



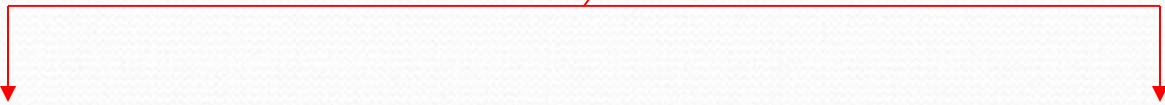
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

3^ο εξάμηνο

Διδάσκων: Δρ. Αθ. Στασινάκης

Απομάκρυνση Ρύπων από Υδατικά Διαλύματα



Φυσικοχημικές Μεθόδους

Καθίζηση

Επίπλευση

Διήθηση

Προσρόφηση

Απολύμανση

....

Βιολογικές Μεθόδους

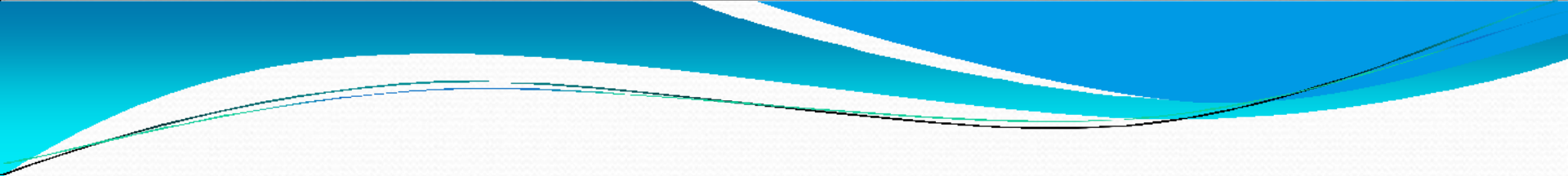
Ενεργός ιλύς

Βιολογικά Φίλτρα

Αναερόβια επεξεργασία

Κομποστοποίηση

....



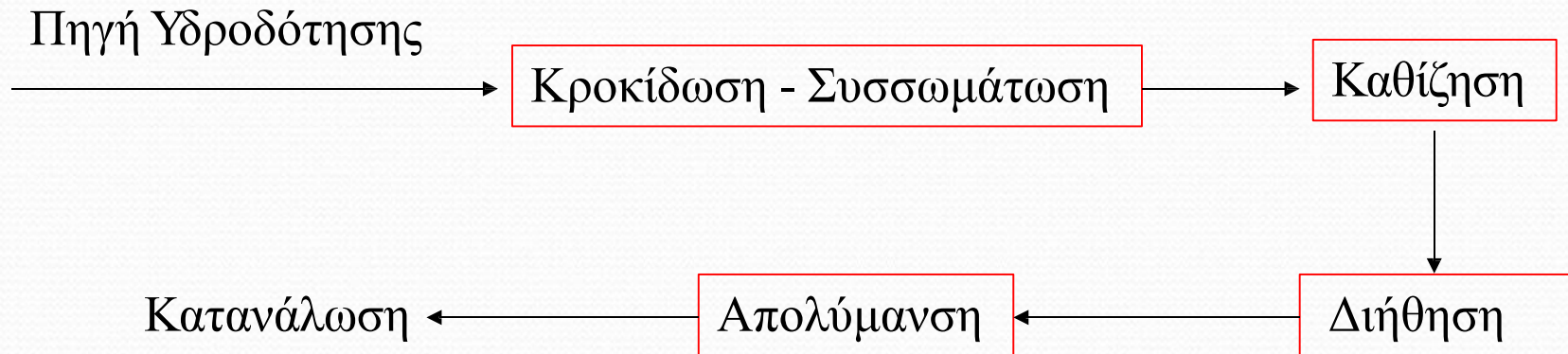
Φυσικοχημικές Μέθοδοι

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Στόχος: βελτίωση ποιότητας πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/ΕΚ)

Η εφαρμοζόμενη μέθοδος επεξεργασίας εξαρτάται από την πηγή υδροδότησης

Τυπικό Σύστημα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού



Επίδραση Μεγέθους Σωματιδίου στο Χρόνο Καθίζησης

Διάμετρος (μm)

Χρόνος καθίζησης κατά 1m (sec)

10000

1 sec

1000

10 sec

100

2 min

10

2 h

1

8 days

0,1

2 χρόνια

0,01

20 χρόνια

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Στόχος: απομάκρυνση κολλοειδών σωματιδίων

- ✓ αρνητικά φορτισμένα σωματίδια μικρού μεγέθους ($0,01\ \mu\text{m} - 10\ \mu\text{m}$)
- ✓ άργιλος, οξείδια μετάλλων, μικροοργανισμοί.....
- ✓ πιθανή προσρόφηση οργανικών ενώσεων σε κολλοειδή

Αύξηση μεγέθους  **Καθίζηση**

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Κροκίδωση (coagulation): μείωση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων απώθησης που υπάρχουν μεταξύ των ομοιόμορφα φορτισμένων αιωρούμενων στερεών στο νερό

Συσσωμάτωση (flocculation): σύνολο μηχανισμών με τους οποίους προκαλείται σύγκρουση και συγκόλληση των κολλοειδών σωματιδίων σε σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους

Κροκιδωτικά: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 , FeSO_4 ,

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Τυπικό σύστημα κροκίδωσης - συσσωμάτωσης

Δεξαμενή ταχείας ανάμιξης: προσθήκη κροκιδωτικού σε δεξαμενή με χρόνο παραμονής 30-60 sec

