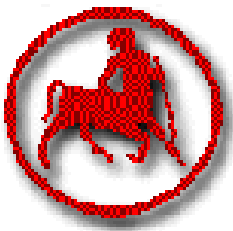


## Διάλεξη 5

**Δευτεροβάθμια ή Βιολογική  
Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων -  
Συστήματα Βιολογικών Κροκύδων -  
Σύστημα Ενεργοποιημένης Λάσπης**



# Στάδια Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

- Πρωτοβάθμια ή Μηχανική Επεξεργασία
- **Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία**
- Τριτοβάθμια Επεξεργασία



# Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

Το κατεξοχήν στάδιο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων όπου χρησιμοποιείται η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών για την μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων

Ο καθαρισμός γίνεται με αερόβιους ή αναερόβιους μικροοργανισμούς ανάλογα με την υφή και σύσταση των αποβλήτων



# Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει τη **βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στην συνέχεια δευτεροβάθμια καθίζηση για διαχωρισμό βιομάζας με το επεξεργασμένο απόβλητο**



# Δευτεροβάθμια ή Βιολογική Επεξεργασία

Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της βιολογικής επεξεργασίας είναι η απουσία υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων που παρουσιάζουν υψηλή τοξικότητα για τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας

**Χλωριούχα, κυανιούχα, βαρέα μέταλλα** προκαλούν σε ορισμένες περιπτώσεις αναστολή της ανάπτυξης ορισμένων μικροοργανισμών

***Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός συνήθως οδηγεί σε μείωση του ρυπαντικού φορτίου κατά 80-90% κατά μέσο όρο***

*Με βάση ποια κριτήρια διαχωρίζονται σε διάφορους τύπους τα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων;*

- **Βιοχημικές Μετατροπές**
- **Βιοχημικό Περιβάλλον**
- **Μορφές Μικροβιακής Ανάπτυξης**



# Βιοχημικές Μετατροπές

- **Απομάκρυνση διαλυτής οργανικής ύλης:** Βασική διεργασία που λαμβάνει χώρα σε συστήματα βιολογικού καθαρισμού και οδηγεί σε  $\text{CO}_2$ , ενώ η παραγόμενη βιομάζα απομακρύνεται με καθίζηση
- **Μετατροπή διαλυτής ανόργανης ύλης:** η απομάκρυνση υπερβολικών ποσοτήτων N και P από τα υγρά απόβλητα



# Βιοχημικό Περιβάλλον

*Η παρουσία  $O_2$  ή άλλων μορίων ως τελικοί αποδέκτες ηλεκτρονίων καθορίζει και το είδος των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων*

- **Αερόβιες Συνθήκες:** Παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων  $O_2$  παράγονται υψηλές ποσότητες βιομάζας και διάσπαση της οργανικής ύλης προς  $CO_2$
- **Ανοξικές Συνθήκες:** Απουσία  $O_2$  και παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων  $NO_3$  που αποτελεί τον κύριο αποδέκτη e
- **Αναερόβιες Συνθήκες:** Απουσία  $O_2$  όπου οργανικές ουσίες ή S αποτελούν τους κύριους αποδέκτες ηλεκτρονίων



# Μορφές Μικροβιακής Ανάπτυξης

Ανάλογα με το πώς αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας διαχωρίζονται σε:

- **Βιοαντιδραστήρες βιολογικών κροκύδων (Suspended growth bioreactors):** όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοκροκύδων (floculates)
- **Βιοαντιδραστήρες βιοστρωμάτων (Attached growth bioreactors):** όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοστρωμάτων (biofilms)



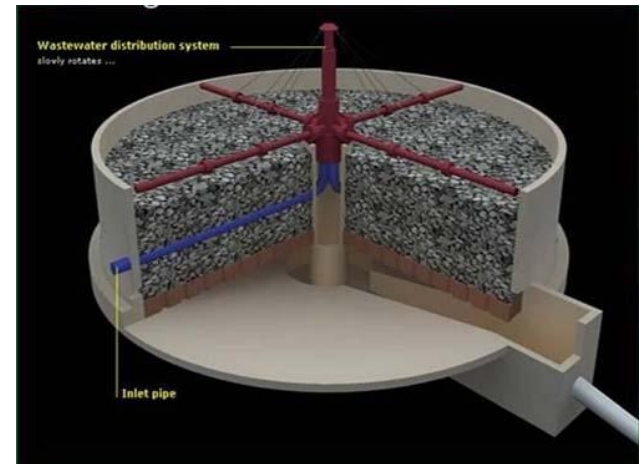
# Βιοαντιδραστήρες βιολογικών κροκύδων

- Συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης (Activated sludge systems)
- Συστήματα απομάκρυνσης ανοργάνων
- Λίμνες (Lagoons)
- Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης



# Βιοαντιδραστήρες Βιοστρωμάτων

- Σύστημα εμβαπτισμένων βιοστρωμάτων (Fluidized Bed Systems)
- Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating Biological Contractors)
- Χαλικοδιυλιστήρια (Trickling Filters)

