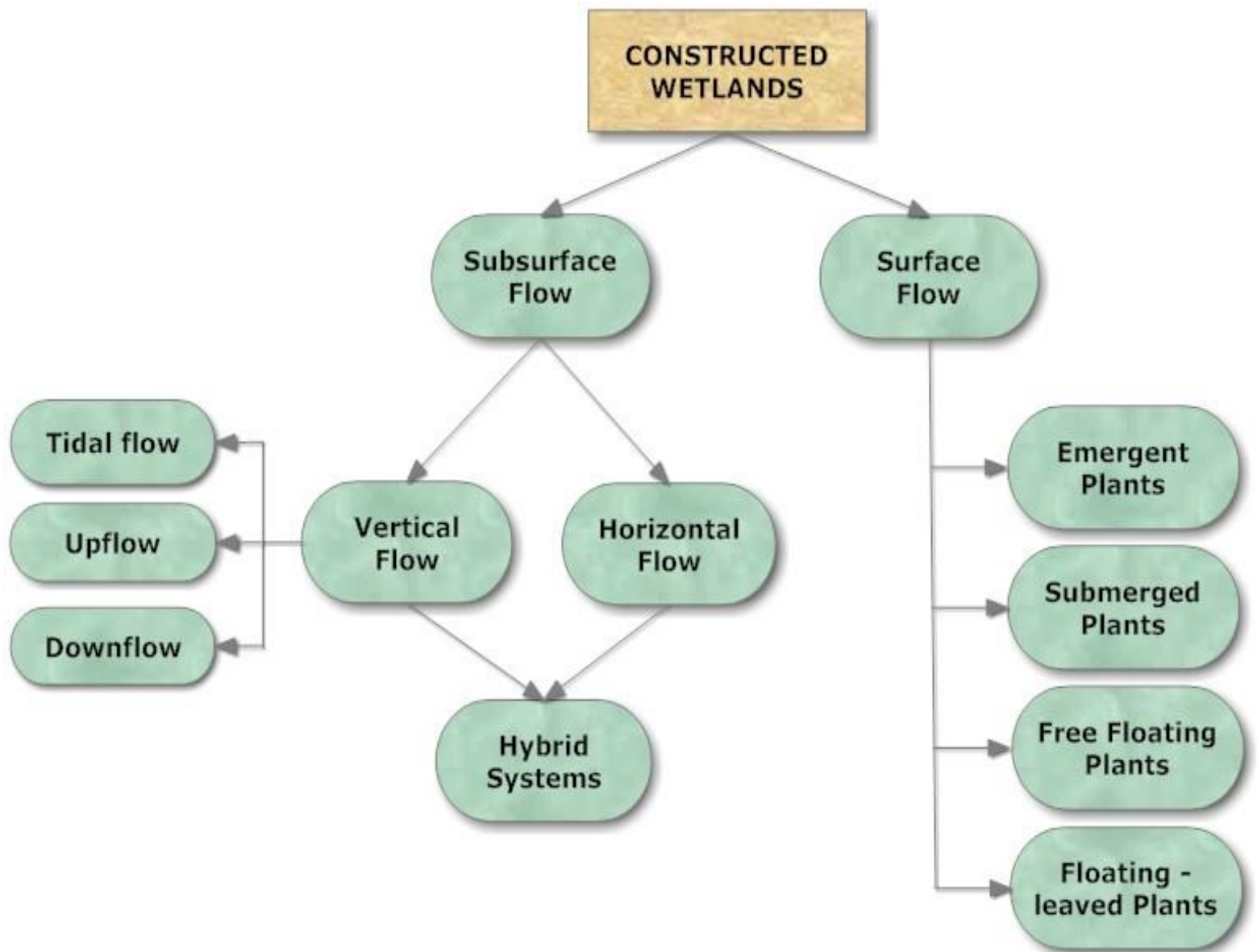




# Τεχνητοί Υγροβιότοποι

# Χαρακτηριστικά

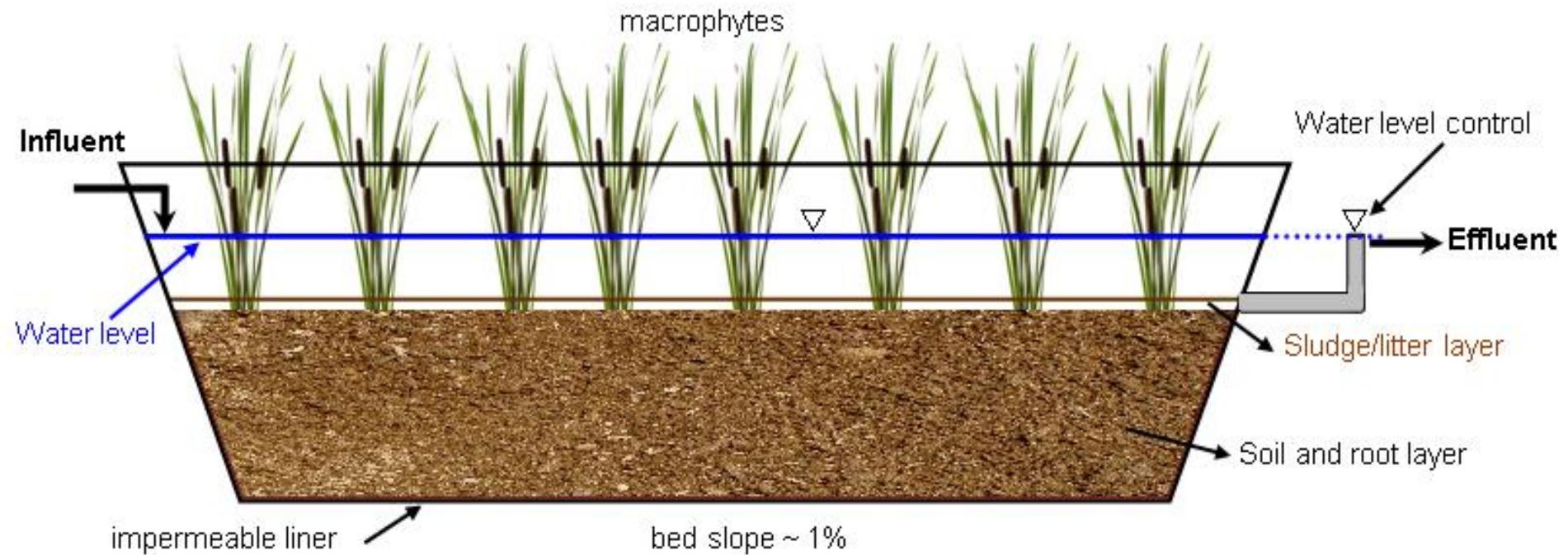
- Έχουν νερό σε σχετικά μικρό βάθος
- Έχουν χαρακτηριστικά εδάφη
- Έχουν χαρακτηριστική βλάστηση
- Διαφέρουν σε μέγεθος και χαρακτηριστικά



# Τεχνητοί υγρότοποι Επιφανειακής ροής (FWS CWs)

- Η χρήση συστημάτων FWS είναι πιο συχνή στη Βόρεια Αμερική
- Χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την επεξεργασία αστικών λυμάτων
- Περιέχουν στρώμα εδάφους πάχους έως 40 cm, όπου φυτεύονται τα μακροφύτα (συνήθως εμφανίζονται, αλλά μπορούν επίσης να βυθιστούν ή να επιπλέουν).
- Το νερό ρέει σχεδόν οριζόντια με χαμηλή ταχύτητα πάνω από το στρώμα εδάφους κατά μήκος του συστήματος, δημιουργώντας βάθος στήλης νερού 20-80 cm
- Η στάθμη του νερού διατηρείται με την κατάλληλη διάταξη ελέγχου στάθμης εξόδου.
- Το νερό ρέει μέσω του υγροτόπου και έρχεται σε επαφή με τους κόκκους του εδάφους και τα μέρη του φυτού, επιτρέποντας έτσι μια σειρά φυσικών, βιολογικών και χημικών διεργασιών, οι οποίες συμβάλλουν στην υποβάθμιση και την απομάκρυνση διαφόρων ρύπων.
- Ωστόσο, σχεδόν το στάσιμο νερό αυξάνει την πιθανότητα αναπαραγωγής κουνουπιών.

## Free Water Surface Constructed Wetlands



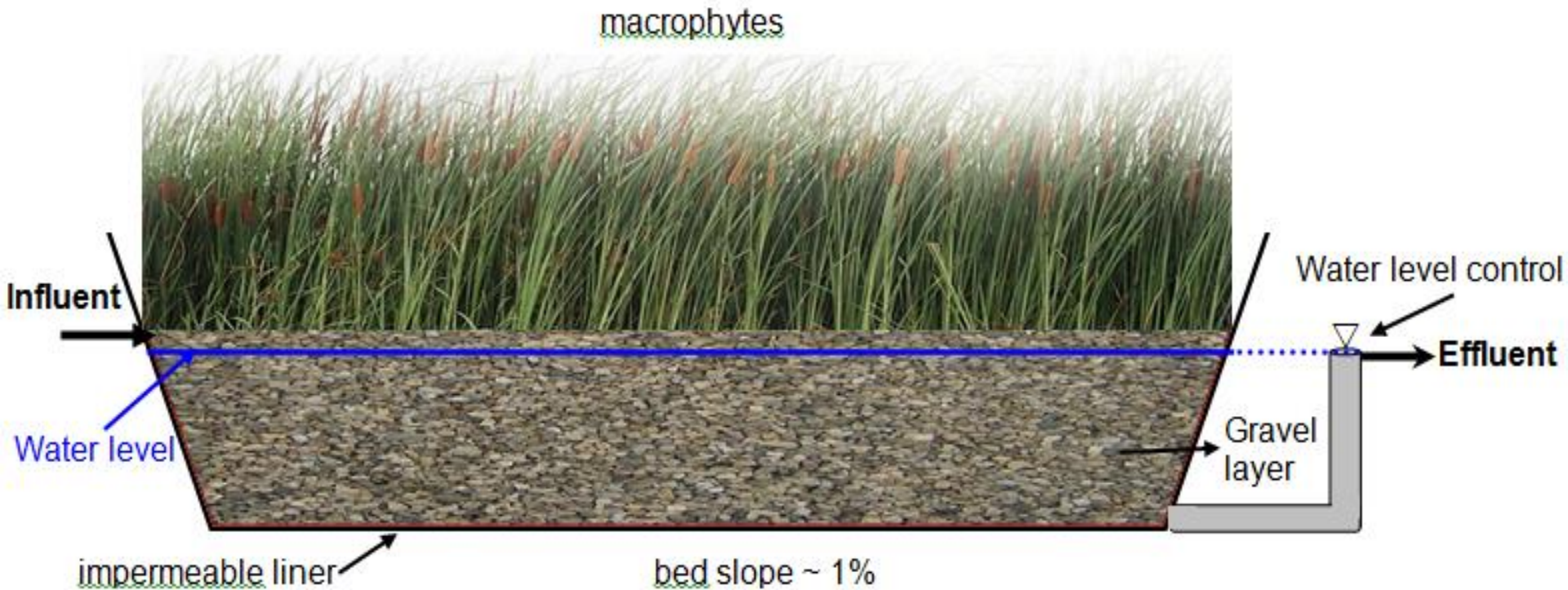
# Τεχνητοί υγρότοποι Επιφανειακής ροής (FWS CWs)

- Τα FWS CWs έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στην απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών (SS) και BOD<sub>5</sub>.
- Η απομάκρυνση αζώτου (N), παθογόνων και άλλων ρύπων (π.χ. βαρέα μέταλλα) είναι υψηλή, ενώ η αφαίρεση φωσφόρου (P) είναι περιορισμένη.
- Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (DO) στη στήλη νερού κυμαίνεται από υψηλή (κοντά στην επιφάνεια) έως σχεδόν μηδέν (κοντά στον πυθμένα).
- Οι τυπικές εφαρμογές των FWS CWs περιλαμβάνουν προηγμένη επεξεργασία δευτερογενών λυμάτων και επεξεργασία απορροής υδάτων.
- Πριν από την επεξεργασία ακατέργαστων λυμάτων, αυτά τα συστήματα είναι συνήθως εξοπλισμένα με ένα στάδιο προεπεξεργασίας.
- Συνήθως, τα FWS CWs απαιτούν υψηλότερη επιφάνεια σε σύγκριση με άλλους τύπους CW για την ίδια ροή λυμάτων και τα ίδια χαρακτηριστικά, καθώς τα πορώδη μέσα και οι ρίζες των φυτών στα συστήματα SF CW παρέχουν μεγαλύτερη περιοχή επαφής.
- Από την άλλη πλευρά, οι SF CWs τείνουν να απαιτούν υψηλότερες αρχικές επενδύσεις. Λόγω της παρουσίας μιας επιφάνειας νερού, τα συστήματα FWS τείνουν να μοιάζουν καλύτερα με τους φυσικούς υγρότοπους και, ως εκ τούτου, παρέχουν περισσότερα οφέλη για τα ενδιαφέροντα της άγριας ζωής.

# Τεχνητοί υγρότοποι οριζόντιας υπόγειας ροής (HSF CWs)

- Τα συστήματα HSF CW είναι χώμα ή χώμα που συνήθως φυτεύονται με κοινά καλάμια.
- Η κύρια διαφορά με τα FWS CWs είναι ότι δεν υπάρχει επιφάνεια νερού που εκτίθεται στην ατμόσφαιρα, καθώς το νερό ρέει οριζόντια κατά μήκος της κλίνης κάτω από την επιφάνεια του υποστρώματος μέσω των πόρων του πορώδους μέσου και των ριζών του φυτού.
- Το υπόστρωμα, το οποίο συνήθως είναι χαλίκι ή μείγμα άμμου και χαλικιού, υποστηρίζει την ανάπτυξη της βλάστησης.
- Το βάθος του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 30 και 80 cm ανάλογα με το βάθος της ρίζας του φυτού, ενώ ο πυθμένας του στρώματος καλύπτεται από μια αδιαπέραστη γεωμεμβράνη.
- Μια μικρή κλίση (1-3%) του πυθμένα εφαρμόζεται συνήθως για την προώθηση της βαρυτικής ροής του νερού.
- Εάν το σύστημα έχει σχεδιαστεί σωστά, δεν είναι ορατή η επιφανειακή ροή και η στάθμη του νερού διατηρείται περίπου 10-15 cm κάτω από την κορυφή του υποστρώματος με κατάλληλη δομή εξόδου.
- Η ομοιόμορφη κατανομή των υγρών λυμάτων στο πλάτος της κλίνης είναι ζωτικής σημασίας. Γι' αυτό, η τροφοδοσία λυμάτων στην είσοδο γίνεται μέσω ενός διάτρητου σωλήνα τοποθετημένου κατά μήκος του πλάτους της κλίνης για κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειας της κλίνης.

## Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands





# Τεχνητοί υγρότοποι οριζόντιας υπόγειας ροής (HSF CWs)

- Αυτός ο τύπος CWs χρησιμοποιείται πιο συχνά στις ΗΠΑ και πολύ συχνά στην Ευρώπη.
- Σε σύγκριση με τα συστήματα FWS, τα HSF CWs έχουν υψηλότερο επενδυτικό κόστος, αν και η ζήτηση περιοχής είναι μικρότερη.
- Τα συστήματα HSF είναι αποτελεσματικά στην επεξεργασία αστικών λυμάτων. Η παρουσία φυτικών ριζών και πορωδών μέσων ευνοεί την ανάπτυξη του βιοφίλμ, το οποίο ενισχύει την απομάκρυνση της οργανικής ύλης (OM) και του SS, ενώ η απομάκρυνση των θρεπτικών ουσιών (N και P) συνήθως φτάνει σε χαμηλότερα επίπεδα.

# Τεχνητοί υγρότοποι κατακόρυφης ροής (VFCWs)

- Οι τεχνητοί υγρότοποι με κατακόρυφη ροή κάτω από την επιφάνεια (VFCWs) αναπτύχθηκαν αρχικά από τον Seidel (1965) ως μεσαίο στάδιο μετά από αναερόβια σηπτική δεξαμενή και πριν από HSF CWs (Vymazal et al., 2006).
- Στις αρχικές εφαρμογές της τεχνολογίας CW, δόθηκε έμφαση στους άλλους τύπους CW, καθώς οι VFCW γενικά έχουν υψηλότερο κόστος λειτουργίας.
- Η σταδιακή αύξηση της χρήσης των VFCWs ήταν αποτέλεσμα της συνειδητοποίησης ότι τα συστήματα HSF διαθέτουν σχετικά χαμηλή ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου (OTC) για τις απαιτήσεις μιας δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, η οποία αντίστοιχα περιορίζει την ικανότητα οξείδωσης αζώτου αμμωνίας (Cooper, 1999).
- Ως εκ τούτου, η ανάγκη ενίσχυσης της ποσότητας οξυγόνου που φτάνει στο υγρότοπο οδήγησε σε εντατικότερη έρευνα για τα VFCWs τις τελευταίες δύο δεκαετίες.

# Τεχνητοί υγρότοποι κατακόρυφης ροής (VFCWs)

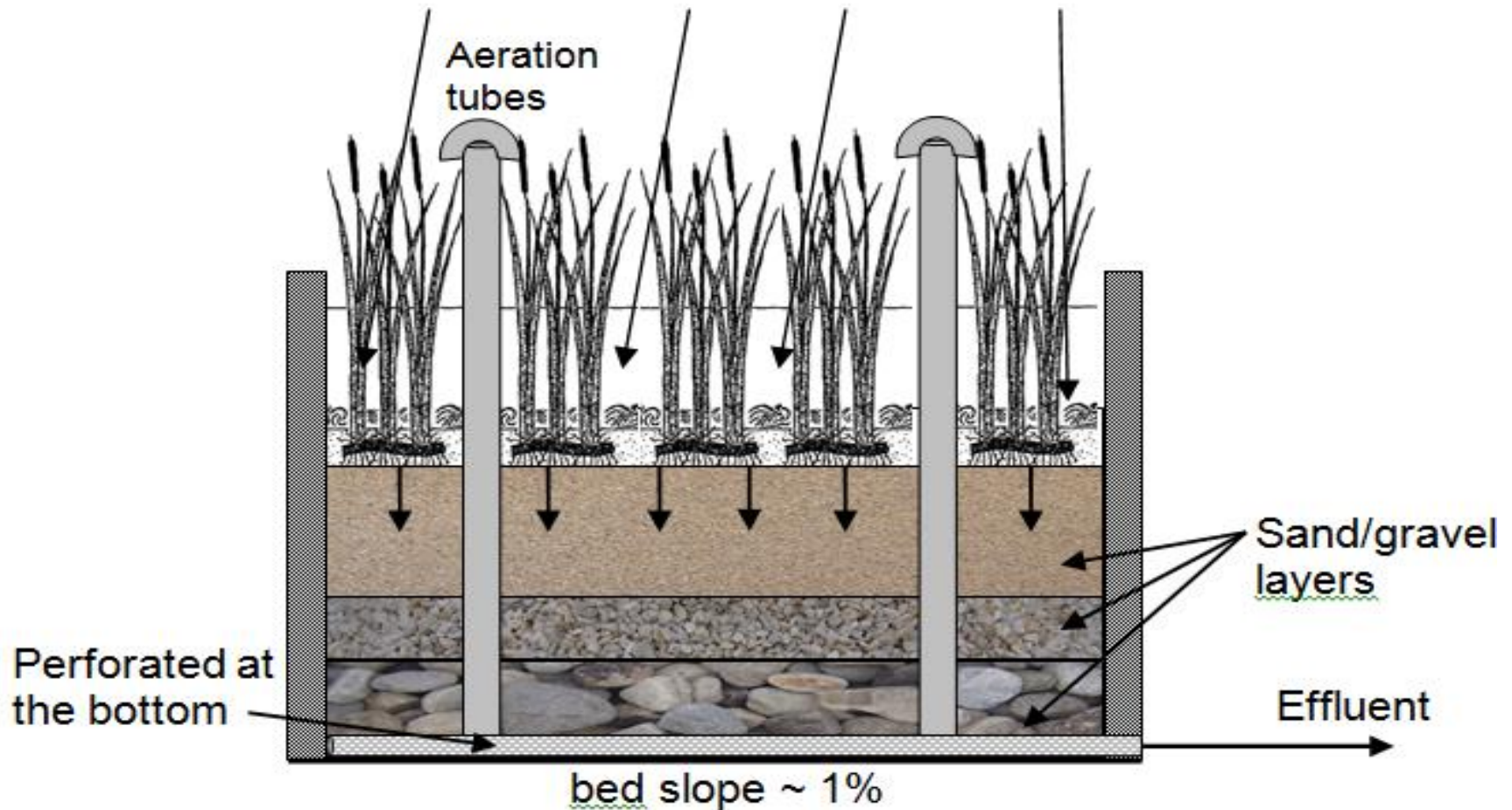
- Το κύριο πλεονέκτημα των συστημάτων VFCW είναι το υψηλότερο OTC τους λόγω του καθεστώτος τροφοδοσίας που πλημμυρίζει σχεδόν στιγμιαία την επιφάνεια της κλίνης του VF CW.
- Επιπλέον, οι VFCW διαθέτουν μικρότερες απαιτήσεις εμβαδού (έως  $2 \text{ m}^2 / \text{pe}$ ) σε σύγκριση με HSW CWs (συνήθως  $5-10 \text{ m}^2 / \text{pe}$ ), γεγονός που συνεπάγεται επίσης χαμηλότερο κόστος κατασκευής.
- Τα VFCW χρησιμοποιούνται κυρίως στην Ευρώπη, και ιδίως στη Δανία, την Αυστρία, τη Γερμανία, τη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο, αλλά και στις ΗΠΑ.

