



Τεχνική Περιβάλλοντος

Ενότητα 10: Απομάκρυνση φωσφόρου

Ευθύμιος Νταρακάς
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



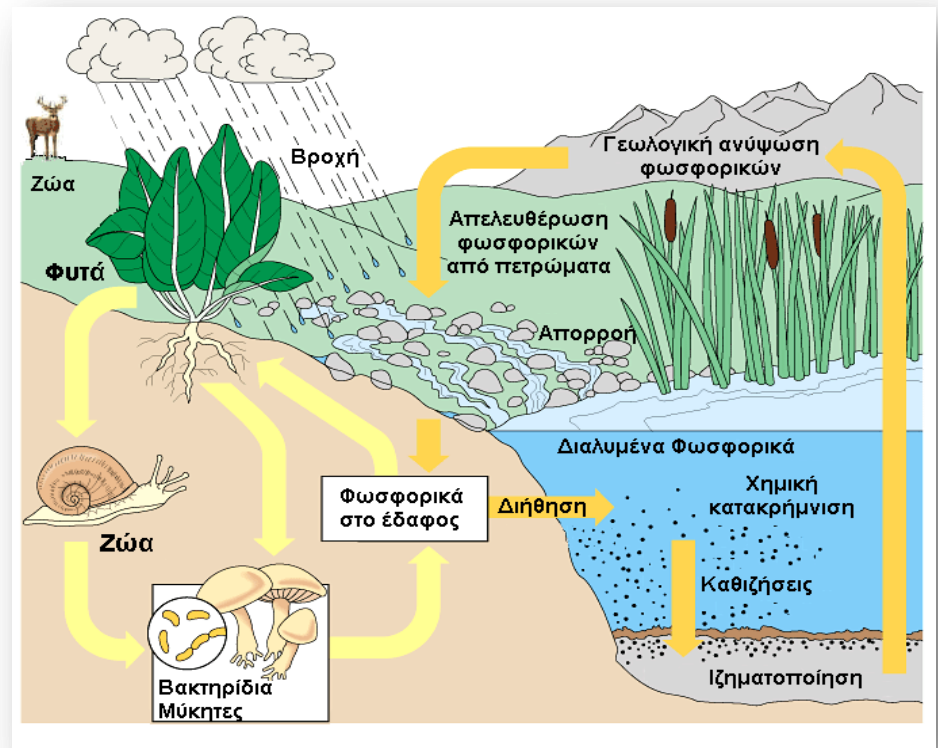
Ο φώσφορος

- Στα υγρά απόβλητα ο φώσφορος (P) βρίσκεται (περίπου 4 gr / κάτοικο την ημέρα) κυρίως στις οργανικές ενώσεις και αποτελεί το 75 % περίπου του συνολικά υπάρχοντος φωσφόρου.
- Ο υπόλοιπος (25 % περίπου) βρίσκεται στα υγρά απόβλητα κυρίως με τη μορφή των ορθοφωσφορικών (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) διαλυτών ιόντων από 70 - 90 % και πολυφωσφορικών ($\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$) ιόντων τα οποία είναι περίπλοκα μόρια, αλλά και με τη μορφή οργανικών φωσφορικών ενώσεων.
- Ο οργανικά δεσμευμένος φώσφορος δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για τα αστικά λύματα.
- Τα ορθοφωσφορικά (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) ιόντα χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς να διασπώνται περαιτέρω.



Ο φώσφορος

- Ο φώσφορος αποτελεί βασικό συστατικό για τη σύνθεση του κυτταρικού ιστού των μικροοργανισμών της ενεργού ιλύος. Χρησιμοποιείται επίσης από τα κύτταρα για την μεταφορά ενέργειας (ADP, ATP), ADP: Διφωσφορική αδενοσύνη, ATP: Τριφωσφορική αδενοσύνη.

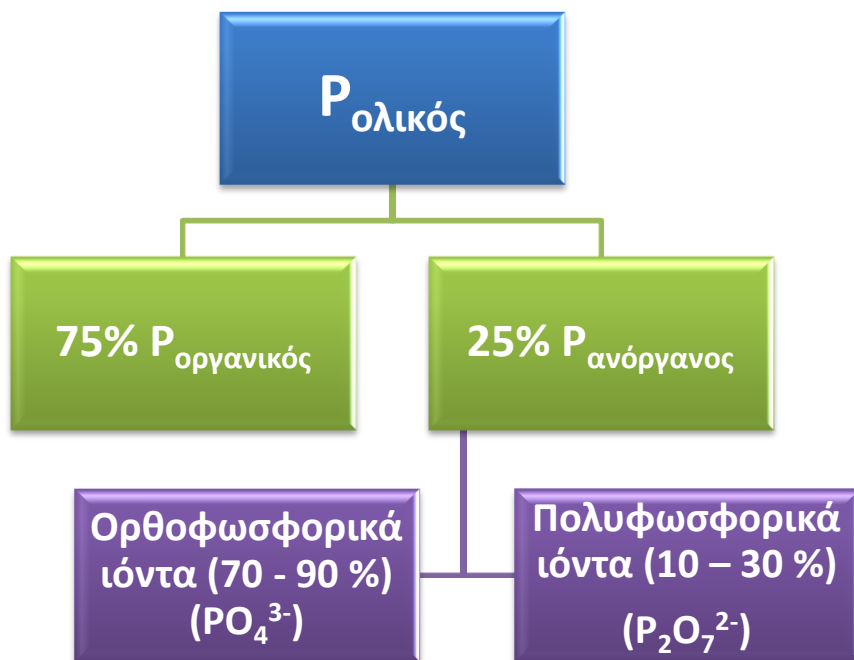


Πηγή:

<http://biologi-ed.blogspot.gr/2012/08/soal-ekologi-1.html>



Ο φώσφορος



- Στα υγρά απόβλητα ο φώσφορος (P) βρίσκεται (περίπου **4 gr / κάτοικο την ημέρα**) κυρίως στις οργανικές ενώσεις και αποτελεί το 75 % περίπου του συνολικά υπάρχοντος φωσφόρου.
- Ο υπόλοιπος (25 % περίπου) βρίσκεται στα υγρά απόβλητα κυρίως με τη μορφή των **ορθοφωσφορικών** (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) διαλυτών ιόντων από 70 - 90 % και **πολυφωσφορικών** ($\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$) ιόντων τα οποία είναι περίπλοκα μόρια, αλλά και με τη μορφή οργανικών φωσφορικών ενώσεων.
- Τα **ορθοφωσφορικά** (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) ιόντα χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς να διασπώνται περαιτέρω.