Δεξαμενή αργής ανάμιξης: συσσωμάτωση, χρόνος παραμονής 30 min

<http://www.youtube.com/watch?v=M2gRyYR482A>

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Καθίζηση

Στόχος: παραμονή νερού σε δεξαμενή για ικανό χρονικό διάστημα για την καθίζηση αιωρουμένων στερεών (1-10 ώρες)

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Καθίζηση

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

Όπου:

θ = υδραυλικός χρόνος παραμονής (ώρες)

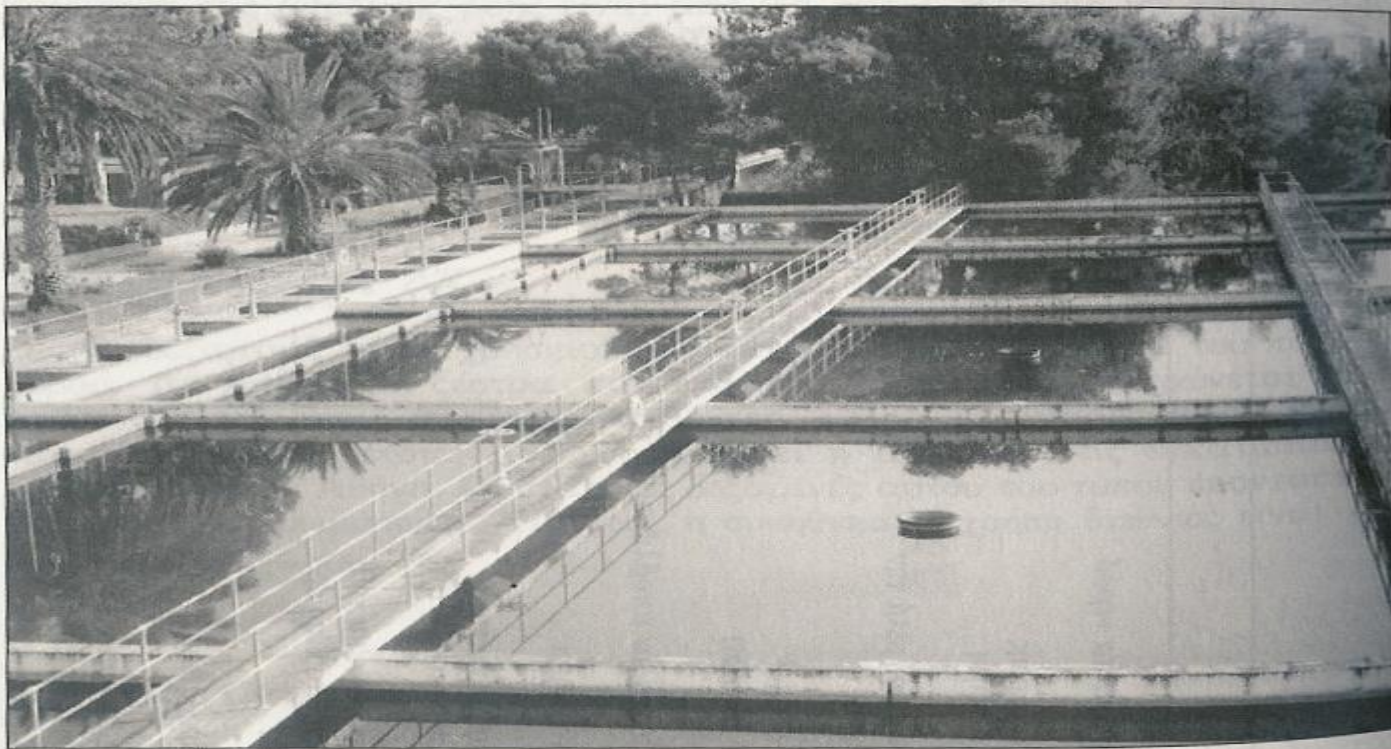
V = όγκος δεξαμενής (m^3)

Q = παροχή εισερχόμενου νερού ($m^3/\acute{\omega}\rho\alpha$)

Μεγαλύτερο $\theta \Rightarrow$ Μεγαλύτερη απομάκρυνση Στερεών $\Rightarrow$ Μεγαλύτερο V

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Καθίζηση



Ορθογωνική Δεξαμενή (ΜΕΥΑ Γαλατσίου)

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Καθίζηση



Κυκλική δεξαμενή καθίζησης

<https://www.youtube.com/watch?v=zfOlQB0stvw>

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Διήθηση

Στόχος: απομάκρυνση μικρότερων αιωρουμένων στερεών μέσω διέλευσης νερού από πορώδες μέσο

Διηθητικά Υλικά: άμμος, ανθρακίτης ενεργός άνθρακας, συνθετικοί κόκκοι από πολυαιθυλένιο

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Διήθηση

Φίλτρα Χαμηλής Ροής

- Στρώμα άμμου (30 – 75 cm) υποστηρίζεται σε στρώμα χαλικιών
- Ταχύτητα διήθησης: 0,010-0,110 mm/sec
- Χρόνος καθαρισμού: κάθε 20-60 μέρες
- Μέθοδος καθαρισμού: Απομάκρυνση επάνω στρώματος (1-3 cm) και έκπλυση του υπολοίπου από πάνω
- **Απαιτούμενη Επιφάνεια: 100 – 2000 m²**

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Διήθηση

Φίλτρα Υψηλής Ροής

- Στρώμα άμμου (60-100 cm) υποστηρίζεται σε στρώμα χαλικιών
- Ταχύτητα διήθησης: 5-15 mm/sec
- Χρόνος καθαρισμού: κάθε 12-72 ώρες
- Μέθοδος καθαρισμού: Έκπλυση κατά αντιστροφή με υψηλή ταχύτητα
- **Απαιτούμενη Επιφάνεια: 10-80 m²**

