



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

Φυσικές διεργασίες στην επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων

Επικ. Καθηγητής Αλέξανδρος Στεφανάκης

Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

Κτήριο Κ3, Γραφείο Α23,

Τηλ: 28210 06121, email: astefanakis@enveng.tuc.gr

Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος

<https://www.leem.tuc.gr>

<https://www.facebook.com/LEEMtuc>

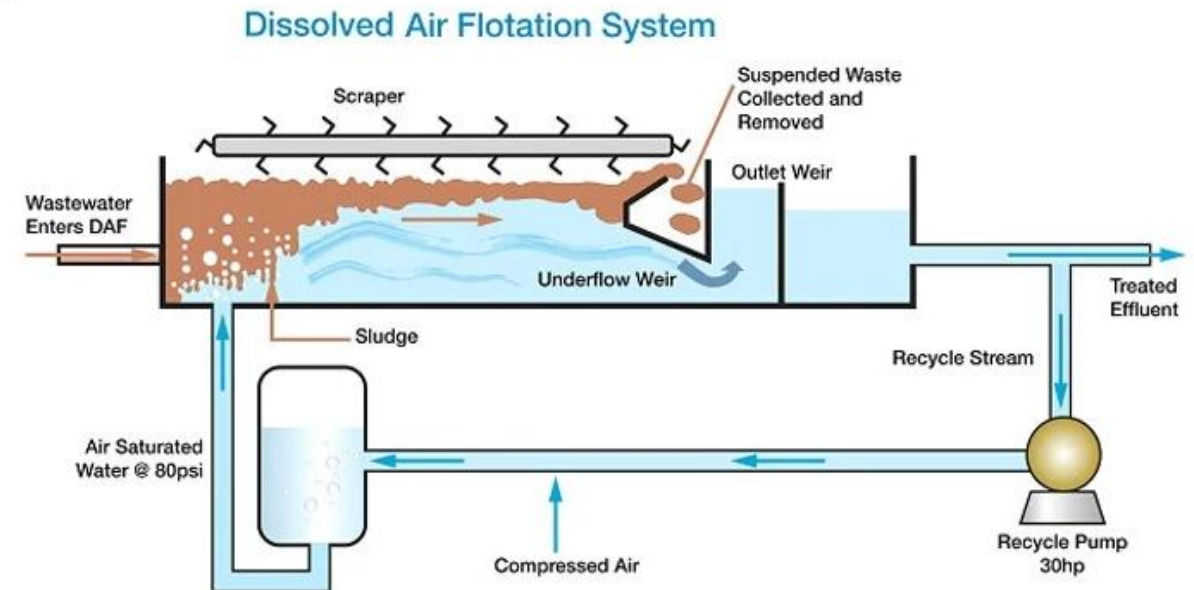
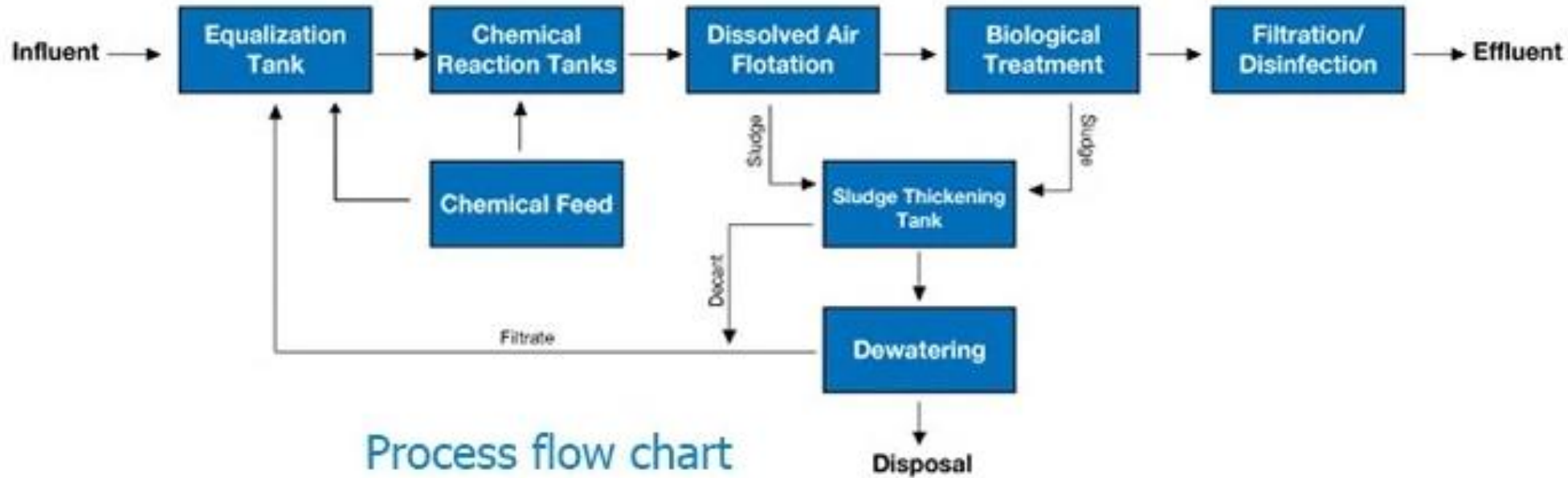
Απρίλιος 2021



Επίπλευση



Επίπλευση



Η επίπλευση είναι μία φυσική διεργασία που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό αιωρούμενων στερεών σωματιδίων ή υγρών σταγονιδίων (πχ. έλαιο) από την υγρή φάση.

Ο διαχωρισμός αυτός προκαλείται από την εισαγωγή **λεπτών φυσαλίδων αέρα** στο υγρό, την προσκόλληση αυτών στη σωματιδιακή ύλη και την αύξηση της άνωσης με αποτέλεσμα την άνοδο του συσσωματώματος φυσαλίδα – στερεό στην επιφάνεια του υγρού.