Απομάκρυνση φωσφόρου

- Η απομάκρυνση του φωσφόρου κρίνεται απαραίτητη στην περίπτωση που η τελική εκροή των Ε.Ε.Λ. διατίθεται σε ευαίσθητους αποδέκτες (γλυκά νερά).
- Με τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων απομακρύνεται ο **P** σε ποσοστό **10 – 30 %**.
- Το σύνολο των φωσφορικών ενώσεων μετατρέπεται σε διαλυτά ορθοφωσφορικά (PO_4^{3-}) ιόντα.
- Τα ορθοφωσφορικά ιόντα κατακρημνίζονται πολύ εύκολα.
- Εάν μετά τη βιολογική, ακολουθήσει χημική επεξεργασία θα απομακρυνθεί όλος ο φώσφορος.



Ο φώσφορος στην εκροή (Βαθμός αποφωσφόρωσης)



Βαθμός απόδοσης



Χαρακτηρισμός (ωφέλιμες χρήσεις) του αποδέκτη

Όταν πρόκειται για ευαίσθητους αποδέκτες θεωρείται ικανοποιητική η ποσότητα του P στην απορροή όταν αυτή δεν υπερβαίνει τα **2 mg/L**.
(Επιθυμητή συνήθως είναι η απομάκρυνση του P κατά 90 – 95 %).



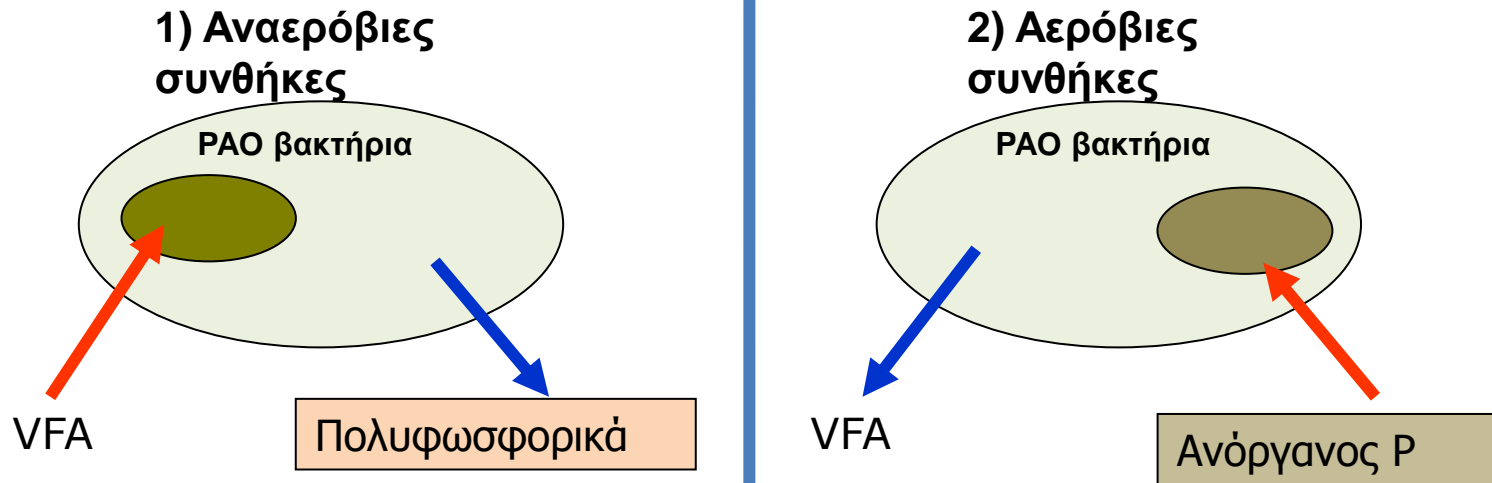
Απομάκρυνση φωσφόρου από τα λύματα

- Οι μέθοδοι απομάκρυνσης του φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα είναι:
 - η βιολογική μέθοδος,
 - η χημική μέθοδος.
- Κάθε μια έχει διαφορετικό βαθμό απόδοσης, αλλά και διαφορετικά λειτουργικά έξοδα.



Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου

EBPR – Enhanced Biological Phosphorus Removal



PAO = Polyphosphate Accumulating Bacteria

VFA = Volatile Fatty Acids (Πτητικά Λιπαρά Οξέα)

