

**9.1. Βιοαποικοδόμηση των ρύπων:  
Βιοδιασπώμενες και έμμονες (μη-βιοδιασπώμενες)  
ουσίες**

- Οι αβιοτικοί μετασχηματισμοί των οργανικών ουσιών περιλαμβάνουν αντιδράσεις:
  - ✓ Οξείδωσης
  - ✓ Υδρόλυσης
  - ✓ Φωτόλυσης
  
- Οι βιολογικές διεργασίες μετασχηματισμού, γίνονται μέσω μικροοργανισμών και επιφέρουν σημαντικές δομικές μετατροπές των ουσιών αλλά και αλλαγή των τοξικών τους ιδιοτήτων
  
- ✓ Οι μικροοργανισμοί για να συντηρούνται, απαιτούν πηγές οργανικού ή ανόργανου C, P, N, S, ιχνοστοιχείων και H<sub>2</sub>O, και μια πηγή ενέργειας.
- ✓ Η ενέργεια μπορεί να προέρχεται από το φως.
- ✓ Απουσία φωτός συντελείται απελευθέρωση ενέργειας μέσω βιοχημικών διεργασιών με τη συμμετοχή ηλεκτρονιοδοτών (π.χ. οξειδούμενες ουσίες) και ηλεκτρονιοδεκτών (π.χ. Μοριακό O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Fe<sup>III</sup>, απλές οργανικές ενώσεις)
  
- ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗ: Μείωση της δομικής πολυπλοκότητας μιας ουσίας μέσω βιοκατάλυσης

➤ Προϋποθέσεις ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ:

- ✓ Οι μικροοργανισμοί να διαθέτουν τα απαραίτητα ένζυμα,
- ✓ Η ουσία πρέπει να είναι προσβάσιμη στο περιβάλλον του μικροοργανισμού,
- ✓ Εξωκυτταρικό ένζυμο: Οι χημικοί δεσμοί της ουσίας να είναι εκτεθειμένοι σε αυτό,
- ✓ Ενδοκυτταρικό ένζυμο: Η ουσία να μπορεί να διαπεράσει τη κυτταρική μεμβράνη

➤ Η βιοαποικοδόμηση μπορεί να οδηγήσει την μετατροπή των ανόργανων ενώσεων σε ανόργανες ουσίες – ΑΝΟΡΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗ (π.χ. Αναπνοή):

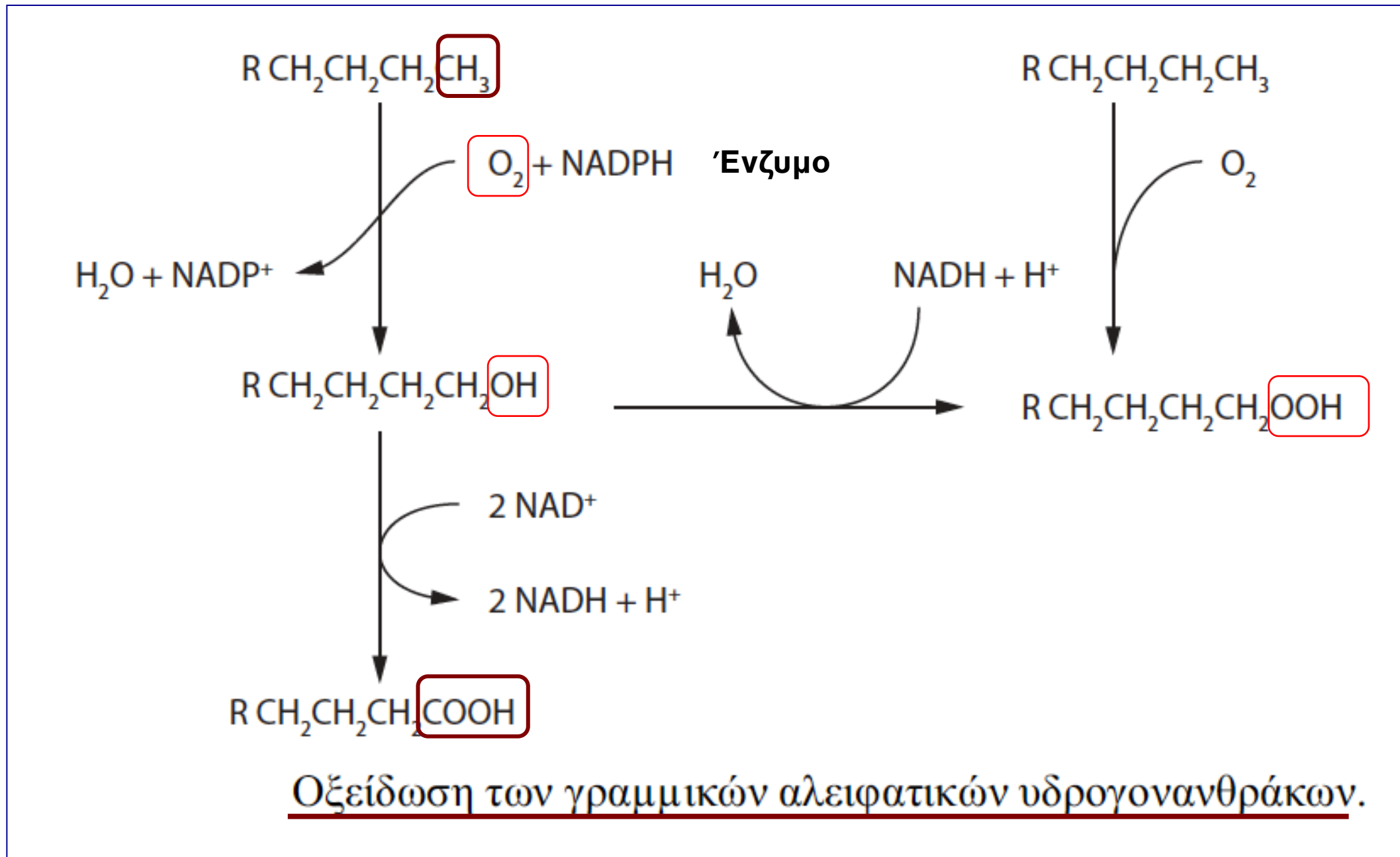
✓ **ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΕ ΡΥΠΑΣΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ**

➤ ΞΕΝΟΒΙΟΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ:

- ✓ Ουσίες (συνθετικές ή φυσικές) που δεν αναγνωρίζονται από το ενζυμικό σύστημα συγκεκριμένων μικροοργανισμών, ή
- ✓ βιοαποικοδομούνται σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