# Τεχνητοί υγρότοποι κατακόρυφης ροής (VFCWs)

- Η πιο κοινή ρύθμιση συστήματος περιλαμβάνει μία κλίση γεμάτη με στρώματα χαλικιού / άμμου με αυξανόμενη διαβάθμιση με βάθος.
- Το βάθος της κλίνης κυμαίνεται από 0,45 έως 1,20 m
- το κάτω μέρος της κλίνης έχει μια μικρή κλίση (1-2%), η οποία επιτρέπει τη συλλογή νερού και αποχέτευσης από τη μονάδα.
- Ομοίως με τους άλλους τύπους CW, ο πυθμένας καλύπτεται από γεωμεμβράνη ή μπορεί να είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Τα λύματα εφαρμόζονται σε μεγάλες παρτίδες στην επιφάνεια της κλίνης,
- πλημμυρίζοντας ολόκληρη την επιφάνεια,
- δημιουργία για σύντομο χρονικό διάστημα συγκέντρωσης νερού 3-5 cm, και
- στη συνέχεια, διήθηση και αποστράγγιση κάθετα από τη βαρύτητα μέσω των πορωδών μέσων.

## Vertical Flow Constructed Wetlands

(surface flooding, ponding and gravitational drainage)



# Τεχνητοί υγρότοποι κατακόρυφης ροής (VFCWs)

- Με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, τα λύματα απλώνεται σε ολόκληρη την επιφάνεια CW και κινείται προς τα κάτω από τη βαρύτητα, ωθώντας τον παγιδευμένο αέρα και πιπιλίζοντας καθαρό αέρα στην κλίση, ενισχύοντας έτσι τον αερισμό.
- Ο αερισμός ενισχύεται περαιτέρω όταν παρέχει σωλήνες αερισμού στο κρεβάτι, και επίσης, χρησιμοποιώντας έναν υγρό-στεγνό κύκλο λειτουργίας.
- Αυτός ο τρόπος φόρτισης είναι σημαντικός στη διαδικασία επεξεργασίας, καθώς η αυξημένη μεταφορά οξυγόνου εντός της κλίσης παρέχει καλύτερες αερόβιες συνθήκες για την οξείδωση του αζώτου αμμωνίας (νιτροποίηση) και την αποσύνθεση του ΟΜ, σε σύγκριση με τους HSF CWs
- Ωστόσο, αυτές οι συνθήκες δεν ευνοούν την απονιτροποίηση, ενώ η απομάκρυνση του P είναι περιορισμένη, κυρίως λόγω του ανεπαρκούς χρόνου επαφής μεταξύ του πορώδους μέσου και των λυμάτων καθώς το αργότερο ρέει από τη βαρύτητα.

# VFCWs με διαλείπουσα φόρτιση (downflow)

- Αυτός είναι πιθανώς ο πιο κοινός τρόπος λειτουργίας, ειδικά στην Ευρώπη
- Το νερό της αποχέτευσης εφαρμόζεται σε μεγάλους όγκους στην επιφάνεια του κρεβατιού σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, πλημμυρίζοντας έτσι ολόκληρη την επιφάνεια CW
- Συνήθως, μια κατάλληλη συσκευή ή δίκτυο διάτρητων σωλήνων παρέχει την ομοιόμορφη κατανομή των λυμάτων σε ολόκληρη την επιφάνεια της κλίνης.
- Η ταχεία εισαγωγή λυμάτων στην επιφάνεια δημιουργεί προσωρινή συγκέντρωση νερού 3-5 cm και προσωρινές κορεσμένες συνθήκες στα ανώτερα στρώματα.
- Στη συνέχεια, το νερό αποστραγγίζεται κάθετα από τη βαρύτητα μέσω των πορωδών στρωμάτων μέσω της κλίνης σε κατάσταση ακόρεστης ροής.
- Καθώς το νερό αποστραγγίζεται, αέρας από την ατμόσφαιρα εισέρχεται στο σύστημα και γεμίζει τον κενό χώρο των μέσων.
- Μετά την πλήρη αποστράγγιση του νερού, εφαρμόζεται περίοδος ανάπαυσης για την πλήρη αποκατάσταση των αερόβιων συνθηκών εντός της κλίνης και για να επιτραπεί η οξείδωση του συσσωρευμένου ΟΜ ώστε να αποφευχθεί η απόφραξη της κλίνης.
- Αυτή η στρατηγική τροφοδοσίας ευνοεί επίσης τη διαδικασία νιτροποίησης.
- Συνήθως, ο αριθμός των δόσεων λυμάτων ανά ημέρα δεν είναι πολύ υψηλός (3-10), προκειμένου να επιτραπεί η πλήρης αποστράγγιση του φορτωμένου νερού μεταξύ δύο παρτίδων.

# Τα Γαλλικό σύστημα

- Μια ειδική παραλλαγή VFCWs αναπτύχθηκε στη Γαλλία τις τελευταίες δύο δεκαετίες (Boutin et al., 1997).
- Το λεγόμενο «γαλλικό σύστημα» είναι μια εναλλακτική διάταξη διαλείπουσας φόρτωσης κλίνης VFCW.
- Η κύρια διαφορά αυτού του συστήματος είναι η απουσία ενός ανώτερου στρώματος λεπτόκοκκου υλικού στην κλίση και η τοποθέτηση ενός εκτεταμένου στρώματος με χοντρόκοκκο χαλίκι.
- Μια τυπική διαμόρφωση του γαλλικού συστήματος περιλαμβάνει ένα αρχικό στάδιο και ένα δεύτερο στάδιο θεραπείας.
- Μια οθόνη χονδροειδούς ράβδου συνήθως εγκαθίσταται πριν από τα κύρια στάδια επεξεργασίας για την αφαίρεση μεγάλων σωματιδίων (> 2 cm, Boutin et al., 1997).
- Συνήθως, το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τρία παράλληλα κρεβάτια. Το κύριο πλεονέκτημα του γαλλικού συστήματος είναι ότι τα ακατέργαστα λύματα τροφοδοτούνται απευθείας στα στρώματα του πρώτου σταδίου, πράγμα που σημαίνει ότι αποφεύγεται μια πρωτεύουσα δεξαμενή καθίζησης.
- Έτσι, κάθε κρεβάτι λαμβάνει το πλήρες οργανικό φορτίο και το περιεχόμενο SS.
- Η στρατηγική τροφοδοσίας είναι η ίδια με τον κοινό τύπο VFCW με διαλείπουσα φόρτωση και περιλαμβάνει περιόδους σίτισης και ανάπαυσης.



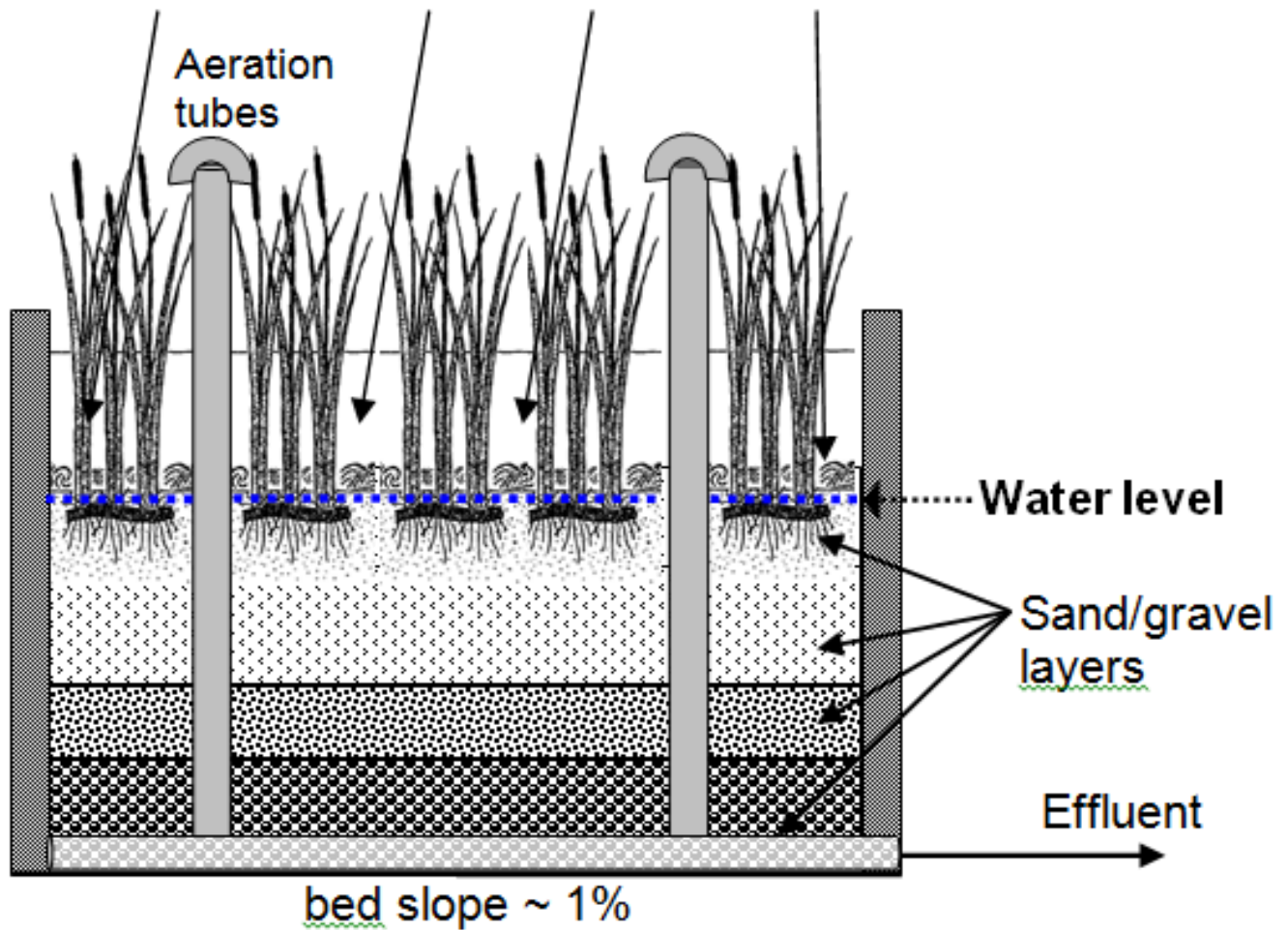
# Ανακυκλοφορία VFCWs

- Ένα πρόβλημα με τα συστήματα VF διαλειπούσας φόρτισης έχει να κάνει με τον σχετικά μικρό χρόνο επαφής μεταξύ των λυμάτων και των πορωδών μέσων, καθώς αποστραγγίζεται κάθετα μέσω της μήτρας κλίνης.
- Για να αντισταθμιστεί αυτό το ζήτημα, έχει προταθεί μερική ανακυκλοφορία λυμάτων.
- Η επανεισαγωγή μέρους του όγκου εκροής στην επιφάνεια της κλίνης παρέχει περισσότερο οξυγόνο για την ενίσχυση των αερόβιων μικροβιακών δραστηριοτήτων, ενώ αυξάνει τον χρόνο επαφής και τις αντίστοιχες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λυμάτων και του βιοφίλμ που συνδέεται με τις ρίζες του φυτού.
- Το αποτέλεσμα αυτού είναι η αραίωση του νερού εισροής και η αυξημένη απομάκρυνση του ΟΜ.
- Όταν πραγματοποιείται επανακυκλοφορία του καλά-νιτροποιημένου υγρού εκροής VFCW στο στάδιο της προ-επεξεργασίας (π.χ. δεξαμενή καθίζησης), ο διαθέσιμος άνθρακας και οι γενικά ανοξικές συνθήκες μπορούν επίσης να ενισχύσουν την απονιτροποίηση, η οποία οδηγεί σε βελτιωμένη απομάκρυνση του ολικού αζώτου.
- Αυτά τα συστήματα έχουν αποδειχθεί ότι είναι μια καλή και αξιόπιστη λύση για την επεξεργασία οικιακών λυμάτων ως μικρά επιτόπια συστήματα επεξεργασίας για μεμονωμένα νοικοκυριά ή μικρές κοινότητες
- Τα VFCW με ανακυκλοφορία λυμάτων έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία άλλων τύπων λυμάτων, π.χ. λυμάτων χοίρων (Lian-sheng et al., 2006a), εκπλύματος υγειονομικής ταφής (Lanrona and Koumanova, 2010), επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης γκρίζων υδάτων (Gross et al., 2007), τα γεωργικά λύματα (Sun et al., 2003) και τα λύματα ζωικού κεφαλαίου (Lian-sheng et al., 2006b), μεταξύ άλλων.

# Πλυμμηρικής ροής CWs

- Η στρατηγική λειτουργίας αυτών των συστημάτων βασίζεται στην τακτική πλήρωση της κλίνης με λύματα (δημιουργώντας κορεσμένες συνθήκες) ακολουθούμενη από αποστράγγιση (ακόρεστες συνθήκες).
- Κατά τη διάρκεια της αρχειοθέτησης της κλίνης, ο αέρας που υπάρχει μέσα στους πόρους του υποστρώματος αναγκάζεται να διαφύγει από την κλίνη και το σύστημα σταδιακά διαποτίζεται με λύματα.
- Μετά από μια ορισμένη χρονική περίοδο, κατά την οποία το κρεβάτι παραμένει πλήρως βυθισμένο, ξεκινά η αποστράγγιση λυμάτων. Στη συνέχεια, απορροφάται καθαρός αέρας από την ατμόσφαιρα στο κρεβάτι, καθώς τα λύματα αποχέτευσης λειτουργούν ως παθητική αντλία αέρα.
- Τα πλεονεκτήματα αυτής της στρατηγικής τροφοδοσίας είναι ο αυξημένος χρόνος επαφής μεταξύ των λυμάτων και των συστατικών CW (ρίζες φυτών, πορώδη μέσα, βιοφίλμ) που οδηγεί σε βελτιωμένες απομακρύνσεις ρύπων.
- Ο εισερχόμενος αέρας ευνοεί τη δημιουργία αερόβιων συνθηκών στο κρεβάτι (αυξημένη μεταφορά οξυγόνου) και ενισχύει τη μικροβιακή δραστηριότητα.
- Έχουν εφαρμοστεί διάφορες μελέτες με στόχο τη διερεύνηση της σημασίας των παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας, όπως ο χρόνος κύκλου πλήρωσης και αποστράγγισης, το βάθος αποστράγγισης, το βάθος υποστρώματος, οι ρυθμοί υδραυλικής και οργανικής φόρτωσης και η παρουσία εγκαταστάσεων. Οι κορεσμένοι χρόνοι που ελέγχθηκαν κυμαίνονται από 20 λεπτά (Sun et al., 1999), 45 λεπτά (Austin, 2006), 1 ώρα (Zhao et al., 2004a; Sun et al., 2005), 1-3 ώρες (Zhao et. κ.λπ., 2004b; Sun et al., 2007; Wu et al., 2011), 4 ώρες (Zhao et al., 2011a), 3-10,5 ώρες (Cui et al., 2012) και φτάνουν ακόμη και 7 ημέρες (De Feo, 2007). Αυτές οι τιμές υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχει ευρέως αποδεκτή περίοδος κορεσμού, αν και φαίνεται να είναι επαρκής ένας μικρότερος χρόνος μερικών ωρών.
- Συνήθως, τα συστήματα περιλαμβάνουν πολλά παράλληλα κρεβάτια, έτσι ώστε ο τρόπος πλήρωσης και αποστράγγισης να μπορεί να εφαρμόζεται εναλλακτικά.
- Τα συνολικά αποτελέσματα συνεπάγονται βελτίωση της απόδοσης του συστήματος υπό τη λειτουργία παλιρροιακής ροής σε σύγκριση με τη διαλείπουσα στρατηγική φόρτωσης.
- Λόγω των πλεονεκτημάτων επεξεργασίας τους, οι υγρότοποι παλιρροιακής ροής έχουν δοκιμαστεί κυρίως για ειδικούς τύπους λυμάτων με υψηλά φορτία ρύπων, π.χ. γεωργία.

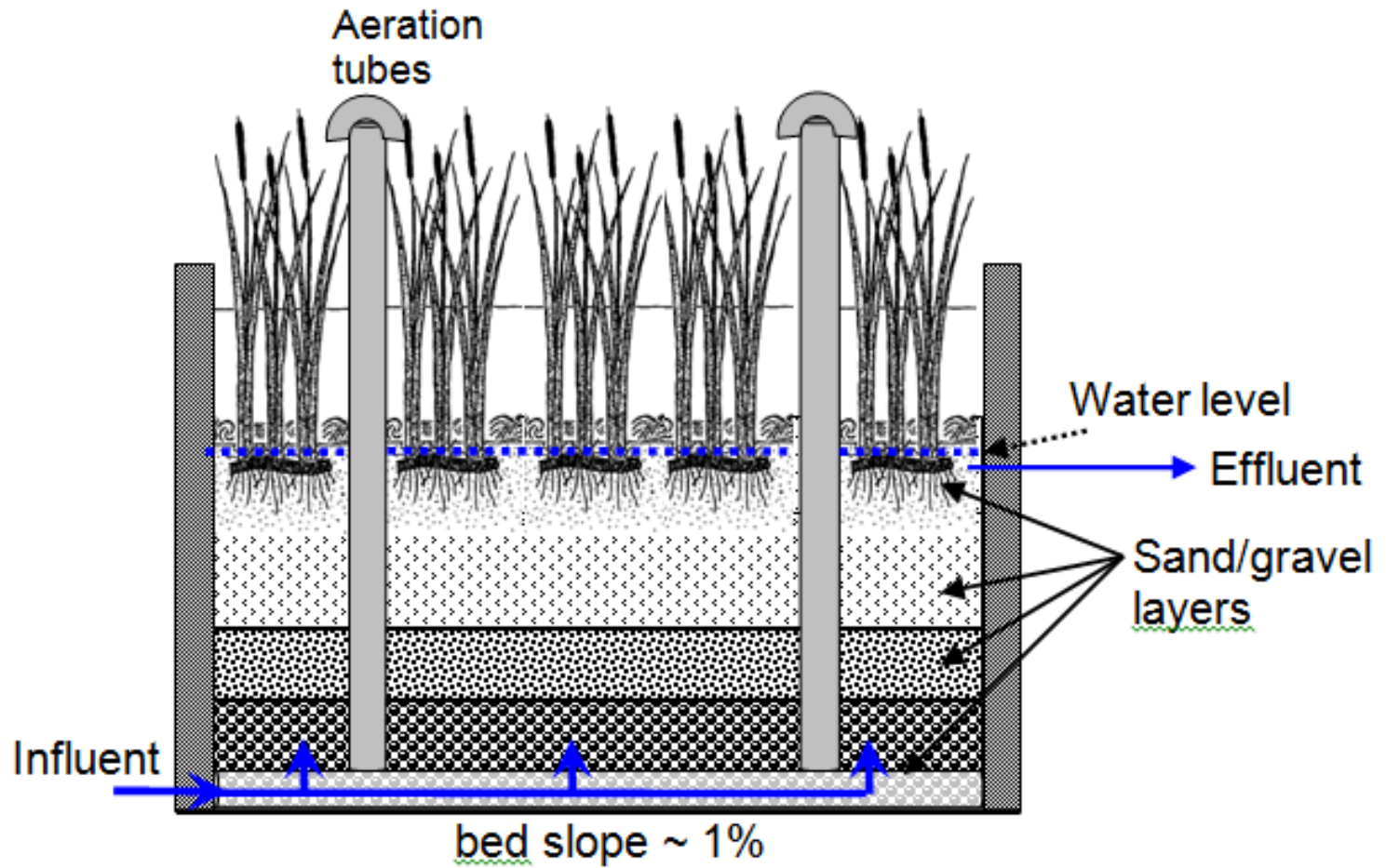
## Tidal Flow CWs



# Κορεσμένης κάθετης ροής CWs

- Η εισαγωγή λυμάτων πραγματοποιείται στο κάτω μέρος της κλίνης με ένα κατάλληλο δίκτυο σωλήνων.
- Το νερό της αποχέτευσης κινείται σταδιακά προς τα πάνω μέσα από τα πορώδη στρώματα μέσω και τη ζώνη ρίζας του φυτού.
- Το απόβλητο συλλέγεται στην επιφάνεια της κλίνης ή μερικά cm κάτω από την επιφάνεια.
- Τα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου λειτουργίας είναι ο μεγαλύτερος χρόνος παραμονής που μπορεί να εφαρμοστεί, ο οποίος αντιστοιχεί αντίστοιχα μεγαλύτερος χρόνος επαφής μεταξύ των λυμάτων και των συστατικών του συστήματος (πορώδη μέσα, ρίζες φυτών, βιοφίλμ) και, συνεπώς, βελτιωμένοι ρυθμοί απομάκρυνσης θρεπτικών ουσιών.
- Αναφέρεται ότι ο αυξημένος χρόνος επαφής μεταξύ λυμάτων και ριζών αναβαθμίζει σημαντικά το ρόλο των φυτών στην απομάκρυνση του αζώτου με άμεση πρόσληψη.
- Αυτή η κίνηση του νερού από την κάτω αναερόβια περιοχή στο ανώτερο αερόβιο στρώμα υποδεικνύει την ταυτόχρονη παρουσία αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με την παραγωγή μεθανίου στο κάτω μέρος της αναερόβιας στιβάδας, καθιστά την ροή VFCW ελκυστική για τη βιοαποικοδόμηση (αποχλωρίωση) χλωριωμένων διαλυτών και την απομάκρυνση των ρύπων που υπάρχουν στα μολυσμένα υπόγεια ύδατα.
- Αυτός ο μοναδικός συνδυασμός αερόβιων και αναερόβιων ζωνών έχει επίσης αξιοποιηθεί για την επεξεργασία υφασμάτων λυμάτων, για την απομάκρυνση του χρώματος και του  $\text{AO}_7$ , εκτός από οργανικές ενώσεις (Ong et al., 2009).
- Έχουν δοκιμαστεί διάφορες τιμές HRT σε ανερχόμενα VFCW. Για τη γεωργική απορροή, η HRT που εφαρμόστηκε ήταν 10 ώρες (Farahbakshazad and Morrison, 2000), για δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων 5 d (Breen, 1990), για τριτοβάθμια επεξεργασία 1-4 d (Ghosh and Gopal, 2010), για επεξεργασία υπόγειων υδάτων 6,9 -17,5 d (Roen, 2011), για αραιωμένα ούρα 4-10 ώρες (Farahbakshazad and Morrison, 1997) και για επεξεργασία σημάτων δεξαμενής 2-3 ημερών (Xuan, 2009).