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Απολύμανση

Στόχος: θανάτωση παθογόνων μικροοργανισμών

Απολύμανση

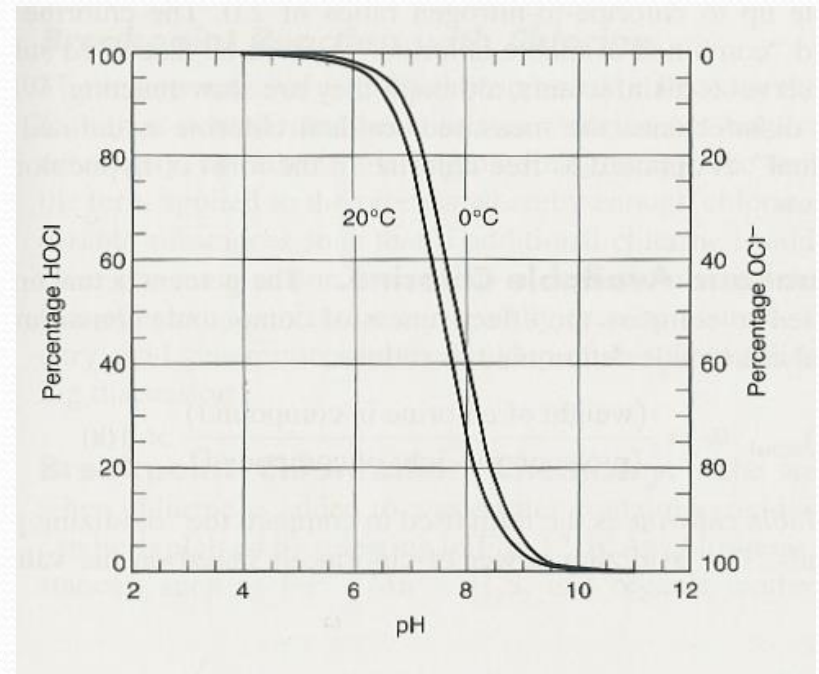


Βασικές αντιδράσεις:

1. $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HOCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ (υδρόλυση)
2. $\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$ (ιονισμός)



τοξικότερο



Απολύμανση

Επίδραση Χρόνου επαφής:

Αύξηση χρόνου επαφής – Αύξηση θανάτωσης μικροοργανισμών

$$N_t = N_0 e^{-kt}$$

N_t = αριθμός μικροοργανισμών τη χρονική στιγμή, t

N_0 = αριθμός μικροοργανισμών για $t = 0$

k = σταθερά θανάτωσης μικροοργανισμών (χρόνος⁻¹)

t = χρόνος

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Απολύμανση – Cl_2

- + Παρουσία υπολειμματικού χλωρίου στο δίκτυο ύδρευσης
- Σχηματισμός τριαλογονωμένων μεθανίων, THMs (CHCl_3)

Συστήματα Επεξεργασίας Πόσιμου Νερού

Απολύμανση

Άλλες ουσίες που χρησιμοποιούνται:

Χλωραμίνες => όχι ιδιαίτερα ισχυρό απολυμαντικό

ClO_2 => δραστικό αλλά και υψηλό κόστος

O_3 => δραστικό, όχι υπολειμματική δράση

<https://www.youtube.com/watch?v=68muAPCMCus>

Αττική

Πηγές Υδροληψίας

- ✓ Ταμιευτήρας Μαραθώνα (κατασκευή 1925-1929, τροφοδοτείται από ταμιευτήρες Υλίκης, Μόρνου)
- ✓ Ταμιευτήρας Υλίκης (φυσική λίμνη, χρήση από 1956)
- ✓ Ταμιευτήρας Μόρνου (κατασκευή 1972-1979)
- ✓ Ταμιευτήρας Ευήνου (κατασκευή 1992-2001, Σήραγγα Ευήνου – Μόρνου για μεταφορά υδάτων από το φράγμα στον ταμιευτήρα Μόρνου)
- ✓ 100 γεωτρήσεις

Αττική

Μονάδες Επεξεργασίας Νερού

MEN Γαλατσίου (1931)

MEN Αχαρνών (1970)



$1,9 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{ημέρα}$

MEN Πολυδενδρίου (1986)

MEN Μάνδρας (1997)

Προσθήκη χλωρίου (προχλωρίωση)

Προσθήκη θειικού αργιλίου (κροκίδωση)

Καθίζηση (απομάκρυνση 80% αιωρούμενων στερεών)

Διήθηση (απομάκρυνση 20% αιωρούμενων στερεών)

Μεταχλωρίωση

Αττική

Δίκτυα Ύδρευσης

Μήκος Δικτύων: 7000 χλμ

Κατασκευή δικτύου: (1926.....)

Υλικό κατασκευής

65% σωλήνες από αμιαντοτσιμέντο

15% χαλυβδοσωλήνες

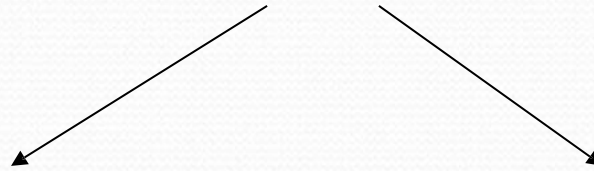
15% χυτοσίδηροι σωλήνες

5% σωλήνες PVC

ΠΗΓΕΣ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

- ✓ Οικιστική δραστηριότητα (οικίες, ιδρύματα, καταστήματα....)
- ✓ Βιομηχανική δραστηριότητα (βιοτεχνίες, βιομηχανίες)
- ✓ Εισροές όμβριων, υπόγειου υδροφόρου (συνδέσεις και τοιχώματα αγωγών)
- ✓ Όμβρια ύδατα (μικτό αποχετευτικό σύστημα)