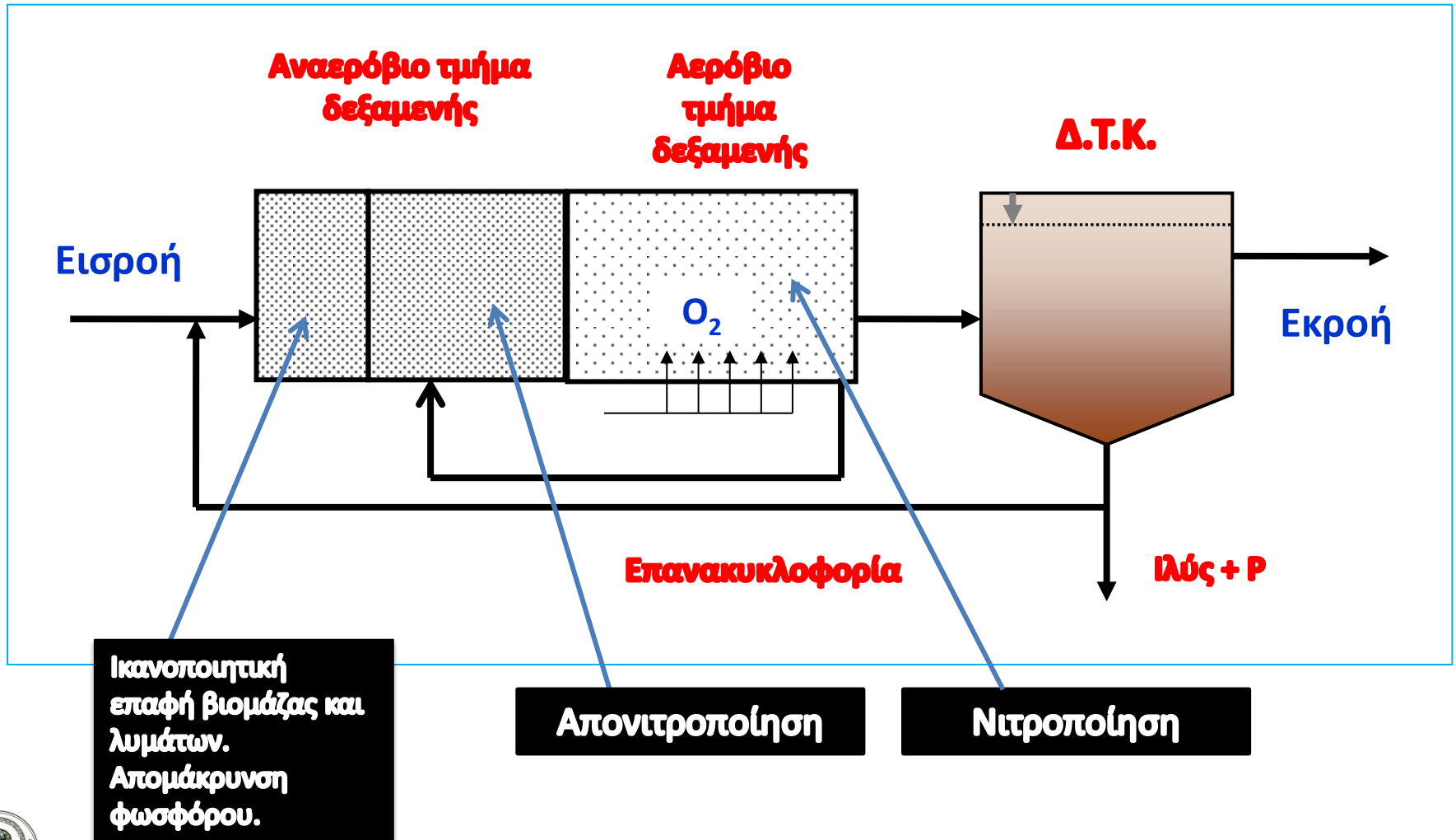


Συνδυασμός βιολογικής απομάκρυνσης N και P στην ίδια δεξαμενή

- Το πρώτο τμήμα του αντιδραστήρα είναι ανοξικό.
- Ένας υποβρύχιος αναμικτήρας φέρνει σε ικανοποιητική επαφή τα εισερχόμενα στη δεξαμενή λύματα (που περιέχουν φώσφορο) με τη βιομάζα η οποία εμπλουτίζεται με την ανακυκλοφορία της ιλύος.
- Τα λύματα μετά από τη δεξαμενή βιολογικής αποφωσφόρωσης εισέρχονται μέσω υποβρύχιας οπής στο δάπεδο της δεξαμενής απονιτροποίησης.
- Ακολουθεί το αερόβιο τμήμα του αντιδραστήρα όπου γίνεται η νιτροποίηση.



Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου (και αζώτου)



Συνδυασμός βιολογικής απομάκρυνσης N και P στην ίδια δεξαμενή

- Κάτω από αναερόβιες συνθήκες στην ανοξική δεξαμενή, σε ανταγωνιστικό περιβάλλον, αναπτύσσονται ετεροτροφικά βακτήρια που έρχονται σε επαφή με τον φώσφορο (P) που περιέχεται στα λύματα.
- Γίνεται πρόσληψη του P από την κυτταρική μάζα των μικροοργανισμών, οι οποίοι στη συνέχεια τον ελευθερώνουν υδρολύοντάς τον με την μορφή διαλυτών φωσφορικών αλάτων (PO_4^{3-}).
- Τελικά ο P απομακρύνεται με το ρεύμα της ιλύος που απάγεται από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης.



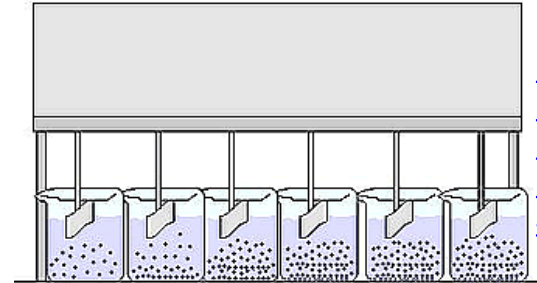
Χημική απομάκρυνση Φωσφόρου (Ο φώσφορος κατακρημνίζεται με τη μορφή αδιάλυτων φωσφορικών αλάτων)

- Μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε στάδιο της επεξεργασίας των λυμάτων, με διαφορετικό βαθμό όμως στην απόδοση.
- Συνήθως γίνεται μετά την βιολογική επεξεργασία, διότι αφενός δεν επηρεάζονται οι άλλες λειτουργίες της εγκατάστασης, αφετέρου επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη απόδοση γιατί **όλος ο P** έχει ήδη μετατραπεί από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία σε **ορθοφωσφορικά (PO_4^{3-})** άλατα που εύκολα κατακρημνίζονται.

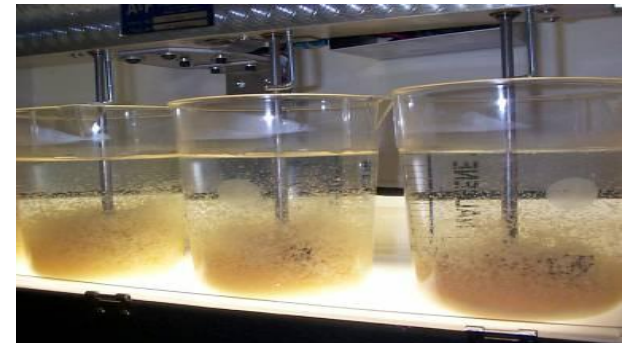


Κροκιδωτικά – Jar test

- Θεικό αργίλιο $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (alum).
- Χλωριούχα άλατα του αργιλίου $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
- Χλωριούχα άλατα του σιδήρου $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
- Θεικά άλατα του σιδήρου $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.
- Υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (lime, υδράσβεστος).
- **Οργανικοί πολυηλεκτρολύτες** (συνθετικά πολυμερή με μονομερή μονάδα που περιέχει ιονιζόμενες ομάδες, π.χ. $-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2\text{COH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{NH}_2$, κ.λ.π.).