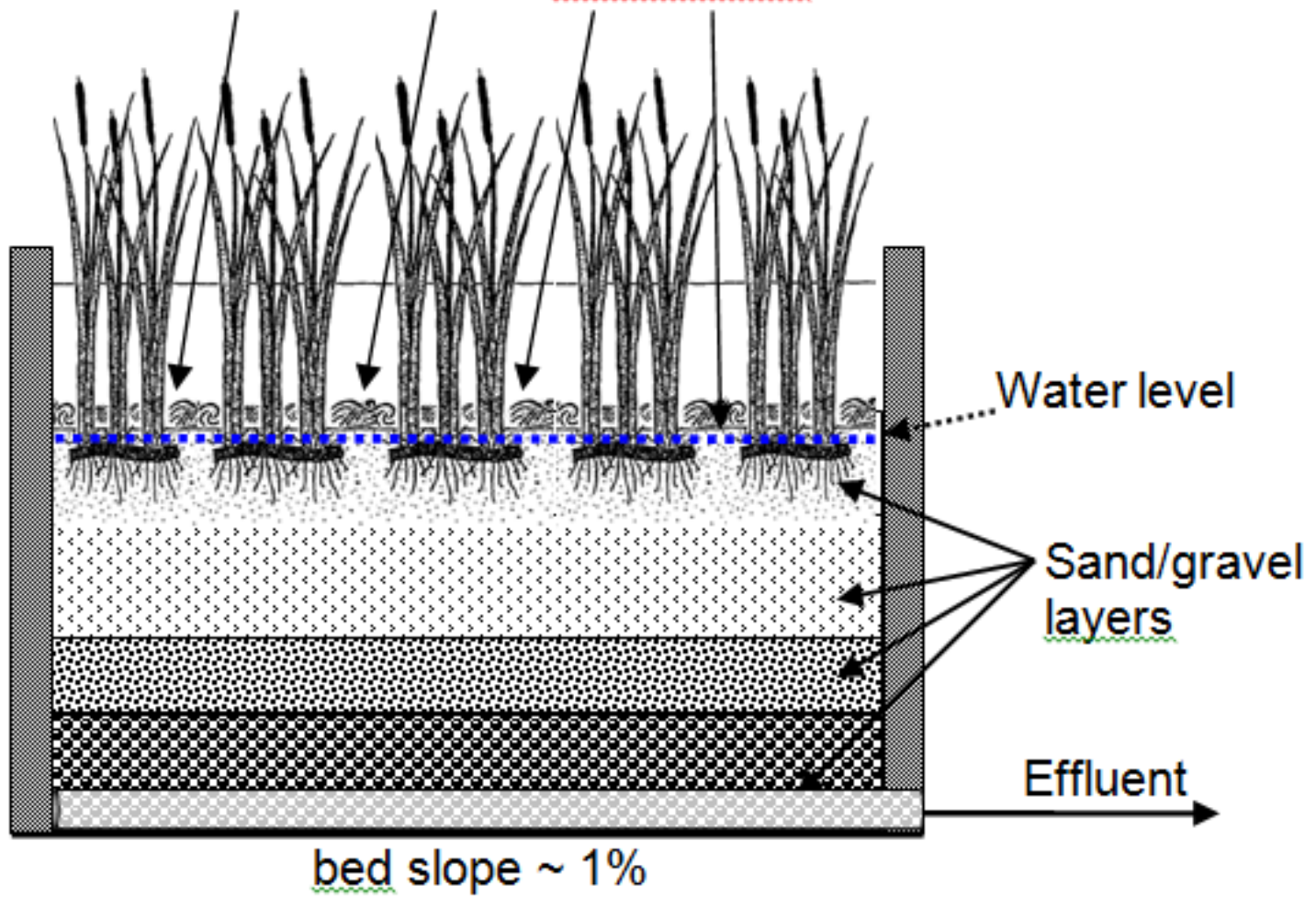
## Saturated Vertical Upflow CWs



# Κορεσμένης κάθετης ροής (Downflow) CWs

- Αυτά τα συστήματα είναι λίγο πολύ παρόμοια με τα ανερχόμενης ροής.
- Η κύρια διαφορά είναι ότι τα λύματα εισάγονται στην κορυφή της κλίνης με ομοιόμορφη κατανομή.
- Με μια κατάλληλη υδραυλική διάταξη στην έξοδο, η στάθμη του νερού μέσα στο κρεβάτι διατηρείται μερικά cm (5-20 cm) κάτω από την επιφάνεια.
- Το HRT που εφαρμόζεται (1-8 d) επιτρέπει την απομάκρυνση διαφόρων ρύπων από τα λύματα, λόγω του αυξημένου χρόνου επαφής μεταξύ των λυμάτων και των εξαρτημάτων του συστήματος.
- Αυτός ο τύπος εμφανίζεται ως μια ελκυστική επιλογή για όξινα λύματα, π.χ. επεξεργασία αποστράγγισης ορυχείων οξέος, ταξινομημένα στα συστήματα παθητικής επεξεργασίας.
- Είναι επίσης γνωστοί ως αναερόβιοι υγρότοποι ή «βιοαντιδραστήρες λιπασματοποίησης» εάν δεν έχουν φυτευτεί.
- Οι κατακόρυφοι υγρότοποι για την αποστράγγιση ορυχείων οξέων καλούνται επίσης διαδοχικά συστήματα παραγωγής αλκαλικότητας (SAPS) και μπορούν να διακριθούν δύο τρόποι: οξειδώνοντας τους αναερόβιους υγρότοπους και μειώνοντας τους αναερόβιους υγρότοπους.

## Saturated Vertical Downflow CWs



# Ολοκληρωμένα VF CWs

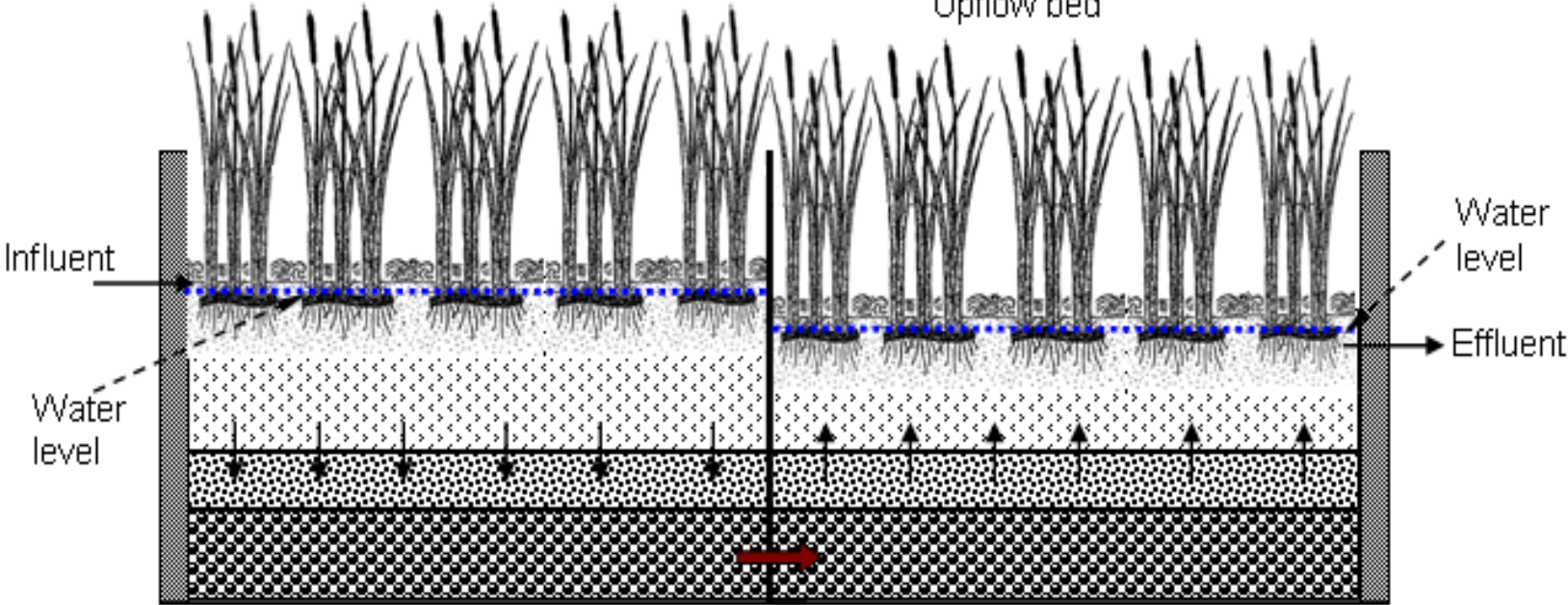
- Τα ολοκληρωμένα VFCWs (IVFCWs) είναι ένας σχετικά νέος τύπος CW με ροή υποεπιφάνειας.
- Παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην Κίνα από την Ευρωπαϊκή Ένωση το 1996 ως κοινό διεθνές έργο (έργο INCO-DC, αρ. ERBIC18CT960059, υποστηριζόμενο από το 4ο πρόγραμμα πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής) του Ινστιτούτου Υδροβιολογίας της Κινεζικής Ακαδημίας Επιστημών, Γερμανικά Πανεπιστήμιο Kalong και Αγροτικό Πανεπιστήμιο της Βιέννης της Αυστρίας κατά τη διάρκεια του «ένατου πενταετούς σχεδίου» στην Κίνα (Perfler et al., 1999; Wu et al., 2004; Liu et al., 2008; Chang et al., 2012; Xie et al., 2012).
- Αυτό το σύστημα είναι ουσιαστικά ένας άλλος τύπος υβριδικών CWs. Τα IVFCW περιλαμβάνουν κάθετη μονάδα που έχει φυτευτεί προς τα κάτω και ακολουθείται από κάθετη μονάδα που έχει φυτευτεί προς τα πάνω. Τα δύο συστήματα χωρίζονται από ένα τοίχωμα κατάτμησης.
- Το κατακόρυφο σύστημα κατάρρευσης είναι συνήθως 10 cm υψηλότερο από αυτό της ροής, έτσι ώστε το νερό να ρέει από το πρώτο στο δεύτερο σύστημα χωρίς τη χρήση οποιασδήποτε αντλίας (Εικ. 3.6).
- Τα IVFCWs θεωρούνται πολλά υποσχόμενα συστήματα για την αφαίρεση αζώτου, καθώς και για την αφαίρεση COD και TP.
- Οι αερόβιες διεργασίες (π.χ. νιτροποίηση) εμφανίζονται στην άνω ρίζα ζώνη στην κλίση downflow, ενώ οι αναερόβιες διεργασίες (π.χ. απονιτροποίηση, μείωση θειικών, μεθανογένεση) κυριαρχούν στην ανάντη κλίση.
- Επομένως, ο συνδυασμός μονάδων καθοδικής και άνω ροής παρέχει καλή αποτελεσματικότητα επεξεργασίας. Ο μεγαλύτερος χρόνος κατακράτησης λυμάτων και η υψηλότερη μεταφορά οξυγόνου λόγω του μήκους ροής ενισχύουν αυτήν την απόδοση.



# Integrated Vertical CWs

Downflow bed

Upflow bed

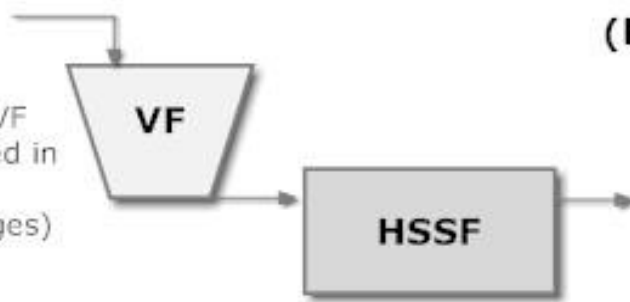


# Υβριδικοί CWs

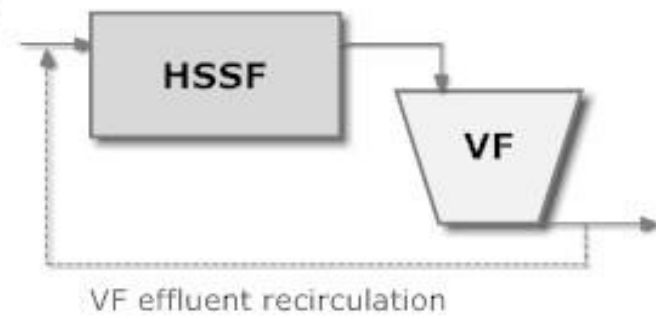
- Τα υβριδικά συστήματα είναι συνδυασμοί διαφόρων τύπων CW, κυρίως VF CWs και HSF CWs, με στόχο τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης.
- Η ιδέα είναι η εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων του ενός τύπου για την εξισορρόπηση των μειονεκτημάτων του άλλου.
- Έτσι, το γεγονός ότι τα συστήματα HSF έχουν χαμηλότερη ικανότητα νιτροποίησης λόγω περιορισμένου OTC μπορεί να αντισταθμιστεί με VFCW που είναι αποτελεσματικά στη νιτροποίηση (υψηλότερο OTC).
- Από την άλλη πλευρά, τα HSF CW παρέχουν καλές συνθήκες για απονιτροποίηση, σε αντίθεση με τα VF CWs.
- Η πρώτη προσπάθεια συνδυασμού διαφόρων τύπων CW έγινε από τον Seidel, ο οποίος σχεδίασε ένα σύστημα δύο σταδίων: παράλληλα VFCWs ακολουθούμενο από HSF CWs σε σειρά (Seidel, 1965).
- Γενικά, υπάρχουν δύο κοινοί τύποι υβριδικών συστημάτων:
  - (α) ένα στάδιο με μονάδες VF που ακολουθούνται από σειρές HSF σε σειρά
  - (β) ένα στάδιο HSF ακολουθούμενο από μονάδες VF

(a)

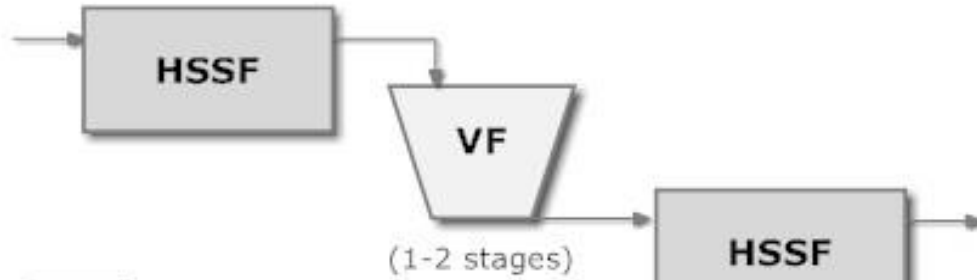
Several VF units used in rotation (1-2 stages)



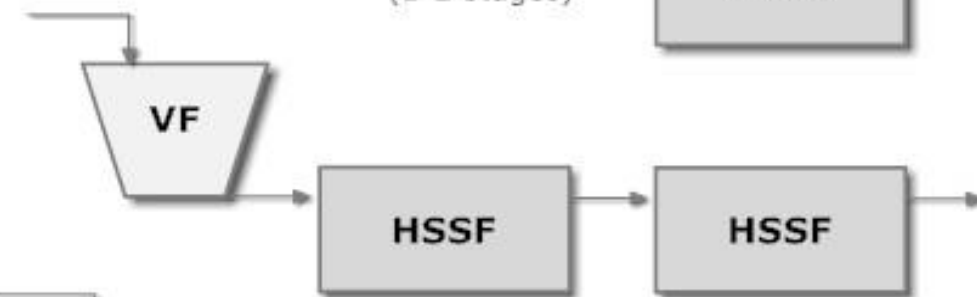
(b)



(c)



(d)



(e)



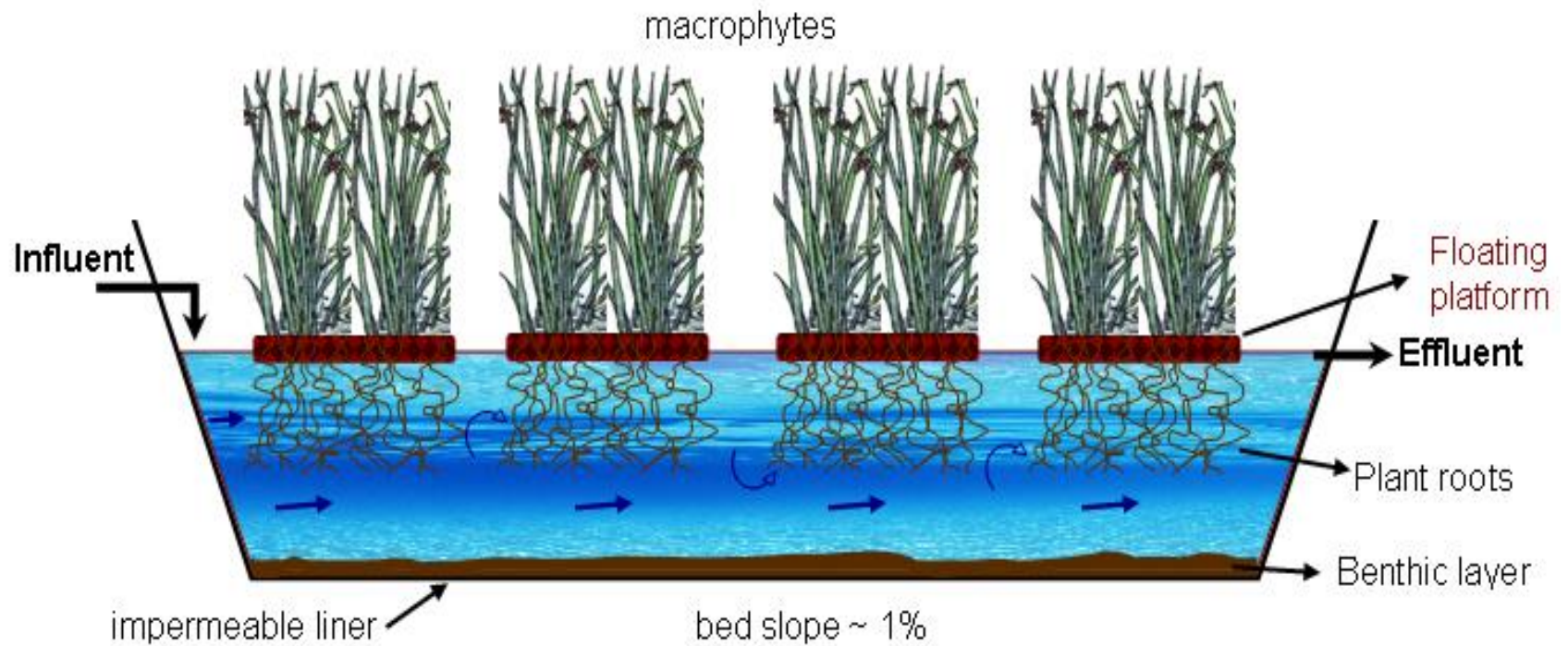
(f)



# Επιπλέοντες ΤΥ

- Οι επιπλέοντες ΤΥ αντιπροσωπεύουν μια νέα ανάπτυξη στον τομέα των κατασκευασμένων υδροτόπων.
- Τα κύρια χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνουν:
  - ανταλλακτικά και από τα δύο CW
  - και συστήματα λιμνών.
- Η βασική διαφορά σε σύγκριση με τα συστήματα FWS, HSF και VF είναι ότι τα φυτά δεν εγκαθίστανται σε πορώδη μέσα ή έδαφος αλλά σε ένα στοιχείο που επιπλέει πάνω από το νερό.
- Η πλατφόρμα είναι συνήθως κατασκευασμένη από πλαστικό για να είναι ανθεκτική σε διάφορες υδραυλικές και περιβαλλοντικές συνθήκες και επιτρέπει την ανάπτυξη αναδυόμενων μακροφυτών.
- Αυτά τα είδη φυτών αναπτύσσουν ένα εκτεταμένο και πυκνό ριζικό σύστημα κάτω από την πλατφόρμα και μέσα στο νερό. Το σύστημα επιπλέει σε μια ελεύθερη επιφάνεια νερού και, ως εκ τούτου, δεν επηρεάζεται από τη διαφορετική στάθμη του νερού σε ποτάμια, λίμνες, κανάλια κ.λπ.
- Ομοίως με τους άλλους τύπους CW, ο ρόλος των φυτών παραμένει λίγο πολύ ο ίδιος. Το ριζικό σύστημα παρέχει την απαραίτητη περιοχή προσκόλλησης για τη δημιουργία βιοφίλμ και λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο, ενώ τα φυτά προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξή τους απευθείας από τη στήλη νερού

