



Τριτοβάθμια επεξεργασία

Δημοσθένης Α. Σαρηγιάννης
Αναπληρωτής Καθηγητής
Περιβαλλοντικής Μηχανικής



Εισαγωγικά



- Ο τριτοβάθμιος καθαρισμός γίνεται σε ειδικές περιπτώσεις που δεν καλύπτονται από τα δυο προηγούμενα στάδια ή όταν απαιτείται μεγαλύτερος βαθμός καθαρότητας ή είναι ανάγκη να αφαιρεθούν ειδικοί ρυπαντές.
- Ο καθαρισμός αυτός δημιουργεί συνήθως παραπροϊόντα, λάσπη ή συμπυκνώματα των οποίων η διάθεση δημιουργεί κινδύνους ρύπανσης των υπογείων νερών. Για αυτό επιδιώκεται η ανακύκλωση ή η κάθε είδους αξιοποίηση των χημικών ουσιών των αποβλήτων.
- Πάντως η επεξεργασία αυτή απαιτεί υψηλή τεχνολογία, μεγάλη δαπάνη και παρουσιάζει αρκετά προβλήματα. Στο τέλος αυτού του καθαρισμού οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων στερεών είναι γύρω στα 10 mg/l.



- Αυξάνουσα πληθυσμιακή πίεση οδηγεί σε αύξηση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων σωματιδίων σε υδάτινους όγκους
- Ανάγκη αύξησης της απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών για πιο αποτελεσματική απολλύμανση
- Ανάγκη απομάκρυνσης θρεπτικών συστατικών για τον περιορισμό του ευτροφισμού σε ευαίσθητους υδάτινους όγκους
- Ανάγκη απομάκρυνσης συστατικών για να προλάβουμε ή να παρεμποδίσουμε την ανάκτηση νερού.



Τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων 3ης βαθμίδας

Τεχνική επεξεργασία	Διαχωριζόμενες ουσίες
1. Μικροκόσκινα	Αιωρούμενες ουσίες
2. Βιολογική νιτροποίηση	Αμμωνία
3. Βιολογική νιτροποίηση-απονιτροποίηση	Θρεπτικά άλατα αζώτου και φωσφόρου
4. Αντιδραστήρες ενεργού άνθρακα	Οργανικές και ανόργανες ουσίες
5. Χημική οξειδωση	Οργανικές ουσίες που δεν αποικοδομούνται βιολογικά
6. Εναλλάκτες ιόντων	Ανόργανες ουσίες σε διάλυμα
7. Αντίστροφη ώσμωση	Ανόργανες ουσίες σε διάλυμα
8. Απόσταξη	Ανόργανες ουσίες σε διάλυμα



Θεωρία

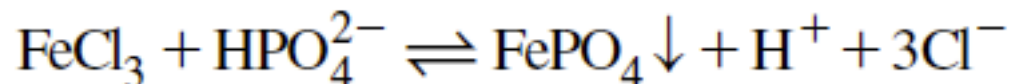
- Όλα τα πολυφωσφορικά άλατα υδρολύονται σε υδατικά διαλύματα προς την ορθο- μορφή (PO_4^{3-}) από την οποία και προέρχονται
- Ο φωσφόρος συναντάται σε υδάτινα απόβλητα συνήθως σε μορφή HPO_4^{2-}
- Η απομάκρυνση του φωσφόρου για να προστατευθεί το υδάτινο οικοσύστημα από ευτροφισμό επιτυγχάνεται με χημική κατακρήμνιση



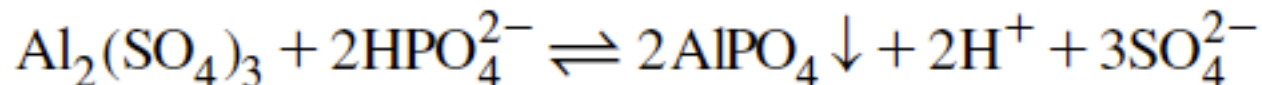
Χημική κατακρήμνιση φωσφόρου



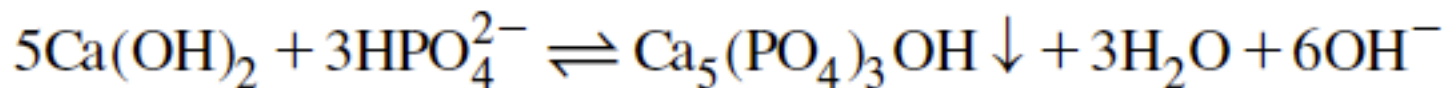
- Χρησιμοποιώντας FeCl_3 $5,5 < \text{pH} < 7$