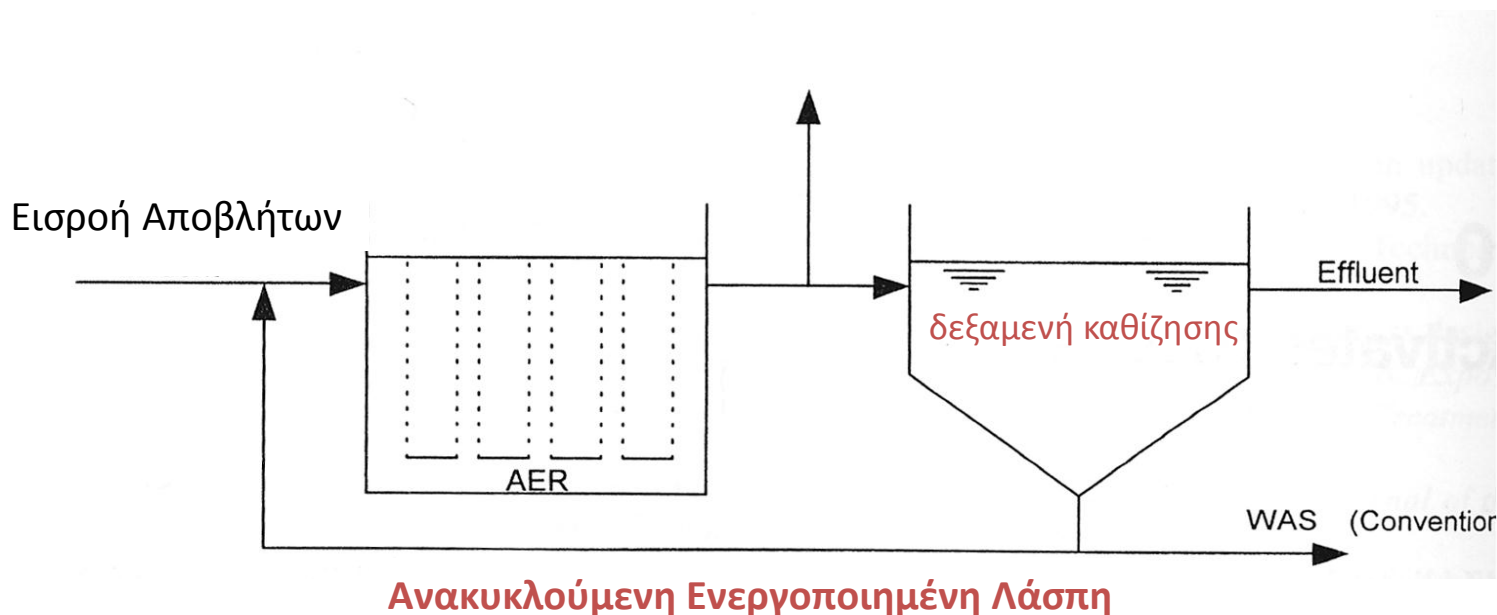


***Συστήματα  
Ενεργοποιημένης  
Λάσπης***



# Σύστημα Ενεργοποιημένης Λάσπης

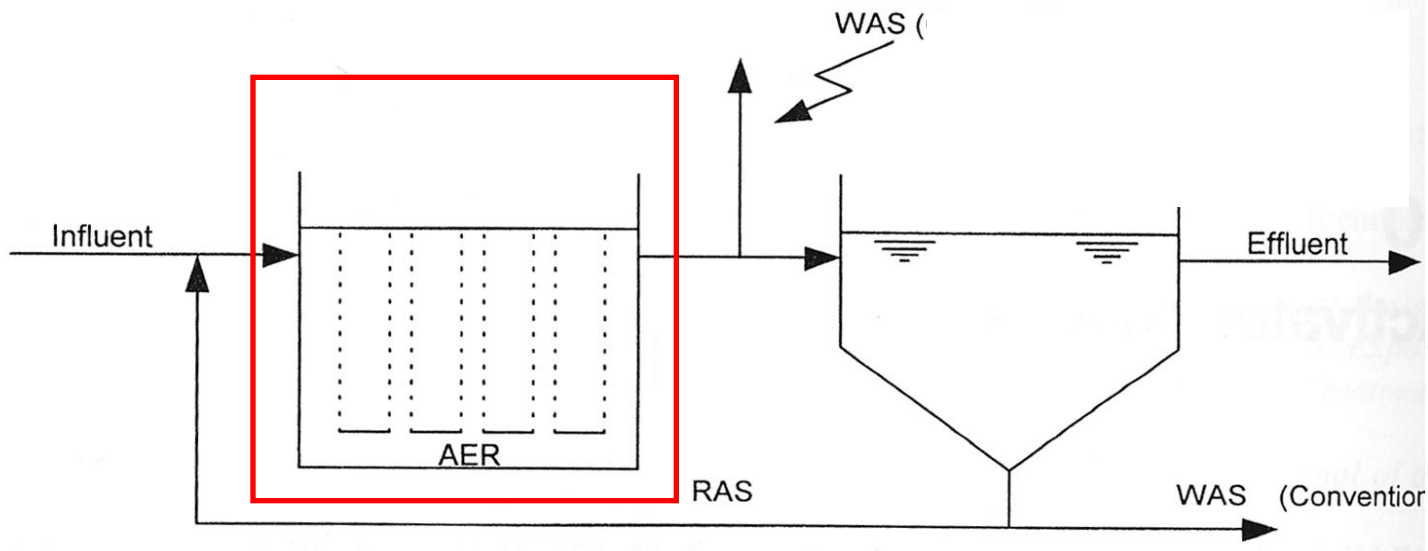
Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται χωρίς εμβολιασμό σε **συσσωματώματα/κροκύδες (floculates)** που βρίσκονται σε αιώρηση στα προστιθέμενα υγρά απόβλητα ερχόμενα σε άμεση επαφή με την οργανική ουσία των αποβλήτων



# Χαρακτηριστικά Συστημάτων ΕΛ

- Η παρουσία βιολογικών κροκύδων για την διάσπαση της διαλυτής οργανικής ύλης που περιέχεται στα απόβλητα
- Η παρουσία δεξαμενής καθίζησης των επεξεργασμένων αποβλήτων σε σειρά με συστήματα Ε.Λ.
- Ποσότητα της βιολογικής λάσπης που σχηματίζεται ανακυκλώνεται στο σύστημα (**ενεργοποιημένη λάσπη**)