## Floating Treatment Wetlands





# Σύγκριση Επιφανειακής-Υπόγειας Ροής

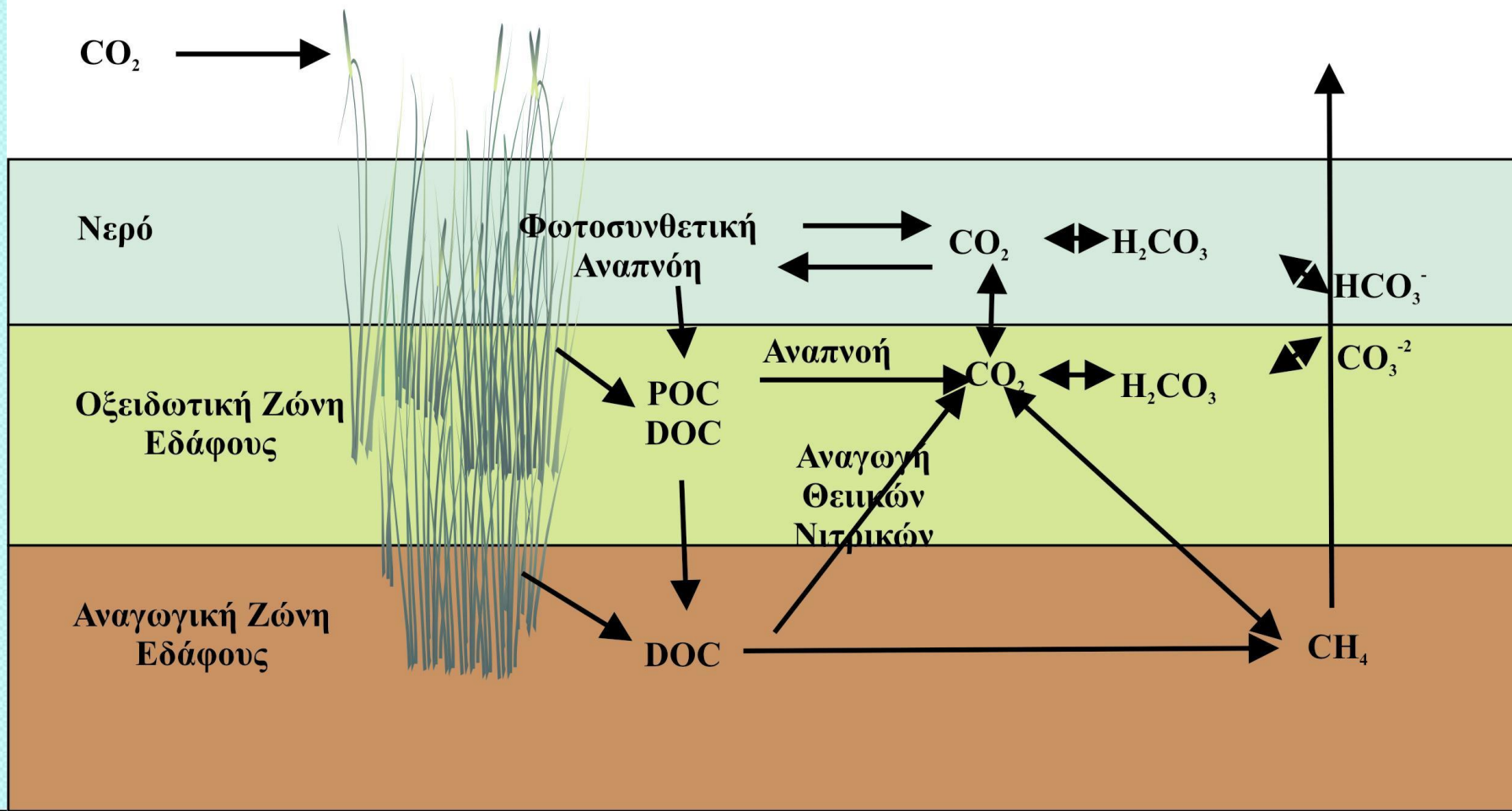
## Πλεονεκτήματα Υπόγειας Ροής:

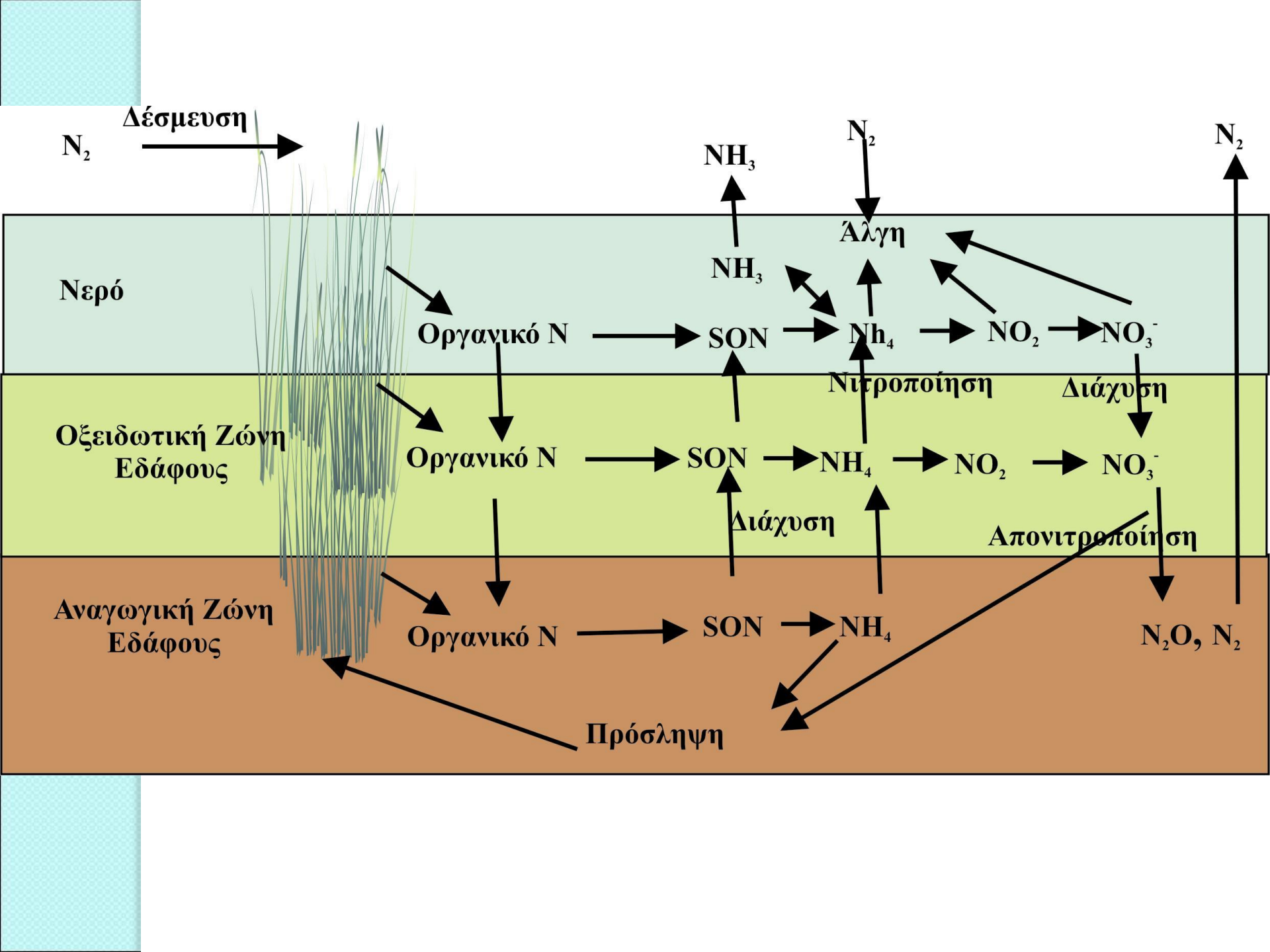
- Πιο αποτελεσματικοί Βιολογικοί αντιδραστήρες
- Δεν υπάρχουν κουνούπια
- Το απόβλητο δεν είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα
- Περιορισμένη επίδραση της θερμοκρασίας
- Μικρότερη επιφάνεια
- Τα επιφανειακής ροής έχουν μεγαλύτερη οικολογική αξία

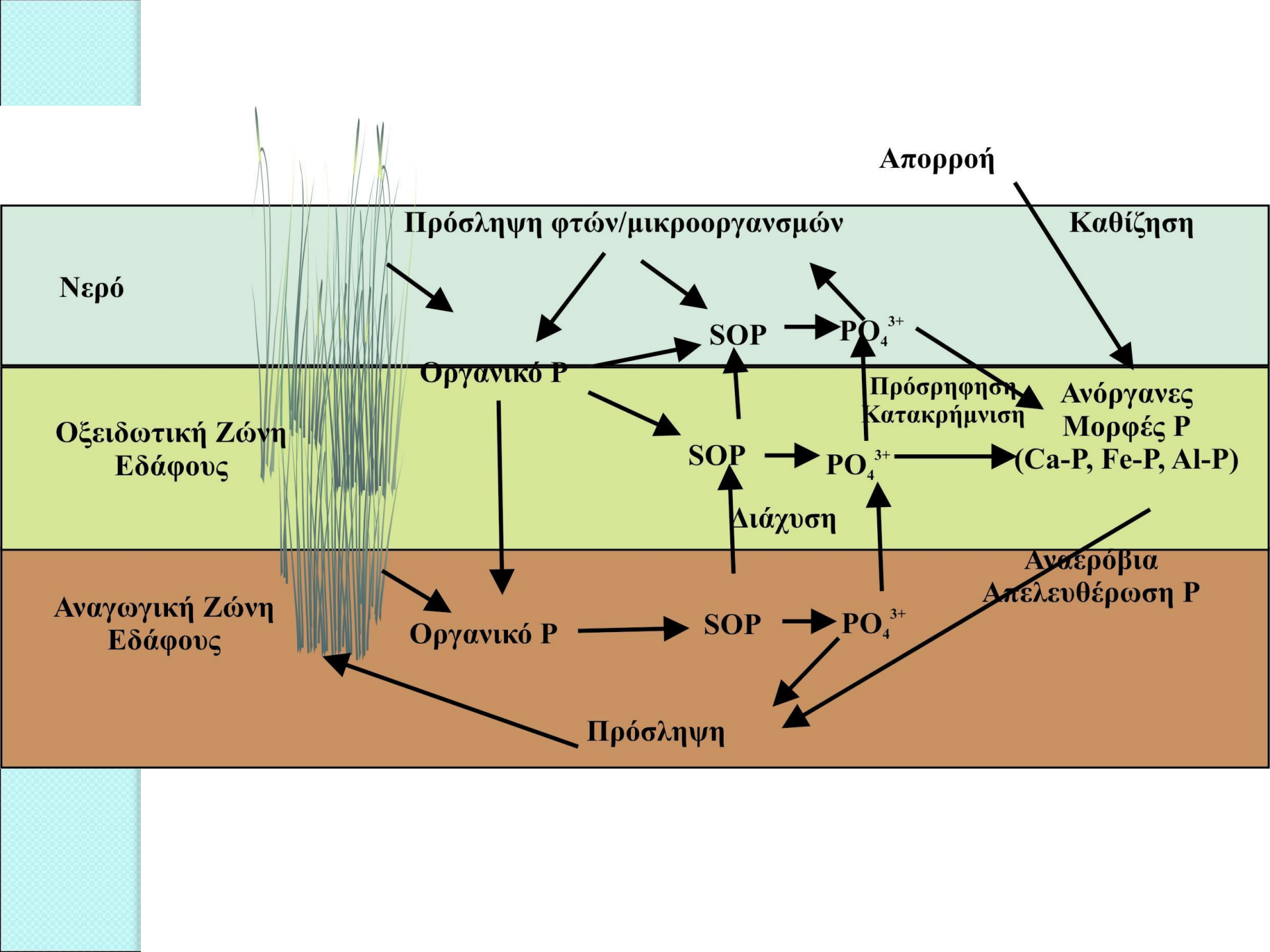
# Αφαίρεση Ρύπων

- Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: Συγκέντρωση του BOD στην εκροή από 2 έως 7 mg/L
- Αιωρούμενα στερεά: Συγκεντρώσεις στην εκροή μικρότερες των 20 mg/L
- Άζωτο: Μεγάλη αφαίρεση αζώτου
- Φωσφόρος: Αφαιρείται κυρίως με προσρόφηση από το υλικό και με απορρόφηση από τα φυτά
- Μέταλλα: Προσρόφηση στα ιζήματα και απορρόφηση από τα φυτά
- Παθογόνοι μικροοργανισμοί: Παρόμοιες διεργασίες με αυτές των λιμνών σταθεροποίησης









# Είδη βλάστησης

- Ψαθί: *Typha angustifolia* και *Typha latifolia*
- Βούρλο: *Scirpus actus*, *Scirpus cyperius*
- Καλάμι: *Phragmites australis*, *Phragmites communis*
- *Juncus articalatus*, *Juncus balticus*, *Juncus effusus*
- Σπαθόχορτο: *Carex lacustris*, *Carex stricata*

# Βλάστηση

- Τα φυτά είναι από τα πιο σημαντικά συστατικά στα συστήματα ΤΥ.
- Η παρουσία τους σε ΤΥ είναι πιθανώς ο κύριος λόγος που οι ΤΥ ονομάζονται «πράσινη τεχνολογία».
- Τα φυτικά είδη που χρησιμοποιούνται σε ΤΥ είναι συνήθως τα ίδια είδη που υπάρχουν σε φυσικούς υγρότοπους.
- Τα φυτά υγρότοπου (κυρίως αγγειακά φυτά, επίσης γνωστά ως μακροφύτα) αναπτύσσονται σε συνθήκες ημι-κορεσμένου νερού. Για να είναι κατάλληλα για χρήση σε ΤΥ, τα επιλεγμένα μακροφύτα πρέπει να πληρούν τα ακόλουθα κριτήρια:
- Πρέπει να είναι καλά προσαρμοσμένες στις τοπικές οικολογικές συνθήκες. Αυτό είναι απαραίτητο, ώστε να μην διατρέχουν κινδύνους σχετικά με την πιθανή ανάπτυξη ασθενειών στην τοπική χλωρίδα και στα κοντινά οικοσυστήματα.
- Πρέπει να είναι βιώσιμα στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και να αντέχουν σε πιθανές εμφανίσεις παρασίτων, εντόμων και ασθενειών.
- Πρέπει να είναι ανθεκτικά σε μια ποικιλία ρύπων που υπάρχουν στα λύματα (π.χ. οργανική ύλη, άζωτο, φώσφορος, βαρέα μέταλλα κ.λπ.) με ταυτόχρονη υψηλή ικανότητα απομάκρυνσης είτε με άμεση πρόσληψη είτε έμμεσα παρέχοντας τις απαραίτητες συνθήκες (π.χ. βελτιωμένη μεταφορά οξυγόνου) για άλλους μηχανισμούς αφαίρεσης.
- Πρέπει να προσαρμόζονται εύκολα στο τοπικό περιβάλλον ΤΥ και να παρουσιάζουν σχετικά γρήγορη ανάπτυξη και εξάπλωση.

# Βλάστηση

- Θα πρέπει να είναι εύκολα διαθέσιμα στην τοπική αγορά για αγορά ή, κατά προτίμηση, στην περιοχή για μεταμόσχευση βλαστών.
- Είναι ζωτικής σημασίας να χρησιμοποιούνται τοπικά, ιθαγενή είδη σε εγκατάσταση ΤΥ, καθώς η εισαγωγή και εγκατάσταση εξωτικών ειδών, που δεν υπάρχουν φυσικά στην περιοχή, μπορεί να δημιουργήσει πολλούς οικολογικούς κινδύνους.
- Επιπλέον, υπάρχει πάντα η πιθανότητα τα εξωτικά είδη να μην προσαρμοστούν καλά στις νέες κλιματολογικές συνθήκες.
- Προτιμώνται τα φυτά που αναπτύσσονται σε κοντινούς φυσικούς υγρότοπους και μπορούν να αναπτύξουν εκτεταμένο ριζικό σύστημα, καθώς αυτό σημαίνει ότι μπορούν να αναπτυχθούν καλά σε ένα κορεσμένο υπόστρωμα.
- Τέλος, τα επιλεγμένα είδη πρέπει να είναι ανεκτικά έναντι περιόδων με ποικίλο επίπεδο κορεσμού (υψηλός όγκος επιρροής και σύντομες περίοδοι ξηρού).

# Βλάστηση

- Αναδυόμενα: αυτά τα φυτά αναπτύσσονται σε εδάφη ή πορώδη υποστρώματα. Τα κοινά είδη αυτής της κατηγορίας ανήκουν στην οικογένεια των μονοκοτυλήδων, η οποία κυριαρχεί τόσο στα γλυκά όσο και στα αλμυρά νερά, κυρίως σε εύκρατα κλίματα, π.χ. *Phragmites* spp. (κοινός κάλαμος) *Typhaceae* (cattail), *Juncaceae* (ορμή), *Scirpus* spp. (βούρτσες), *Glyceria* spp. (*Mannagrasses*), *Iris* spp. (μπλε και κίτρινες σημαίες), *Zizania aquatica* (άγριο ρύζι) και *Cyperaceae* (sedges, π.χ., *Carex*, *Cyperus*). Αναδυόμενα φυτά όπως cattails, καλάμια, βούρτσες και βούρτσες απαντώνται συχνότερα στα CWs για την επεξεργασία λυμάτων. Τα ξυλώδη αναδυόμενα φυτά περιλαμβάνουν είδη δέντρων και θάμνων.
- Βυθισμένα: αυτά τα φυτά μπορούν να ριζωθούν στο κάτω μέρος του υποστρώματος, ενώ υπάρχουν επίσης είδη χωρίς ρίζα που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει οικογένειες *Callitrichaceae* (water starwort), *Ceratophyllaceae* (hornwort), *Haloragaceae* (water milfoil), *Potamogetonaceae* (pondweeds) και *Lentibulariaceae* (bladderworts), ενώ η μεγαλύτερη οικογένεια είναι οι *Hydrocharitaceae* (frogbit) (Cronk και Fennessy, 2001). Οι βυθισμένοι τύποι φυτών θεωρούνται ευαίσθητοι σε αναερόβιες καταστάσεις, παρουσιάζουν έντονο ημερήσιο αποτέλεσμα και μπορούν να σκιάζονται από φύκια (USEPA, 1988).
- Floating-Leaves: Αυτά τα φυτά ριζώνονται στο υπόστρωμα ενώ τα φύλλα τους επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού. Οι μίσχοι ή / και οι μίσχοι συνδέουν τα κάτω μέρη με τα φύλλα. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει *Nymphaea* spp. και *Nuphar* spp. (νούφαρα), *Nelumbo lutea* (λωτός νερού) και *Hydrocotyle vulgaris* (pennywort).
- Πλωτά: αυτά τα είδη είναι επίσης γνωστά ως πλωτά προσαρτημένα φυτά (Cronk and Fennessy, 2001). επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται οι σταφίδες *Eichhornia* (υάκινθος νερού), *Pistiastratiotes* (μαρούλι νερού) και *Lemna* spp. και *Spirodella* spp. (πάπια).

Common Name	Scientific Name	Distribution	Temperature (°C)		Max. Salinity tolerance (ppt)	Effective pH range	Growth rate (cm/d)	Min. survival in anoxia (d)	Root-to-shoot ratio
			Desirable	Seed germination					
Common reed	<i>Phragmites australis</i>	worldwide	12-23	10-30	30	2-8	10.8	>28	1.8-9.9
Cattails	<i>Typha</i> spp.	worldwide	10-30	12-24	30	3-8.5		>28	0.4-0.6
Rush	<i>Juncus</i> spp.	worldwide	16-26		20	5-7.5		4-7	
Bulrush	<i>Scirpus</i> spp	worldwide	18-27		20	4-9		>28	2.3-3.9
Sedge	<i>Carex</i> spp.	worldwide	14-32			5-7.5		4	



Scientific Names of plant species	
Phragmites australis	Phragmites japonica
Typha latifolia	Typha angustifolia
Typha orientalis	Juncus effusus
Scirpus lacustris	Scirpus validus
Scirpus radicans	Scirpus triqueter
Phalaris arundinacea	Cyperus involucratus
Cyperus flabelliformis	Cyperus alternifolius
Iris setosa	Iris ensata
Iris pseudacorus	Acorus calamus
Villarsia exaltata	Schoenoplectus validus
Conocarpus erectus	Baumea articulate
Zizania latifolia	Zizania aquatica
Thalia dealbata	Paspalum penisetum
Arundo donax	Miscanthus sinensis giganteus
Oryza sativa	Canna indica
Pennisetum purpureum	Vetiveria zizanioides
Spathiphyllum wallisii	Plantago asiatica
Pistia stratiotes	Dracaena fragrans
Dracaena sanderiana	Lactuca sativa

# Ανάπτυξη φυτών

- Η ανάπτυξη των φυτών ξεκινά τις πρώτες ημέρες των ανοιξιάτικων μηνών, όταν οι πρώτοι νέοι βλαστοί δημιουργούνται εκ νέου.
- Κατά τη διάρκεια της τελευταίας άνοιξης και του καλοκαιριού, τα φυτά έχουν αναπτυχθεί πλήρως.
- Στη χειμερινή περίοδο, όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, τα φυτά κιτρινίζουν και το πάνω μέρος του εδάφους είναι σχεδόν απενεργοποιημένο και νεκρό.
- Στα συστήματα ΤΥ, είναι συνηθισμένη πρακτική η κοπή των νεκρών φυτών στα τέλη του φθινοπώρου σε ύψος μόλις 10-15 cm, αν και υπάρχει ακόμη συζήτηση για τα πραγματικά οφέλη αυτής της δράσης.

22/3/2012

40

2



# Common reeds (*Phragmites australis*)



- Είναι το ευρύτερα κατανεμημένο αγγειόσπερμο και υπάρχει σε εύκρατα κλίματα όπως επίσης και σε τροπικές περιοχές.
- Είναι ένα επεμβατικό είδος και μπορεί να αναπτυχθεί ακόμη και σε αλατούχο νερό.
- Ο πληθυσμός της μειώνεται στην Ευρώπη και υπάρχουν συνεχείς προσπάθειες για την αποκατάσταση της κάλυψης, ενώ στη Β. Αμερική η επέκτασή της ελέγχεται λόγω της περιορισμένης αξίας της άγριας ζωής.
- Είναι ψηλό πολυετές γρασίδι και μπορεί να φτάσει σε ύψος έως και 4 μέτρα.
- Το ρίζωμα του επεκτείνεται κάθετα σε υψηλότερο βάθος, σε σύγκριση με τα cattails, με αποτέλεσμα καλή μεταφορά οξυγόνου στο υπόστρωμα.