- Χρησιμοποιώντας $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ $5,5 < \text{pH} < 7$



- Χρησιμοποιώντας ασβέστη [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]





Στρατηγικές σχεδιασμού



- Τα κύρια αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται για αποφωσφάτωση είναι alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$) και FeCl_3
- Τελευταία δεν χρησιμοποιείται ασβέστης λόγω σημαντικής αύξησης της παραγωγής ιλύος, απαιτήσεις για έλεγχο pH, και προβλημάτων λειτουργείας και συντήρησης.
- Τα αντιδραστήρια είτε αναμιγνύονται με τα λύματα εντός των δεξαμενών αερισμού οπότε έχουμε **σύγκοινη διεργασία** είτε μετά την δεξαμενή ενδιάμεσης καθίζησης οπότε η χημική επεξεργασία είναι τελείως ανεξάρτητη και αποτελεί το **τρίτο στάδιο καθαρισμού**



Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου



- Η απομάκρυνση του φωσφόρου είναι δυνατόν να γίνει και με **βιολογικές μεθόδους**. Ακόμη και σήμερα η προσπάθεια προς την κατεύθυνση αυτή βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο.
- Χρησιμοποιούνται μέθοδοι αναερόβιας-αερόβιας κατεργασίας και
- μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην ικανότητα των μικροφυκών να δεσμεύουν φώσφορο και άζωτο κατά την φωτοσύνθεση.



- Η προσρόφηση κορεσμού ενός αντιδραστήρα υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση η οποία ισχύει για την περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου στην κατεργασία των λυμάτων.

$$\frac{X}{m} = Kc^{\frac{1}{n}}$$

- X = ποσότητα προσροφηθείσης ουσίας (mg)
- m = ποσότητα ενεργού άνθρακα (mg)
- c = συγκέντρωση ισορροπίας
- K, n = σταθερές αντίδρασης



- Η ταχύτητα προσρόφησης προσδιορίζεται πειραματικά. Οι πειραματικοί αντιδραστήρες έχουν μικρότερη διάμετρο ίδιο όμως ύψος με τους αντιδραστήρες που θα κατασκευασθούν.
- Άλλες βασικές παράμετροι που προσδιορίζονται με πειραματικούς αντιδραστήρες είναι η επιφανειακή φόρτιση και ο χρόνος παραμονής των λυμάτων στους αντιδραστήρες



Τύποι αντιδραστήρων

- - **Ανοικτός τύπος**

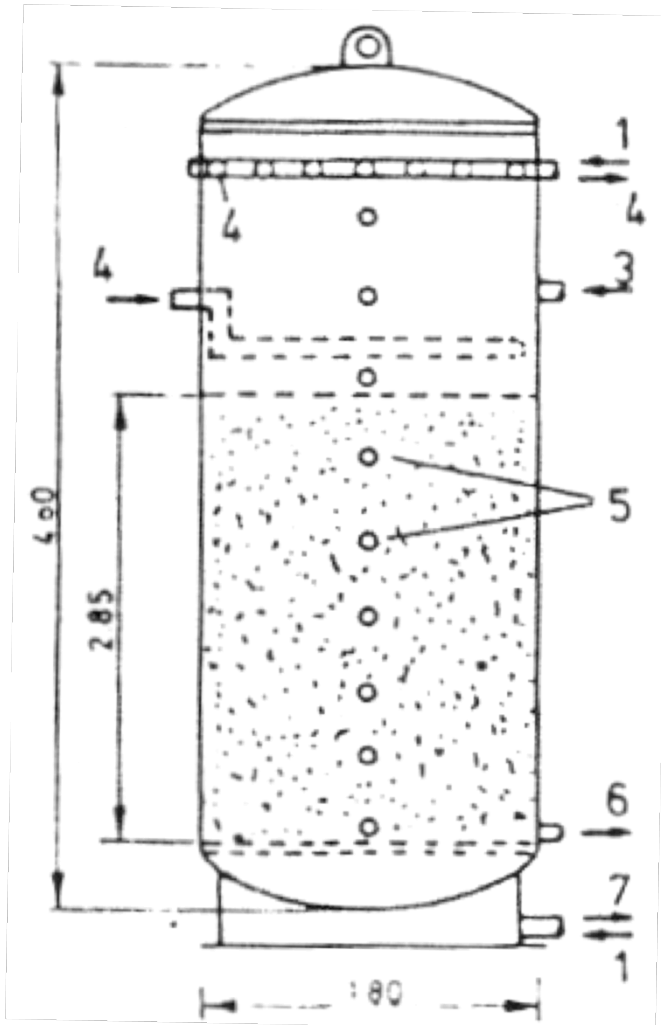
- Κατασκευάζονται και λειτουργούν όπως τα αμμοδιυλιστήρια. Στην θέση της άμμου τοποθετούνται κυλινδρικοί κόκκοι ενεργού άνθρακα διαστάσεων 1mm - 4mm.