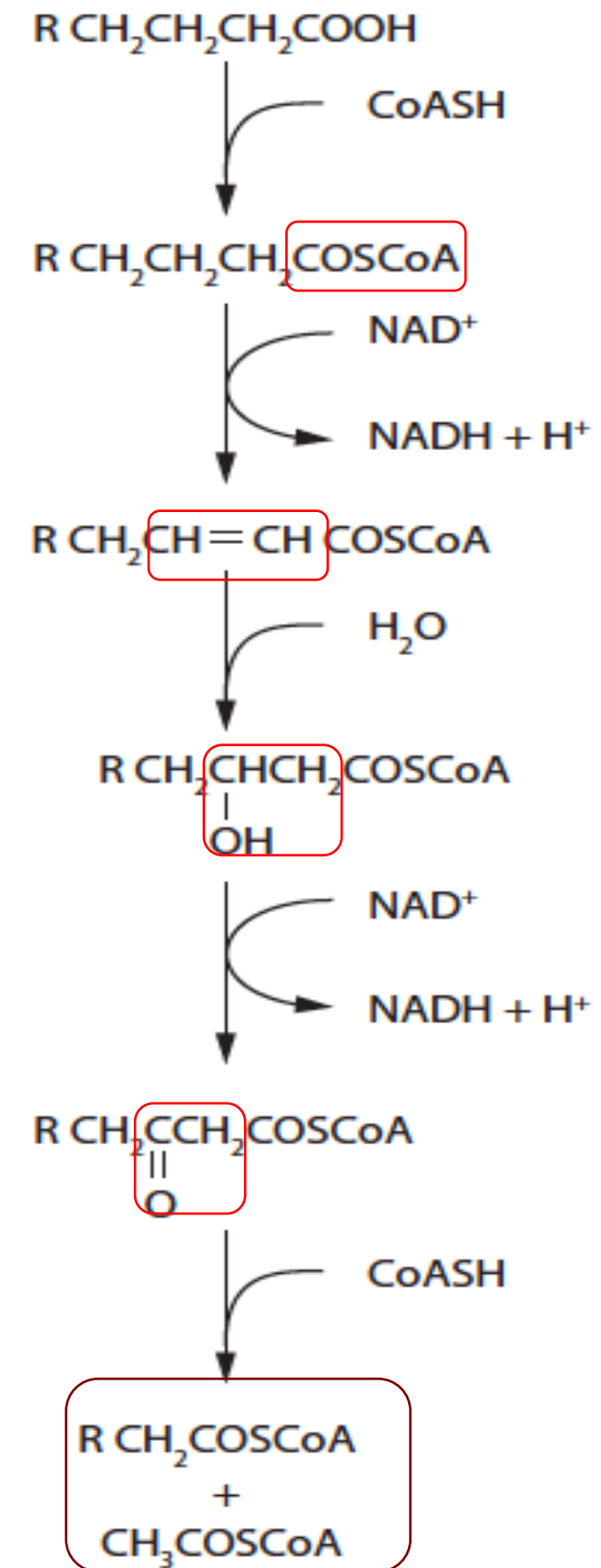
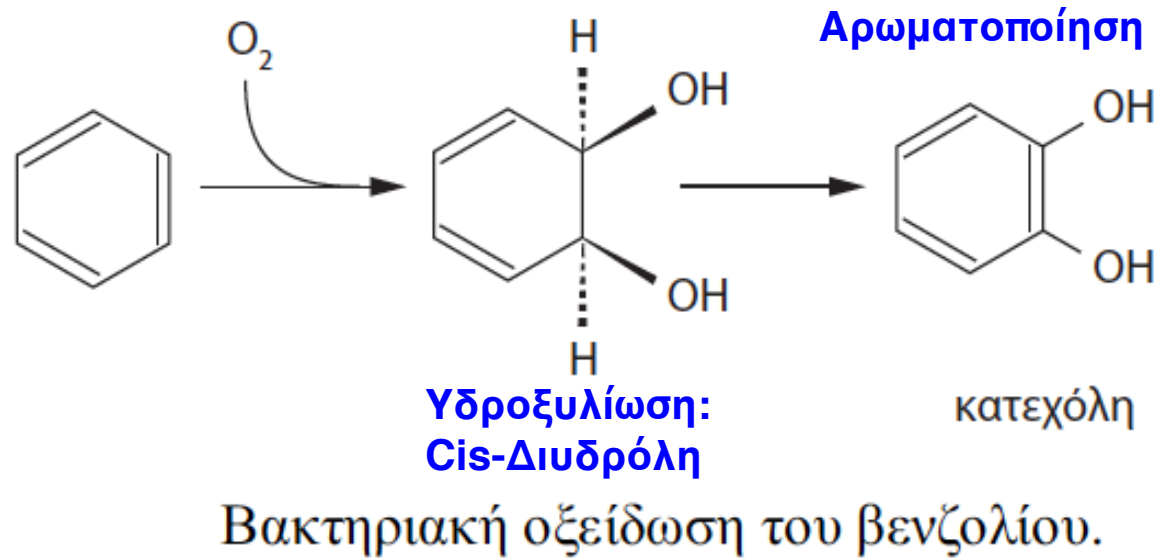
- **ΑΕΡΟΒΙΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ:** Πλήρης οξείδωση του οργανικού C σε CO<sub>2</sub> με τελικό ηλεκτρονιοδέκτη το μοριακό O.

### Παραδείγματα



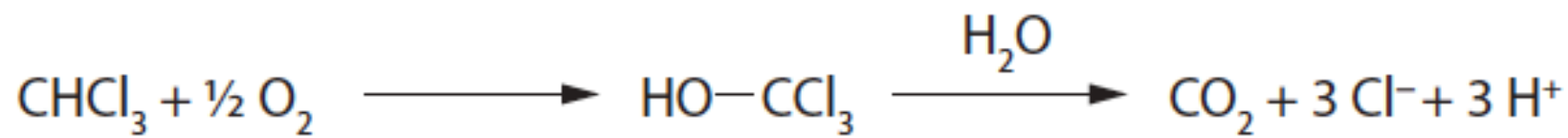
Οι ακόρεστες ενώσεις ενυδατώνονται σχηματίζοντας γραμμικά λιπαρά οξέα που είναι το υπόστρωμα για τη β-οξείδωση

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες αποικοδομούνται από μικροοργανισμούς

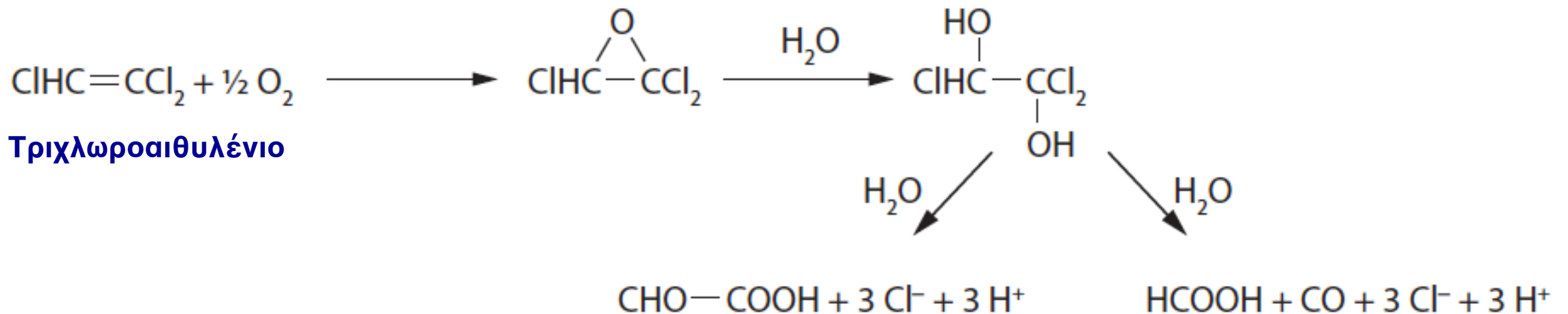


Μονοπάτι της β-οξείδωσης  
των λιπαρών οξέων.

Ορισμένοι οργανισμοί όπως ο χημειοαυτότροφος *Nitrosomonas europaea* χρησιμοποιούν ως φυσική πηγή ενέργειας την  $\text{NH}_3$  και ως πηγή άνθρακα το  $\text{CO}_2$ . Συμμεταβολίζει χλωριωμένες ενώσεις όπως το χλωροφόρμιο και το τριχλωροαιθυλένιο. Σε αερόβιες συνθήκες ευνοείται η αποδόμηση ενώσεων με μικρό αριθμό χλωρίων.

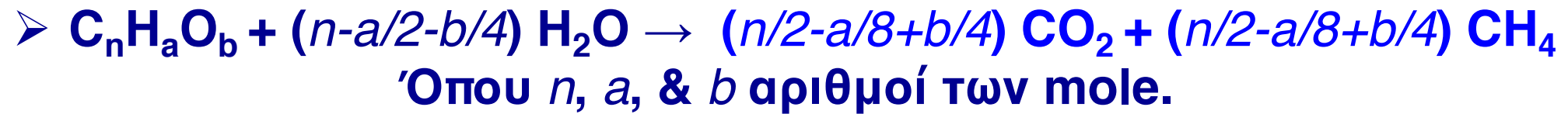


Χλωροφόρμιο



Η βιοαποικοδόμηση του χλωροφόρμιου και του τριχλωροαιθυλένιου.