# Cattails (*Typha spp.*)



- Τα Cattails εξαπλώνονται παγκοσμίως, γεγονός που συνεπάγεται την ικανότητά τους να αναπτύσσονται σε διάφορες κλιματολογικές συνθήκες. Το χειμώνα, ο μεταβολισμός του επιβραδύνεται για την πρόληψη σοκ οξυγόνου, επομένως, απαιτεί χαμηλότερη ποσότητα οξυγόνου.
- Είναι ικανό να μεταφέρει σχετικά υψηλή ποσότητα οξυγόνου στο υπόστρωμα.
- Παρουσιάζει γρήγορη αναγέννηση βλαστών κατά τους πρώτους μήνες ανάπτυξης μετά τη χειμερινή περίοδο. Το *Typha latifolia* κυριαρχεί στα ρηχά νερά σε σύγκριση με το *Typha angustifolia*, το οποίο - από την άλλη - επεκτείνεται σε σχετικά βαθύτερα νερά για να αντισταθμίσει τον ανταγωνισμό.
- Και τα δύο είδη *Typha* είναι ικανά να αφομοιώσουν N και P και να παράγουν υψηλά ποσοστά ετήσιας βιομάζας. Αυτό το είδος δημιουργεί επίσης ένα πυκνό και εκτεταμένο ριζικό σύστημα

# Bulrushes (*Scirpus spp.*)



- Μπορούν να αναπτυχθούν σε εσωτερικά και παράκτια ύδατα, ακόμη και υπό αλατούχες συνθήκες.
- Το συνιστώμενο βάθος νερού για την ανάπτυξή τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 cm.
- Αναπτύσσουν βαθιές ρίζες. Το Bulrush παρουσιάζει επίσης υψηλή πρόσληψη θρεπτικών ουσιών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.
- Τα κοινά είδη αυτού του γένους είναι το *Scirpus californicus* και το *Scirpus validus*.

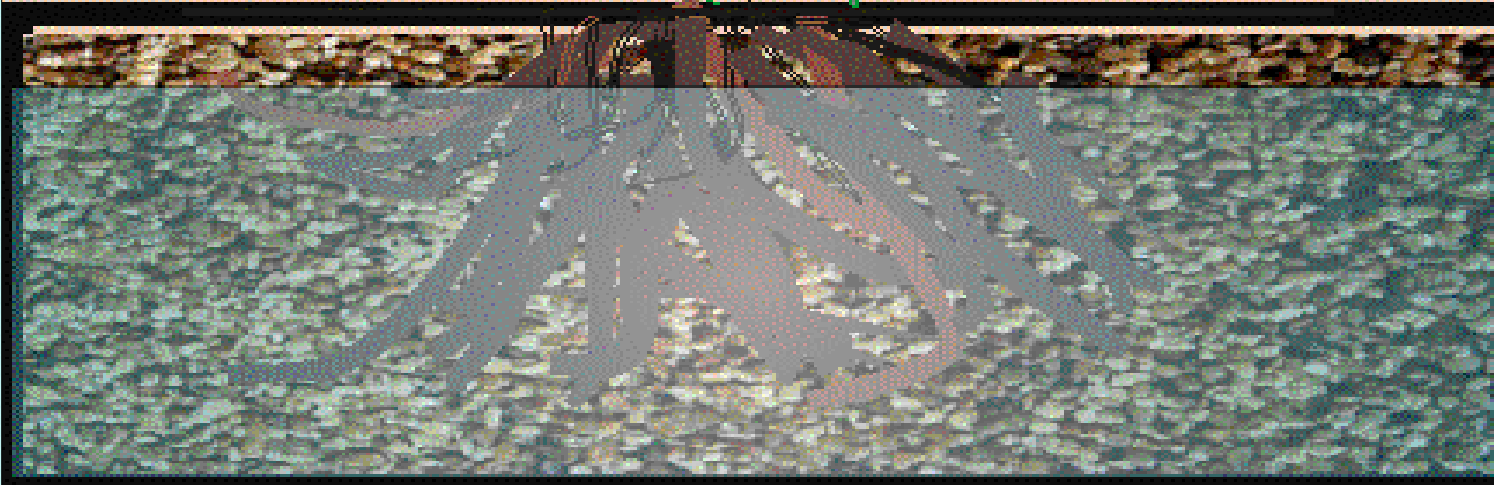
# Rushes (*Juncus spp.*)



- Είναι επίσης παρούσα σε αλατούχα νερά, αλλά σε μικρότερους αριθμούς.
- Οι βιασύνες είναι πολυετή βότανα που μοιάζουν με χόρτα, τα οποία εμφανίζουν επίσης σχετικά υψηλά ποσοστά πρόσληψης θρεπτικών ουσιών.
- Μπορεί να αντέξει τόσο τις ξηρές όσο και τις υγρές περιόδους. Το *Juncus effusus*, ένα κοινό είδος αυτού του γένους, αναπτύσσει γρήγορα βαθιές ρίζες και παρουσιάζει υψηλό επίπεδο αντοχής σε παράσιτα και χειμερινές συνθήκες.

# Ρόλος της βλάστησης

- Παρέχει μεγάλες επιφάνειες για παραγωγή βιοφίλμ
- Επιφάνειες προσκόλλησης για μικροοργανισμούς
- Μεταφορά οξυγόνου στη ριζόσφαιρα
- Άμεση πρόσληψη και αποθήκευση θρεπτικών συστατικών





# Φυσικές επιδράσεις

- Το βαθύ, πολύπλοκο και εκτεταμένο ριζικό σύστημα εντός του υποστρώματος συμβάλλει στην επιβράδυνση της ταχύτητας του νερού, η οποία αυξάνει αντίστοιχα το χρόνο επαφής μεταξύ των λυμάτων και του μέσου υποστρώματος και των ριζών, καθώς κινείται κάθετα μέσω της κλίνης.
- Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αφαίρεση θρεπτικών συστατικών.
- Ωστόσο, λόγω της βαρυτικής κατακόρυφης κίνησης των λυμάτων, ο χρόνος επαφής είναι πρακτικά περιορισμένος. Τα μέρη του φυτού (ρίζες, ρίζωμα και μίσχοι) σταθεροποιούν επίσης το υπόστρωμα, συνδέουν τους κόκκους του μέσου και δεν επιτρέπουν την εμφάνιση διάβρωσης μέσα στο υπόστρωμα.
- Επιπλέον, η παρουσία εγκατάστασης σε συνδυασμό με το διαλείπον σύστημα φόρτωσης που εφαρμόζεται συνήθως σε VFCWs, αποτρέπει την απόφραξη του μέσου υποστρώματος.
- Η κίνηση των βλαστικών φυτών από τον άνεμο εμποδίζει το μπλοκάρισμα της επιφάνειας του υποστρώματος και του στρώματος "schmutzdecke" (λάσπη / απορρίματα) δημιουργώντας ρωγμές που επιτρέπουν την καθοδική ροή των λυμάτων.
- Επιπλέον, ψηλοί και πυκνοί μίσχοι σκιάζουν την επιφάνεια του υποστρώματος και λειτουργούν ως μονωτικό στρώμα για το κρεβάτι, ειδικά το χειμώνα. Το ίδιο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται επίσης με το στρώμα απορριμμάτων στην επιφάνεια της κλίνης

# Υδραυλική Αγωγιμότητα

- Η κίνηση των στελεχών και η αντίστοιχη δημιουργία ρωγμών είναι επίσης ευεργετική για την κατακόρυφη διαπερατότητα της κλίνης και, συνεπώς, για τη διατήρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας.
- Το εκτεταμένο ριζικό σύστημα εντός του υποστρώματος, σε συνδυασμό με τους πόρους του μέσου, καταφέρνει να διατηρεί τη ροή λυμάτων κατά μήκος των ριζών, ακόμη και το χειμώνα, όταν η επιφάνεια του στρώματος μπορεί να παγώσει ή να καλυφθεί από πάγο.
- Η κατακόρυφη διήθηση των λυμάτων στα μέσα μαζικής ενημέρωσης συμβάλλει έτσι στην καλή απόδοση του συστήματος, καθώς η διατήρηση της διαπερατότητας κλίνης σε VFCWs είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή λειτουργία.

# Ανάπτυξη βιοφίλμ

- Το εκτεταμένο και πυκνό ριζικό σύστημα που αναπτύσσεται σταδιακά στο στρώμα του υποστρώματος λειτουργεί ως μια ελκυστική περιοχή προσάρτησης για τον μικροβιακό πληθυσμό.
- Αυτό το λεπτό στρώμα βιοφίλμ, το οποίο αναπτύσσεται κατά μήκος των ριζών και στην επιφάνεια των κόκκων του μέσου, είναι σημαντικό για την αποτελεσματικότητα του συστήματος, καθώς επηρεάζει και ενεργοποιεί διάφορες μικροβιακές διεργασίες μετασχηματισμού των ρύπων που υπάρχουν στα λύματα

# Παροχή οξυγόνου

- Η παρουσία φυτών διασφαλίζει τον ενισχυμένο αερισμό του κρεβατιού. Είναι γνωστό ότι τα φυτά είναι ικανά να απορροφούν οξυγόνο από την ατμόσφαιρα μέσω των φύλλων τους και να το μεταφέρουν στα βαθύτερα στρώματα του υποστρώματος μέσω απελευθέρωσης από τις ρίζες τους.
- Αυτό το οξυγόνο που παρέχεται από τις ρίζες στη συνέχεια καταναλώνεται από τους αερόβιους μικροοργανισμούς στο βιοφίλμ και επιτρέπει διάφορες αερόβιες διεργασίες (π.χ. νιτροποίηση, αερόβια αποδόμηση του ΟΜ).
- Αναφέρεται ότι αυτός ο μηχανισμός μεταφοράς οξυγόνου μέσω των φυτικών ριζών αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της ποσότητας οξυγόνου στη ριζόσφαιρα.
- Από την άλλη πλευρά, σε VFCW με διαλείπουσα φόρτωση, παρέχονται μεγάλες ποσότητες οξυγόνου μέσω του καθεστώτος τροφοδοσίας που δημιουργεί πλημμύρα στην επιφάνεια της κλίνης.
- Επομένως, είναι ακόμη αμφισβητήσιμο το επίπεδο σπουδαιότητας κάθε μηχανισμού μεταφοράς.
- Ωστόσο, αναφέρεται ότι όσον αφορά την αποσύνθεση ΟΜ, η συμβολή των φυτών δεν είναι τόσο σημαντική σε σύγκριση με τη δραστηριότητα μικροοργανισμών.
- Σε ένα μεγάλο πείραμα με πολλά κρεβάτια VFCW, τα φυτευμένα κρεβάτια με *Phragmites australis* και *Typha latifolia* βρέθηκαν πιο αποτελεσματικά στην απομάκρυνση ΟΜ και Ν κατά 6 και 10% σε σύγκριση με το μη φυτευμένο κρεβάτι, υποδεικνύοντας ότι η παρουσία φυτών βελτιώνει πράγματι την απόδοση του συστήματος .
- Από την άλλη πλευρά, οι διαφορές μεταξύ των δύο ειδών δεν ήταν σημαντικές.

# Δέσμευση θρεπτικών

- Μια άλλη λειτουργία των φυτών σε όλους τους τύπους ΤΥ είναι η άμεση πρόσληψη διαφόρων συστατικών που υπάρχουν στα λύματα.
- Για παράδειγμα, τα φυτά χρησιμοποιούν θρεπτικά συστατικά στα λύματα (άζωτο και φώσφορο) για την ανάπτυξή τους.
- Η πρόσληψη πραγματοποιείται μέσω των ριζών. Η αφομοίωση των θρεπτικών ουσιών φθάνει σε υψηλότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης (ανοιξιάτικοι μήνες) όταν οι ανάγκες του φυτού είναι αντίστοιχα υψηλότερες.
- Ωστόσο, η ποσότητα πρόσληψης θρεπτικών συστατικών από τα φυτά αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής αφαιρεθείσας ποσότητας στο σύστημα.

# Απελευθέρωση οργανικών ενώσεων

- Εκτός από το οξυγόνο, οι ρίζες των φυτών απελευθερώνουν επίσης άλλες ουσίες.
- Αν και η φύση αυτών των συστατικών δεν έχει ακόμη προσδιοριστεί με σαφήνεια, πειράματα έχουν δείξει ότι οι ρίζες των φυτών απελευθερώνουν μια σειρά οργανικών ενώσεων και αντιβιοτικών.
- Ο οργανικός άνθρακας που απεκκρίνεται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή άνθρακα για απονιτροποίηση μικροοργανισμών, αλλά το εύρος αυτής της διαδικασίας δεν έχει προσδιοριστεί ακόμη.

# Ο ρόλος του εδαφικού υλικού

- Επιφάνεια για μικροβιακή σύνδεση
- Ένα υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών
- Απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, παθογόνων βακτηρίων και ιών με διήθηση
- Καταβύθιση φωσφορικών από σίδηρο, αλουμίνιο και ασβέστιο

# Πόρωδη υλικά

Η παρουσία του χαλκιού προσφέρει μια σειρά από οφέλη, τα οποία θα μπορούσαν να συνοψιστούν ως εξής:

- Υποστηρίζει την ανάπτυξη των φυτευμένων μακροφυτών
- Σταθεροποιεί το κρεβάτι (αποτελέσματα αλληλεπίδρασης με ανεπτυγμένες ρίζες των φυτών)
- Παρέχει εφέ φιλτραρίσματος
- Εξασφαλίζει υψηλή διαπερατότητα, δηλ. Υδραυλική αγωγιμότητα, για την απρόσκοπτη προς τα κάτω διέλευση των λυμάτων (υποθέτοντας τον κατάλληλο όγκο πόρων), μειώνοντας έτσι την εμφάνιση πιθανών προβλημάτων απόφραξης.
- Αυξάνει την αποτελεσματικότητα της θεραπείας, ενεργώντας ως νεροχύτης διαφόρων βιοτικών και αβιοτικών στοιχείων.
- Παρέχει μια ελκυστική επιφάνεια επιφανείας για διάφορους μικροοργανισμούς (δημιουργία βιοφίλμ) που συμμετέχουν στις διαδικασίες απομάκρυνσης ρύπων.
- Υποστηρίζει διάφορες διαδικασίες μετασχηματισμού και αφαίρεσης, οι οποίες μπορούν να βελτιωθούν με τη χρήση εξειδικευμένων υλικών (π.χ. ζεόλιθος, βωξίτης, κ.λπ. · Stefanakis and Tsihrintzis, 2012a)



## I. Natural materials

---

Igneous gravels*	Carbonate gravels*
Dolomite*	Natural zeolite*
Bauxite*	Limestone (sedimentary rocks)*
Opoka (marine sediment)	Maerl (marine sediment)
Laterite*	Wollastonite
Apatite (sedimentary)	Apatite (igneous)
Calcinated Alunite	
Oyster shell	Spodosols
Peat*	Polonite
Sands*	Shellsand*
Crushed marble*	Hornblende*
Bentonite	Clay*
Shale*	Soils*

## II. Synthetic materials

Synthetic zeolites	Filtralite®*
LECA*	Filtralite-P*
LWA (Light-weight aggregates)	Calcite
Vermiculite	Cat litter (burnt diatomaceous earth)
Activated carbon*	HDPE (high density polyethylene)*
LESA (light-weight expanded shale aggregate)*	

## III. Industrial by-products

Slag (from steel industry)*	Blast or steel furnace slag*
Fly ash*	Coal ash
Iron ore	Burnt oil shale*
Quartz sand	Ochre
Charcoal*	Dewatered alum sludge*

---

# Μηχανισμοί εμφράξης

Οι αναγνωρισμένοι μηχανισμοί που συμβάλλουν στις διαδικασίες έμφραξης είναι:

- Συσσώρευση οργανικών και ανόργανων στερεών
- Παραγωγή βιομάζας:
- Σύνθεση υλικού απόφραξης
- Εφέ ρίζας
- Χημικές διεργασίες

# Ο ρόλος των μ/ο

- Αποικοδόμηση οργανικής ύλης (στις οξειδωμένες και μειωμένες ζώνες)
- Αζωτοποίηση
- Το αμμώνιο οξειδώνεται σε νιτρικό άλας στις οξειδωμένες ζώνες (ριζόσφαιρα)
- Απονιτροποίηση
- Το νιτρικό άλας μετατρέπεται σε αέριο άζωτο σε ανοξικές ζώνες

# Υδραυλικοί και Υδρολογικοί Υπολογισμοί

Κατάλληλος σχεδιασμός πρέπει να γίνει για:

- Ροή με ελεύθερη επιφάνεια σε υγροβιοτόπους επιφανειακής ροής, όπου η αντίσταση στην ροή προκαλείται από την βλάστηση και τα φυτικά υπολείμματα
- Ροή σε πορώδες μέσο, η οποία επηρεάζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα του μέσου, τις ρίζες των φυτών και τα συγκρατημένα στερεά
- Κατάλληλο υπολογισμό των απωλειών σε εξατμισοδιαπνοή

# Σύγκριση Επιφανειακής-Υπόγειας Ροής

Πλεονεκτήματα Υπόγειας Ροής:

- Πιο αποτελεσματικοί Βιολογικοί αντιδραστήρες
- Δεν υπάρχουν κουνούπια
- Το απόβλητο δεν είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα
- Περιορισμένη επίδραση της θερμοκρασίας
- Μικρότερη επιφάνεια
- Τα επιφανειακής ροής έχουν μεγαλύτερη οικολογική αξία

# Αφαίρεση Ρύπων

- Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: Συγκέντρωση του BOD στην εκροή από 2 έως 7 mg/L
- Αιωρούμενα στερεά: Συγκεντρώσεις στην εκροή μικρότερες των 20 mg/L
- Άζωτο: Μεγάλη αφαίρεση αζώτου
- Φωσφόρος: Αφαιρείται κυρίως με προσρόφηση από το υλικό και με απορρόφηση από τα φυτά
- Μέταλλα: Προσρόφηση στα ιζήματα και απορρόφηση από τα φυτά
- Παθογόνοι μικροοργανισμοί: Παρόμοιες διεργασίες με αυτές των λιμνών σταθεροποίησης

# Βασικές εκτιμήσεις σχεδιασμού

- Οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες,
- Τοπογραφία (κατάλληλη τοποθεσία),
- Γεωλογική δομή της περιοχής,
- Παρούσα και προβλεπόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων προς επεξεργασία,
- Η διαθεσιμότητα της αναγκαίας γης,
- Νομικά όρια για την ποιότητα των λυμάτων,
- Πιθανές επιλογές επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων,
- Χαρακτηριστικά του υδατικού συστήματος υποδοχής,
- Αναμενόμενο κόστος

# Απαιτήσεις έκτασης

Τύπος ΤΥ	Απαιτούμενη έκταση (m <sup>2</sup> /ισοδύναμο κάτοικο)
Επιφανειακής ροής	5-10
Οριζόντιας υπόγειας ροής	3-5
Κατακόρυφης ροής	2-3
Υβριδικοί ΤΥ	2.5 – 3

- Σε ψυχρότερα κλίματα για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας του συστήματος είναι απαραίτητες τιμές έως 4 m<sup>2</sup> / ι.κ., καθώς σε χαμηλές θερμοκρασίες οι διάφορες διεργασίες επεξεργασίας επηρεάζονται γενικά από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τείνουν να προχωρούν πιο αργά, οπότε απαιτείται μεγαλύτερος όγκος κλίνης.
- Από την άλλη πλευρά, σε θερμότερες περιοχές με τιμές αντίστοιχα υψηλής θερμοκρασίας, οι διεργασίες επεξεργασίας είναι πιο εντατικές και η απαιτούμενη επιφάνεια μπορεί να μειωθεί (1-2 m<sup>2</sup>/ι.κ.).