Πηγή:
<http://www.worldwildthai.com/index.php?mo=10&art=424708>

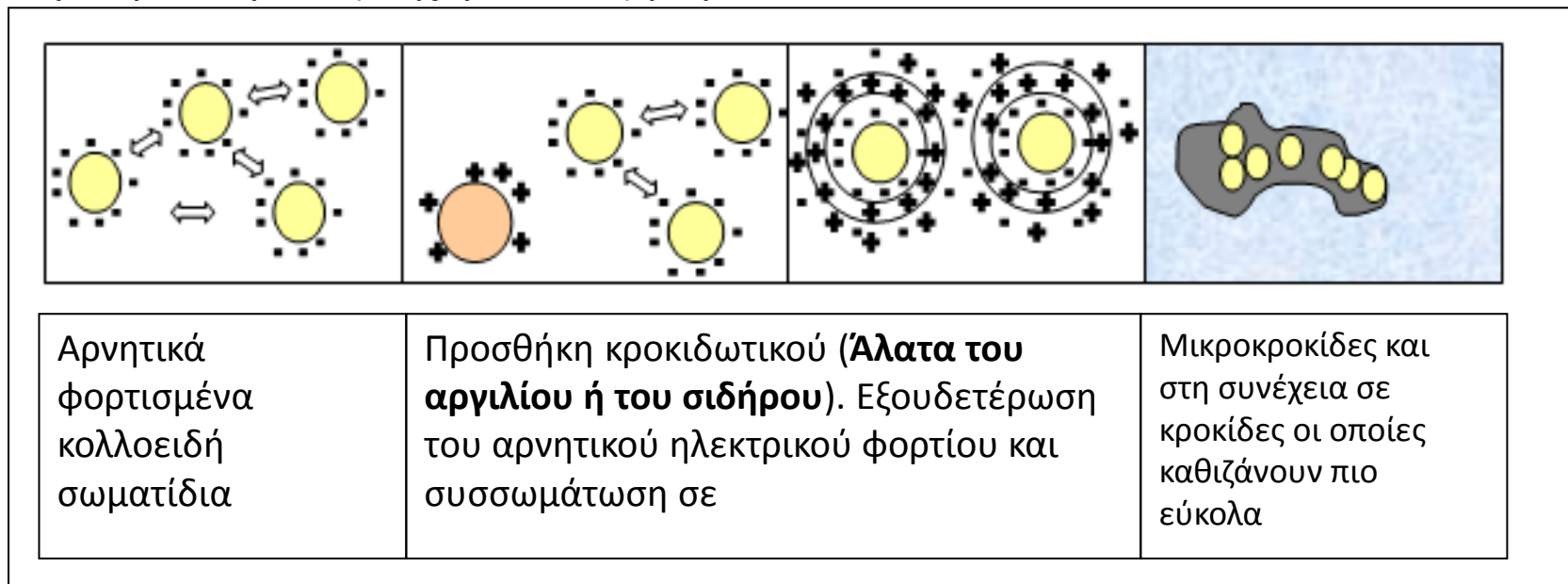


Πηγή:
<http://www.vatgia.com/raovat/2784/2070311/ban-hoa-chat-xu-ly-nuoc-pac-poly-aluminium-chloride-gia-tot-tai-ha-noi.html>



Κροκίδωση - Συσσωμάτωση

Η **κροκίδωση** (coagulation) - **συσσωμάτωση** (flocculation) είναι φυσικοχημική - ηλεκτροχημική διεργασία κατά την οποία τα κολλοειδή και αδρομερή αιωρούμενα σωματίδια των υγρών αποβλήτων προετοιμάζονται με κατάλληλα αντιδραστήρια για την αποσταθεροποίηση, τη συνένωση και την απομάκρυνσή τους π.χ. με καθίζηση.



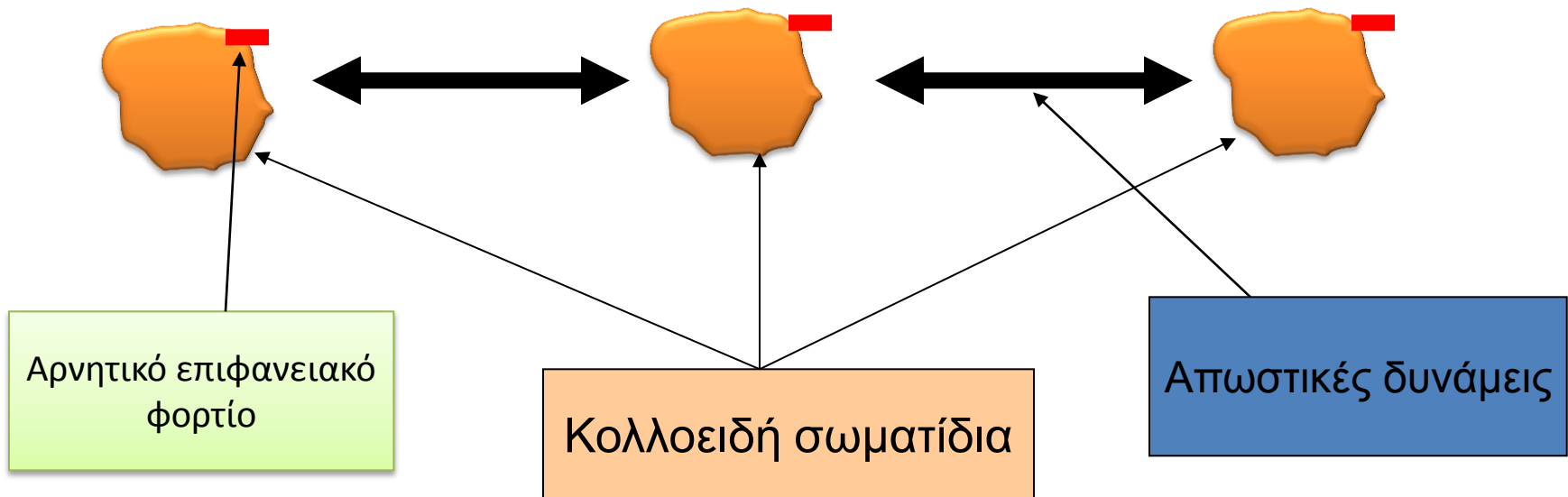
Τα κολλοειδή σωματίδια

- **Κολλοειδή** : Συστήματα διασποράς σε μορφή σωματιδίων τάξης μεγέθους $10^{-7} - 10^{-4}$ cm (0,01 - 1,0 μ m) που ονομάζονται μικκύλια.
- Οπτικά φαίνονται ότι είναι ομογενή μίγματα.
- Η απομάκρυνσή τους με απλή καθίζηση είναι αδύνατη.
- Τα κολλοειδή σωματίδια χαρακτηρίζονται από **αρνητικό επιφανειακό φορτίο**.
- Χαρακτηρίζονται από αρνητικό επιφανειακό φορτίο
- Το μέγεθός τους είναι τέτοιο ώστε οι **ελκτικές** δυνάμεις των σωματιδίων είναι σημαντικά **μικρότερες** από τις **απωστικές** δυνάμεις που δημιουργούνται λόγω του αρνητικού τους φορτίου.