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ



Παροχή Αποβλήτων
(m³/day ή lt/hour ή lt/min)



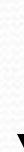
Διατομή Αγωγών

Δυναμικότητα Αντλιών

Μέγεθος Εξαμμωτών - Εσχαρών - Δεξαμενών
(φυσικοχημικές διεργασίες)

Ποσότητες απολυμαντικών - κροκιδωτικών

Συγκέντρωση Ρύπων - Ρυπαντικό Φορτίο
(mg/lt) ή μg/lt ή ng/lt) - (Kg/day)



Μέγεθος δεξαμενών αερισμού - ανοξικών -
αναερόβιων - χωνευτών
(βιολογικές διεργασίες)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (υδραυλικό φορτίο)

✓ Σημερινές ή παλιότερες μετρήσεις πεδίου (ολοκληρωμένο αποχετευτικό δίκτυο)

- Μερική ή πλήρης απουσία αποχετευτικού δικτύου
- Σχεδιασμός μικρών μονάδων (ξενοδοχεία, ιδρύματα....)



✓ Δεδομένα κατανάλωσης νερού (συνυπολογισμός νερού άρδευσης, μεταποίησης, ύπαρξη γεωτρήσεων.....)

✓ Πληθυσμιακά δεδομένα + Βιβλιογραφικά δεδομένα παραγόμενων λυμάτων (κατ' άτομο)

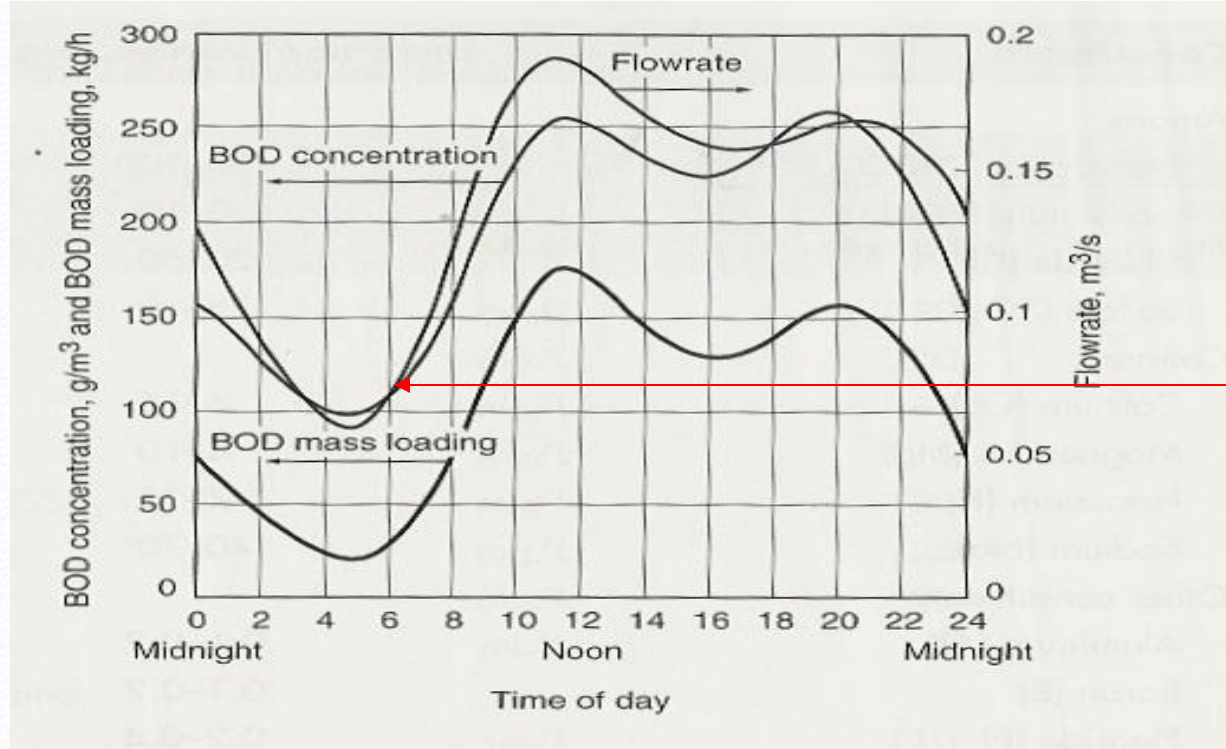
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (υδραυλικό φορτίο)

Παροχή Αποβλήτων = Πληθυσμός × Παραγόμενα λύματα ανά άτομο

$$(m^3/ημέρα) = \frac{\text{Άτομα} \times (\text{lt λυμάτων} / \text{άτομο και ημέρα})}{1000 \text{ lt}/m^3}$$

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΩΝ

✓ Ημερήσια διακύμανση συγκέντρωσης



Χαμηλή κατανάλωση
νερού

Εισροές

Μικρότερες μονάδες => μεγαλύτερη διακύμανση (μικρότερη αποθηκευτική ικανότητα δικτύου)