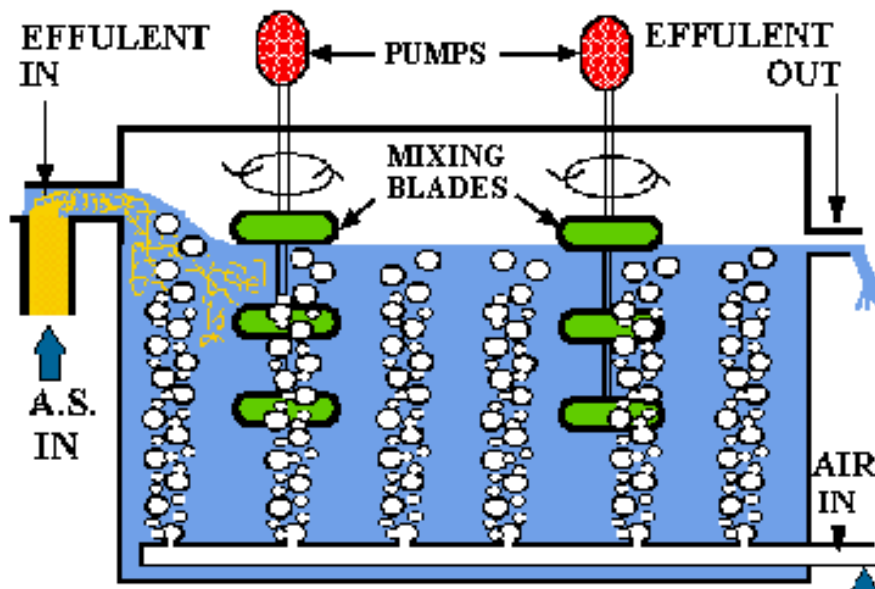




- Η δεξαμενή αερισμού (AER) είναι βασικό στοιχείο των Σ.Ε.Λ. και σε αυτή αναπτύσσονται υπό αερόβιες συνθήκες οι βιοκροκύδες
- Αερισμός παρέχεται είτε με διάχυση από τον πυθμένα, είτε με επιφανειακή ανάδευση, είτε με μηχανικό επιφανειακό αερισμό με έλικα. Ο μηχανισμός αερισμού επιτυγχάνει και παροχή αέρα στο σύστημα αλλά και την διατήρηση των κροκύδων βιομάζας σε διασπορά εντός του συστήματος