- - **Κλειστός τύπος**

- Οι δεξαμενές είναι κυλινδρικές και κατασκευάζονται από χαλύβδινα φύλλα (λαμαρίνες), βρίσκονται δε υπό πίεση.
- Η ροή γίνεται είτε από επάνω προς τα κάτω είτε αντίστροφα. Στην δεύτερη περίπτωση τα στουπώματα είναι πολύ λιγότερα από ότι στην πρώτη.
- Χρησιμοποιούνται σφαιρικοί κόκκοι ενεργού άνθρακα.



Δεξαμενή ενεργού άνθρακα



- 1. Εισροή,
- 2. Εκροή,
- 3. Συμπλήρωση με ενεργό άνθρακα,
- 4. Νερό πλύσης,
- 5. Στόμια δειγματοληψίας,
- 6. Εκκένωση άνθρακα,
- 7. Εκροή



Διαστασιολόγηση αντιδραστήρων

- **Ανοικτός τύπος:** $v_0 = 5 - 10 m / h$ Υδραυλικό φορτίο
- **Κλειστός τύπος:**
 - $v_0 = 60 m / h$ για αντιδραστήρες καθοδικής ροής
 - $v_0 = 30 - 40 m / h$ για αντιδραστήρες ανοδικής ροής
- *Χρόνος παραμονής:*
 - Για COD = 10-20 mg/l, EBCT = 20-40 min
 - Για COD = 5-15 mg/l, EBCT = 30-35 min
- Ύψος κλίνης: Ανάλογα με το EBCT, το $H = 3-12 m$
- Διαστάσεις στήλης: $\emptyset = 0,75-3,6 m$, $L = 18 m$
 - Λόγος $L:\emptyset = 1,5:1 - 4:1$



- Απόδοση αντιδραστήρων: 70-80%
- Προσρόφηση κορεσμού: 0,9 kg ενεργού άνθρακα
- Απαιτούμενη ποσότητα άνθρακα: $\sim 60 \text{ g} / \text{m}^3$ λυμάτων
- Απώλειες άνθρακα κατά την αναγέννησή του (με θέρμανση σε φούρνο): $4-8 \text{ g} / \text{m}^3$ λυμάτων
- Χρήση άνθρακα για απόβλητα ύδατα

Προηγούμενη επεξεργασία	Ρυθμός χρήσης C (g/m^3)
Κροκκιδωμένη, καθιζημένη, διηθημένη ενεργός ιλύς	24-48
Δευτεροβάθμια διήθηση	48-72



Επιφανειακή φόρτιση αντιδραστήρων

- *Ύψος αντιδραστήρων:* Στην περίπτωση που απαιτούνται αντιδραστήρες με μεγάλο ύψος είναι δυνατόν να κατασκευασθούν περισσότεροι από έναν συνδεδεμένοι σε σειρά.
- *Προεπεξεργασία λυμάτων:* Η προεπεξεργασία των λυμάτων πριν μπουν στους αντιδραστήρες ενεργού άνθρακα, αποσκοπεί στην βελτίωση της απόδοσης των αντιδραστήρων



Προεπεξεργασία λυμάτων

Δύο μέθοδοι προεπεξεργασίας βρίσκονται υπό έρευνα τα τελευταία χρόνια. Αυτές χρησιμοποιούν:

- Όζον

Η οξειδωση με όζον τροποποιεί την δομή πολλών ουσιών κατά τρόπο που η ικανότητα προσρόφησής των από τον ενεργό άνθρακα να γίνεται μεγαλύτερη.

- μακροπορώδεις εναλλάκτες

Στους εναλλάκτες γίνεται συγκράτηση των μακρομοριακών ουσιών με αποτέλεσμα την αποφόρτιση των αντιδραστήρων ενεργού άνθρακα που ακολουθούν.