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

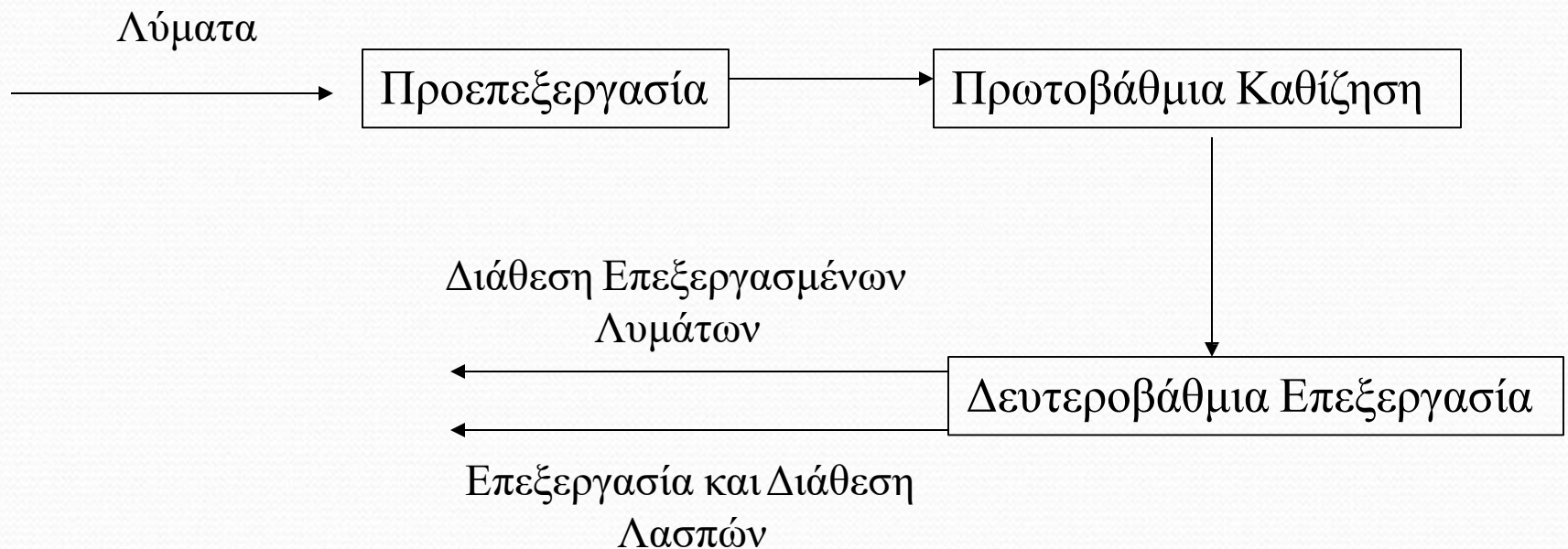
Σύνθεση Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Χαρακτηριστικά	Συγκέντρωση
BOD ₅	100 - 300 (mg/l)
COD	250 - 1000 (mg/l)
Αιωρ. Στερεά	100 - 350 (mg/l)
Ολικό N	20 - 80 (mg/l)
Ολικός P	5 - 20 (mg/l)

Στόχος ΜΕΥΑ: Απομάκρυνση οργανικού φορτίου, αιωρούμενων στερεών, ενώσεων αζώτου και φωσφόρου

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Τυπικό Σύστημα Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων



ΟΔΗΓΙΑ 91/271 ΕΕ

- ✓ Χρονοδιάγραμμα κατασκευής αποχετευτικών δικτύων
- ✓ Χρονοδιάγραμμα κατασκευής ΜΕΥΑ
- ✓ Καθορισμός ευαίσθητων υδάτινων αποδεκτών
- ✓ Καθορισμός συγκέντρωσης ρύπων στα επεξεργασμένα απόβλητα
- ✓ Καθορισμός μεθόδων δειγματοληψίας
- ✓ Καθορισμός μεθόδων ανάλυσης δειγμάτων

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Ποιότητα Εκροών Μονάδων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Οδηγία 91/271/Ε.Ε

➤ Καθορισμός οριακών τιμών για τα επεξεργασμένα απόβλητα

Χαρακτηριστικά	Όρια Οδηγίας 91/271
BOD ₅	< 25 (mg/l)
COD	< 125 (mg/l)
Αιωρ. Στερεά	< 35 (mg/l)
Ολικό N	< 10 (mg/l)
Ολικός P	< 1 (mg/l)

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Πρωτοβάθμια Καθίζηση

Στόχος: απομάκρυνση οργανικού υλικού των λυμάτων που βρίσκεται σε σωματιδιακή μορφή

- Παραμονή λυμάτων σε κυκλικές ή ορθογωνικές δεξαμενές
- Απομάκρυνση 50 - 60% αιωρούμενων στερεών
- Απομάκρυνση 25 - 40% BOD
- Επεξεργασμένα απόβλητα φεύγουν από την υπερχειλίση δεξαμενής
- Πρωτοβάθμια ιλύς αντλείται από τον πυθμένα δεξαμενής

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Πρωτοβάθμια Καθίζηση

Σχεδιαστικά Κριτήρια

- Υδραυλικός χρόνος παραμονής (1,5-2,5 ώρες)

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

V = όγκος δεξαμενής (m³)

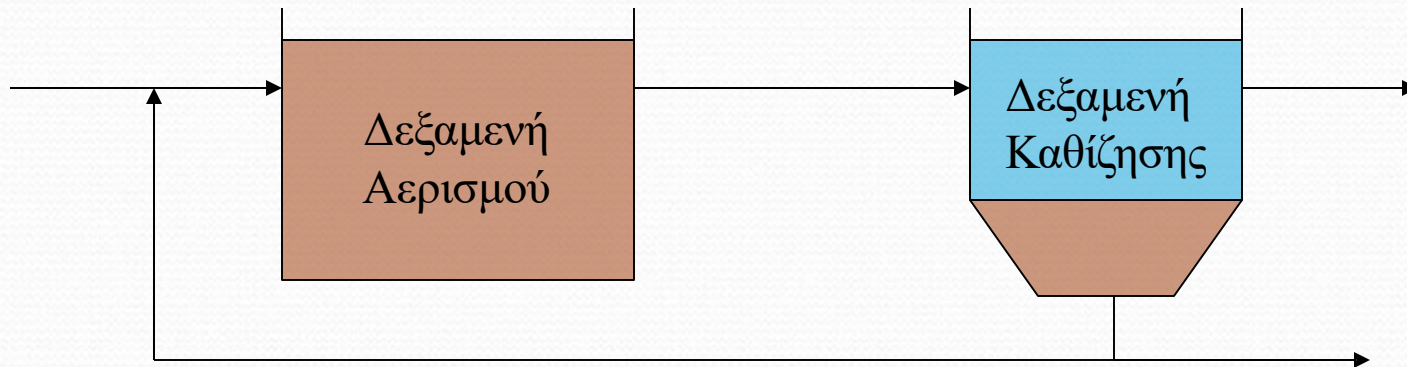
Q = μέση ημερήσια παροχή (m³/ημέρα)