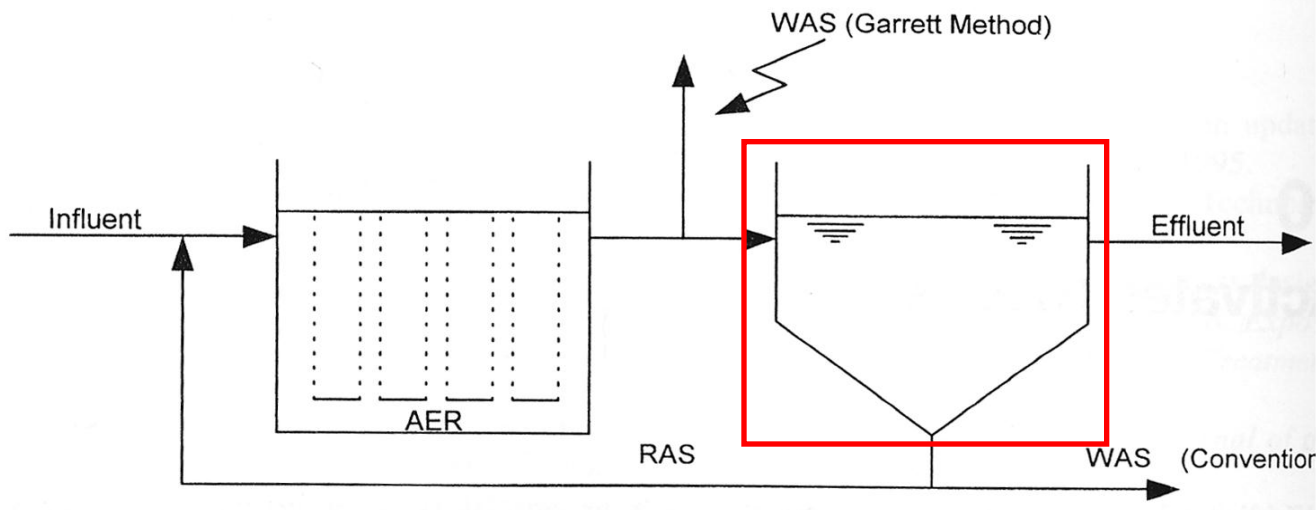


## Επιφανειακός Αερισμός



Αερισμός από τον  
πυθμένα της δεξαμενής

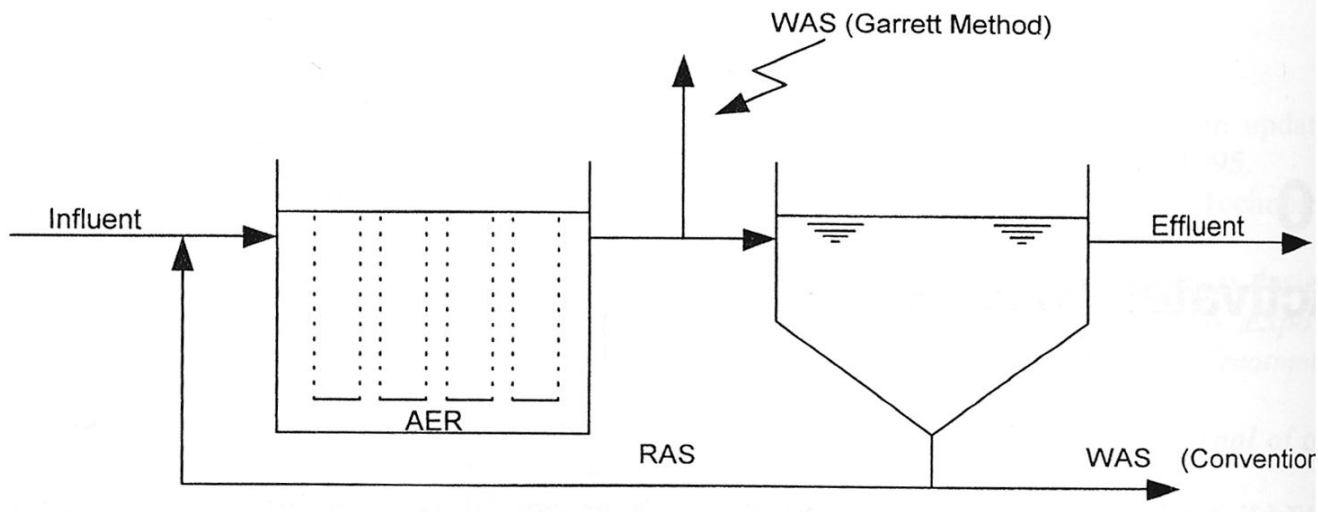




Την δεξαμενή αερισμού ακολουθεί δεξαμενή καθίζησης-διαχωρισμού που χρησιμοποιείται 1) για απομάκρυνση της περίσσειας βιομάζας που περιέχεται στα απόβλητα μετά την επεξεργασία 2) για συλλογή και ανακύκλωση ή απόρριψη της βιομάζας που καθιζάνει στην δεξαμενή

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των δεξαμενών διαχωρισμού δεν είναι απόλυτα και μπορεί να έχουν σχήμα κυκλικό ή ορθογώνιο αλλά πάντα περιέχουν 1) τμήμα συλλογής υγρών αποβλήτων 2) τμήμα συλλογής των στερεών υλικών που καθιζάνουν και 3) μηχανισμό απομάκρυνσης στερεών που επιπλέουν στην επιφάνεια

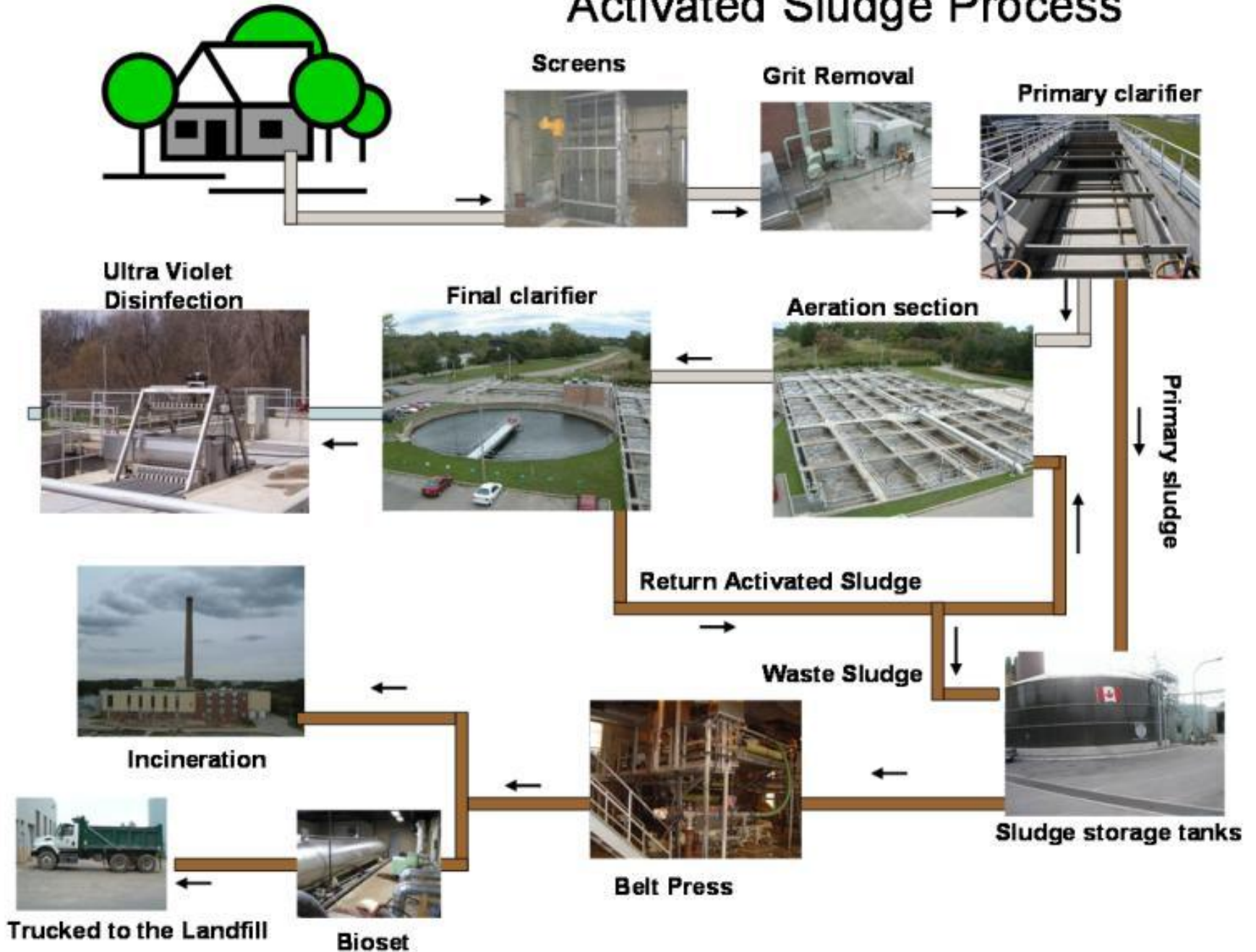




Ένα μόνο τμήμα της βιολογικής λάσπης που συλλέγεται επαναπροστίθεται στο σύστημα και ονομάζεται ανακυκλούμενη ενεργοποιημένη λάσπη (Return Activated Sludge, RAS)