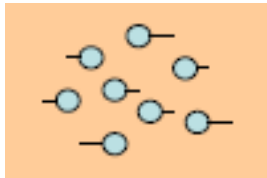
Αποτέλεσμα : διατηρούνται σε αιώρηση μέσα στο νερό και στα απόβλητα.



Τα κολλοειδή σωματίδια

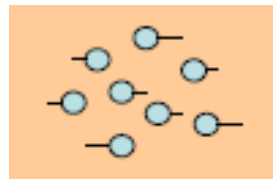


Μηχανισμός της κροκίδωσης



Αρνητικά φορτισμένα
κolloειδή σωματίδια

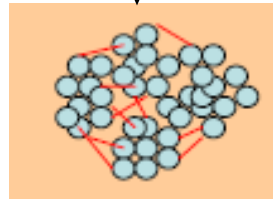
Προσθήκη
κροκιδωτικού



Ανάδευση



Μικροκροκίδες

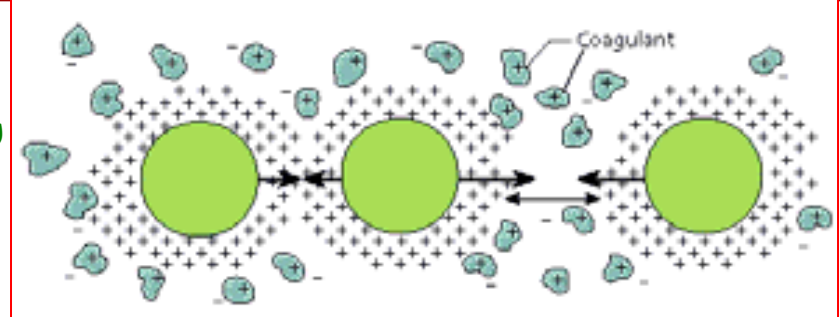


Κροκίδες

Προσθήκη πολυηλεκτρολύτη

Ανάδευση – εξουδετέρωση ηλεκτρικού φορτίου

Δεσμοί μεταξύ μικροκροκίδων

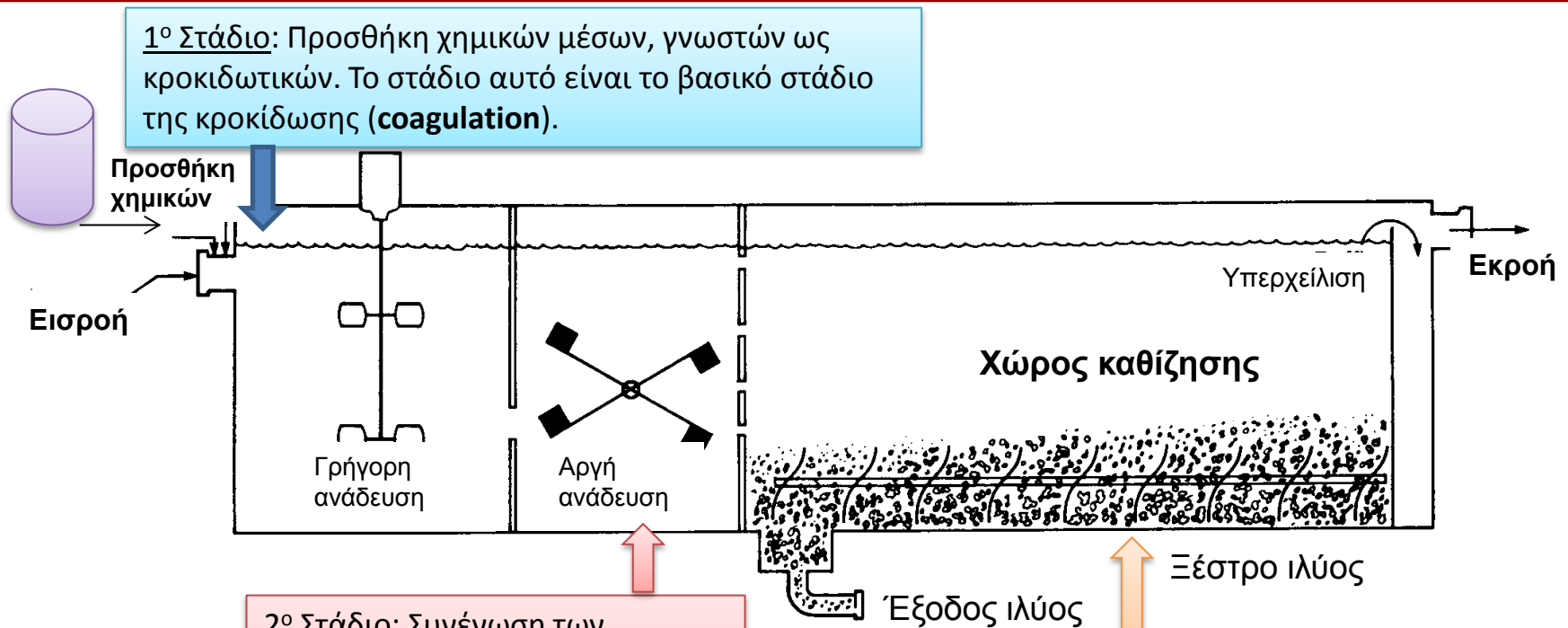


Κροκίδωση είναι η διεργασία που προκαλεί αποσταθεροποίηση (δηλαδή μείωση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων απώθησης που υπάρχουν μεταξύ των ομοιόμορφα φορτισμένων αιωρούμενων κolloειδών σωματιδίων) με σκοπό τη συσσωμάτωση και καθίζησή τους.

Συσσωμάτωση είναι ο μηχανισμός με τον οποίο προκαλείται σύγκρουση και συγκόλληση των αιωρούμενων κolloειδών σωματιδίων.



Τα στάδια της κροκίδωσης – συσσωμάτωσης – καθίζησης



2^ο Στάδιο: Συνένωση των κολλοειδών σωματιδίων που προσεγγίζουν το ένα το άλλο με αποτέλεσμα τη δημιουργία ορατών συσσωματωμάτων. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται συσσωμάτωση ή θρόμβωση (**flocculation**).