Εν συνεχεία, τα σωματίδια απομακρύνονται από την επιφάνεια του υγρού με μία διεργασία εξαφρισμού.

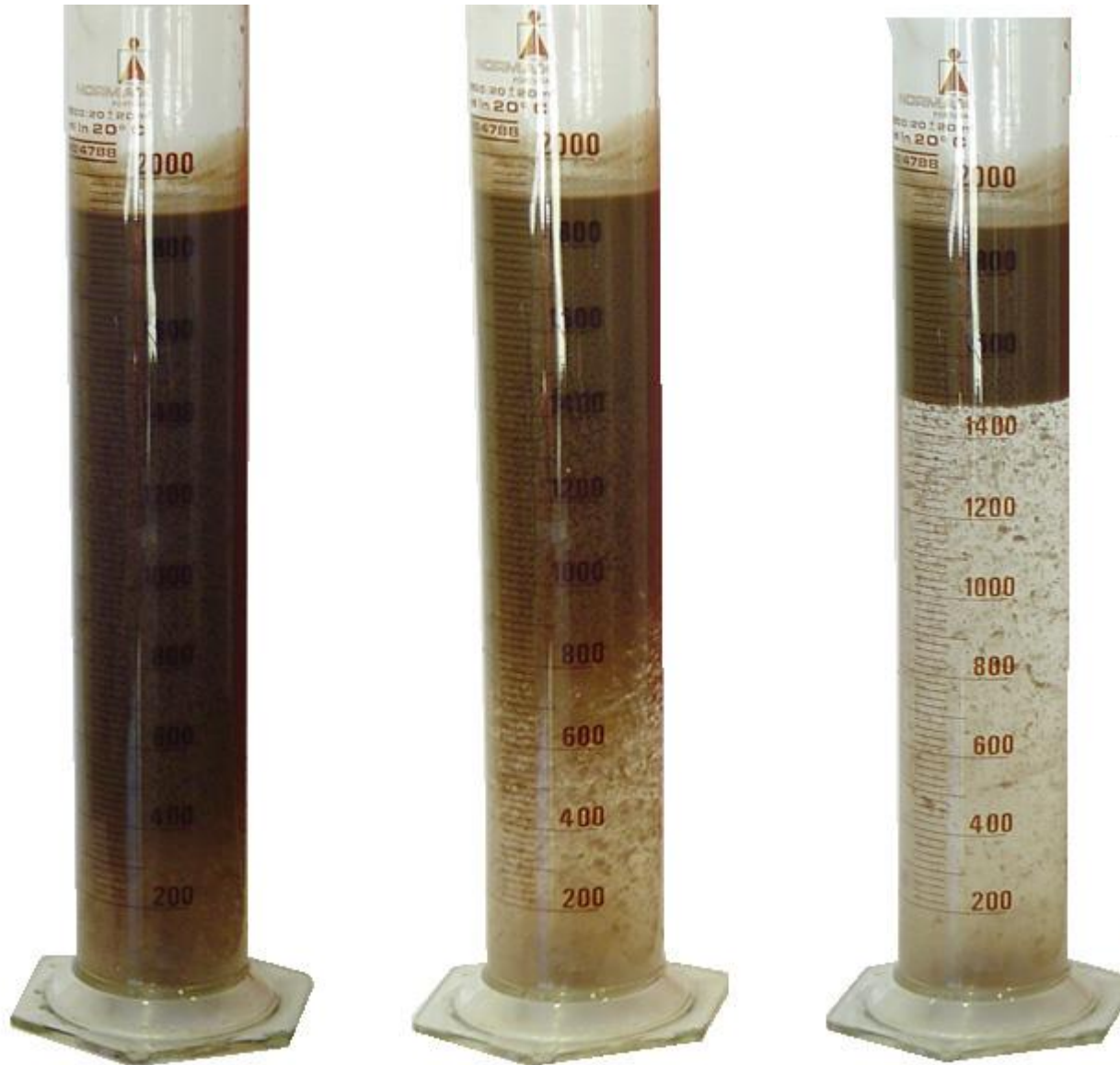
Με την εισαγωγή φυσαλίδων αέρα επιτυγχάνεται:

- ✓ απομάκρυνση σωματιδίων με μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό και
- ✓ πιο γρήγορη η διαδικασία επίπλευσης για σωματίδια μικρού ειδικού βάρους (π.χ. λίπη και έλαια).

Η επίπλευση υπερτερεί της καθίζησης σε περιπτώσεις σωματιδίων που καθιζάνουν πολύ αργά.