➤ **ΑΝΑΕΡΟΒΙΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ:** Απουσία μοριακού O, οι οργανικές ενώσεις μπορούν να ανοργανοποιηθούν σχηματίζοντας CO<sub>2</sub> & CH<sub>4</sub>.

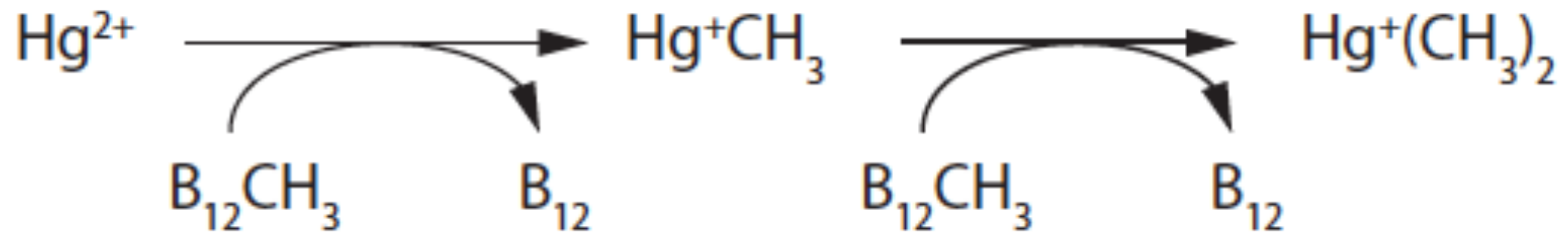


- ✓ Η απόδοση της αναερόβιας ανοργανοποίησης είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή της αερόβιας.
- ✓ Η αναερόβια βιοαποικοδόμηση απαιτεί διαφορετικούς ηλεκτρονιοδέκτες (δεν υπάρχει μοριακό O).
- ✓ Η ευκολία βιοαποικοδόμησης είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρονιακής συγγένειας των ιόντων: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (αναγωγικές συνθήκες νιτρικών) > Fe<sup>3+</sup> (αναγωγικές συνθήκες σιδήρου) > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (αναγωγικές συνθήκες θειϊκών) > CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (αναγωγικές συνθήκες ανθρακικών).
- ✓ Συχνά η αναερόβια βιοαποικοδόμηση γίνεται από ομάδα διαφορετικών μικροοργανισμών όπου κάθε μέλος επιτελεί εξειδικευμένη αντίδραση ώστε να φτάσουμε την τελική ανοργανοποίηση.
- ✓ Οι πολυχλωριωμένες ενώσεις αποδομούνται καλύτερα υπό αναερόβιες συνθήκες.

➤ Βιοτικός μετασχηματισμός βαρέων μετάλλων

Οι μικροοργανισμοί μπορούν να μεταφέρουν μεθυλομάδες, σε αναερόβιες διαδικασίες σε βαρέα μέταλα:

- ✓ Η μεθυλίωση διενεργείται από το ενζυμικό σύστημα που εμπλέκεται στην αναερόβια παραγωγή μεθανίου (δότης μεθυλίου).
- ✓ Κινητοποίηση του υδραργύρου και αύξηση της τοξικής επίδρασης στο περιβάλλον.



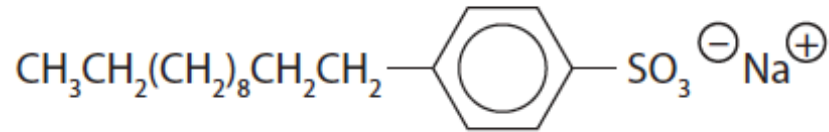
**Μεθυλίωση του υδραργύρου σε βιοτικό περιβάλλον**



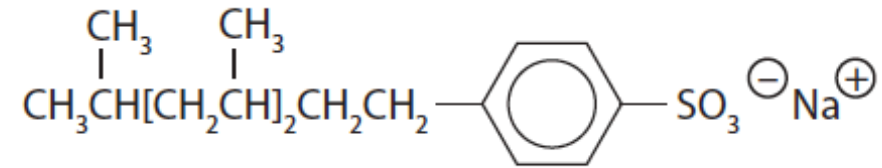
➤ Έμμονες (μη-βιοδιασπώμενες) ουσίες

- ✓ Ξενοβιοτικές ουσίες που οι χημικές τους δομές δεν αναγνωρίζονται από τα ενζυματικά συστήματα των μικροοργανισμών.
- ✓ Ασυνήθεις υποκαταστάτες (ξενοφώρα): Cl, NO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>H, Br σε αρωματικούς

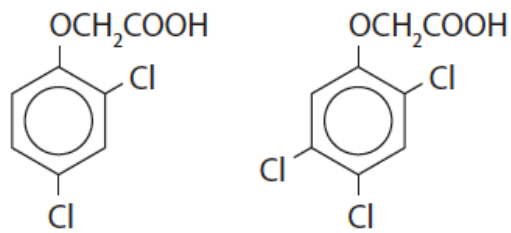
Γραμμικό αλκυλοβενζοσουλφονικό άλας



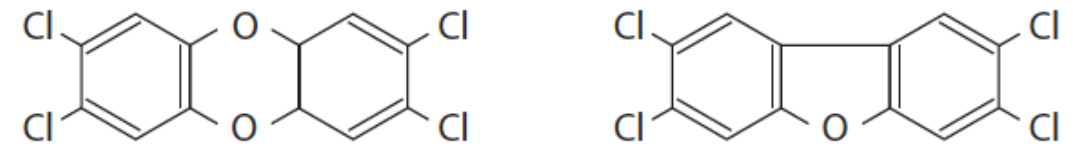
Μη γραμμικό αλκυλοβενζοσουλφονικό άλας



**Βιοδιασπώμενη LBAS – Επιφανειοδραστικά - BBAS Έμμονη**



**Φυτοφάρμακα: 2,4 D & 2,4,5-T**

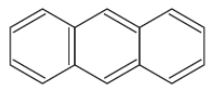


2,3,7,8-τετραχλωροδιβενζοδιοξίνη 2,3,7,8-τετραχλωροδιβενζοφουράνιο

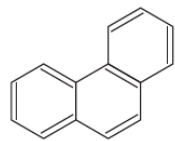
**ΔΙΟΞΙΝΕΣ**

**ΠΑΥ**

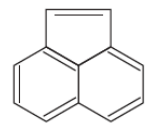
ΤΑΧΕΩΣ ΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ



ανθρακένιο

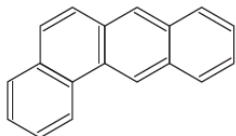


φαινανθρένιο

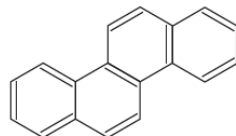


ακεναφθυλένιο

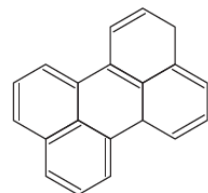
ΒΡΑΔΕΩΣ ΔΙΑΣΠΩΜΕΝΑ



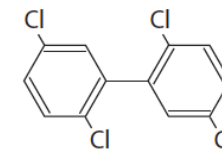
βενζ(α)ανθρακένιο



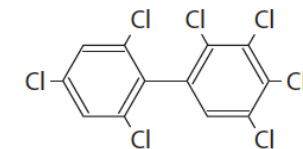
χρυσένιο



περυλένιο



2,2',5,5'-τετραχλωροδιφαινύλιο



2,2',3',4,4',5,6-επταχλωροδιφαινύλιο

**Πολυχλωριωμένα διφαινύλια - PCBs**

## **9.2 Βιολογική επεξεργασία ρύπων και αποβλήτων**

## ΑΠΟΒΛΗΤΑ: Μείγμα ακατέργαστων λυμάτων

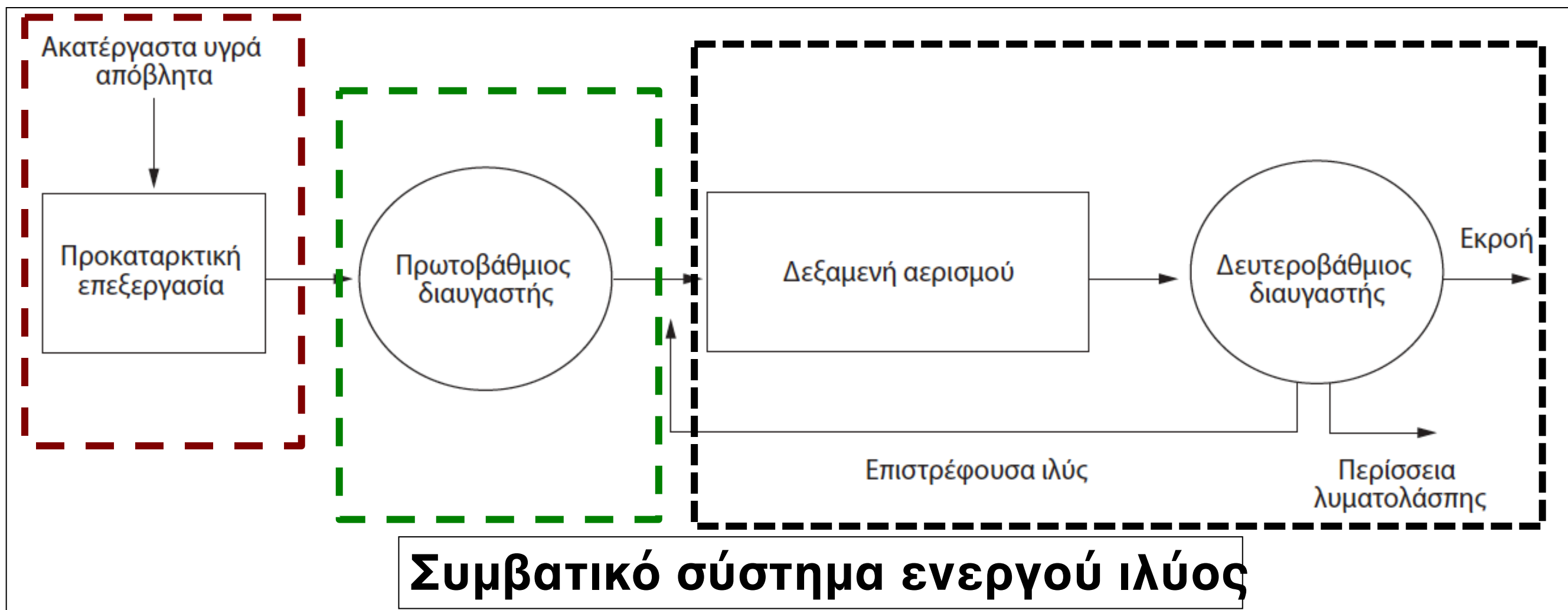
- ✓ 1 Μέρος αποβλήτων/1000 μέρη H<sub>2</sub>O ή 99,9% H<sub>2</sub>O και 0,1% απόβλητα,
- ✓ Ανεπτυγμένες χώρες: 600-800 L/άτομο
- ✓ Οικισμός 150.000 κατοίκων: 90-120 10<sup>6</sup> L/μέρα

### **COD & BOD επιλεγμένων κατηγοριών υγρών αποβλήτων**

Παράμετρος δείγματος	COD (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)
Οικιακά λύματα	250-800	110-350
Υγρά απόβλητα γαλακτοκομικών εγκαταστάσεων	1.800	900
Υπολειμματικά υγρά αλκοολικής ζύμωσης	60.000	30.000
Υγρά απόβλητα βυρσοδεψίων	13.000	1.270

Οι διεργασίες επεξεργασίας των λυμάτων διακρίνονται σε **ΑΕΡΟΒΙΕΣ** και **ΑΝΑΕΡΟΒΙΕΣ** & περιλαμβάνουν τα εξής βήματα:

- ✓ Προκαταρκτική επεξεργασία,
- ✓ Πρωτοβάθμια επεξεργασία,
- ✓ Δευτεροβάθμια επεξεργασία
- ✓ Τριτοβάθμια επεξεργασία
- ✓ Απολύμανση
- ✓ Επεξεργασία ιλύος (λυματολάσσης)

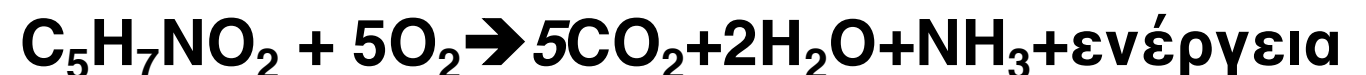
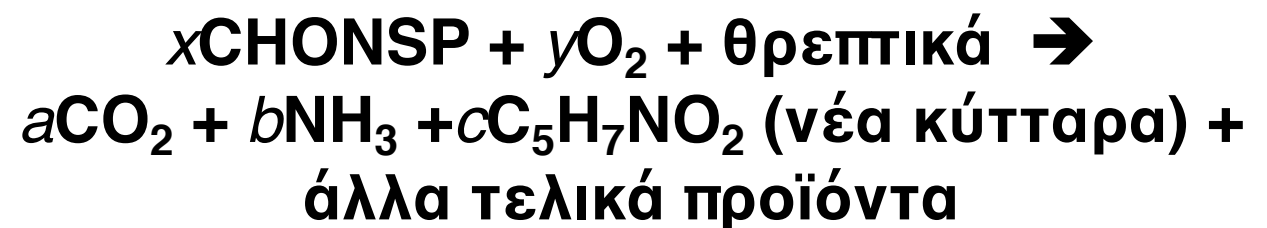




- Ταχύτητα 2m/hr
- Καθίζηση υλικών (κόπρανα, υπολείματα, μικροοργανισμοί)
- Απομάκρυνση 30-50% Ο.Υ.  
**Πρωτοβάθμια λάσπη**

### ΑΕΡΟΒΙΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ:

- Με το O<sub>2</sub> ευνοείται η αναπνοή κα η αύξηση μικροοργανισμών
- Κατανάλωση O<sub>2</sub> (BOD)