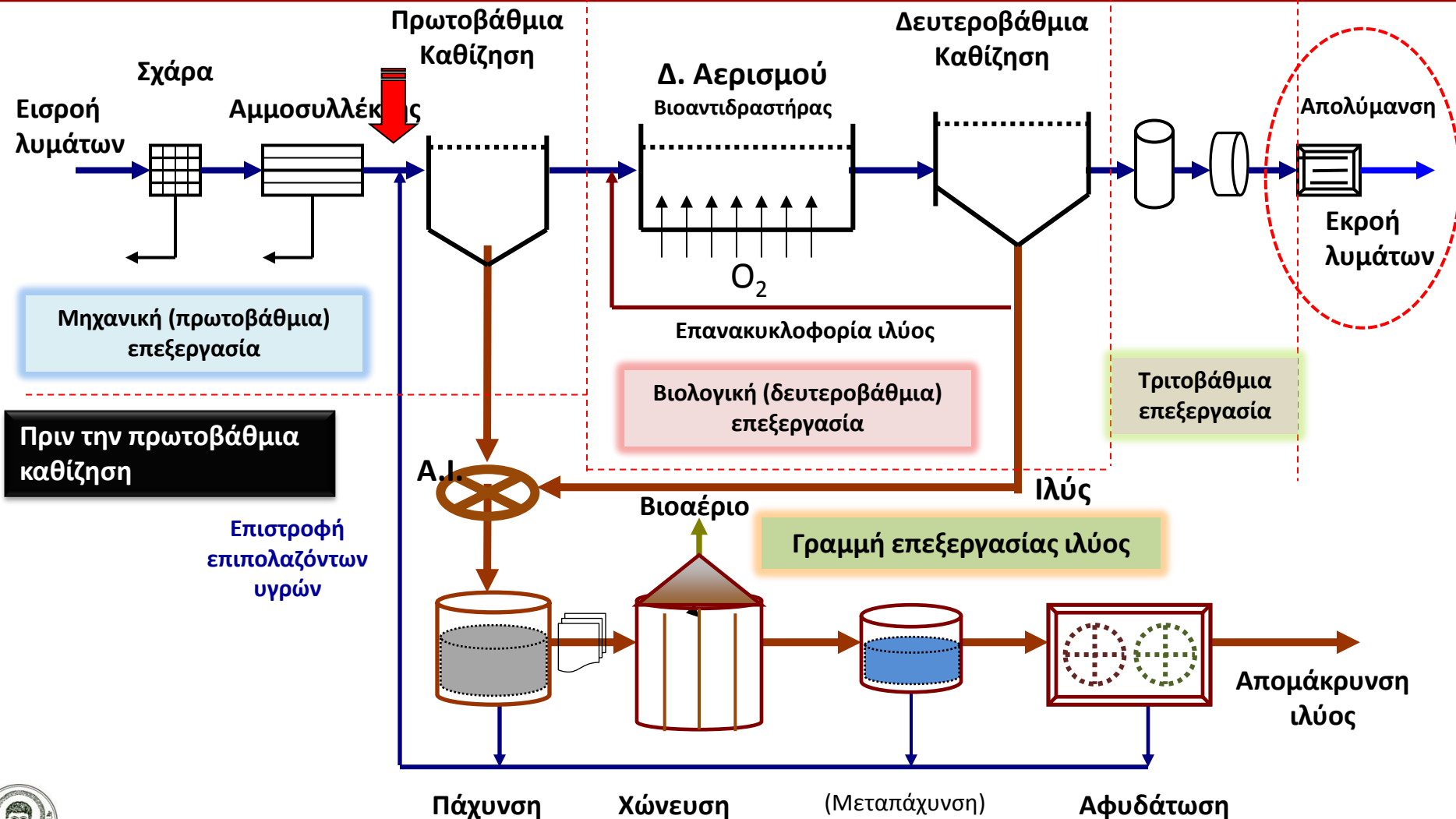
3^ο Στάδιο: Απομάκρυνση των σχηματισμένων μεγάλων συσσωματωμάτων με καθίζηση (**sedimentation**) ή διήθηση.

Πηγή:

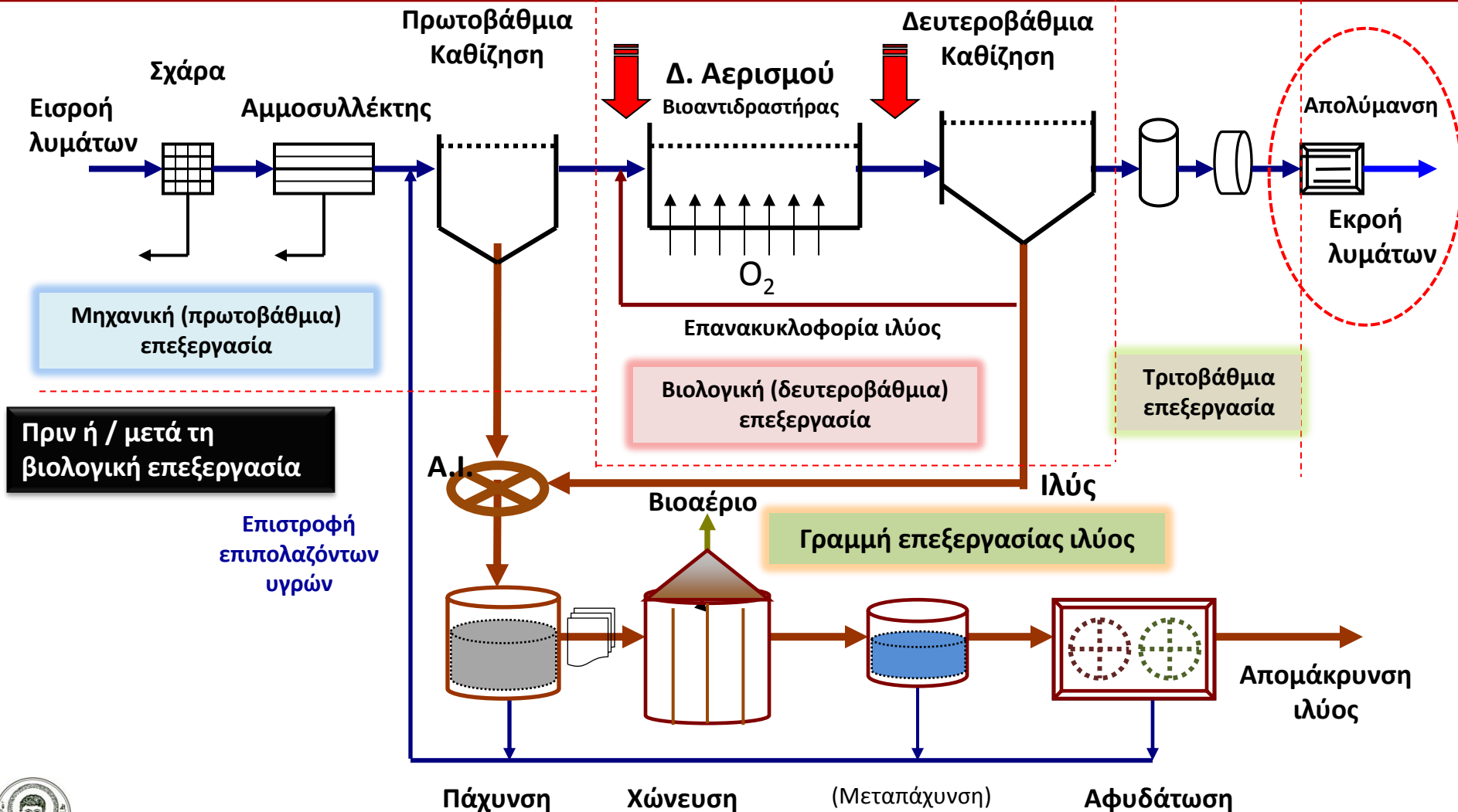
<http://www.gc3.com/default.aspx?tabid=89>