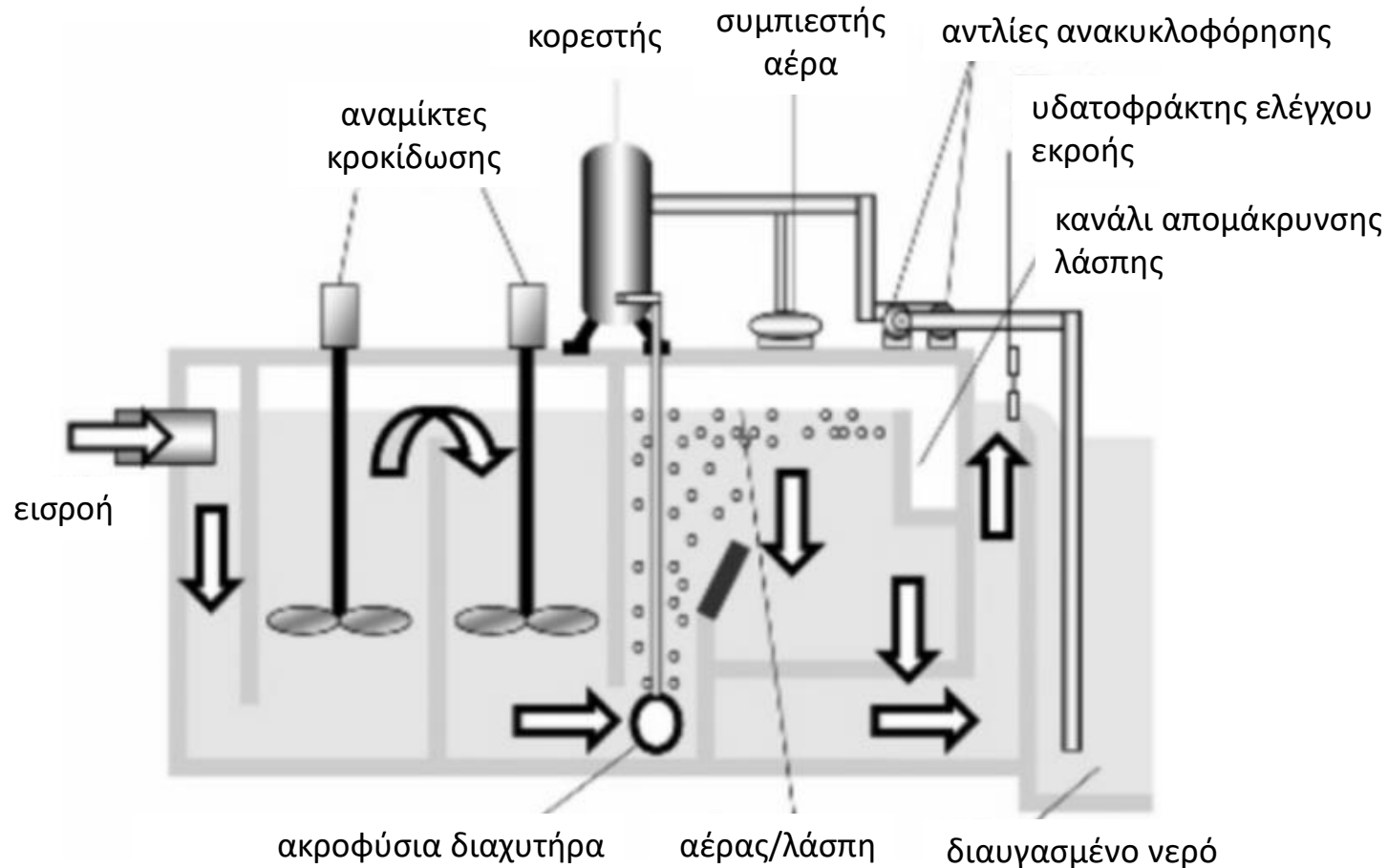
Οι κύριες εφαρμογές της είναι οι εξής:

- Διαχωρισμός και συμπύκνωση (πάχυνση) βιολογικής ιλύος (από τη δεξαμενή αερισμού) για απόρριψη ή ανακύκλωση στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων
- Απομάκρυνση ελαιούχων σταγονιδίων από βιομηχανικά υγρά απόβλητα
- Στη μεταλλευτική βιομηχανία είτε για απομάκρυνση ινών ή μικρών σωματιδίων από το νερό ή κυρίως για την εκλεκτική ανάκτηση του κλάσματος των σωματιδίων που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις του μεταλλεύματος ή ορυκτού (συμπύκνωση κροκιδωμένων χημικών ιζημάτων από διάφορες κατακρημνίσεις)



Η επιτυχία της επίπλευσης στηρίζεται σε δύο βασικούς παράγοντες:

- 1) παραγωγή αρκετών φυσαλίδων
- 2) κατάλληλες συνθήκες ώστε οι φυσαλίδες και τα σωματίδια να κολλούν μεταξύ τους