Ακατέργαστα υγρά  
απόβλητα

Προκαταρκτική  
επεξεργασία

## 1-ΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Πρωτοβάθμιος  
διαυγαστής

## 2-ΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Δεξαμενή αερισμού

Δευτεροβάθμιος  
διαυγαστής

Εκροή

Επιστρέφουσα ιλύς

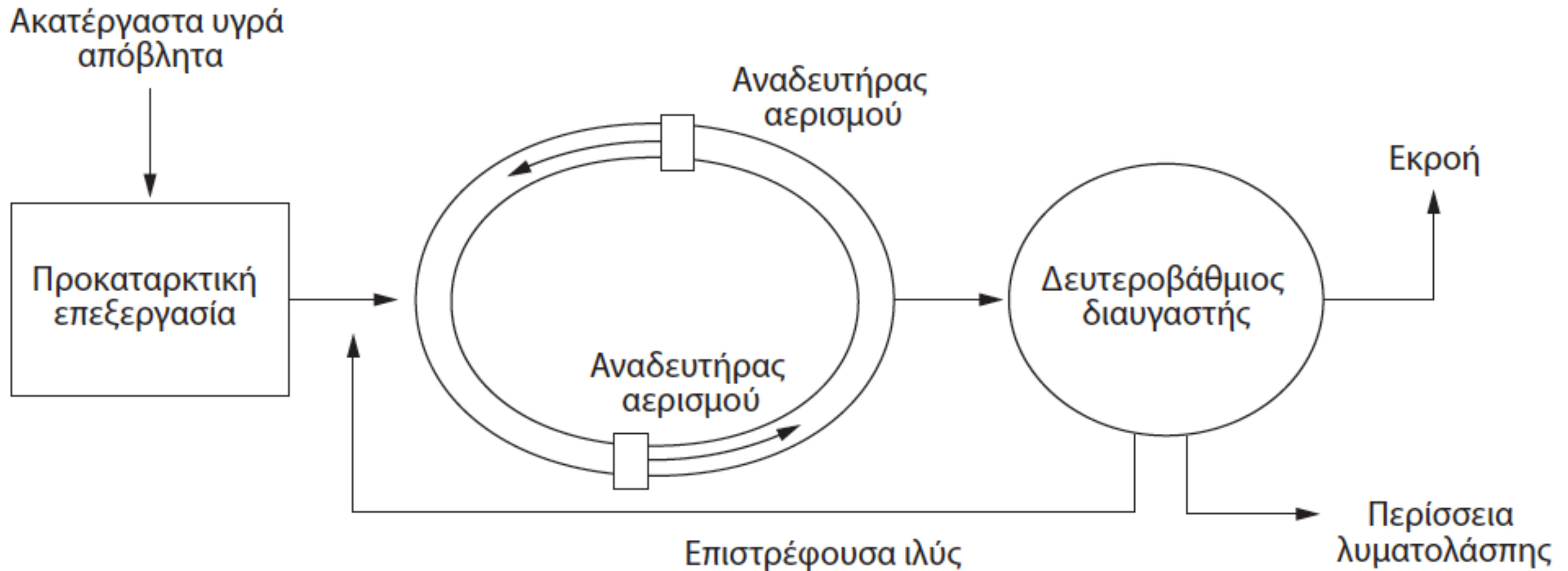
Περίσσεια  
λυματολάσσης

**Συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος**

### ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ:

- Μετά την 1-Β.Ε. Εισαγωγή σε δεξαμενή με σύστημα φουσαλίδων & προσθήκη σαπροφάγων οργανισμών: Μείωση Ο.Υ. & σχηματισμός κροκίδων (κροκίδωση).
- Διοχέτευση επεξεργασμένων λυμάτων (-90% της Ο.Υ.) στον 2-Β διαυγαστή: Καθίζηση των κροκίδων (συσσωματώματα μικροοργανισμών) – Ενεργός Ιλύς.
- Επιστροφή της Ε.Ι. στην δεξαμενή αερισμού, συνέχιση της διαδικασίας: Εξάντληση της βιομάζας (μετατροπή σε CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O & μεταλλικά στοιχεία) & μερική καταστροφή λόγω αερισμού παθογόνων οργανισμών (για ολοκληρωμένη χρειάζεται απολύμανση).

# Τροποποίηση Διεργασίας Ενεργού Ιλύος



## Οξειδωτική Τάφρος

**Ελλειψοειδής διάυλος αερισμού με χρόνο συγκράτησης 24 ώρες: Ενίσχυση της διεργασίας του αερισμού**



## Αναερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων

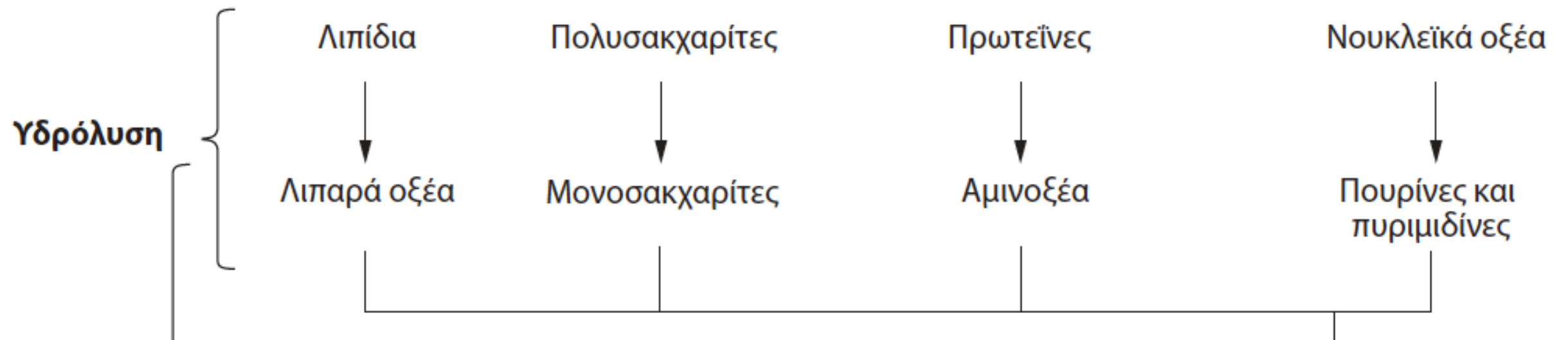
**Αναερόβια χώνευση:** Γνωστή φυσιολογική διεργασία μικροβίων που συντελείται στα εδάφη, ποταμούς και λίμνες.

Η εφαρμογή της στην επεξεργασία των αποβλήτων έχει ως στόχο τη χρήση φυσικών οργανισμών στα ανθρωπογενή συστήματα και τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας και της έκτασης των φυσικών αντιδράσεων για την εξουδετέρωση των ρύπων στα απόβλητα.