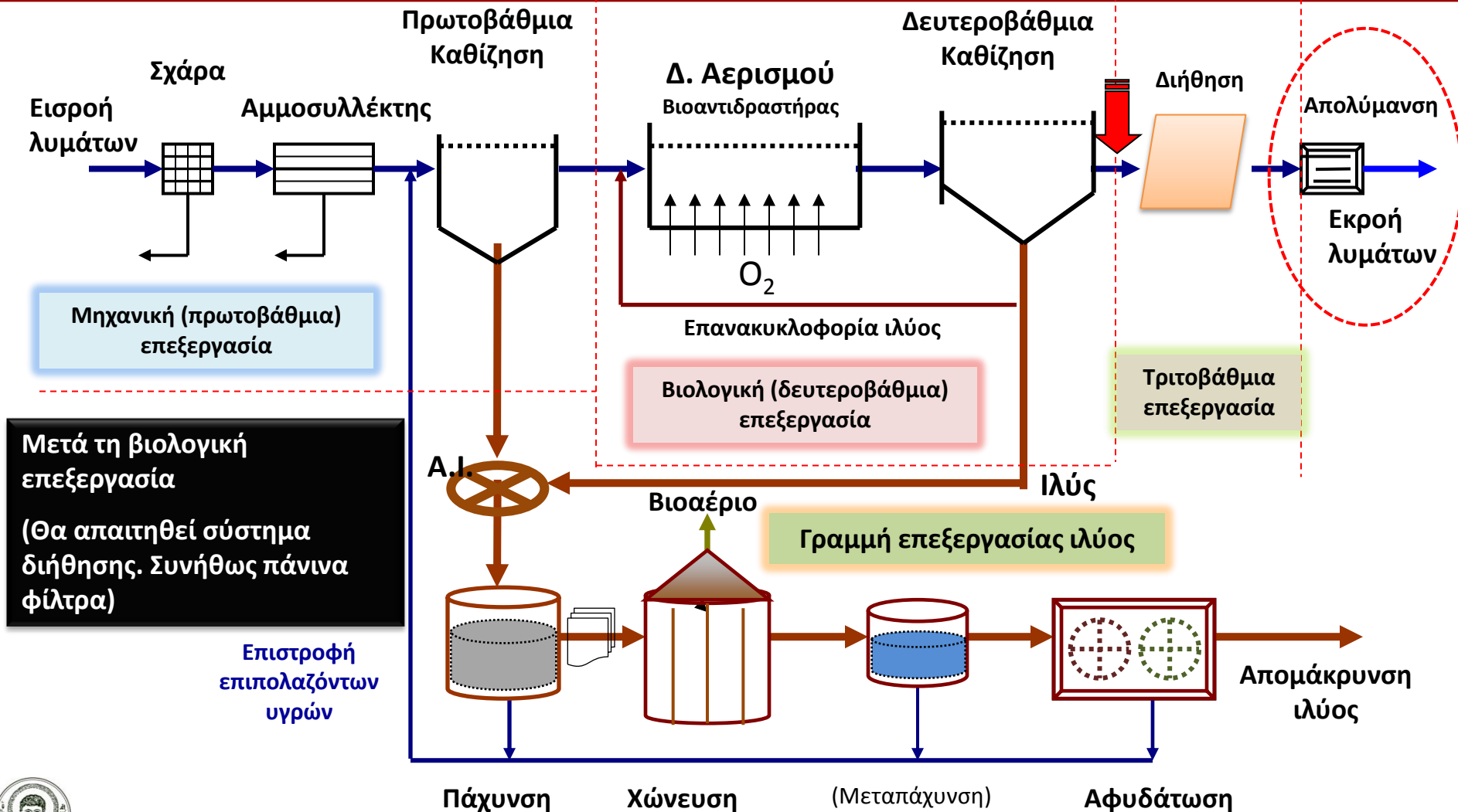
Σημεία προσθήκης κροκιδωτικών για χημική απομάκρυνση του φωσφόρου