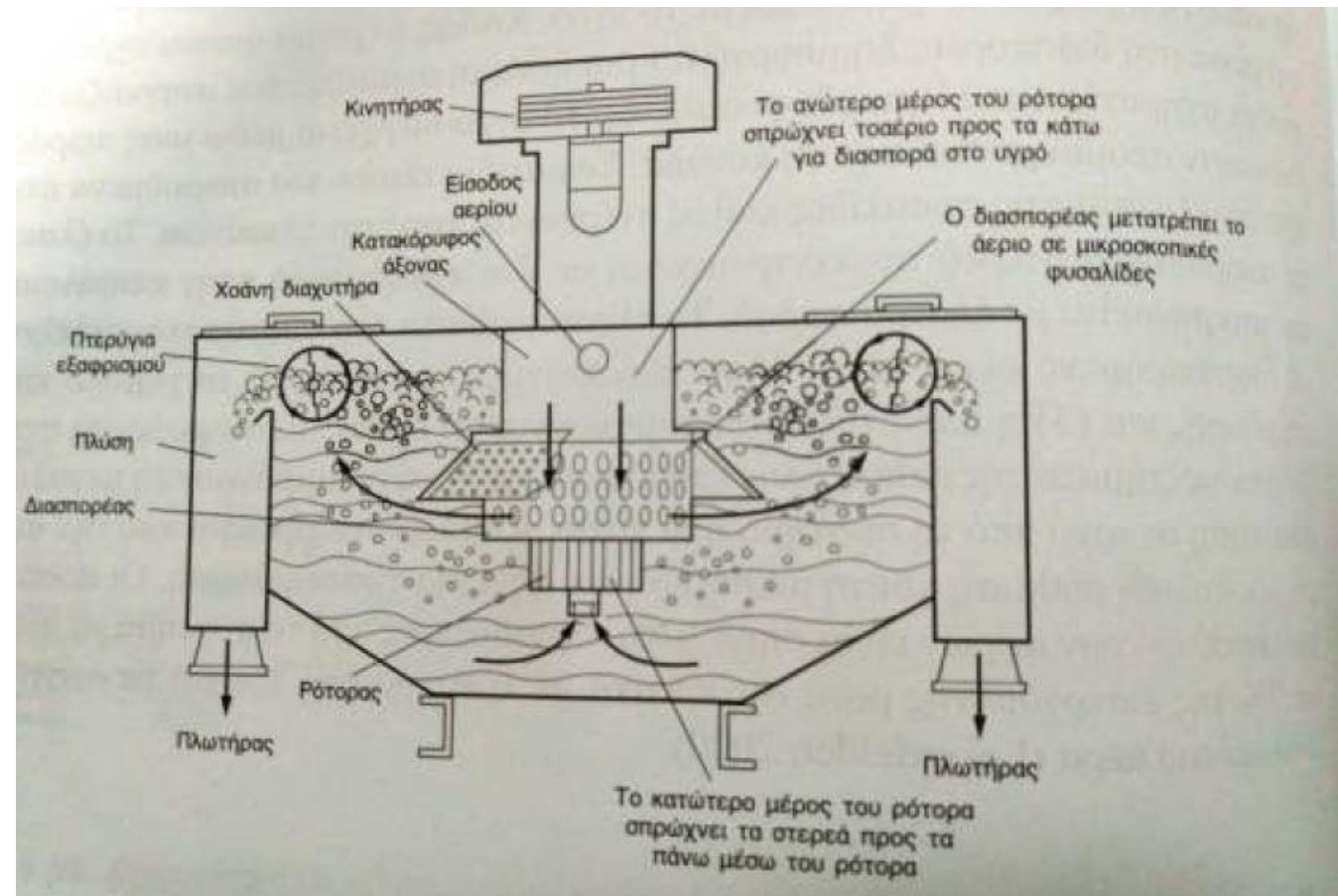
Διακρίνονται τρεις κατηγορίες επίπλευσης, ανάλογα με τον τρόπο προσθήκης του αέρα:

- Επίπλευση με Διασπειρόμενο Αέρα (Dispersed Air Flotation)
- Επίπλευση με Διαλυμένο Αέρα (Dissolved Air Flotation - DAF)
- Ηλεκτρολυτική επίπλευση (electrolytic flotation)

ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΣΠΕΙΡΟΜΕΝΟ ΑΕΡΑ (DISPERSED AIR FLOTATION)

Οι φυσαλίδες αέρα σχηματίζονται με την εισαγωγή της αέριας φάσης απευθείας μέσα στην υγρή φάση μέσω μιας **περιστρεφόμενης προπέλας**. Η περιστρεφόμενη προπέλα δρα ως μια αντλία, ωθώντας το αέριο (αέρας) στο χώρο που βρίσκεται το υγρό, γίνεται ανάμιξη οπότε και δημιουργούνται μικρές φυσαλίδες.

παράγει φυσαλίδες της τάξεως των 1000 μm , που είναι μεγάλες για την ικανοποιητική επίπλευση στερεών στα απόβλητα



Η επίπλευση με διασπειρόμενο αέρα είναι **λιγότερο αποδοτική** σε σχέση με την επίπλευση με διαλυμένο αέρα.

Γενικά, η επίπλευση με διασπειρόμενο αέρα, έχει λίγες εφαρμογές στη κατεργασία των υγρών αποβλήτων, καθόσον οι φυσαλίδες που παράγονται είναι σχετικά μεγάλες.

Οι φυσαλίδες που παράγονται είναι σχετικά μεγάλες και τις περισσότερες φορές καθίσταται απαραίτητη είτε η **προσθήκη χημικών αντιδραστηρίων** είτε η **έντονη ανάδευση**, έτσι ώστε να παραχθούν φυσαλίδες μικρότερου μεγέθους.

Αυτό όμως αποτελεί τελικά **μειονέκτημα** της κατηγορίας αυτής, ιδιαίτερα για ορισμένες εφαρμογές.

Το γεγονός αυτό θέτει περιορισμούς στις εφαρμογές του συστήματος.

Για παράδειγμα, στην επεξεργασία του νερού που προορίζεται για πόσιμο την είναι ανεπιθύμητη η προσθήκη άλλων χημικών αντιδραστηρίων, όσο και η έντονη ανάδευση που είναι δυνατό να προκαλέσει καταστροφή των εύθραστων κροκιδωμάτων, τα οποία έχουν δημιουργηθεί κατά το στάδιο της κροκίδωσης (που συνήθως προηγείται της επίπλευσης).

Κατά τη μέθοδο αυτή, οι φυσαλίδες παράγονται με την **ελάττωση της πίεσης μιας ποσότητας νερού/αποβλήτου** που έχει κορεστεί προηγουμένως με αέριο (συνήθως χρησιμοποιείται ατμοσφαιρικός αέρας).

Αν τα υγρά απόβλητα είναι σε ατμοσφαιρική πίεση, τότε υπόκεινται σε μερικό κενό και απελευθερώνεται ο αέρας που είναι διαλυμένος σε αυτά. Αυτή η επίπλευση ονομάζεται **επίπλευση υπό κενό** (vacuum flotation).

Αν τα υγρά απόβλητα βρίσκονται υπό πίεση, ο αέρας που είναι διαλυμένος σε αυτά μπορεί να απελευθερωθεί εκτονώνοντας (μειώνοντας) την πίεση στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής πίεσης.