### Αν.Χ. - 3 βασικά βήματα:

- ✓ Υδρόλυση
- ✓ Ζύμωση ή οξεογένεση
- ✓ Μεθανιογένεση

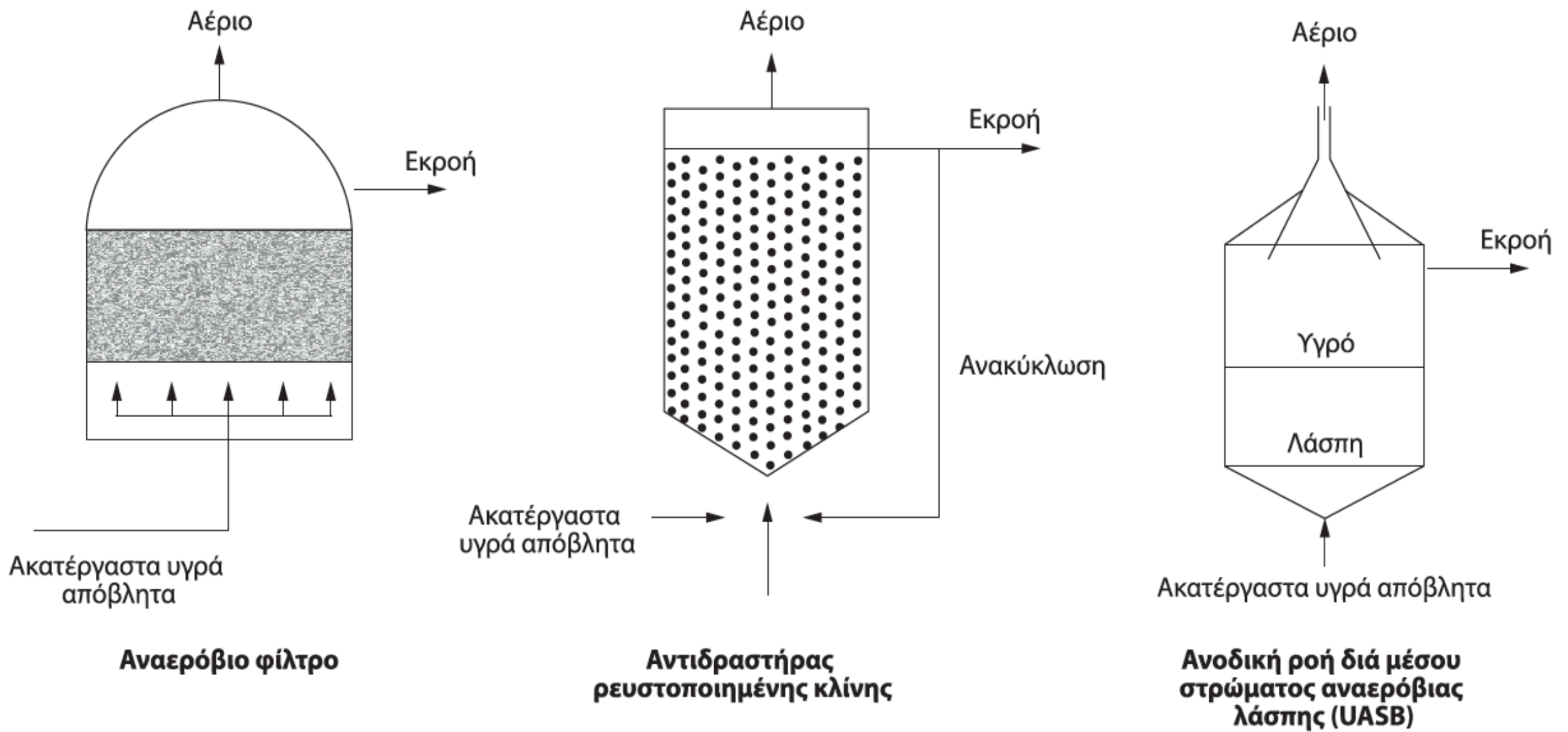




## Μεταβολικές διεργασίες κατά την αναερόβια οξείδωση

## Πλεονεκτήματα Αναερόβιας Επεξεργασίας

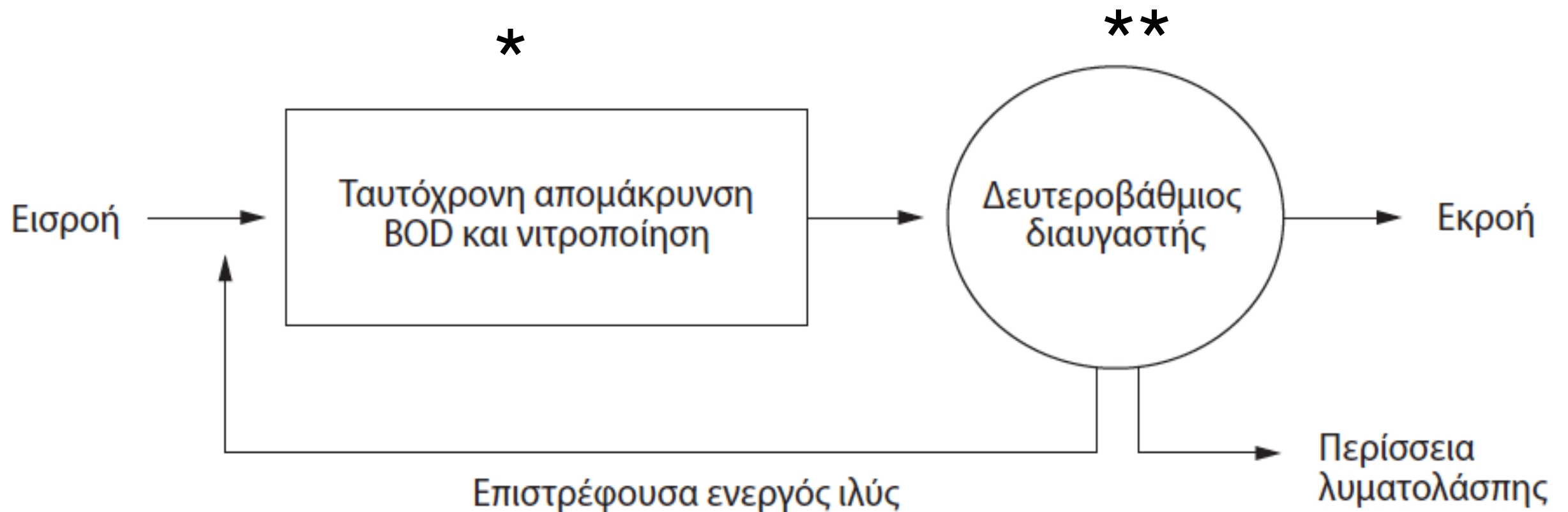
- ✓ Απαιτεί προσθήκη λιγότερων θρεπτικών ουσιών,
  - ✓ Παρέχει λιγότερη λυματολάσπη,
    - ✓ Απαιτεί λιγότερη ενέργεια,
- ✓ Παράγει  $\text{CH}_4$  που χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας,  
&
- ✓ Απαιτείται μικρότερος όγκος εγκαταστάσεων.



## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

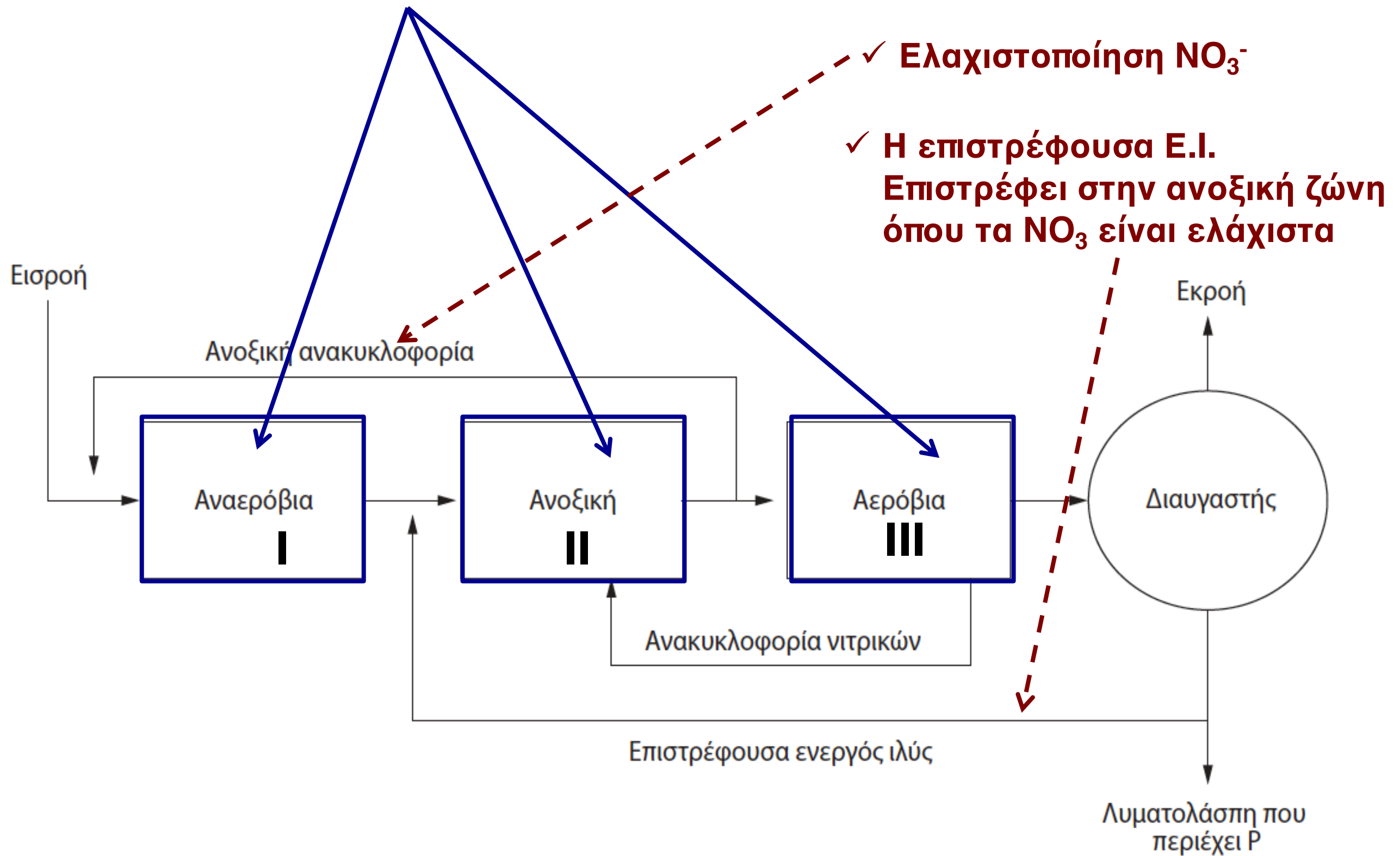
## Βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών (*N, P ή Biological Nutrient Removal - BNR*)

- $N \rightarrow NH_3, NO_2^- \rightarrow N_2$ : απονιτροποίηση μέσω βακτηρίων \*
- $[P] \rightarrow \text{ΦΙΛΤΡΟ-CaO} \rightarrow Ca_3(PO_4)_2$ : Αφαίρεση φωσφόρου μέσω χημικής αντίδρασης \*\*



**ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΓΙΑ ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ**

## Η διεργασία UCT περιλαμβάνει 3 δεξαμενές:



**Διεργασία UCT (University of Cape Town): Βιολογική αφαίρεση N & P**

## Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Απομάκρυνση: Αιωρούμενων σωματιδίων, κολλοειδών, διαλελυμένων συστατικών ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ )

✓ *Φυσικές Διεργασίες:* Διήθηση, αντίστροφη όσμωση, προσρόφηση σε άνθρακα.