# Activated Sludge Process



# Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

Ιδανικά χαρακτηριστικά της βιομάζας ενός συστήματος ΕΛ:

- Ισχυρές και συμπυκνωμένες βιολογικές κροκύδες που καθιζάνουν εύκολα και παράγουν πυκνή βιολογική λάσπη για ανακύκλωση στον βιοαντιδραστήρα
- Καθαρό υπερκείμενο για απορροή ως επεξεργασμένα απόβλητα



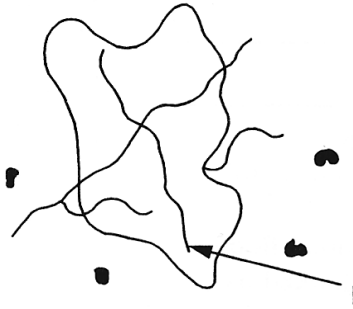
# Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης

Η σύσταση των βιοκροκύδων στα συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης καθορίζει και την αποτελεσματικότητα του συστήματος

Η αναλογία **βακτηριών που παράγουν πολυμερή** για την δημιουργία των κροκύδων (floc-forming bacteria) και **ινωδών βακτηριών** (filamentous bacteria) καθορίζει και την ποιότητα των κροκύδων που θα δημιουργηθούν

*Ο χρόνος που απαιτείται για τον σχηματισμό των κροκύδων ονομάζεται χρόνος κατακράτησης στερεών (solids retention time) και θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 ημέρα για αστικά απόβλητα και 3 ημέρες για βιομηχανικά απόβλητα*

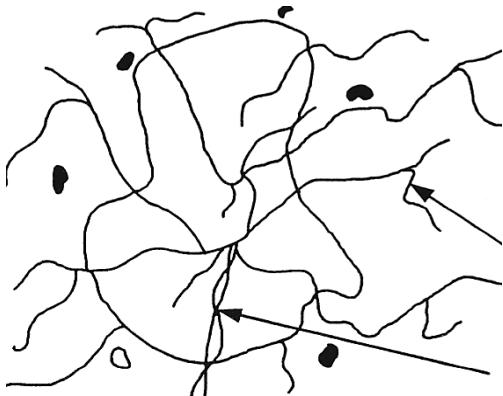
# Σύσταση μικροβιακής κοινότητας σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης



***Floc-forming / filamentous bacteria*** σε ισορροπία δημιουργώντας κροκύδες ισχυρές που καθιζάνουν εύκολα αφήνοντας καθαρό υπερκείμενο



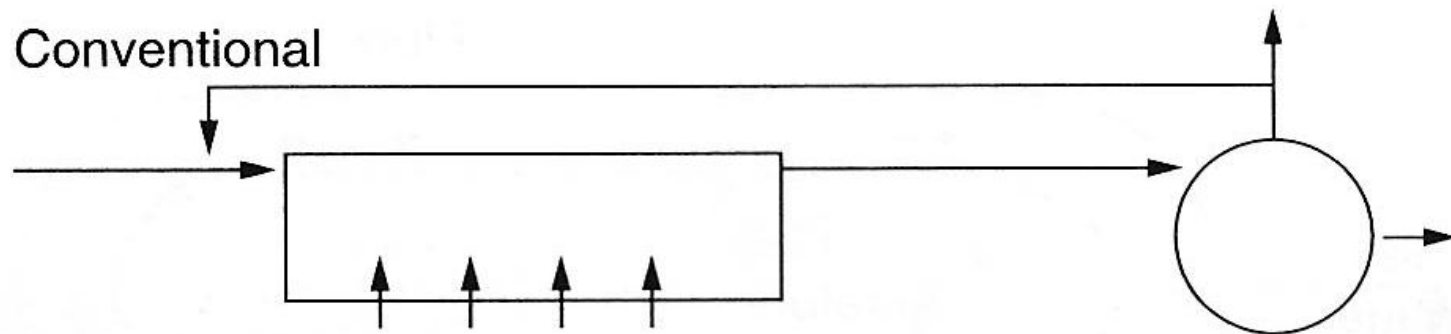
***Filamentous bacteria*** δεν υπάρχουν οπότε δεν δημιουργούνται κροκύδες αλλά διαλυτή μικροβιακή ανάπτυξη, θολερό υπερκείμενο και χαμηλή καθίζηση



***Υπερβολική παρουσία filamentous bacteria*** οδηγεί σε δημιουργία μεγάλων και ισχυρών κροκύδων που καθιζάνουν με πολύ μεγάλη ευκολία αλλά το υπερκείμενο είναι διαυγές

Η μέθοδος παροχής αέρα σε συνδυασμό με την μέθοδο παροχής των αποβλήτων στη δεξαμενή αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την αποτελεσματικότητα των ΣΕΛ

Στο παραδοσιακό σύστημα Ε.Λ. ο αερισμός παρέχεται με διάχυση από το πυθμένα σε όλο το μήκος της δεξαμενής αερισμού ενώ τα υγρά απόβλητα εισέρχονται από τη μια άκρη της δεξαμενής και εξέρχονται από την άλλη