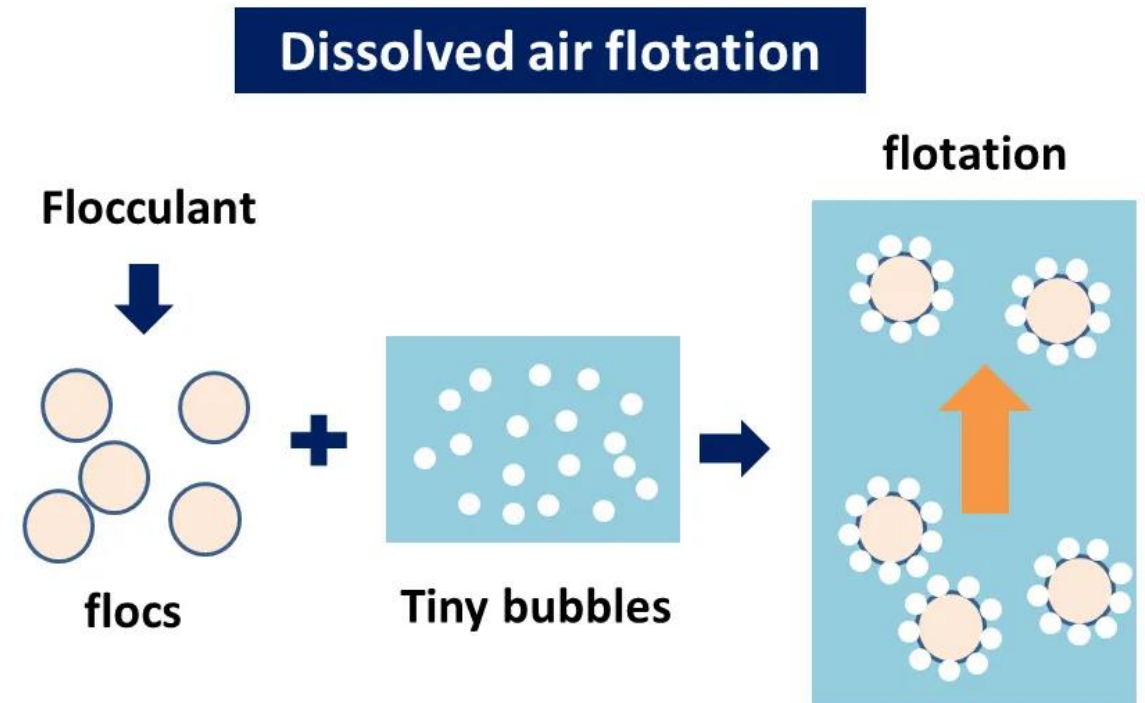
Η επίπλευση αυτή ονομάζεται **επίπλευση υπό πίεση** (pressure flotation) και είναι αυτή που χρησιμοποιείται κατά βάση καθώς επιτρέπει μεγαλύτερη πτώση πίεσης και παρουσιάζει και οικονομικά οφέλη.

ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΑΕΡΑ (DISSOLVED AIR FLOTATION)

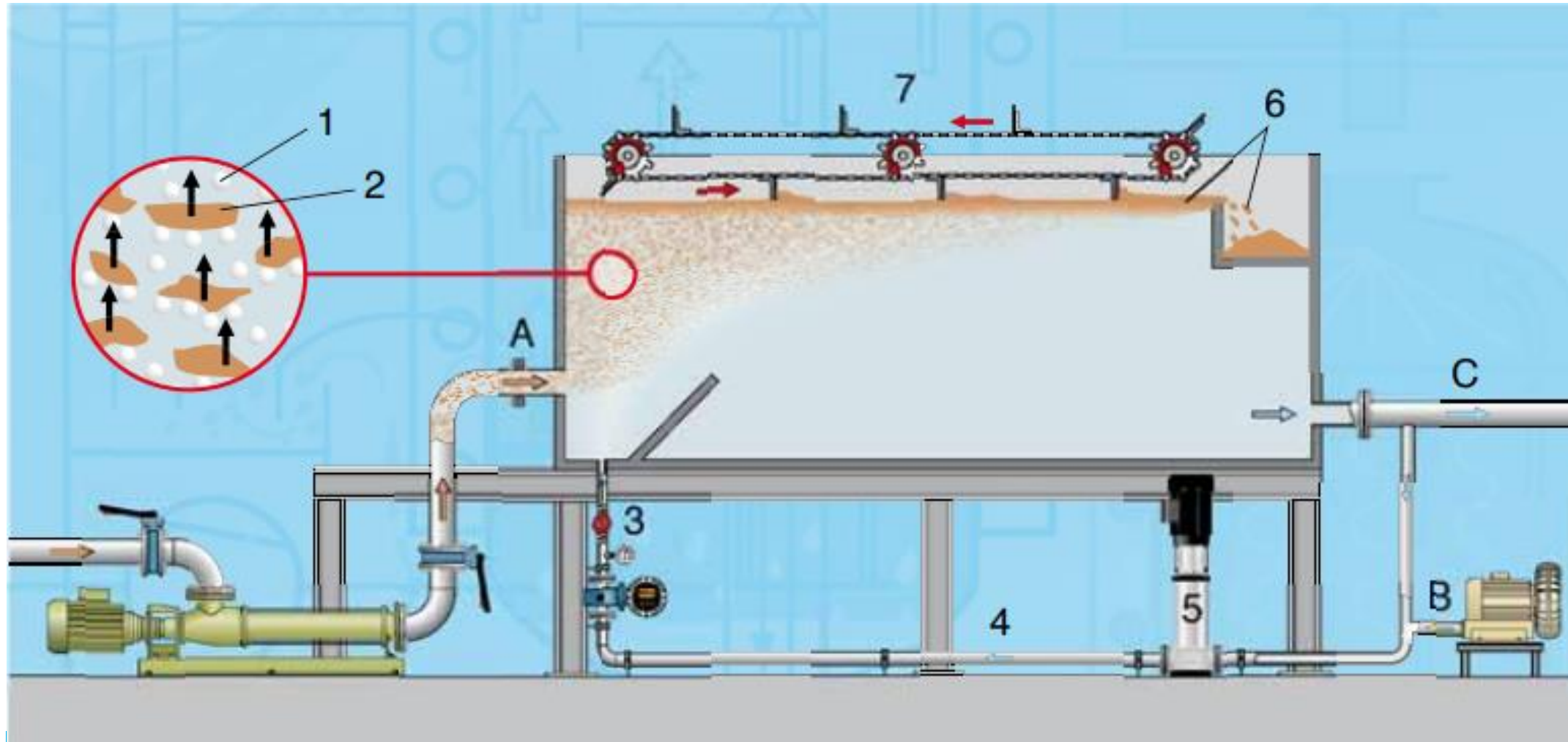
Η πίεση που χρησιμοποιείται στην πράξη για τον κορεσμό νερού/αποβλήτου σε ειδικά δοχεία (δεξαμενές κορεσμού), είναι της τάξεως των 0.3 - 0.5 MPa (3-5 atm).