- Επιφανειακό Φορτίο (15 - 30 m³/ημέρα και m²)

$$\text{Επιφανειακό Φορτίο} = \frac{Q}{A}$$

A = επιφάνεια δεξαμενής (m²)

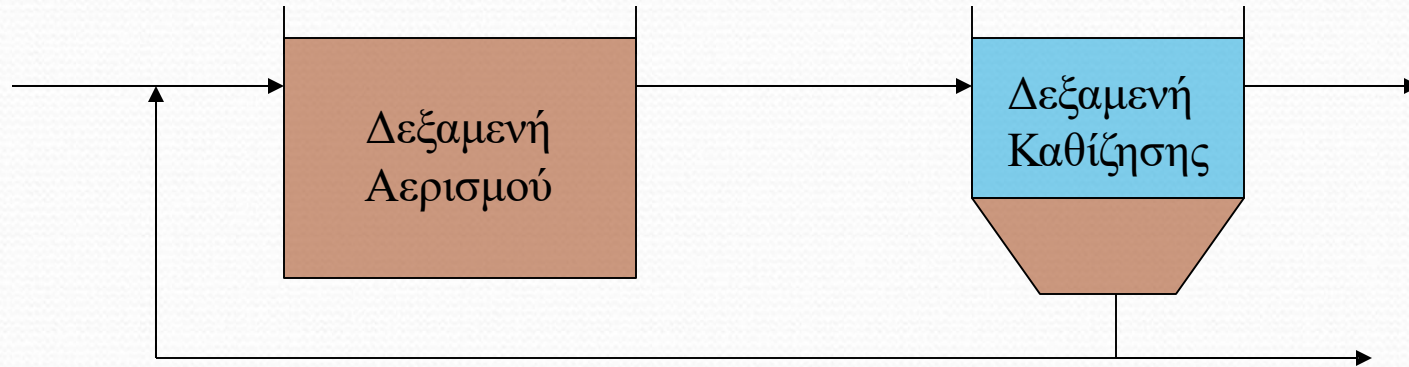
ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ



Δεξαμενή Αερισμού

- ✓ Επαφή λυμάτων με συσσωματώματα μικροοργανισμών (αερόβιες συνθήκες, πλήρης μίξη)
- ✓ Οξείδωση μέρους των οργανικών ενώσεων σε CO_2 , H_2O
- ✓ Μετατροπή μέρους των οργανικών ενώσεων σε νέο κυτταρικό υλικό

ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

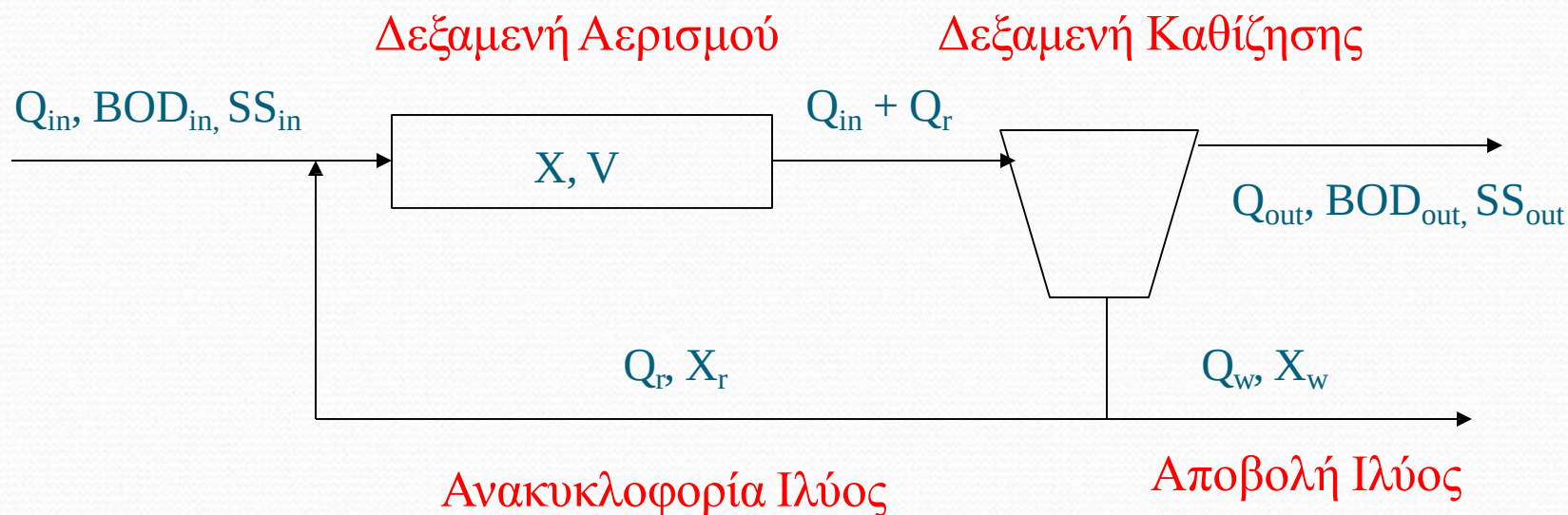


Δεξαμενή Καθίζησης

- ✓ Διαχωρισμός των βιοκροκίδων λόγω καθίζησης
- ✓ Ανακυκλοφορία μέρους της ιλύος στη Δεξαμενή Αερισμού
- ✓ Αποβολή μέρους της ιλύος