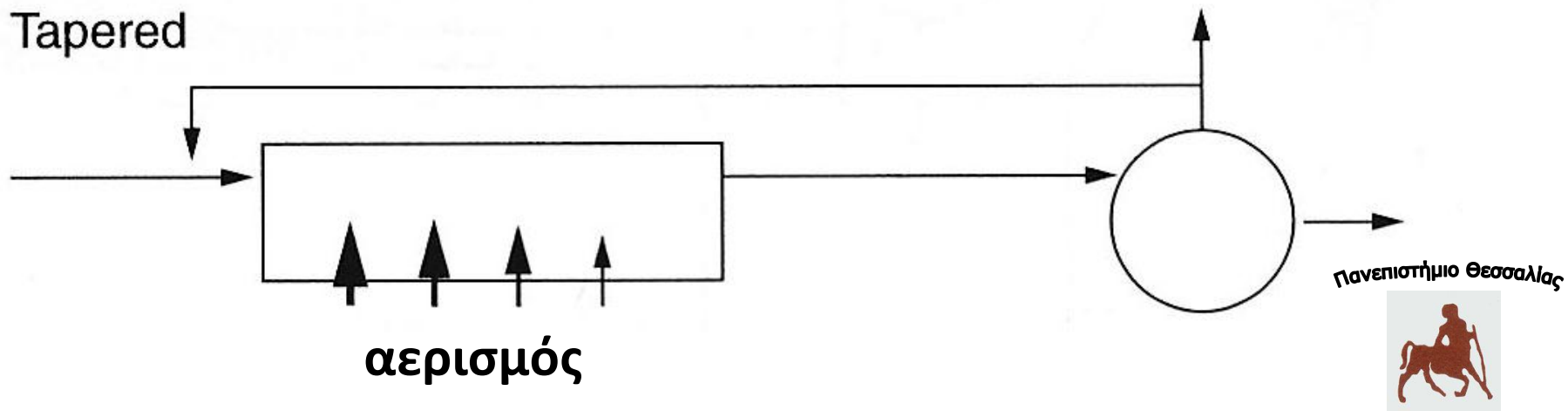
**Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα κυμαίνεται 4-8 ημέρες**

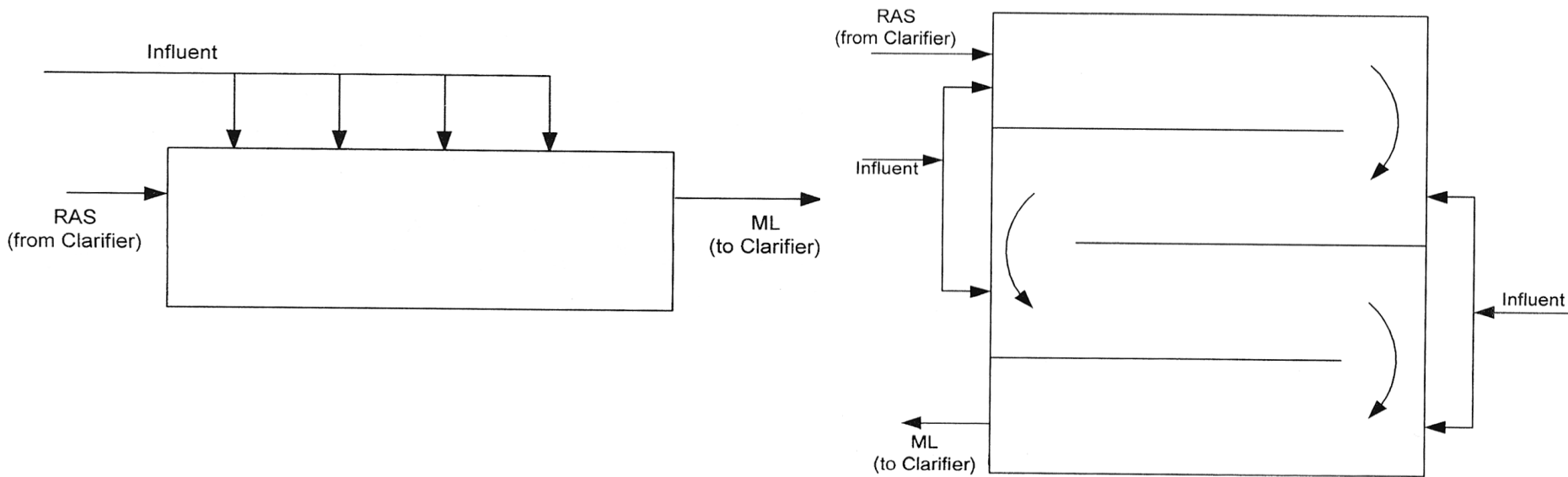




**Καθώς τα απόβλητα κινούνται προς την έξοδο του ΣΕΛ το συνολικό οργανικό φορτίο ελαττώνεται με συνέπεια να υπάρχει και λιγότερη ανάγκη παροχής  $O_2$**

Για τον λόγο αυτό κατασκευάσθηκαν μονάδες επεξεργασίας όπου ο αερισμός αλλά και η παροχή των αποβλήτων και της ενεργοποιημένης λάσπης να πραγματοποιείται σταδιακά ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των μονάδων επεξεργασίας (tapered aeration)