Λόγω πτώσης πίεσης, ο αέρας απελευθερώνεται με μορφή μικρών φυσαλίδων. Οι φυσαλίδες αυτές προσκολλώνται στη σωματιδιακή ύλη και το συσσωμάτωμα φυσαλίδα - στερεό ανέρχεται στην επιφάνεια του υγρού.

παράγει φυσαλίδες της τάξεως των 10-100 μm (συνήθως 80), αρκετά λεπτές για την ικανοποιητική επίπλευση στερεών.



ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΑΕΡΑ (DISSOLVED AIR FLOTATION)



1) φυσαλίδες αέρα, 2) στερεά, 3) βαλβίδα εκτόνωσης, 4) νερό ανακυκλοφόρησης

5) αντλία, 6) επιπλέοντα, 7) ξέστρο

A] εισροή

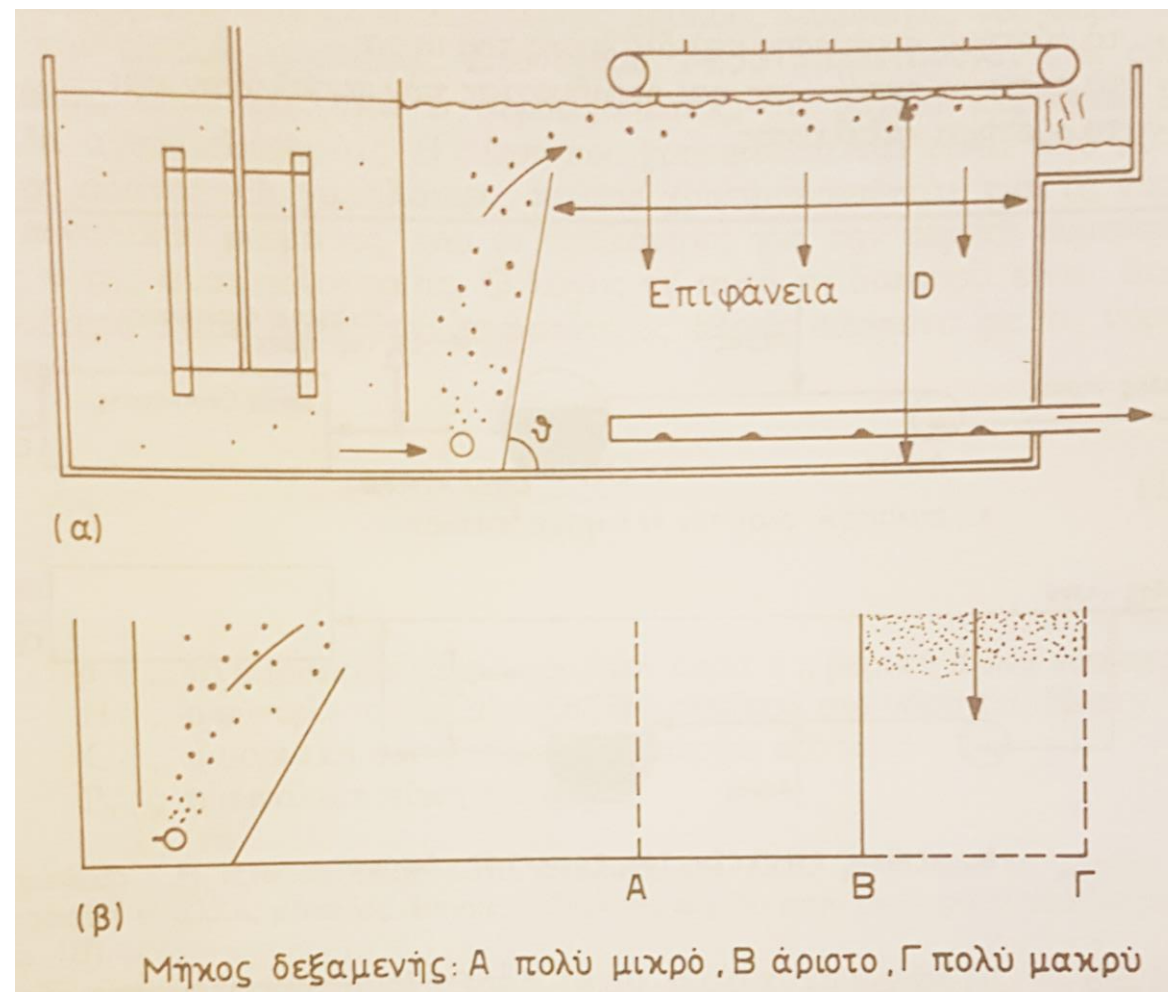
B] συμπιεσμένος αέρας

C] επεξεργασμένο νερό

ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΑΕΡΑ (DISSOLVED AIR FLOTATION)