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Μέθοδος Ενεργού Ιλύος



Q = παροχή ($m^3/ημέρα$)

SS ή X ή $MLVSS$ = αιωρούμενα στερεά (mg/l)

BOD = οργανικό φορτίο (mg/l)

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Μέθοδος Ενεργού Ιλύος

Σχεδιαστικά κριτήρια

- Υδραυλικός χρόνος παραμονής λυμάτων στη ΔΑ, θ (3,5 – 36 ώρες)

$$\theta = \frac{V}{Q_{\text{ολικό}}} \quad \text{Όπου } Q_{\text{ολικό}} = Q_{\text{in}} + Q_{\text{r}}$$

- Χρόνος παραμονής μικροοργανισμών στο σύστημα, θ_c (3-40 ημέρες)

$$\theta_c = \frac{(MLVSS \times V)}{(Q_{\text{out}} \times SS_{\text{out}}) + (Q_w \times X_w)}$$

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Μέθοδος Ενεργού Ιλύος

Σχεδιαστικά κριτήρια

- Φορτίο Ιλύος, F/M (0,05-1 Kg BOD/Kg βιομάζας και ημέρα)

$$\frac{F}{M} = \frac{(Q_{in} \times BOD_{in})}{(MLVSS \times V)}$$

- Υδραυλικό φορτίο ΔK (12-41 m³/ημέρα και m²)

$$\text{Υδραυλικό Φορτίο} = \frac{Q}{A}$$

Παραδείγματα 3.8 και 3.9

Βιολογική Απομάκρυνση Αζώτου

Επιπτώσεις σε επιφανειακούς αποδέκτες, υπόγεια νερά:

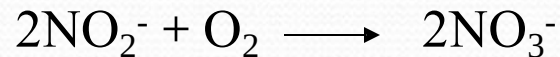
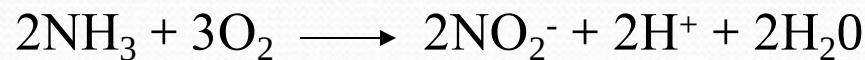
- ✓ Ευτροφισμός
- ✓ Τοξικότητα αμμωνίας σε ψάρια
- ✓ Αποξυγόνωση αποδεκτών λόγω απονιτροποίησης αμμωνίας
- ✓ Τοξικότητα από παρουσία νιτρικών σε πόσιμο νερό (κυάνωση σε βρέφη)

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Μέθοδος Ενεργού Ιλύος

Απομάκρυνση Ενώσεων Αζώτου

➤ **Νιτροποίηση** (αυτότροφα νιτροποιά βακτήρια)



Παράγοντες που επηρεάζουν τη νιτροποίηση:

DO, θ_c , pH, θερμοκρασία, ύπαρξη τοξικών ουσιών

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Μέθοδος Ενεργού Ιλύος

Απομάκρυνση Ενώσεων Αζώτου

➤ Απονιτροποίηση (ετερότροφα απονιτροποιά βακτήρια)



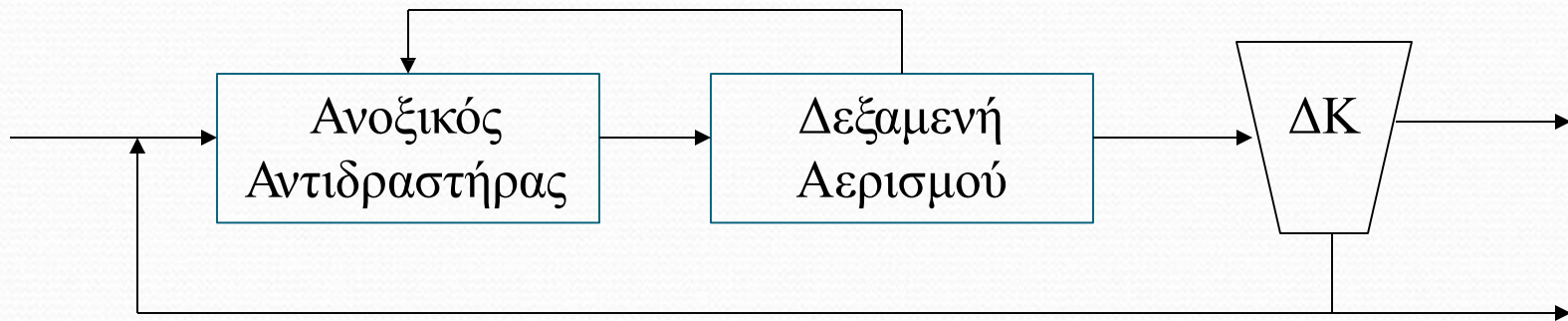
Παράγοντες που επηρεάζουν την απονιτροποίηση:

Υπαρξη ανοξικών συνθηκών στον αντιδραστήρα ($\text{DO} \rightarrow 0$)