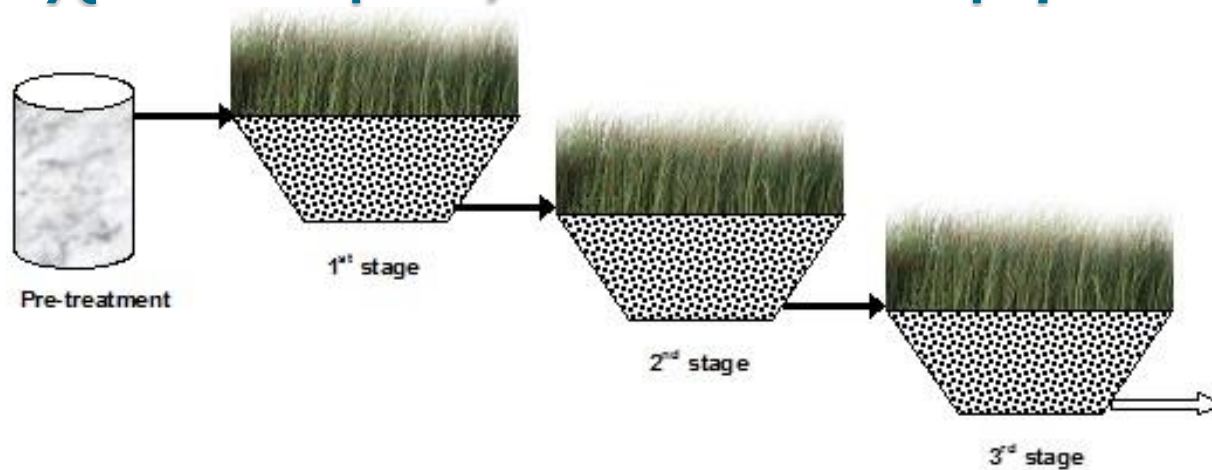


Χώρα	Απαιτούμενη έκταση Κατακόρυφης ροής ΤΥ (m <sup>2</sup> /ι.κ.)
Δανία	3.2
Η.Β.	1.0 – 2.0
Αυστρία	4.0 - 6.0,
Τσεχία	1.5
Γερμανία	1.6 – 3.0
Βελγίο	3.8
Γαλλία	2.0 – 2.5
Ελλάδα	1.0 – 3
Ιταλία	1.3 – 3.2
Ισπανία	1.0 – 3.2
Κανάριοι νήσοι	1.5

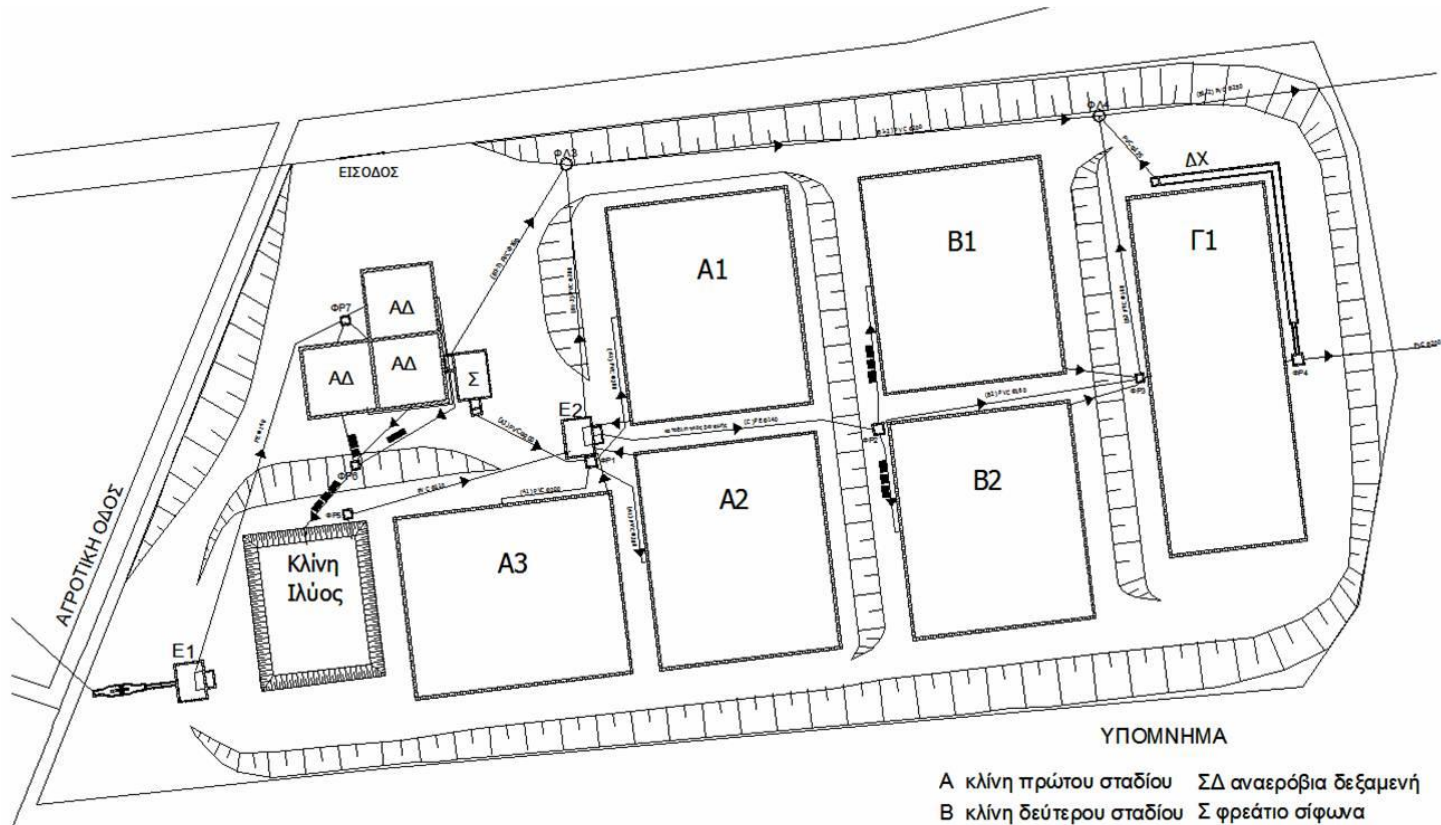
# Οργανικό και υδραυλικό φορτίο

Παράμετρος σχεδιασμού	Επιφανειακής ροής	Οριζόντιας υπόγειας ροής	Κατακόρυφης ροής
Τύπος λυμάτων	Αστικά λύματα		greywater
Χρόνος Παραμονής (days)	5 - 14	2 - 7	N/A
Μέγιστο φορτίο BOD (g/m <sup>2</sup> /day)	8	7.5	4-6
Βάθος κλίνης ή λύματος (m)	0.1 – 0.5	0.1 – 1.0	N/A
Υδραυλική φόρτιση (mm/d)	7 - 60	2 - 30	40 - 80
Απαιτούμενη έκταση (ha/m <sup>3</sup> /day)	0.002 – 0.014	0.001 – 0.007	N/A
Μήκος: Πλάτος	2:1 έως 10:1	0.25:1 έως 5:1	N/A
Έλεγχος κουνουπιών	Απαιτείται	Δεν Απαιτείται	Δεν Απαιτείται
Συχνότητα αφαίρεσης φυτικής βιομάζας (χρόνια)	3-5	3-5	N/A

# Διάταξη εγκατάστασης, σχεδιασμός και λειτουργία



# Διάταξη εγκατάστασης, σχεδιασμός και

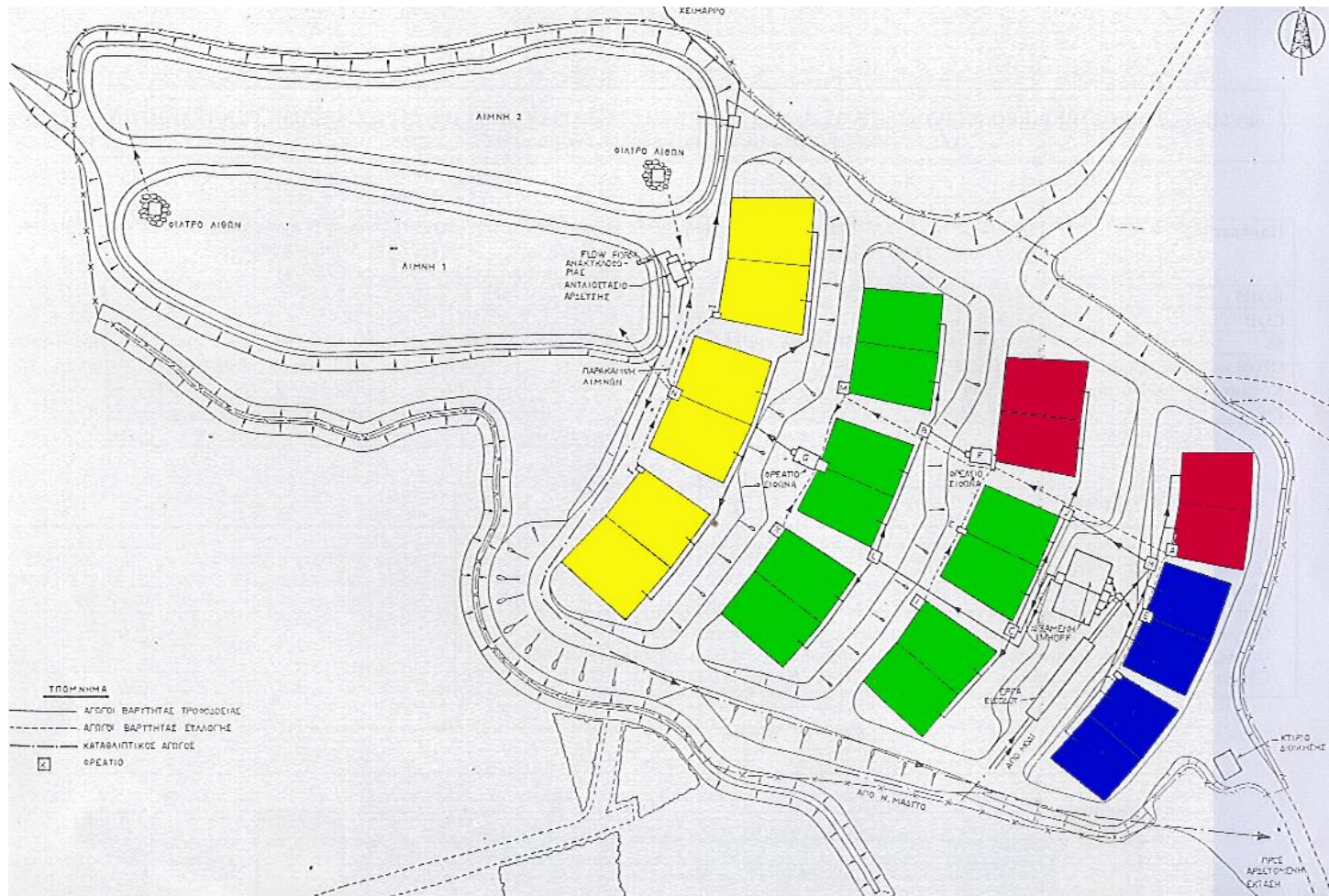


- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Α κλίνη πρώτου σταδίου   | ΣΔ αναερόβια δεξαμενή |
| Β κλίνη δεύτερου σταδίου | Σ φρεάτιο σίφωνα      |
| Γ κλίνη τρίτου σταδίου   | Ε φρεάτιο αντλιών     |
| ΔΧ δεξαμενή χλωρίωσης    | ΦΡ φρεάτια            |











# Υγροβιότοποι Επιφανειακής Ροής

- Χρήση της εξίσωσης Manning
  - Έχει αναπτυχθεί για τυρβώδη ροή σε ανοιχτούς αγωγούς, ενώ η ροή είναι στρωτή
  - Η αντίσταση στη ροή ισχύει για αντίσταση λόγω τριβής στον πυθμένα, ενώ στους υγροβιότοπους προέρχεται λόγω της βλάστησης
  - Η αντίσταση στην ροή είναι συνάρτηση του βάθους καθώς η πυκνότητα της βλάστησης μεταβάλλεται με το βάθος

# Υγροβιότοποι Επιφανειακής Ροής

- Οι Kadlec and Knight προτείνουν την χρήση της εξίσωσης:

$$Q = aWy^b S^c$$

- Q: παροχή (m<sup>3</sup>/s)
- W: πλάτος ροής (m)
- y: βάθος ροής (m)
- S: κλίση της ελεύθερης επιφάνειας=κλίση του πυθμένα (m/m)
- a, b, c: συντελεστές

Εκθέτης	Τιμή	Περιγραφή
a	1/n	Η εξίσωση Manning
	$(1 \times 10^7)/86400 \text{ s}^{-1}\text{m}^{-1}$	Για υγροβιότοπους με πυκνή βλάστηση
	$(5 \times 10^7)/86400 \text{ s}^{-1}\text{m}^{-1}$	Για υγροβιότοπους με αραιή βλάστηση
b	1.67	Η εξίσωση Manning. Τυρβώδης ροή
	2.50	Τραχύτητα κορμών βλάστησης
	3.00	Υγροβιότοπος με σπαθόχορτο
	3.00	Στρωτή ροή από ομοιόμορφα βυθισμένα κατακόρυφα κυλινδρικά αντικείμενα
c	0.50	Η εξίσωση Manning. Τυρβώδης ροή
	0.71	Τραχύτητα κορμών βλάστησης
	0.80	Παράκτιοι υγροβιότοποι που πλημμυρίζονται με παλίρροια
	1.00	Υγροβιότοπος με σπαθόχορτο
	1.00	Στρωτή ροή από ομοιόμορφα βυθισμένα κατακόρυφα κυλινδρικά αντικείμενα

# Συντελεστής Manning

$$n = \beta / y^{1/2}$$

- $\beta = 0.4 \text{ m}^{1.6}\text{s}$  για αραιή και χαμηλή βλάστηση και  $y > 0.4\text{m}$
- $\beta = 1.6 \text{ m}^{1.6}\text{s}$  για σχετικά πυκνή βλάστηση και  $y \approx 0.3\text{m}$
- $\beta = 6.4 \text{ m}^{1.6}\text{s}$  για πολύ πυκνή βλάστηση και υπολείμματα φυτικής ύλης και  $y < 0.3\text{m}$
- $\beta = 1-4 \text{ m}^{1.6}\text{s}$  για τους περισσότερους υγροβιότοπους με αναδυόμενα φυτά

# Επιφανειακής Ροής

Παράδειγμα Υπολογισμού υδραυλικών παραμέτρων: Να βρεθούν το βάθος και η ταχύτητα ροής σε τεχνητό υγροβιότοπο επιφανειακής ροής φυτεμένου με πολύ πυκνό ψαθί, ο οποίος έχει κατασκευαστεί για την επεξεργασία οικιακών λυμάτων και ο οποίος έχει πλάτος 40m, μήκος 160m και κλίση 0.05%. Η παροχή εκτιμάται σε 500 m<sup>3</sup>/d.

# Επιφανειακής Ροής

Λύση:

Θα γίνουν υπολογισμοί με την εξίσωση του Manning και των Kadlec and Knight.

1. Εξίσωση Manning: Επειδή δεν είναι γνωστό το βάθος ροής ούτε η τιμή του  $n$ , το πρόβλημα θα λυθεί με την μέθοδο των δοκιμών. Υποθέτουμε ένα βάθος ροής  $y=0.10\text{m}$ . Προκύπτει μια τιμή  $n=35$  από το γράφημα. Η εξίσωση μας δίνει:

$$y=(Qn)/W/S^{1/2}=(500/86400 \times 35/40/0.0005^{1/2})=0.41\text{m}$$

Μετά από δοκιμές προκύπτει ότι  $y=0.22\text{m}$  και  $n=12$ .

1. Εξίσωση Manning: Σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτούνται δοκιμές.

$$y=(Q\beta/y^{1/2}/W/S^{1/2}) \rightarrow y=(Q\beta/W/S^{1/2})^{6/13}=0.19\text{m}$$

Η ταχύτητα ροής είναι:  $u=Q/(Wy)=(500/86400/40/0.19)=0.00076\text{m/s}$

2.  $Q=aWy^bS^c \rightarrow 500/86400=(10^7/86400)40y^3(0.005) \rightarrow y=0.136\text{m}$

Η ταχύτητα ροής είναι:  $u=Q/(Wy)=(500/86400/40/0.136)=0.00106\text{m/s}$

# Επιφανειακής Ροής

Από τις παραπάνω μεθόδους εύρεσης των απωλειών μπορεί να υπολογιστεί το απαιτούμενο υδραυλικό ύψος  $\Delta h$  που διατηρεί την ροή στον υγροβιότοπο ή αντίθετα να βρεθεί το μέγιστο μήκος του υγροβιότοπου. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται για δεδομένα επιφάνεια και πλάτος υγροβιότοπου.

$$S = \Delta h / L$$

Συνήθως θεωρούμε ότι το υδραυλικό ύψος είναι ένα ποσοστό  $\gamma$  του βάθους ροής, συνήθως 10-30%, δηλαδή  $\gamma = 0.1 - 0.3$ . Επομένως:

$$\Delta h = \gamma y$$

$$S = (\gamma y) / L$$

$$W = A / L$$

# Επιφανειακής Ροής

$$L = \left( \frac{aA\gamma^c y^{b+c}}{Q} \right)^{\frac{1}{c+1}}$$

$$L = \left( \frac{aA\gamma^{1/2} y^{13/6}}{nQ} \right)^{2/3}$$

$$L = \left( \frac{aA\gamma^{1/2} y^{8/3}}{\beta Q} \right)^{2/3}$$



# Υγροβιότοποι Οριζόντιας Υπόγειας Ροής

Λόγοι αστοχιών:

- Λανθασμένες υποθέσεις στον σχεδιασμό
- Λανθασμένοι υδραυλικοί υπολογισμοί του συστήματος
- Μεταβολές στο πορώδες υλικό σε σχέση με τους υπολογισμούς
- Παραδοχή ισοτροπικού πορώδους υλικού
- Παραδοχή σταθερής και ομοιόμορφης ροής

# Υδροβιότοποι Οριζόντιας Υπόγεια Ροής

Νόμος του Darcy:

$$u = Q/(Wy) = -K(dH/dx)$$

- $D$  = διάμετρος κόκκου πορώδους μέσου (m)
- $\rho$  = πυκνότητα νερού ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\mu$  = δυναμικό ιξώδες του νερού ( $\text{kg/m/d}$ )

Αντί του νόμου του Darcy:

$$-\frac{dH}{dx} = \frac{1}{K}u + \omega u^2$$

Όπου  $\omega$  είναι ο παράγοντας τυρβώδους ροής  
( $\text{s}^2/\text{m}^2$ )

# Υγροβιότοποι Οριζόντιας Υπόγειας Ροής

Ο όρος της τυρβώδους ροής είναι αμελητέος για  $Re < 0.1$  και μπορεί να παραληφθεί χωρίς σημαντικό λάθος για  $Re < 10$ . Με αυτήν την παραδοχή η παραπάνω εξίσωση μετατρέπεται σε μορφή παρόμοια με το νόμο του Darcy ως εξής:

$$u = Q/(W\gamma) = -K_{\varepsilon}(dH/dx)$$

Όπου  $K_{\varepsilon}$  είναι η ενεργός υδραυλική αγωγιμότητα η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$K_{\varepsilon} = K/(1 + K\omega u)$$

# Υγροβιότοποι Οριζόντιας Υπόγειας Ροής

Η υδραυλική αγωγιμότητα σε συστήματα με λίθους και χαλίκι υπολογίζεται σύμφωνα με τους Kadlec and Knight από τον ακόλουθο τύπο:

$$K = \frac{\rho g \phi^{3.7} D^2}{255(1 - \phi)\mu}$$

$$\omega = \frac{2(1 - \phi)}{g \phi^3 D}$$

$$\phi = (V_K / V_\sigma) 100$$

$V_K$  = όγκος κενών δείγματος ( $m^3$ )

$V_\sigma$  = συνολικός όγκος δείγματος ( $m^3$ )

# Υγροβιότοποι Οριζόντιας Υπόγειας Ροής

Τύπος πορώδους μέσου	Μέγεθος κόκκου $D_{10}$ (mm)	Πορώδες $\phi$ (%)	Υδραυλική αγωγιμότητα $K$ (m/d)
Χονδρή άμμος	2	28-32	100-1000
Αμμοχάλικο	8	30-35	500-5000
Λεπτό χαλίκι	16	35-38	1000-10000
Μέσο χαλίκι	32	36-40	10000-50000
Χονδροί λίθοι	128	38-45	50000-250000

# Δανική μέθοδος σχεδιασμού

Η μέθοδος βασίζεται στα ακόλουθα βήματα:

- Εκλέγεται το πάχος του πορώδους μέσου  $\delta$ . Αυτό συνήθως καθορίζεται από το είδος βλάστησης και είναι περίπου ίσο με το βάθος  $\delta_\rho$  εισχώρησης των ριζών των φυτών.
- Εκλέγεται η κλίση του πορώδους μέσου  $S_b$

$$\Delta B = B_{\text{εισόδου}} - B_{\text{εξόδου}} < 0.5\delta_\rho \approx 0.5\delta \approx 0.2 - 0.3 \text{ m}$$

Όπου  $B$  είναι η στάθμη του πορώδους μέσου από το οριζόντιο επίπεδο αναφοράς

## Δανική μέθοδος σχεδιασμού

- Η κλίση του πυθμένα  $S_b$  τίθεται ίση με την κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας  $S$  για την μέγιστη ημερήσια παροχή στο σύστημα. Επομένως αν  $L$  είναι το μήκος του πορώδους μέσου, τότε η κλίση του υδροφόρου ορίζοντα:

$$S=(\Delta H/L)=(\Delta B/L)\approx 0.5\delta/L$$

- Αν  $A$  είναι η επιφάνεια του υγροβιοτόπου, τότε  $A=LW$ , προκύπτει:

$$W=Q/(u\gamma)=Q/(u\delta)=Q/(K_\epsilon S\delta)=[(QA)/(K_\epsilon 0.5\delta^2)]^{1/2}$$

- Το μέγιστο πλάτος είναι 30 m για καλή εγκάρσια κατανομή της ροής. Αν η παραπάνω εξίσωση ξεπερνάει αυτό το πλάτος, τότε κατασκευάζονται παράλληλα κελιά.

## Δανική μέθοδος σχεδιασμού

- Αφού καθοριστεί το πλάτος, το μήκος καθορίζεται βάση της απαιτούμενης επιφάνειας του υγροβιοτόπου
- Το πορώδες υλικό πρέπει να έχει ελάχιστη ενεργό υδραυλική αγωγιμότητα ίση με τουλάχιστο 250 m/d
- Το υδραυλικό ύψος στην κατάντη διατομή διατηρείται σταθερό με κατάλληλο σχεδιασμό της υδραυλικής εγκατάστασης εκροής



# Δανική μέθοδος σχεδιασμού

Παράδειγμα: Να σχεδιαστεί τεχνητός υδροβιότοπος οριζόντιας υπόγειας ροής που θα φυτευτεί με βούρλα για την επεξεργασία αστικών λυμάτων οικισμού 1000 κατοίκων. Ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής έχει προσδιοριστεί σε 5 ημέρες. Για πορώδες μέσο θα χρησιμοποιηθεί αμμοχάλικο. Η θερμοκρασία σχεδιασμού του νερού είναι  $5^{\circ}\text{C}$ . Αν η παροχή μειωθεί στο μισό, πως αλλάζουν οι υδραυλικές παράμετροι του προβλήματος;

# Δανική μέθοδος σχεδιασμού

Λύση:

Το βάθος διείσδυσης των ριζών του βούρλου είναι  $\delta=60$  cm. Από τον Πίνακα προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για την διάμετρο, το πορώδες και την υδραυλική αγωγιμότητα του μέσου:  $D_{10}=8\text{mm}$ ,  $\phi=0.30-0.35$ , και  $K=500-5000\text{m/d}$ . Θα χρησιμοποιηθεί η τιμή 0.30 στον σχεδιασμό. Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας υπολογίζεται:

$$K = \frac{\rho g \phi^{3.7} D^2}{255(1-\phi)\mu} = \frac{1000 \times 9.81 \times 0.30^{3.7} \times 0.008^2 \times 86400}{255 \times (1-0.30) \times 1.519 \times 10^{-3}} = 2325 \text{ m/d}$$

# Δανική μέθοδος σχεδιασμού

$$\omega = \frac{2(1-\phi)}{g\phi^3 D} = \frac{2(1-0.30)}{9.81 \times 0.30^3 \times 0.008 \times 86400^2} = 8.85 \times 10^{-8} \approx 0$$

Επομένως  $K_\varepsilon = K = 2325 \text{ m/d}$ . Η ημερησία παροχή για τον υδροβιότοπο υπολογίζεται σε:

$$Q = 250 \text{ L/άτομο/ημέρα} \times 1000 \text{ άτομα} = 250 \text{ m}^3/\text{d}$$

Για την παροχή αυτή και τον δεδομένο χρόνο παραμονής η υπολογίζεται ως εξής:

$$A = LW = V/\delta = V/\phi\delta = QT/\phi\delta = 250 \times 5 / 0.30 \times 0.60 = 6944 \text{ m}^2$$

$$\Delta B = 0.5\delta = 0.30 \text{ m}$$

$$W = [QA/K_\varepsilon \cdot 0.5\delta^2]^{1/2} = [250 \times 6944 / 2325 / 0.5 / 0.60^2]^{1/2} = 64.4 \text{ m}$$

Οπότε  $L = 6944 / 64.4 = 107.8 \text{ m}$  και η κλίση του πυθμένα είναι:

$$S_b = 0.30 / 107.8 = 0.00278$$

## Δανική μέθοδος σχεδιασμού

Λόγω του περιορισμού του πλάτους του κελιού θα γίνουν δύο παράλληλα κελιά πλάτους 32.2m το καθένα. Η ταχύτητα ροής είναι:  $u=250/64.4/0.6=6.47$  m/d.