Κοκκώδης διήθηση



- Χρησιμοποιείται όταν το όριο αιωρούμενων στερεών στο ρεύμα απορροής είναι $\leq 10 \text{ mg/l}$

Typical average day effluent concentrations from granular media filtration of secondary effluent

Filter influent	Without chemical coagulation	With tertiary chemical coagulation
	Effluent TSS, mg/L	Effluent TSS, mg/L
Conventional activated sludge	3–10	0–5
Extended aeration	1–5	0–5
High-rate trickling filter	10–20	0–3
Two-stage trickling filter	6–15	0–3



Design criteria for dual-media filters used in tertiary treatment of wastewater

Parameter	Reported range	Typical	GLUMRB recommendation
Anthracite coal on top			
Effective size	0.8–2.0 mm	1.3	
Uniformity coefficient	1.3–1.6	≤ 1.5	≤ 1.7
Shape factor (f)	0.40–0.60		
Porosity	0.56–0.60		
Specific gravity	1.4–1.75		
Depth of medium	360–900 mm	720 mm	



Design criteria for dual-media filters used in tertiary treatment of wastewater

Parameter	Reported range	Typical	GLUMRB recommendation
Sand on bottom			
Effective size	0.4–0.8 mm	0.65	
Uniformity coefficient	1.2–1.6	≤ 1.5	≤ 1.7
Shape factor (f)	0.7–0.8		
Porosity	0.40–0.47		
Specific gravity	2.55–2.65		
Depth of medium	180–360 mm	360 mm	
Filtration rate	5–24 m/h	12 m/h	
Backwash rate	48–72 m/h		
Backwash duration ^a	10–20 min		
Surface wash rate			
Revolving arms	1.2–2.4 m/h		



ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ



Typical design parameters for denitrification filters

Parameter	Range	Typical	Comment
Sand monomedia			
Effective size (sand)	1.8–2.3 mm	2.3	2.3 mm is the largest commercially available, but larger media may be better
Uniformity coefficient		≤ 1.3	
Sphericity	0.8–0.9	0.82	≥ 0.9 is preferred; less spherical is effective but requires more frequent backwashing and bumps
Depth	1.2–2 m	1.6 m	
Dual media			
Effective size			
Coal	2.38–3.65 mm	3.65 mm	
Sand	1.8–2.3 mm	2.3 mm	
Depth			
Coal	0.3–0.9 m	0.6 m	
Sand	0.9–1.2 m	1.2 m	
General			
Empty bed contact time	20–60 min	20 min	Longer for cold water (10°C) than warm water (20°C)
Hydraulic loading			
20°C	60–120 m/d	100 m/d	$m/d = m^3/m^2 \cdot d$
10°C	30–90 m/d	80 m/d	



Typical design parameters for denitrification filters

Parameter	Range	Typical	Comment
NO ₃ -N loading			
20°C	1.4–1.8 kg/m ² · d	1.6 kg/m ² · d	
10°C	0.8–1.2 kg/m ² · d	1.0 kg/m ² · d	
Methanol to NO ₃ -N ratio	2.0–3.5	3.0	Units are mg/L methanol per mg/L NO ₃ -N
Backwash			
Water	15–25 m/h	20 m/h	m/h = m ³ /m ² · h. Duration is about 15 min
Air	19–120 m/h	100 m/h	Duration is about 20–40 s
Nitrogen release (bump)			
Water only	10–14 m/h	12 m/h	Introduction of air scour inhibits denitrification
Duration	2–15 min	5 min	
interval	1 to 6 h	2 h	

Sources: Metcalf & Eddy, 2003; U.S. EPA, 1975; WEF, 1998.



Διήθηση με μεμβράνες



Typical filtrate water quality for MF/UF treatment of secondary effluent

Parameter	Range of values
Biochemical oxygen demand (BOD)	<2–5 mg/L
Total organic carbon (TOC)	5–25 mg/L as C
Total Kjeldahl nitrogen (TKN)	5–30 mg/L as N
Total phosphorus	0.1–8 mg/ as P
Total suspended solids (TSS)	ND ^a
Turbidity	<0.1 NTU
Fecal coliforms	<2–10 per 100 mL
Virus	<1–300 PFU per 100 mL

^aND = not detected.

Source: Extracted from WEF, 2006.



Range of design values for membrane filters

Parameter	Range of values	Comment
Flux		
MF	17–90 L/m ² · h	Prefiltering with cloth media may permit up to 127 L/m ² · h ^a
UF	17–34 L/m ² · h	
Transmembrane pressure (TMP)		
MF	70–170 kPa	
UF	100–700 kPa	

^aUpper limit of range achieved in pilot scale testing.

Sources: Gnirss and Dittrich, 2000; Metcalf & Eddy, 2003; Tooker and Darby, 2007; WEF, 2006.