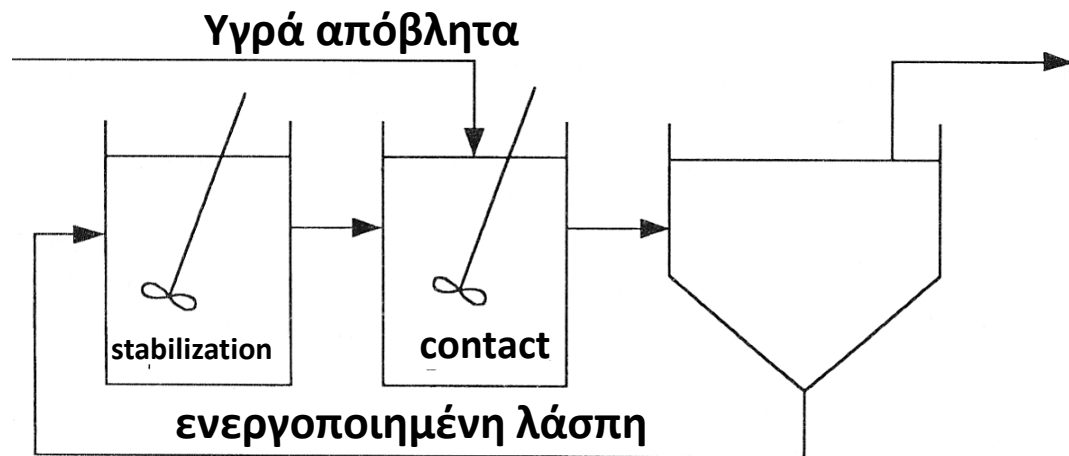




## Σ.Ε.Λ. σταδιακής εισροής αποβλήτων (Step Feed

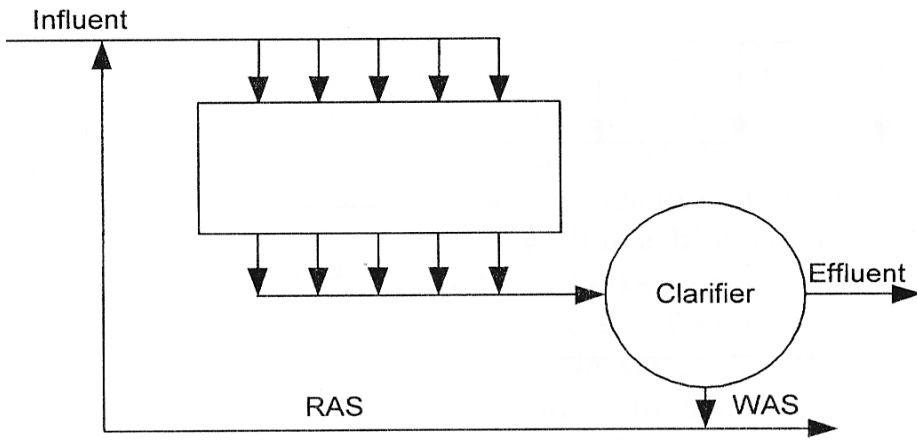
**Activated Sludge):** Τα υγρά απόβλητα (influent) διαχέονται εξίσου κατά μήκος της δεξαμενής αερισμού ενώ η ενεργοποιημένη λάσπη (RAS) εισέρχεται από την μία άκρη της δεξαμενής





**Σ.Ε.Λ. σταθεροποίησης επαφής (Contact stabilization activated sludge):** Το σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές σε σειρά όπου στην δεύτερη εισρέουν τα υγρά απόβλητα και πραγματοποιείται η βιολογική διάσπαση της οργανικής ύλης ενώ στην πρώτη δεξαμενή διοχετεύεται η ενεργοποιημένη λάσπη όπου και αερίζεται ώστε να σταθεροποιηθεί η οργανική ύλη