✓ *Χημικές διεργασίες:* Κροκίδωση, οξείδωση, καθίζηση, ιοντοανταλλαγή.

✓ **ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ!!!!**

## Επεξεργασία Ιλύος

✓ *Αναερόβια χώνευση (4-6 εβδομάδες):* Παράγει  $\text{CH}_4$  & υπόλειμμα πλούσιο σε θρεπτικά.

✓ *Κομποστοποίηση με κηπευτικά και τρόφιμα.*

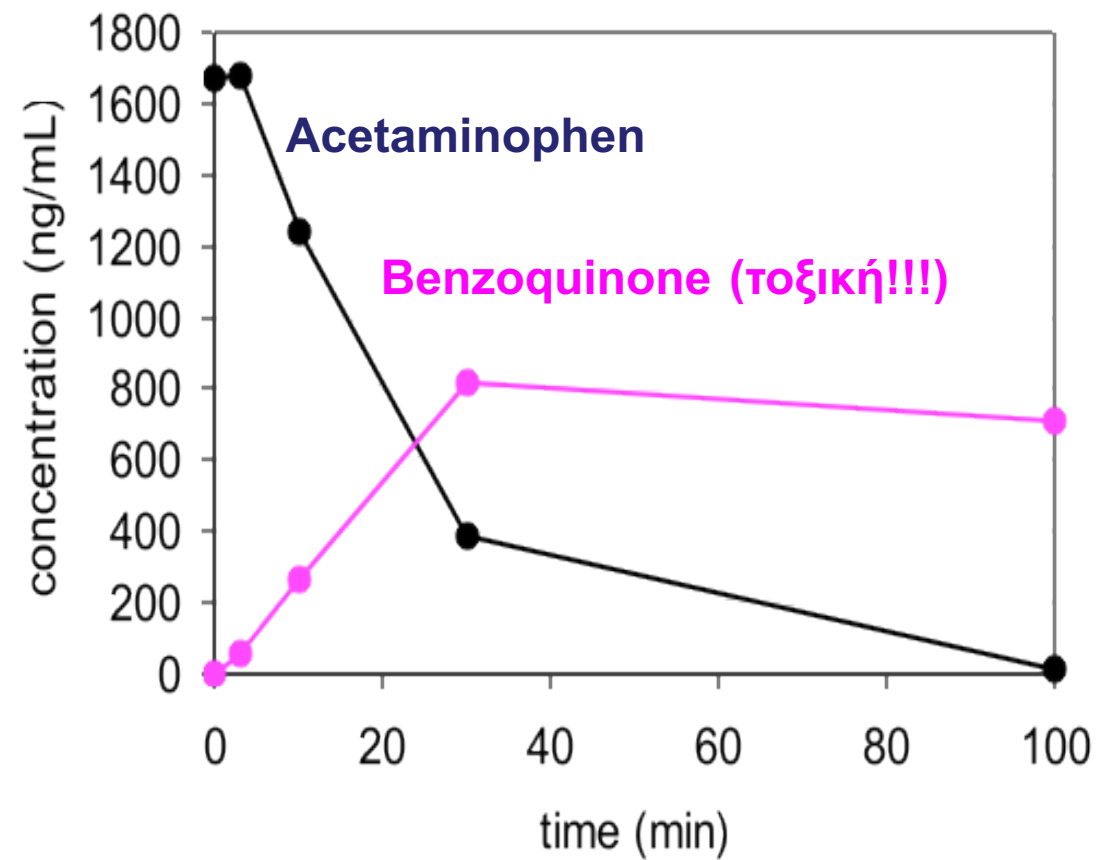
✓ *Σταθεροποίηση με άσβεστο:* Καταστροφή παθογόνων

## 9.3 Κάποιες παρατηρήσεις

# ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ: Πόσο αποτελεσματική είναι;



## Χλωρίωση του φαρμάκου Acetaminophen κατά την επεξεργασία λυμάτων



**Η ουσία Benzoquinone (προϊόν επεξεργασίας στην εκροή) πιο τοξική από την ουσία Acetaminophen (εισροή).**



# ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ: Πόσο αποτελεσματική είναι;



## Μετατροπή του επιφανειοδραστικού “nonyl-phenol-ethoxylates – NPE” κατά την επεξεργασία λυμάτων

*Environ. Sci. Technol.* 1982, 16, 800-805

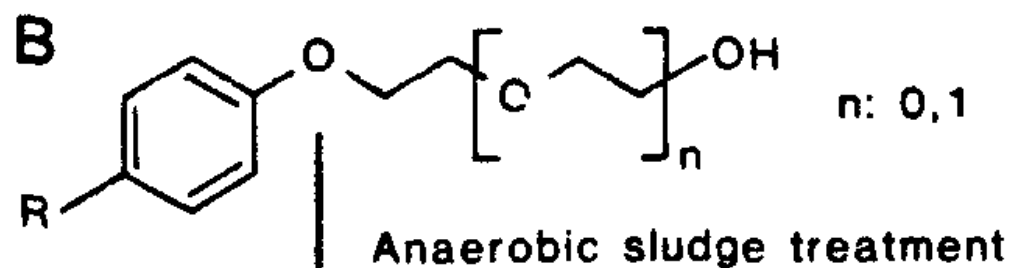
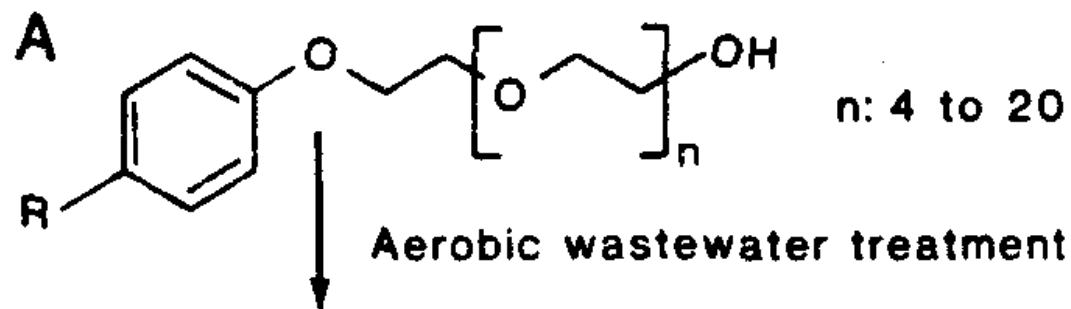
**Persistent Organic Chemicals in Sewage Effluents. 2. Quantitative Determinations of Nonylphenols and Nonylphenol Ethoxylates by Glass Capillary Gas Chromatography**

Euripides Stephanou and Walter Giger

Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control (EAWAG), CH-8600 Dubendorf, Switzerland