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Μέθοδος Ενεργού Ιλύος

Απομάκρυνση Ενώσεων Αζώτου



Σύστημα ενεργού ιλύος που επιτυγχάνει βιολογική απομάκρυνση αζώτου

ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

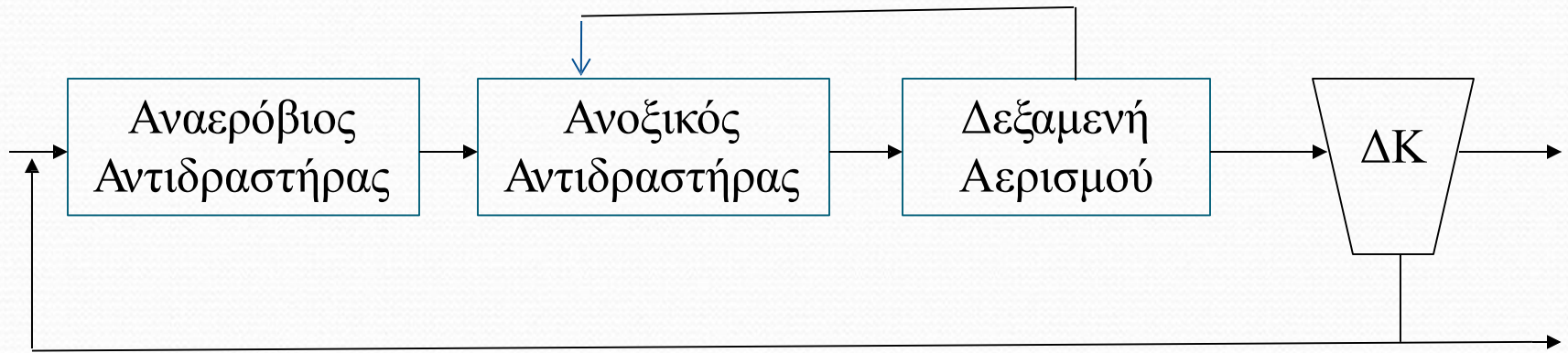
Απομάκρυνση φωσφόρου

- ✓ Παγίδευση φωσφόρου σε στερεά (χημικά ιζήματα, ενεργό ιλύ) και αφαίρεση στη ΔΚ
- ✓ Αποφυγή επαναδιάλυσης φωσφόρου κατά την καθίζηση

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία – Μέθοδος Ενεργού Ιλύος

Απομάκρυνση Ενώσεων Φωσφόρου



Απαραίτητη προϋπόθεση για βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου:

DO = 0 και Νιτρικά = 0 στον αναερόβιο αντιδραστήρα

<https://www.youtube.com/watch?v=5ZuZnF8P070>

Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Διάθεση Επεξεργασμένων Αποβλήτων και Λασπών

➤ Επεξεργασμένα Απόβλητα

Απολύμανση

Διάθεση σε τελικό αποδέκτη (επιφανειακά ύδατα, θάλασσα, έδαφος)

➤ Λάσπες

Πάχυνση (μείωση όγκου)

Χώνευση (μείωση οργανικού φορτίου)

Διάθεση (χωματερές, εδαφοβελτιωτικό)

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΙΛΥΟΣ

Σύστημα υψηλής ταχύτητας – μίας βαθμίδας

Ομοιόμορφη τροφοδότηση

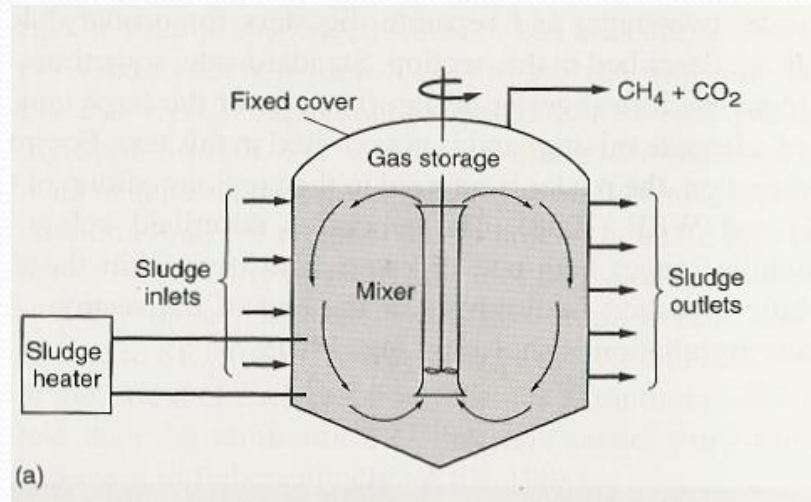
Συνεχής τροφοδότηση ή σε κύκλους 30 min

Διατήρηση σταθερών συνθηκών

Αποθήκευση αερίου: κινητή ή ακίνητη οροφή

Ανάμιξη: παραγόμενο βιοαέριο, αναδευτήρες, άντληση και επαναεισαγωγή ιλύος

Θέρμανση: εσωτερικά, εξωτερικά



Αστική Χρήση

- Πάρκα
- Εθνικοί Δρόμοι
- Περιφερειακές Ζώνες Πρασίνου
- Ιπποδρόμια – Νεκροταφεία
- Πυροπροστασία
- Καθαρισμός WC



Επαναχρησιμοποίηση Δασμών

- Αγροτική έκταση
- Δασική έκταση
- Έκταση προς αποκατάσταση
- Βιομηχανική χρήση (παραγωγή τσιμέντου, δομικών υλικών)
- Καύση για παραγωγή ενέργειας

Επαναχρησιμοποίηση Λάσπών

Οδηγία 86/278/Ε.Ε.– Αγροτική Χρήση

Συγκέντρωση στο χώμα (mg/Kg ξηρού υλικού)		Συγκέντρωση στη λάσπη (mg/Kg ξηρού υλικού)	Ετήσιο Επιτρεπόμενο Φορτίο (Kg/ εκτάριο και χρόνο)
Cd	1-3	20-40	0.15
Cu	50-140	1000-1750	12
Ni	30-75	300-400	3
Pb	50-300	750-1200	15
Zn	150-300	2500-4000	30
Hg	1-1.5	16-25	30