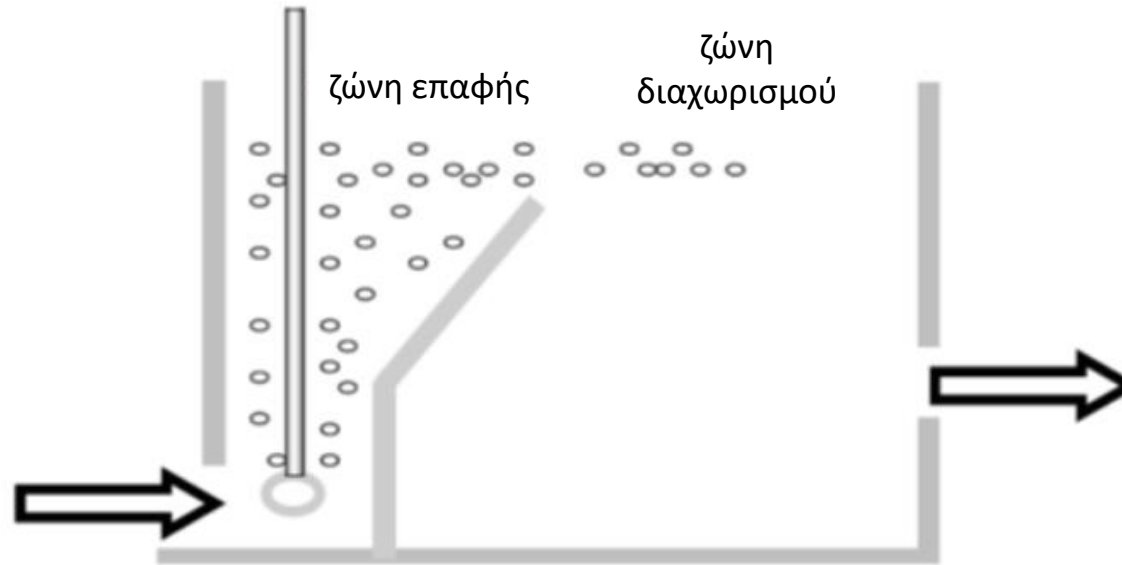
Μικρές φυσαλίδες αέρα εκλύονται από το υπό πίεση νερό λόγω της πτώσης πίεσης και προσκολλώνται στα συσσωματώματα της ιλύος.

Το συσσωμάτωμα φυσαλίδα-στερεό ανέχεται στην επιφάνεια της δεξαμενής επίπλευσης όπου συμπυκνώνεται η ιλύς και στη συνέχεια απομακρύνεται.



ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΑΕΡΑ (DISSOLVED AIR FLOTATION)

Η DAF χωρίζεται σε δύο ζώνες: ζώνη επαφής και ζώνη διαχωρισμού



Ζώνη επαφής

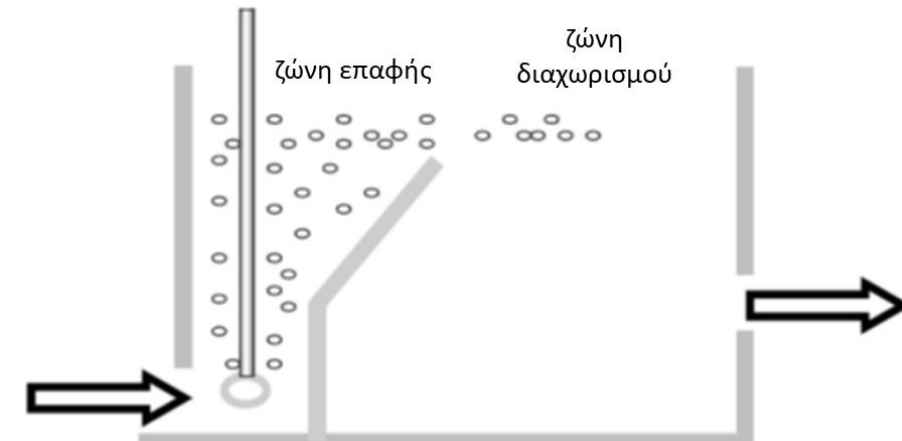
Παρέχει τη δυνατότητα στις φυσαλίδες και τα σωματίδια να συγκρουστούν και να κολλήσουν μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι το συσσωμάτωμα φυσαλίδας-σωματιδίου.

Μπορεί και να θεωρηθεί η ζώνη αυτή είτε ως μια ετερογενής διεργασία κροκίδωσης ή υποθέτοντας ότι το σύννεφο φυσαλίδων που κινείται ανοδικά δρα ως ένα φίλτρο ώστε οι φυσαλίδες να μπορούν να οπτικοποιηθούν ως συλλέκτες επιφάνειας.

Ζώνη επαφής

Η απόδοση της απομάκρυνσης ενισχύεται όταν

- μεγιστοποιείται η αποδοτικότητα της κάθε μεμονωμένης φυσαλίδας
- μεγιστοποιείται η απόδοση της προσκόλλησης
- αυξάνεται η συγκέντρωση των φυσαλίδων
- αυξάνεται ο χρόνος επαφής
- ελαχιστοποιείται το μέγεθος της φυσαλίδας