**NPE**

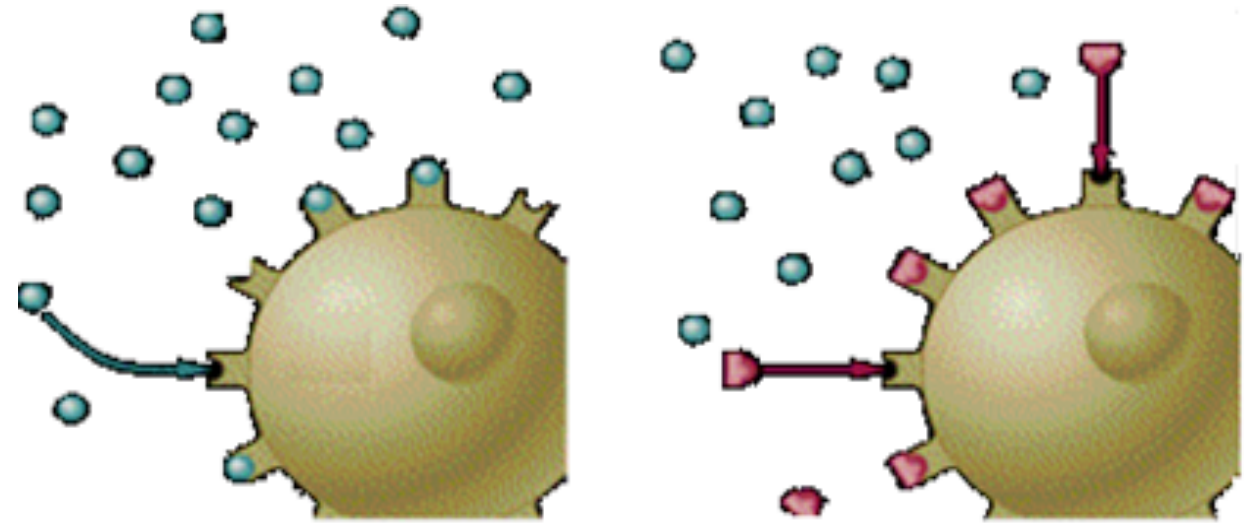
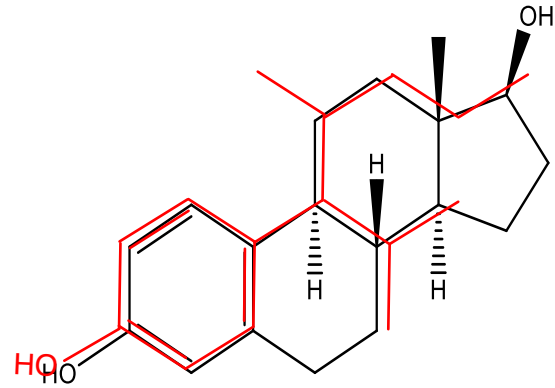
Μη-τοξική  
υδρόφιλη  
ένωση



Πιο τοξική από το κάδμιο, λιπόφιλη, “ενδοκρινικός αποδιοργανωτής”: Ουσία που διαταράσσει το ενδοκρινικό μας σύστημα

# Ιδιότητες των ενδοκρινικών διαταρακτών

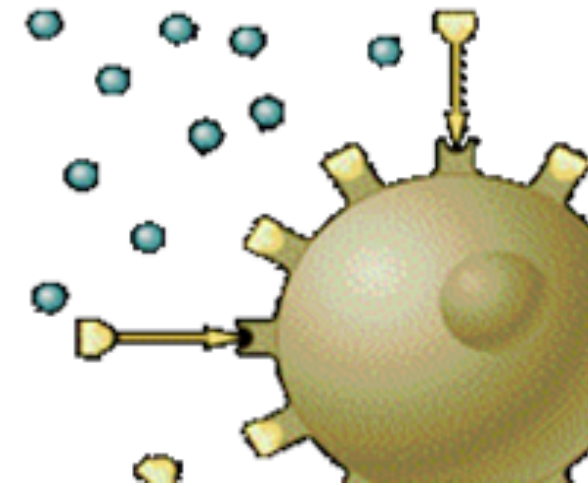
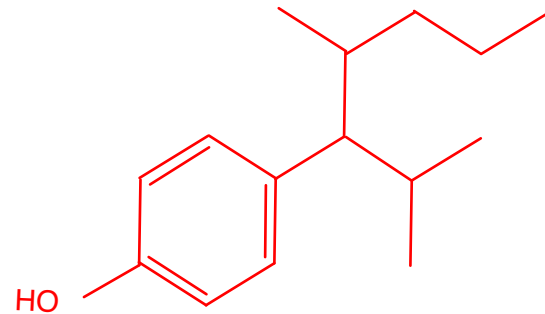
Φυσική  
ορμόνη (Estradiol)



Normal function

Estrogen like

Ενδοκρινικός  
διαταράκτης  
(Nonyl-phenol)



Antiandrogen like

Η δομή της Nonyl-phenol μοιάζει με την δομή της φυσικής ορμόνης και έτσι «μπερδεύει» τους υποδοχείς και παίρνει τη θέση της σε αυτούς

# ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

## ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΥΠ' ΟΨΗ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ.

500 δισ \$ επενδύσεων, σε εγκαταστάσεις, που δεν λαμβάνουν υπ' όψη τους τις αλλαγές στον υδρογεωλογικό κύκλο:

### ΦΡΑΓΜΑΤΑ / ΕΚΤΡΟΠΕΣ ΠΟΤΑΜΩΝ

#### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ:

##### I) Αφαλάτωση;

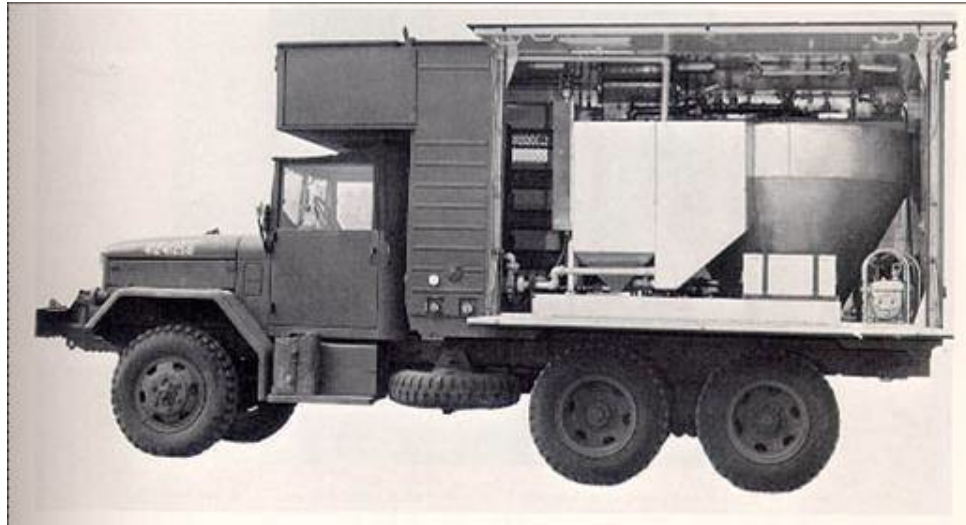
- Ακριβή και ενεργοβόρα
- Τι γίνεται με το υπόλοιπο («σαλαμούρα»);
- Πως επηρεάζει την ισορροπία των παράκτιων περιοχών;

II) Επεξεργασία λυμάτων: 165 δισ. κ.μ. / έτος διοχετεύονται στο περιβάλλον μετά από επεξεργασία

**ΠΗΓΗ ΝΕΡΟΥ!**



# ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΟΠΟΙΑΔΗΠΟΤΕ ΠΗΓΗ



**«ERDALATOR»  
2ος ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ  
ΠΟΛΕΜΟΣ**



## Reverse Osmosis Water Purification Unit (ROWPU)



**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ  
(ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΗ)**

**ΙΟΝΑΝΤΑΛΛΑΓΗ**

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ > 5μm**

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ > 5μm**

**ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ**

**ΧΛΩΡΙΩΣΗ**