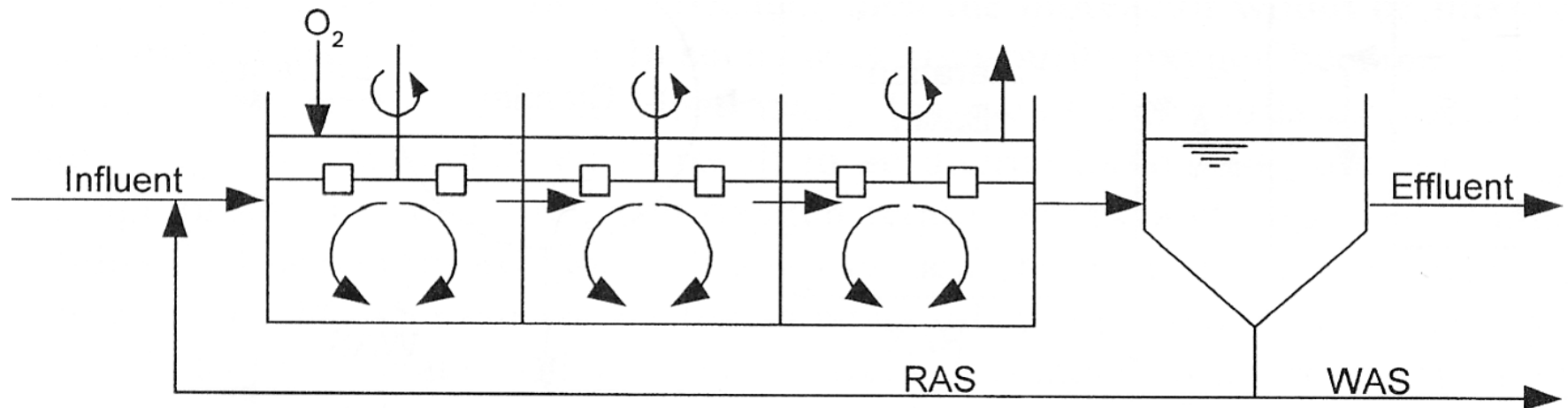


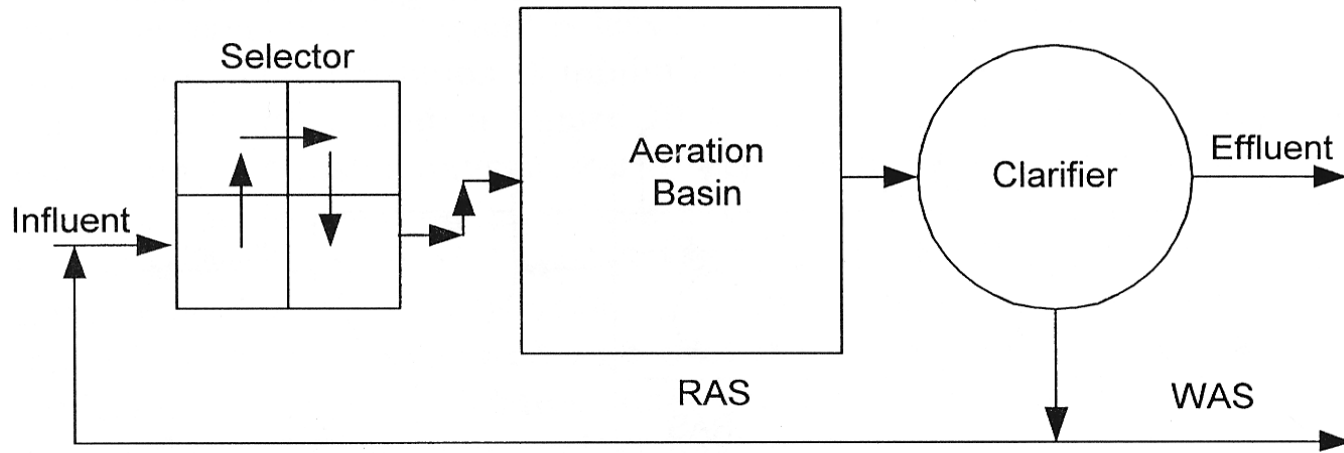


**Σ.Ε.Λ. πλήρους ανάμιξης (Completely mixed activated sludge):** Αναπτύχθηκαν κυρίως για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο των οποίων η διεργασία με το παραδοσιακό σύστημα δεν ήταν δυνατή λόγω τοξικών φαινομένων για την βιομάζα του συστήματος στο σημείο εισροής των αποβλήτων

Τα απόβλητα εισέρχονται από διάφορα σημεία κατά μήκος της μίας πλευράς μακρόστενης δεξαμενής και εκρέουν από την απέναντι πλευρά

**Σ.Ε.Λ. παροχής καθαρού οξυγόνου (High purity oxygen activated sludge):** Το σύστημα αποτελείται από 3-6 δεξαμενές σε σειρά. **Αέριο πλούσιο σε  $O_2$ , ενεργοποιημένη λάσπη και τα υγρά απόβλητα** προστίθενται ταυτόχρονα στην πρώτη δεξαμενή. Κάθε δεξαμενή περιέχει κατάλληλο σύστημα ανάμιξης αερισμού που διατηρεί την βιομάζα του συστήματος σε διασπορά αλλά εκμεταλλεύεται πλήρως το παρεχόμενο  $O_2$





## **ΣΕΛ με επιλογή (Selector activated sludge, SAS):**

Περιλαμβάνει προ-δεξαμενή επιλογής (SELECTOR) όπου με κατάλληλες τεχνικές περιορίζεται η ανάπτυξη των ανεπιθύμητων ινωδών μικροοργανισμών και ευνοείται η ανάπτυξη των κροκυδωτικών μικροοργανισμών ώστε να έχουμε την δημιουργία βιομάζας με βέλτιστα χαρακτηριστικά



# Χρήσεις Συστημάτων Ενεργοποιημένης Λάσπης

- Κυρίως για επεξεργασία αποβλήτων με COD 5,000 - 10,000 mg/L. Αραιά υγρά απόβλητα δεν μπορούν να υποστηρίξουν υψηλή παραγωγή βιολογικής λάσπης και το σύστημα καθίσταται μη λειτουργικό
- Θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους για απόβλητα με COD > 20000 mg/L διότι η ποσότητα της βιολογικής λάσπης που παράγεται μπορεί να φτάσει τα 8000 mg/L (ολικά διαλυτά στερεά) με αποτέλεσμα τέτοιες ποσότητες βιολογικής λάσπης να μην είναι δυνατόν να καθιζάνουν σε συλλέκτες και το σύστημα να καθίσταται μη λειτουργικό

# Παράγοντες που επηρεάζουν αποτελεσματικότητα των Σ.Ε.Λ.

- **Σχηματισμός βιολογικών κροκύδων**
- **Χρόνος κατακράτησης στερεών**
- **Διαλυτό Οξυγόνο:** 2 mg/L βέλτιστη συγκέντρωση
- **Μεταφορά και ανάμιξη οξυγόνου:** καθορίζεται από το μέγεθος του αντιδραστήρα. Συστήματα παροχής οξυγόνου σε μικρούς αντιδραστήρες μπορεί να οδηγήσουν σε σπάσιμο των κροκύδων αντίθετα σε μεγάλους αντιδραστήρες η ενεργειακή ισχύ για να επιτευχθεί ομοιόμορφη παροχή είναι ασύμφορη οικονομικά
- **Θρεπτικά στοιχεία:** απαραίτητα για την ισορροπημένη μικροβιακή ανάπτυξη και αποφυγή επικράτησης ανεπιθύμητων μικροοργανισμών
- **Θερμοκρασία:** σταθερή σε μεσόφιλο ή θερμόφιλο επίπεδο