# Μέθοδος των Reed et al.

$$W = \frac{1}{y} \left[ \frac{QA}{\gamma K_{\varepsilon}} \right]^{1/2}$$

Η παράμετρος  $\gamma$  πρέπει να περιορίζεται σε τιμές μεταξύ 5% και 20%. Σαν συντελεστής ασφαλείας για πιθανή απόφραξη χρησιμοποιείται κατά το σχεδιασμό το 1/3 της μετρηθείσας τιμής της ενεργού υδραυλικής αγωγιμότητας

# Μέθοδος των Reed et al.

Παράδειγμα: Να λυθεί το προηγούμενο παράδειγμα με την μέθοδο των Reed et al.

Λύση:

Έχουμε από τους υπολογισμούς στο προηγούμενο παράδειγμα:  $\delta=60\text{cm}$ ,  $D_{10}=8\text{mm}$ ,  $\phi=0.30$ ,  $K=2325\text{m/d}$ ,  $\omega=0$ ,  $Q=250\text{m}^3/\text{d}$ ,  $A=6944\text{m}^2$ . Θέτοντας  $\gamma=\delta$  για την παροχή  $Q$  και υποθέτοντας  $\gamma=0.2$  το πλάτος προκύπτει:

$$W = [(QA)/(K_{\epsilon}\gamma\delta^2)]^{1/2} = [(250 \times 6944)/(2325 \times 0.2 \times 0.60^2)]^{1/2} = 101.8\text{m}$$

Οπότε  $L=6944/101.8=68.2\text{m}$  και η κλίση του πυθμένα είναι:  $S=(\gamma\gamma)/L=(0.2 \times 0.60)/68.2=0.00176$

Λόγω του περιορισμένου πλάτους του κελιού θα κατασκευαστούν τρία παράλληλα κελιά πλάτους  $33.9\text{m}$  το καθένα.

## Μέθοδος των Reed et al.

Παράδειγμα: Ποίο είναι το αποτέλεσμα μείωσης της υδραυλικής αγωγιμότητας λόγω απόφραξης στο 1/3 της αρχικής τιμής στα προηγούμενα παραδείγματα;

Λύση:

Η λύση ακολουθεί την ίδια διαδικασία για  $K_{\varepsilon}=775\text{m/d}$ . Χρησιμοποιείται η εξίσωσή:

$$W=[(250 \times 6944)/(775 \gamma 0.6^2)]^{1/2}$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα

# Μέθοδος των Reed et al.

Παράμετρος	Μέθοδος των Reed et al.	Δανική Μέθοδος
$\gamma$	0.2	0.5
$W$	176.4m	111.6m
$L$	39.4m	62.2m
$S$	0.00305	0.00482



# Μέθοδος των Reed et al.

Ο έλεγχος για πλήρη αγωγιμότητα  $K_{\varepsilon}=2325\text{m/d}$  γίνεται σύμφωνα με την διαδικασία προηγούμενων παραδειγμάτων για τα γεωμετρικά στοιχεία του παραπάνω Πίνακα. Επίσης γίνεται υπολογισμός για πλήρη αγωγιμότητα και μισή παροχή. Χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις, όπως στα προηγούμενα παραδείγματα:

$$u = Q/(W\gamma) = K_{\varepsilon}S \rightarrow S\gamma = Q/(K_{\varepsilon}W)$$

Και

$$S = (\gamma\delta + \gamma - \delta)/L \rightarrow S\gamma = \gamma(\gamma\delta + \gamma - \delta)/L = Q/(K_{\varepsilon}W) \\ \rightarrow \gamma^2 - (1 - \gamma)\delta\gamma - QL/(K_{\varepsilon}W) = 0$$

# Μέθοδος των Reed et al.

$K_{\varepsilon}$ (m/d)	$\gamma$	Q (m/d)	y (m)	S (m/m)	Κενό (m)
2325	0.2	250	0.53	0.00115	0.07
		125	0.50	0.00061	0.10
		0	0.48	0.00000	0.12
	0.5	250	0.44	0.00219	0.16
		125	0.38	0.00127	0.22
		0	0.30	0.00000	0.30

# Μέθοδος των Kadlec and Knight

Η μέθοδος αυτή είναι πιο ακριβής και είναι αυτή που προτείνεται για την ελαχιστοποίηση της αστοχίας του συστήματος. Βασίζεται στα ακόλουθα βήματα:

- Για την εκλογή της κλίσης του πορώδους μέσου, οι Kadlec and Knight προτείνουν μέγιστη τιμή για την παράμετρο  $\gamma=0.1$ , επιτρέπεται δε και  $\gamma=0$ , δηλαδή οριζόντιο πορώδες μέσο, αλλά σε αυτήν την περίπτωση η στράγγιση του συστήματος θα είναι δύσκολη. Για αυτό και προτείνεται να διατηρηθεί η ελάχιστη τιμή για την παράμετρο  $\gamma=0.05$ . Άρα ένα κριτήριο σχεδιασμού είναι:

$$0.05 \leq \gamma = S_b L / \gamma \approx S_b L / \delta \leq 0.10$$

# Μέθοδος των Kadlec and Knight

• Δεύτερο κριτήριο σχεδιασμού είναι ότι η μέγιστη επιτρεπτή διαφορά μεταξύ της ανάντη και κατάντη στάθμης της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι 10% του πάχους του στρώματος, δηλαδή:

$$\Delta H = H_{\text{εισροής}} -$$

$$H_{\text{εκροής}} = (QL)/(K_{\varepsilon} \gamma W) \approx (QL)/(K_{\varepsilon} \delta W) \leq 0.1 \delta$$

$$(QL)/(K_{\varepsilon} \delta^2 W) \leq 0.1$$

Και αν  $q = Q/A$  και  $A = LW$ :

$$L^2/K_{\varepsilon} \leq 0.1(\delta^2/q) = 0.1(\delta^2 A/Q)$$

# Μέθοδος των Kadlec and Knight

- Οι υπολογισμοί πρέπει να γίνουν για διάφορες συνθήκες αρχικές και κατά την διάρκεια λειτουργίας του έργου ώστε να αποφευχθούν δυσμενείς καταστάσεις. Ο σχεδιασμός βασίζεται σε μειωμένη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας περίπου στο  $1/10$  της υπογειοθήσας τιμής.

# Μέθοδος των Kadlec and Knight

Παράδειγμα: Να ελεγχθεί ο σχεδιασμός του προηγούμενου Παραδείγματος με τα κριτήρια σχεδιασμού των Kadlec and Knight και αν δεν πληρούνται να γίνει καινούριος σχεδιασμός.

Λύση:

Το πρώτο κριτήριο σχεδιασμού είναι για την τιμή της παραμέτρου  $\gamma$ :

$$\gamma = S_b L / \delta = (0.00176 \times 68.2) / 0.60 = 0.20 > 0.10$$

Άρα το κριτήριο αυτό δεν ισχύει. Το δεύτερο κριτήριο:

$$L^2 / K_\varepsilon = 0.1 (\delta^2 A / Q) = 0.1 (0.6^2 6944 / 250) = 1.0 \rightarrow L \leq 48.2 \text{m}$$

Αλλά  $L = 68.2 \text{m} > 48.2 \text{m}$ , άρα και το δεύτερο κριτήριο σχεδιασμού δεν ισχύει. Επομένως το σύστημα πρέπει να ξανασχεδιαστεί.

# Μέθοδος των Kadlec and Knight

Έχουμε:  $\delta=0.60\text{m}$ ,  $D_{10}=8\text{mm}$ ,  $\phi=0.30$ ,  $K=2325\text{m/d}$ ,  
 $\omega=0$ ,  $Q=250\text{m}^3/\text{d}$ ,  $A=6944\text{m}^2$ . Στον αρχικό σχεδιασμό  
θα χρησιμοποιηθεί η τιμή  $K=2325/10=233\text{m/d}$ .  
Θέτοντας  $\gamma=\delta$  για την παροχή  $Q$  και υποθέτοντας  
 $\gamma=0.1$ , το πλάτος  $W$  προκύπτει:

$$W=[(QA)/(K_{\epsilon}\gamma\delta^2)]^{1/2}=455\text{m}$$

Οπότε  $L=6944/455=15.3\text{m}$  και η κλίση του πυθμένα  
είναι:  $S_b=(\gamma\gamma)/L=0.00392$

Ο υγροβιότοπος που προκύπτει έχει πολύ μεγάλο  
πλάτος και σχετικά μικρό μήκος. Για την αποφυγή  
βραχυκυκλώματος θα χρησιμοποιηθούν παράλληλα  
κελιά. Για ένα λόγο μήκους πλάτους περίπου  
 $L:W=1:1$  χρειάζονται 30 παράλληλα κελιά, οπότε το  
κάθε κελί θα έχει πλάτος  $15.2\text{m}$

# Μέθοδος των Kadlec and Knight

Από το δεύτερο κριτήριο έχουμε:

$$L^2/K_\varepsilon \leq 0.1(\delta^2 A/Q) = 0.1(0.6^2 \times 6944/250) = 1.0 \rightarrow L^2 \leq 233 \\ \rightarrow L \leq 15.3\text{m}$$

Άρα το δεύτερο κριτήριο ικανοποιείται.

Θα ελέγξουμε τον σχεδιασμό για τη μειωμένη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας, δηλαδή  $K_\varepsilon = 2325\text{m/d}$ .

$$u = Q/(W\gamma) = K_\varepsilon S \rightarrow S\gamma = Q/(K_\varepsilon W)$$

Η κλίση δίνεται από την γεωμετρία:

$$S = (\gamma\delta + \gamma - \delta)/L \rightarrow S\gamma = \gamma(\gamma\delta + \gamma - \delta)/L = Q/(K_\varepsilon W) \rightarrow \\ Y^2 - (1 - \gamma)\delta\gamma - QL/(K_\varepsilon W) = 0$$

Για  $\gamma = 0.1$  προκύπτει  $\gamma = 0.55\text{m}$  και  $S = 0.00043$



## Εξατμισοδιαπνοή υγροβιοτόπων επιφανειακής ροής

Οι περισσότερες μελέτες συνέδεσαν την εξατμισοδιαπνοή με την εξάτμιση λιμνών, η οποία συνήθως μετράται συνήθως με δοχεία εξάτμισης. Έτσι μια σχέση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η εξής:

$$ET = kE_p$$

Όπου:  $ET$  = Εξατμισοδιαπνοή (mm)

$E_p$  = Εξάτμιση δοχείου (mm)

$k$  = Συντελεστής δοχείου, ο οποίος μεταβάλλεται μεταξύ 0.7 και 0.8

# Εξατμισοδιαπνοή υγροβιοτόπων επιφανειακής ροής

Ο Christiansen προτείνει μια διαφορετική εξίσωση:

$$ET=(0.775C_{\Theta}C_U C_Y C_S)E_p$$

$$C_{\Theta}=0.862+0.179(\Theta/20)-0.041(\Theta/20)^2$$

$$C_U=1.189=0.240(U/1.86)+0.051(U/1.86)^2$$

$$C_Y=0.499+0.620(Y/60)-0.119(Y/60)^2$$

$$C_S=0.904+0.008(S/80)+0.088(S/80)^2$$

$\Theta$ = Θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U$ = Ταχύτητα ανέμου (m/s)

$Y$ = Σχετική υγρασία (%)

$S$ = Ποσοστό ηλιοφάνειας (%)

## Εξατμισοδιαπνοή υγροβιοτόπων υποεπιφανειακής ροής

Ψαθί σε χαλίκι:  $ET=1.182E_p+0.072$

Βούρλο σε χαλίκι:  $ET=0.948E_p-0.0027$

Χαλίκι χωρίς φυτά:  $ET=0.0757E_p-0.0280$

# Διαστασιολόγηση Τεχνητών Υγροβιοτόπων

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι θεωρούνται και σχεδιάζονται σαν βιολογικοί αντιδραστήρες όπου κατά προσέγγιση ισχύει κινητική πρώτης τάξης εμβολώδους ροής. Η γενική εξίσωση είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\Sigma_{out}}{\Sigma_o} = e^{-k_{\theta}T}$$

$\Sigma_{out}$ =Συγκέντρωση ρύπου στην εκροή (mg/L)

$\Sigma_o$ =Συγκέντρωση ρύπου στην εισροή (mg/L)

T= χρόνος παραμονής (d)

$k_{\theta}$ = Κινητική σταθερά, η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία και το είδος του ρύπου ( $d^{-1}$ )

# Διαστασιολόγηση Τεχνητών Υγροβιοτόπων

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας η παραπάνω εξίσωση καταλήγει στην:

$$A = [Q \ln(\Sigma_o / \Sigma_{out})] / [k_{\theta} \gamma \phi]$$

# Αφαίρεση BOD

Για υγροβιότοπους επιφανειακής ροής και αφαίρεση BOD η κινητική σταθερά δίνεται από τον τύπο:

$$k_{\theta} = 0.678(1.06)^{\theta-20}$$

Ενώ για υγροβιότοπους οριζόντιας υπόγειας ροής η κινητική σταθερά δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$k_{\theta} = 1.104(1.06)^{\theta-20}$$

Η επιφάνεια που προκύπτει από την εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων πρέπει να ελέγχεται ώστε να μην έχουμε υπέρβαση του μέγιστου μοναδιαίου οργανικού φορτίου σε BOD, το οποίο είναι 100 kg/ha/d.

# Αφαίρεση BOD

Παράδειγμα: Να διαστασιολογηθεί τεχνητός υγροβιότοπος που να εξυπηρετεί πληθυσμό 500 κατοίκων, όταν η συγκέντρωση BOD στην εκροή πρέπει να είναι  $<20\text{mg/L}$ . Η θερμοκρασία σχεδιασμού είναι  $5^{\circ}\text{C}$ .

Λύση:

Υποθέτουμε ημερήσια παροχή  $250\text{L}/\text{κάτοικο}/\text{d}$  με συγκέντρωση BOD  $200\text{ mg/L}$ . Η παροχή σχεδιασμού είναι:

$$Q=250 \times 500 / 1000 = 125\text{m}^3/\text{d}$$

# Αφαίρεση BOD

Επιφανειακής Ροής:  $k_{\theta}=0.678(1.06)^{5-20}=0.289 \text{ d}^{-1}$ .

Υποθέτουμε βάθος ροής  $y=0.3\text{m}$  και το πορώδες  $\phi=0.65$ .  
Οπότε η επιφάνεια υπολογίζεται ίση με:

$$A[Q \ln(\Sigma_o/\Sigma_{out})]/[k_{\theta}y\phi]=[125 \ln(200/20)]/[0.289 \times 0.3 \times 0.65]=5217 \text{ m}^2$$

Εκλέγουμε ένα λόγο  $L:W=3:1$ , Άρα  $W=41.7\text{m}$  και  $L=125.1\text{m}$ .

Άρα με  $y=0.1$  ο έλεγχος δίνει:

$$L=[aAy^c y^{b+c}/Q]^{1/c+1}=125.1 \rightarrow y=0.139\text{m}$$

Το βάθος που υποθέσαμε είναι διαφορετικό, οπότε με μια επαναληπτική διαδικασία καταλήγουμε στα αποτελέσματα:

$$y=0.139\text{m}, A=11261\text{m}^2, L=183.7\text{m}, W=61.3\text{m}.$$



# Αφαίρεση BOD

Ελέγχουμε και το μοναδιαίο οργανικό φορτίο  $\Phi$ , το οποίο πρέπει να είναι μικρότερο από 100 kg/ha/d.

$$\Phi = 125 \times 200 \times 10^{-3} / 1.13 = 22.1 < 100 \text{ kg/ha/d}$$

Υπολογίζουμε τον χρόνο παραμονής:

$$T = V/Q = 11261 \times 0.139 \times 0.65 / 125 = 8.1 \text{ d}$$

Οριζόντιας υπόγειας ροής:

$$k_{\theta} = 1.104(1.06)^{5-20} = 0.4607 \text{ d}^{-1}$$

Υποθέτοντας  $\gamma = 0.6 \text{ m}$  και  $\phi = 0.30$  η επιφάνεια υπολογίζεται:

$$A = 3471 \text{ m}^2$$

Υπολογίζουμε επίσης το μοναδιαίο οργανικό φορτίο  $\Phi$ :

$$\Phi = 125 \times 200 \times 10^{-3} / 0.35 = 71.4 \text{ kg/ha/d} < 100$$

Ο Χρόνος παραμονής υπολογίζεται:

$$T = V/Q = 3471 \times 0.6 \times 0.3 / 125 = 5 \text{ d.}$$

$$W = [(QA)/(K_{\epsilon} \gamma \delta^2)]^{1/2} = 227.4 \text{ m}$$

Οπότε  $L = 3471 / 227.4 = 15.3 \text{ m}$  και θα κατασκευαστούν κατ' ελάχιστον 15 παράλληλα κελιά.

# Αφαίρεση Αζώτου

Υγροβιότοποι Επιφανειακής Ροής: Η  
νιτροποίηση περιγράφεται από τις  
παρακάτω εξισώσεις:

$$k_{\theta} = 0.0389\theta \text{ για } 0^{\circ}\text{C} < \theta < 1^{\circ}\text{C}$$

$$k_{\theta} = 0.1367(1.150)^{\theta-10} \text{ για } 1^{\circ}\text{C} < \theta < 10^{\circ}\text{C}$$

$$k_{\theta} = 0.2187(1.150)^{\theta-20} \text{ για } \theta > 10^{\circ}\text{C}$$

Η απονιτροποίηση από τις παρακάτω  
εξισώσεις:

$$k_{\theta} = 0.023\theta \text{ για } 0^{\circ}\text{C} < \theta < 1^{\circ}\text{C}$$

$$k_{\theta} = 1.000(1.150)^{\theta-20} \text{ για } 1^{\circ}\text{C} < \theta$$

# Αφαίρεση Αζώτου

Υγροβιότοποι Οριζόντιας Υπόγειας Ροής: Η νιτροποίηση περιγράφεται από τις εξισώσεις:

$$k_{\theta} = K_{NH} (0.1779)\theta \text{ για } 0^{\circ}\text{C} < \theta < 1^{\circ}\text{C}$$

$$k_{\theta} = K_{NH} (0.6257)(1.150)^{\theta-10} \text{ για } 1^{\circ}\text{C} < \theta < 10^{\circ}\text{C}$$

$$k_{\theta} = K_{NH} (1.048)^{\theta-20} \text{ για } \theta > 10^{\circ}\text{C}$$

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922(p_{\rho})^{2.6077}$$

Όπου  $p_{\rho}$  είναι το ποσοστό εισχώρησης των ριζών στο πορώδες μέσο, το οποίο παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Στις περιπτώσεις σχεδιασμού λαμβάνεται ίσο με 1 για συστήματα μικρού πάχους και σχετικά λεπτόκοκκου υλικού ( $\delta_{\rho} = 30\text{cm}$  και  $D < 20\text{mm}$ ). Για συστήματα μεγάλου πάχους και χονδρόκοκκου υλικού ( $\delta_{\rho} = 60\text{cm}$  και  $D > 50\text{mm}$ ) το ποσοστό αυτό λαμβάνεται ίσο με 0.5

# Αφαίρεση Αζώτου

Παράδειγμα: Να διαστασιολογηθεί ο τεχνητός υγροβιότοπος του προηγούμενου παραδείγματος όταν η συγκέντρωση εισροής του ολικού αζώτου είναι 15mg/L και η επιτρεπόμενη συγκέντρωση στην εκροή είναι 5 mg/L.

Λύση:

Επιφανειακής Ροής:

$$k_{\theta} = 0.1367(1.15)^{5-10} = 0.068 \text{ d}^{-1}$$

Υποθέτουμε βάθος ροής  $y=0.3\text{m}$ , και πορώδες  $\phi=0.65$ . Επίσης υποθέτουμε Συγκέντρωση αμμωνίας στην εκροή ίση με 6 mg/L. Η επιφάνεια υπολογίζεται:

$$A=8638\text{m}^2$$

# Αφαίρεση Αζώτου

Εκλέγουμε ένα λόγο  $L:W=3:1$ . Άρα  $W=53.7\text{m}$  και  $L=160.9\text{m}$ . Άρα για  $\gamma=0.1$  ο έλεγχος δίνει  $\gamma=0.139\text{m}$ . Το οποίο διαφέρει από το υποτιθέμενο, με επαναληπτική διαδικασία καταλήγουμε:  $\gamma=0.139\text{m}$ ,  $A=18643\text{m}^2$ ,  $L=236.5\text{m}$ ,  $W=78.8\text{m}$ . Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής υπολογίζεται:  
 $T=V/Q=18643 \times 0.139 \times 0.65 / 125 = 13.5 \text{ d}$

Απονιτροποίηση:

$$\Sigma_{\text{o},\text{NO}_3} = \Sigma_{\text{o},\text{NH}_3} - \Sigma_{\text{out},\text{NH}_3} = 15 - 6 = 9 \text{ mg/L}$$

$$k_{\theta} = 1.0(1.15)^{5-20} = 0.1229 \text{ d}^{-1}$$

# Αφαίρεση Αζώτου

$$\Sigma_{\text{out, NO}_3} = \Sigma_o e^{-k\theta T} = 1.7 \text{ mg/L}$$

Επομένως:  $\Sigma_{\text{out, TN}} = 6 + 1.7 = 7.7 > 5 \text{ mg/L}$ . Άρα ο σχεδιασμός είναι ανεπαρκής, θα γίνει επαναληπτική διαδικασία η οποία καταλήγει στα εξής:  $\gamma = 0.139 \text{ m}$ ,  $A = 26892 \text{ m}^2$ ,  $W = 94.7 \text{ m}$ ,  $L = 284.0 \text{ m}$ ,  $T = 19.4 \text{ d}$ ,  $\Sigma_{\text{out, NH}_3} = 4.0 \text{ mg/L}$ ,  $\Sigma_o \text{ NO}_3 = 11.0 \text{ mg/L}$ ,  $\Sigma_{\text{out, NO}_3} = 1.0 \text{ mg/L}$ ,  $\Sigma_{\text{out, TN}} = 5.0 \text{ mg/L}$ .