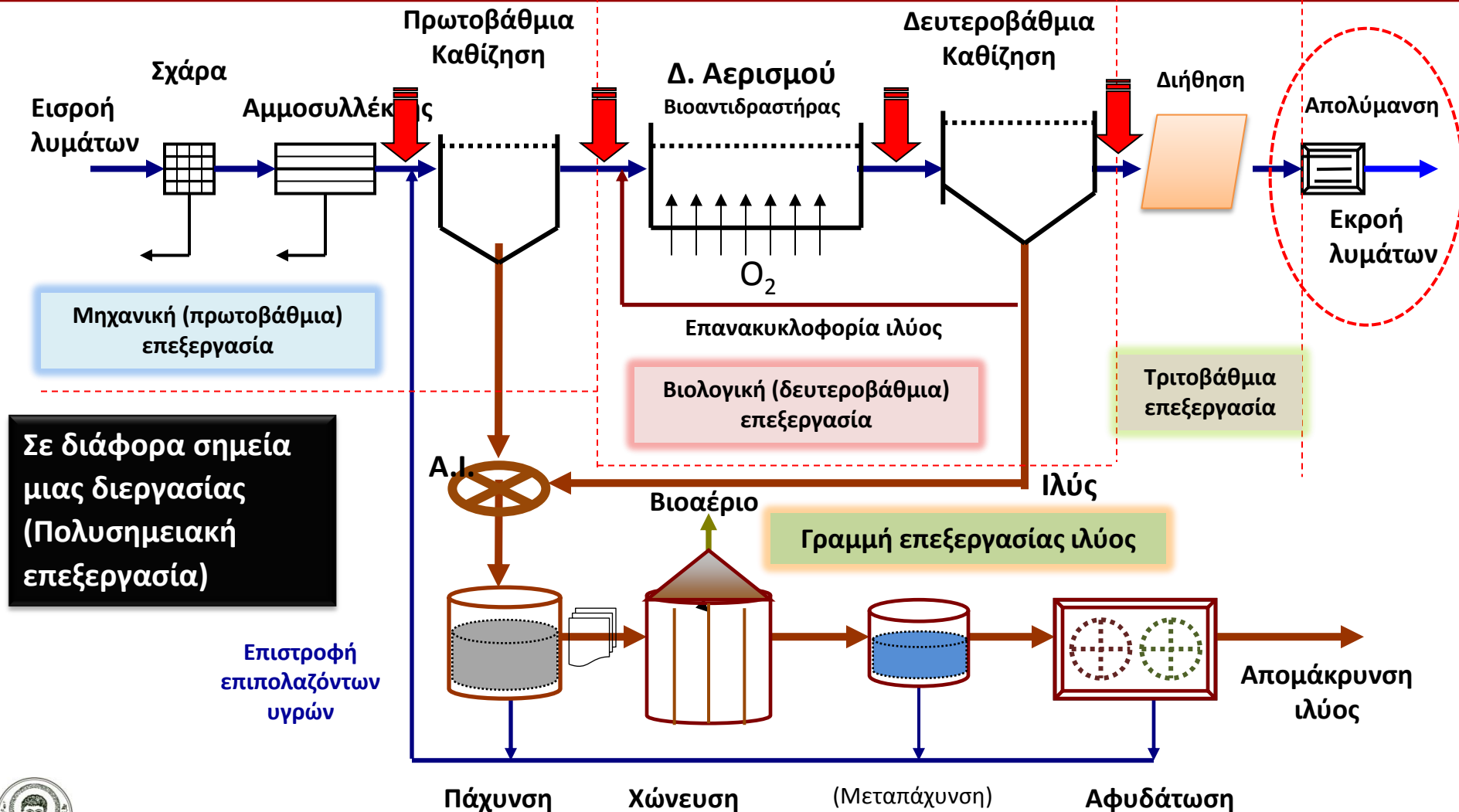
Σημεία προσθήκης κροκιδωτικών για χημική απομάκρυνση του φωσφόρου




Σημεία προσθήκης κροκιδωτικών για χημική απομάκρυνση του φωσφόρου



Σημεία προσθήκης κροκιδωτικών για χημική απομάκρυνση του φωσφόρου



Χημική απομάκρυνση Φωσφόρου

- Έστω ότι χρησιμοποιείται FeCl_3 ως κροκιδωτικό.
- Τι ποσότητα κροκιδωτικού απαιτείται για πλήρη απομάκρυνση του P;
- Υποθέτουμε (γνωρίζουμε) ότι ο P στην εισροή είναι **10 mg/Lt.**
- Μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση απομένουν **8 mg/Lt.**
- Με τη βιολογική επεξεργασία απομακρύνονται **2 mg/Lt** και απομένουν προς απομάκρυνση με χημική επεξεργασία **6 mg/Lt.**
- Για κάθε gr P που απομακρύνεται απαιτούνται: **2,7 gr Fe.**
- Για κάθε m^3 λυμάτων : **$6 \text{ g P/m}^3 \times 2,7 \text{ g Fe/g P} = 16,29 \text{ g Fe/m}^3$** 

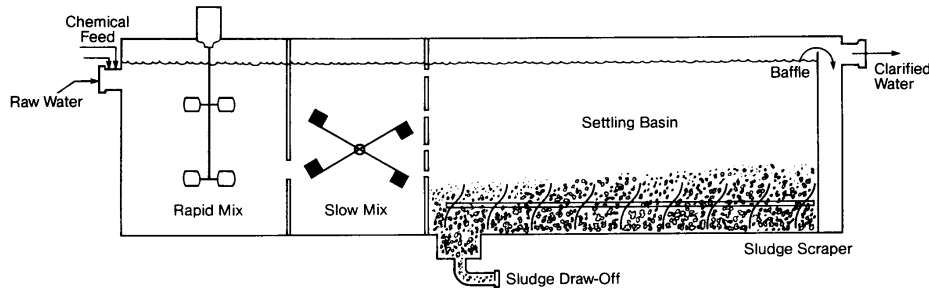


Χημική απομάκρυνση Φωσφόρου

- $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
- Για κάθε gr P που απομακρύνεται απαιτούνται:
2,7 gr Fe ή 1,3 gr Al.
- Για απομάκρυνση P της τάξης του **95%** η σχέση **Al/P είναι 2/1** και η σχέση **$\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}/\text{P}$ είναι 22/1.**

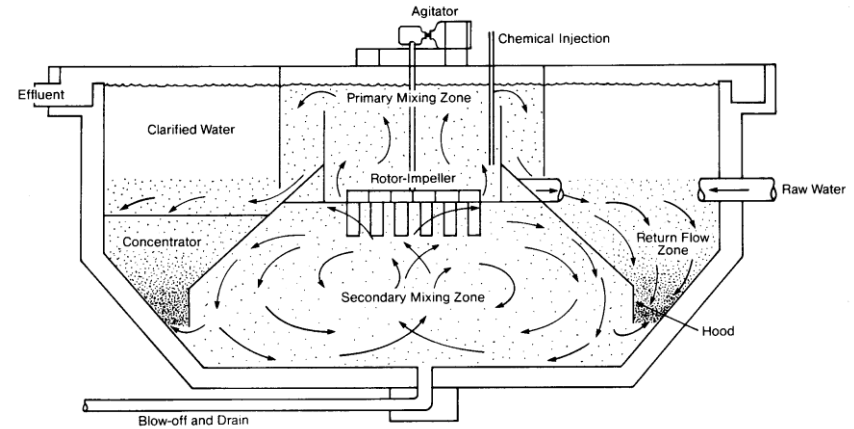


Τομή ορθογωνικής και κυκλικής δεξαμενής κροκίδωσης / καθίζησης



Πηγή:

<http://www.gc3.com/default.aspx?tabid=89>



Πηγή:

http://water.me.vccs.edu/exam_prep/upflow.htm



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ευθύμιος Νταρακάς.
«Τεχνική Περιβάλλοντος». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS460/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Ολυμπία Τασκάρη
Θεσσαλονίκη, 1/9/2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