# Αφαίρεση Αζώτου

Οριζόντιας Υπόγειας Ροής: Για την νιτροποίηση θεωρείται ότι όλο το άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία. Επίσης υποθέτουμε  $\Sigma_{out, NH_3} = 3 \text{ mg/L}$ .

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922(p_{\rho})^{2.6077} = 0.0829 \text{ d}^{-1}$$

$$k_{\theta} = 0.0829(1.15)^{5-10} = 0.0258 \text{ d}^{-1}$$

Υποθέτουμε  $\gamma = 0.6 \text{ m}$  και  $\phi = 0.3$ , οπότε η επιφάνεια υπολογίζεται:  $A = 43320 \text{ m}^2$ .

Υπολογίζουμε το χρόνο παραμονής:  
 $T = V/Q = 43320 \times 0.6 \times 0.3 / 125 = 62.4 \text{ d}$ .

Ακολουθεί ο υδραυλικός σχεδιασμός.  $W = 803.5 \text{ m}$  και  $L = 53.9 \text{ m}$  και θα κατασκευαστούν τουλάχιστον 15 παράλληλα κελιά πλάτους  $53.6 \text{ m}$  το καθένα.

# Αφαίρεση Αζώτου

Για την απονιτροποίηση:  $\Sigma_{o,NO_3} = \Sigma_{o, NH_3} - \Sigma_{out, NH_3} = 15 - 3 = 12 \text{ mg/L}$ .

$$k_{\theta} = 1.0(1.15)^{5-20} = 0.1229 \text{ d}^{-1}$$

$$\Sigma_{out,NO_3} = \Sigma_o e^{-k_{\theta}T} = 0.0 \text{ mg/L}$$

Επομένως:  $\Sigma_{out, TN} = \Sigma_{out, NH_3} + \Sigma_{out, NO_3} = 3.0 + 0.0 = 3.0 \text{ mg/L}$ , η οποία είναι πολύ μικρότερη από την απαιτούμενη των 5 mg/L, επομένως αρχίζει επαναληπτική διαδικασία, που καταλήγει:  $\gamma = 0.6m$ ,  $A = 30115m^2$ ,  $W = 670.0m$ ,  $L = 44.9m$ ,  $T = 43.4d$ ,  $\Sigma_o, NO_3 = 10.1mg/L$ ,  $\Sigma_{out, NO_3} = 0.0mg/L$ ,  $\Sigma_{out, NH_3} = 4.9mg/L$ ,  $\Sigma_{out, TN} = 4.9mg/L$ .



# Αφαίρεση Φωσφόρου

$$\frac{\Sigma_{out}}{\Sigma_o} = e^{-k_p / h_q}$$

$\Sigma_{out}$  = Συγκέντρωση φωσφόρου στην εκροή (mg/L)

$\Sigma_o$  = Συγκέντρωση φωσφόρου στην εισροή (mg/L)

$k_p$  = Σταθερά ρυθμού αντίδρασης = 0.0273 m/d

$h_q$  = Υδραυλικό φορτίο (m/d)

# Αφαίρεση Φωσφόρου

Παράδειγμα: Ποία είναι η απόδοση των υγροβιοτόπων του προηγούμενου παραδείγματος όταν η αρχική συγκέντρωση του φωσφόρου είναι 15 mg/L.

Λύση:

Επιφανειακής ροής:

$$h_q = Q/A = 125/26892 = 0.00465 \text{ m/d}$$

$$\Sigma_{\text{out}} = 15e^{-0.0273/0.00465} = 0.04 \text{ mg/L}$$

Οριζόντιας υπόγεια ροής:

$$h_q = Q/A = 125/30115 = 0.00415 \text{ m/d}$$

$$\Sigma_{\text{out}} = 15e^{-0.0273/0.00415} = 0.02 \text{ mg/L}$$

# Αφαίρεση Παθογόνων Μικροοργανισμών

$$\frac{N_{out}}{N_o} = e^{-k_l / h_q}$$

$N_{out}$  = Συγκέντρωση βακτηριδίων στην εκροή (Αρ./100 mL)

$N_o$  = Συγκέντρωση βακτηριδίων στην εισροή (Αρ./100 mL)

$k_l$  = Σταθερά ρυθμού αντίδρασης = 0.3 m/d

$h_q$  = Υδραυλικό φορτίο (m/d)

# Αφαίρεση Παθογόνων Μικροοργανισμών

Παράδειγμα: Ποία είναι η απόδοση των υγροβιοτόπων του προηγούμενου παραδείγματος σε αφαίρεση βακτηριδίων όταν η συγκέντρωση εισροής είναι  $10^8/100\text{mL}$ .

Λύση:

Επιφανειακής ροής:

$$h_q = Q/A = 125/26892 = 0.00465 \text{ m/d}$$

$$N_{\text{out}} = 15e^{-0.03/0.00465} \approx 0$$

Οριζόντιας υπόγεια ροής:

$$h_q = Q/A = 125/30115 = 0.00415 \text{ m/d}$$

$$N_{\text{out}} = 15e^{-0.03/0.00415} \approx 0$$

# Σύγκριση Επιφανειακής-Υπόγειας Ροής

Πλεονεκτήματα Υπόγειας Ροής:

- Πιο αποτελεσματικοί Βιολογικοί αντιδραστήρες
- Δεν υπάρχουν κουνούπια
- Το απόβλητο δεν είναι εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα
- Περιορισμένη επίδραση της θερμοκρασίας
- Μικρότερη επιφάνεια
- Τα επιφανειακής ροής έχουν μεγαλύτερη οικολογική αξία

# Αφαίρεση Ρύπων

- Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο: Συγκέντρωση του BOD στην εκροή από 2 έως 7 mg/L
- Αιωρούμενα στερεά: Συγκεντρώσεις στην εκροή μικρότερες των 20 mg/L
- Άζωτο: Μεγάλη αφαίρεση αζώτου
- Φωσφόρος: Αφαιρείται κυρίως με προσρόφηση από το υλικό και με απορρόφηση από τα φυτά
- Μέταλλα: Προσρόφηση στα ιζήματα και απορρόφηση από τα φυτά
- Παθογόνοι μικροοργανισμοί: Παρόμοιες διεργασίες με αυτές των λιμνών σταθεροποίησης

# Βασικές εκτιμήσεις σχεδιασμού

- Οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες,
- Τοπογραφία (κατάλληλη τοποθεσία),
- Γεωλογική δομή της περιοχής,
- Παρούσα και προβλεπόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων προς επεξεργασία,
- Η διαθεσιμότητα της αναγκαίας γης,
- Νομικά όρια για την ποιότητα των λυμάτων,
- Πιθανές επιλογές επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων,
- Χαρακτηριστικά του υδατικού συστήματος υποδοχής,
- Αναμενόμενο κόστος

# Απαιτήσεις έκτασης

Τύπος ΤΥ	Απαιτούμενη έκταση (m <sup>2</sup> /ισοδύναμο κάτοικο)
Επιφανειακής ροής	5-10
Οριζόντιας υπόγειας ροής	3-5
Κατακόρυφης ροής	2-3
Υβριδικοί ΤΥ	2.5 – 3

- Σε ψυχρότερα κλίματα για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας του συστήματος είναι απαραίτητες τιμές έως 4 m<sup>2</sup> / ι.κ., καθώς σε χαμηλές θερμοκρασίες οι διάφορες διεργασίες επεξεργασίας επηρεάζονται γενικά από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τείνουν να προχωρούν πιο αργά, οπότε απαιτείται μεγαλύτερος όγκος κλίνης.
- Από την άλλη πλευρά, σε θερμότερες περιοχές με τιμές αντίστοιχα υψηλής θερμοκρασίας, οι διεργασίες επεξεργασίας είναι πιο εντατικές και η απαιτούμενη επιφάνεια μπορεί να μειωθεί (1-2 m<sup>2</sup>/ι.κ.).

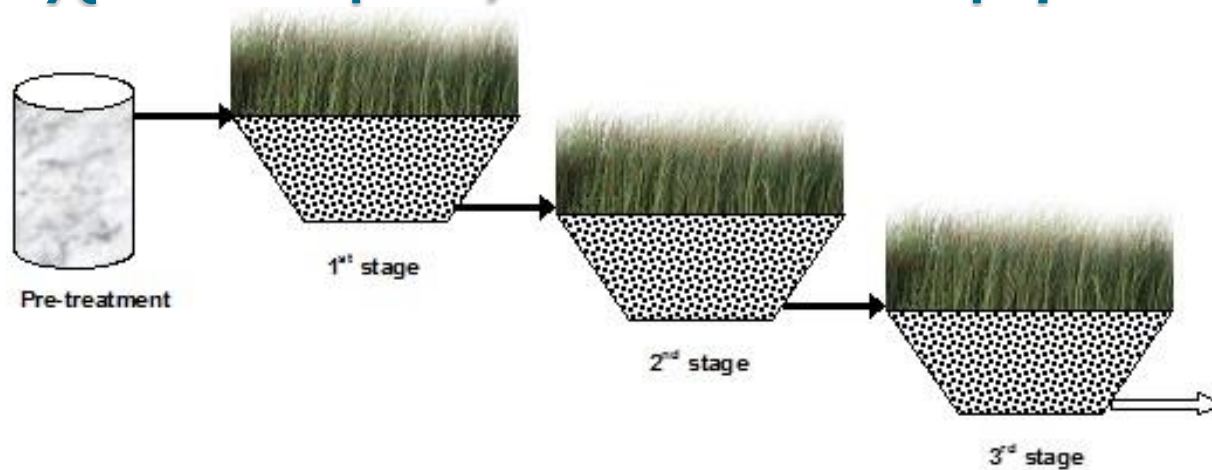


Χώρα	Απαιτούμενη έκταση Κατακόρυφης ροής ΤΥ (m <sup>2</sup> /ι.κ.)
Δανία	3.2
Η.Β.	1.0 – 2.0
Αυστρία	4.0 - 6.0,
Τσεχία	1.5
Γερμανία	1.6 – 3.0
Βελγίο	3.8
Γαλλία	2.0 – 2.5
Ελλάδα	1.0 – 3
Ιταλία	1.3 – 3.2
Ισπανία	1.0 – 3.2
Κανάριοι νήσοι	1.5

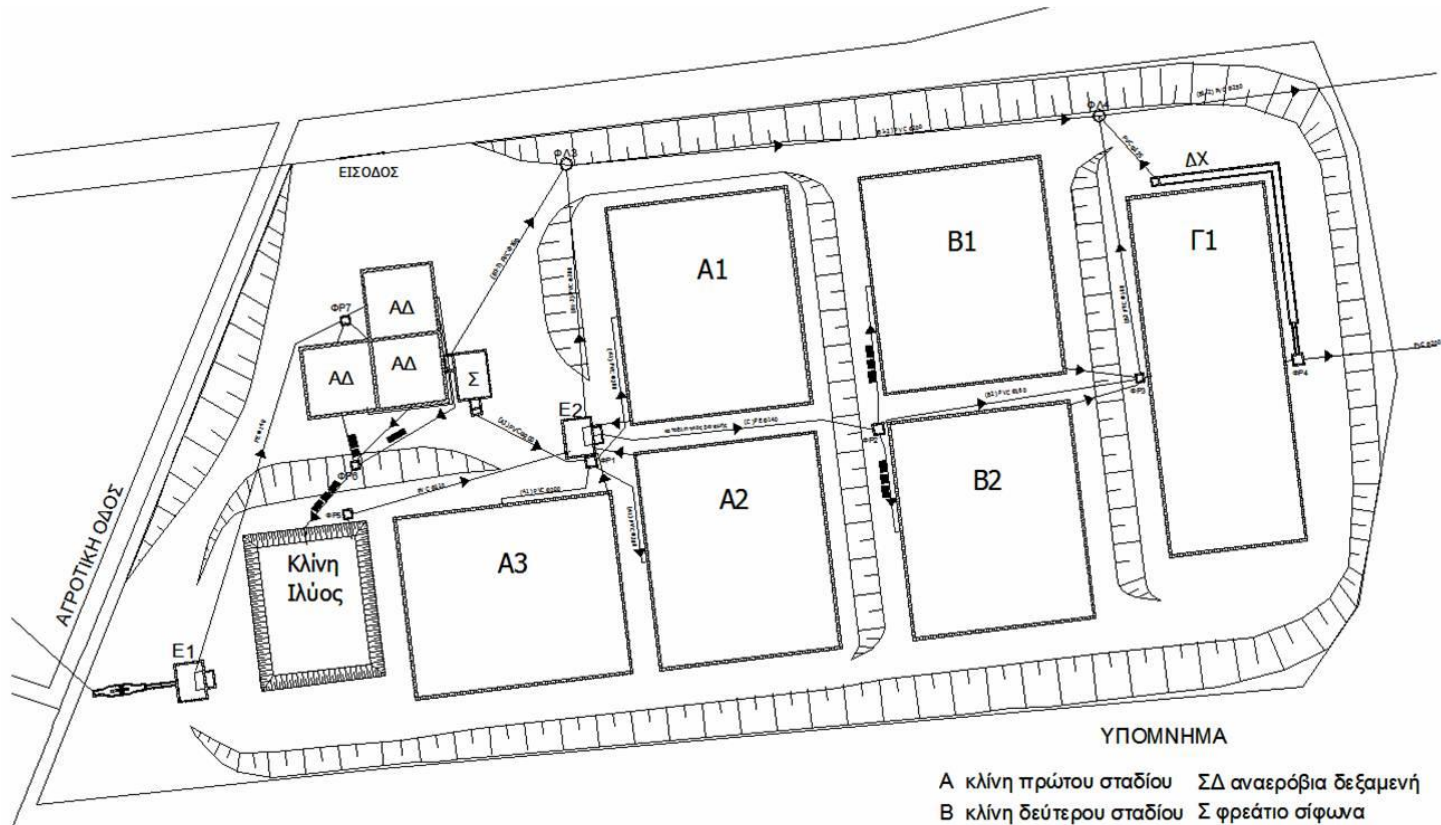
# Οργανικό και υδραυλικό φορτίο

Παράμετρος σχεδιασμού	Επιφανειακής ροής	Οριζόντιας υπόγειας ροής	Κατακόρυφης ροής
Τύπος λυμάτων	Αστικά λύματα		greywater
Χρόνος Παραμονής (days)	5 - 14	2 - 7	N/A
Μέγιστο φορτίο BOD (g/m <sup>2</sup> /day)	8	7.5	4-6
Βάθος κλίνης ή λύματος (m)	0.1 – 0.5	0.1 – 1.0	N/A
Υδραυλική φόρτιση (mm/d)	7 - 60	2 - 30	40 - 80
Απαιτούμενη έκταση (ha/m <sup>3</sup> /day)	0.002 – 0.014	0.001 – 0.007	N/A
Μήκος: Πλάτος	2:1 έως 10:1	0.25:1 έως 5:1	N/A
Έλεγχος κουνουπιών	Απαιτείται	Δεν Απαιτείται	Δεν Απαιτείται
Συχνότητα αφαίρεσης φυτικής βιομάζας (χρόνια)	3-5	3-5	N/A

# Διάταξη εγκατάστασης, σχεδιασμός και λειτουργία



# Διάταξη εγκατάστασης, σχεδιασμός και



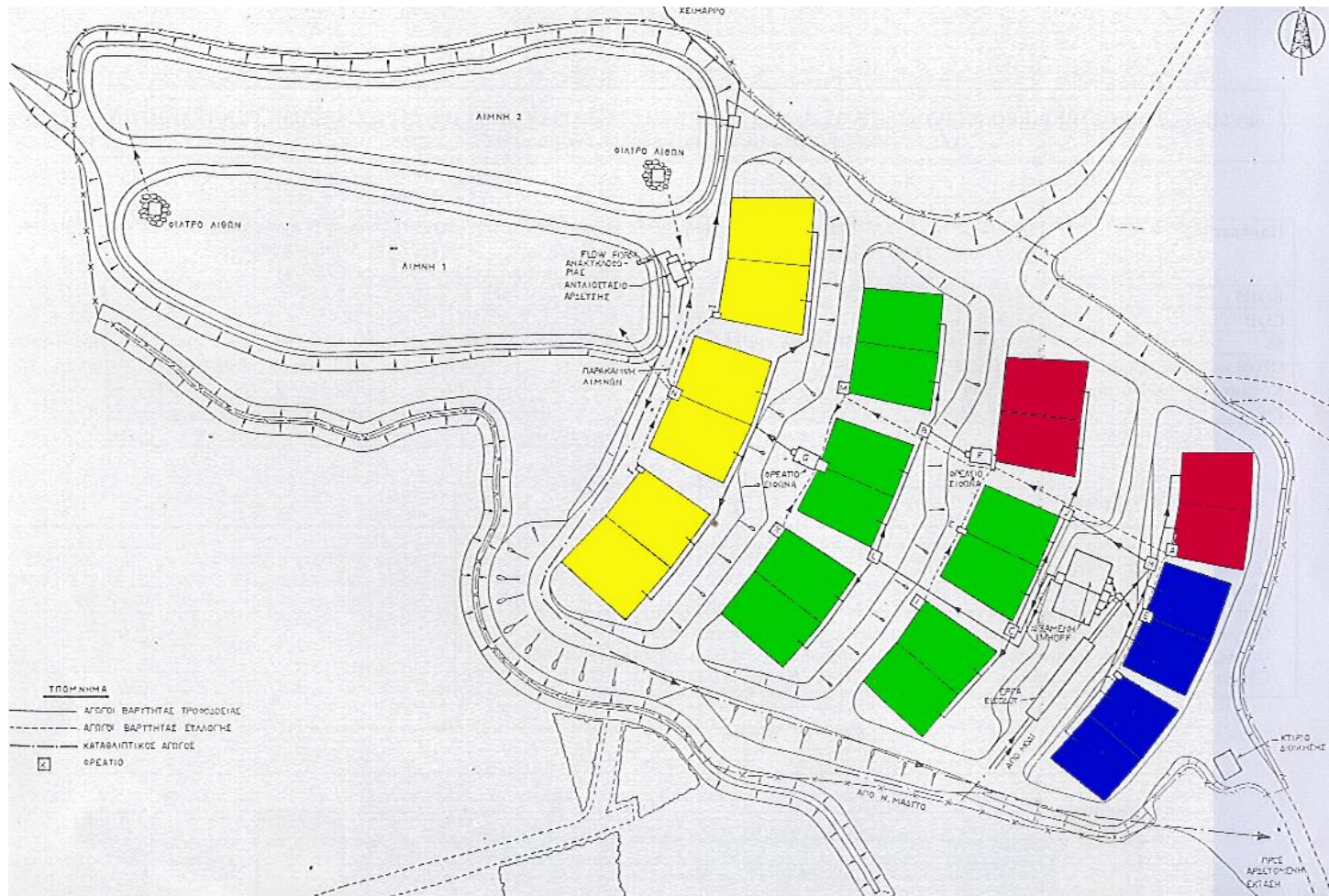
## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- |                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| A κλίνη πρώτου σταδίου   | ΣΔ αναερόβια δεξαμενή |
| B κλίνη δεύτερου σταδίου | Σ φρεάτιο σίφωνα      |
| Γ κλίνη τρίτου σταδίου   | E φρεάτιο αντλιών     |
| ΔΧ δεξαμενή χλωρίωσης    | ΦΡ φρεάτια            |











# Συχνότητα φόρτισης Κατακόρυφης ροής Τ.Υ.

Κύκλοι φόρτισης και ανάπαυσης	
Φόρτιση 2-3 φορές/εβδομάδα	1-3 d φόρτιση / 1-2 d ανάπαυση
Καθημερινές φορτίσεις	30-60 sec/h ή 2 h
3-12 φορές/d	5 d φόρτιση/ 2 d ανάπαυση
1-2 φορές/d (for fine materials)	
4 φορτίσεις/d	7 d φόρτιση/ 7 d ανάπαυση
1 d φόρτιση/ 3 d ανάπαυση	3 φορτίσεις/d ανά 6.6 h
2 d φόρτιση/ 4-6 d ανάπαυση	3 φορές/εβδομάδα
8-12 φορές/d	8-12 h φορτίσεις/ 24-36 h ανάπαυση
5 φορές/d	Φόρτιση ανά 3 h
4 d φόρτιση/ 10 d ανάπαυση	2 d φόρτιση/ 4-8 d ανάπαυση
3 φορές/d	3-4 d φόρτιση/ 6-8 d ανάπαυση

# Συχνότητα φόρτισης Κατακόρυφης ροής Τ.Υ.

- Δεν είναι ακόμη σαφές ποιο είναι το βέλτιστο καθεστώς φόρτιση.
- Γενικά, μπορούν να εφαρμοστούν μέχρι και 12 φορτώσεις την ημέρα, αν και μια τιμή γύρω στα 4-6 φαίνεται πιο συνηθισμένη.
- Η περίοδος φόρτωσης των 2-6 ημερών πρέπει να ακολουθείται από ένα διπλό ή τριπλό αριθμό ημερών ανάπαυσης.
- Αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη, αντίστοιχα, δύο ή τριών παράλληλων κλινών στο πρώτο στάδιο. Η διάρκεια της περιόδου ανάπαυσης ορίζει τον αριθμό των παράλληλων κλινών που απαιτούνται για να εξασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία της εγκατάστασης. Ένας απλός τρόπος υπολογισμού της διάρκειας της περιόδου ανάπαυσης είναι χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:
- $R = 2N - 2$
- όπου R αντιπροσωπεύει τη διάρκεια της περιόδου ανάπαυσης (ημέρες) και N είναι ο αριθμός των παράλληλων μονάδων.