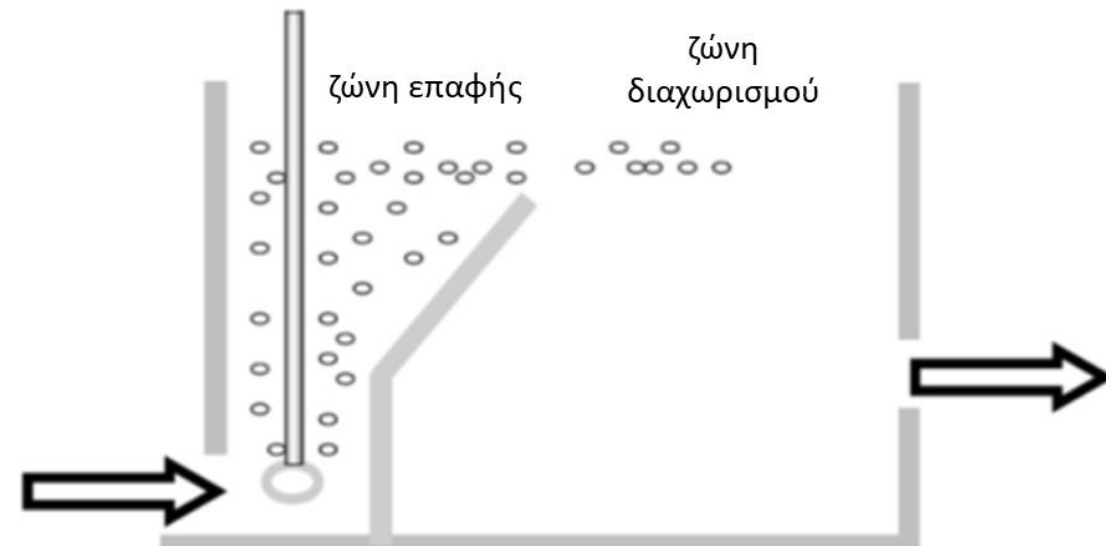


Ζώνη διαχωρισμού

μετά την επιτυχή σύγκρουση και προσκόλληση, το συσσωμάτωμα φυσαλίδας-σωματιδίου κινείται ανοδικά προς την επιφάνεια

- ισχύει ο νόμος του Stokes

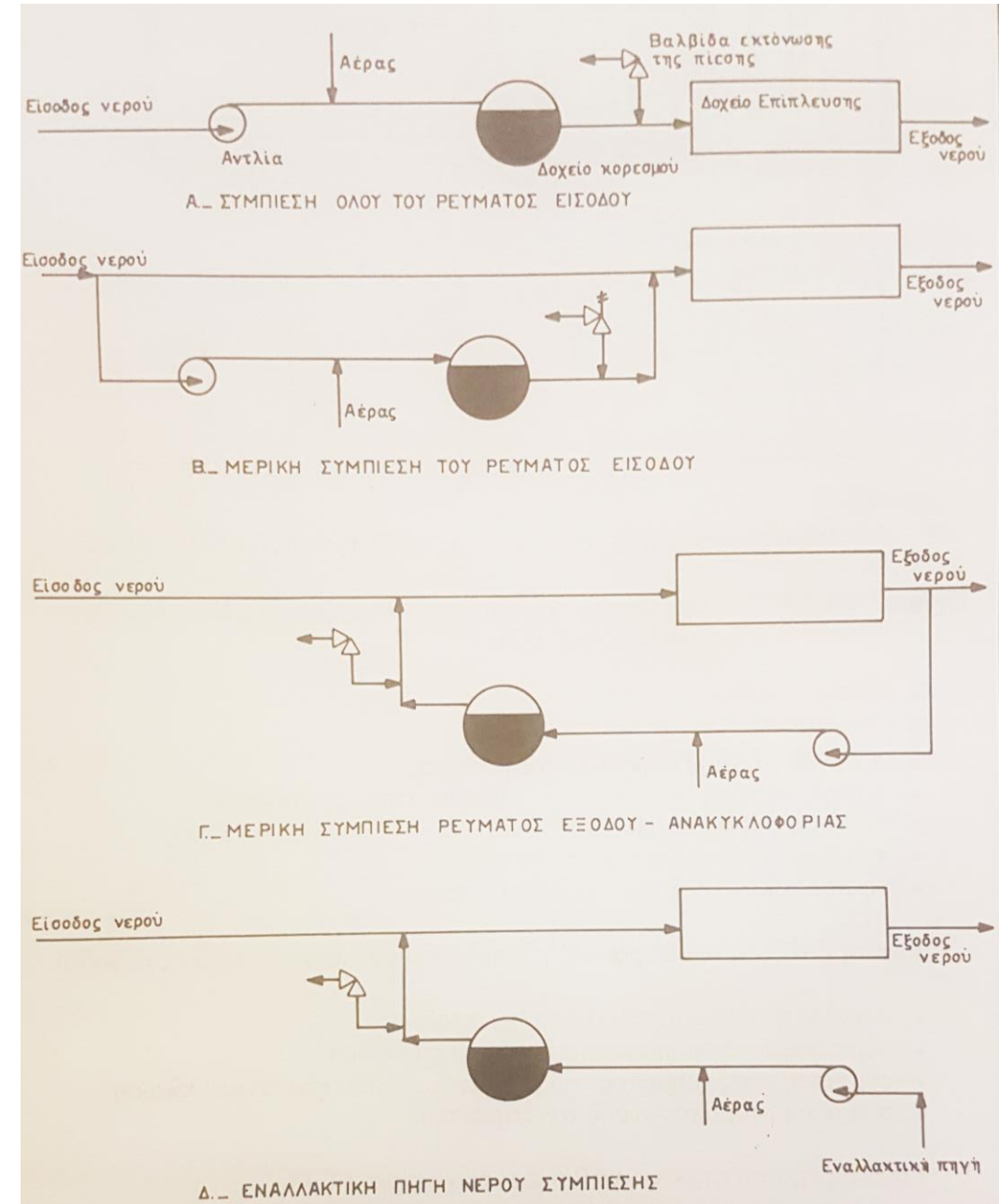
$$v_{pb} = \frac{g(\rho_{\text{water}} - \rho_{pb})d_{pb}^2}{18\mu}$$



ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΑΕΡΑ (DISSOLVED AIR FLOTATION)

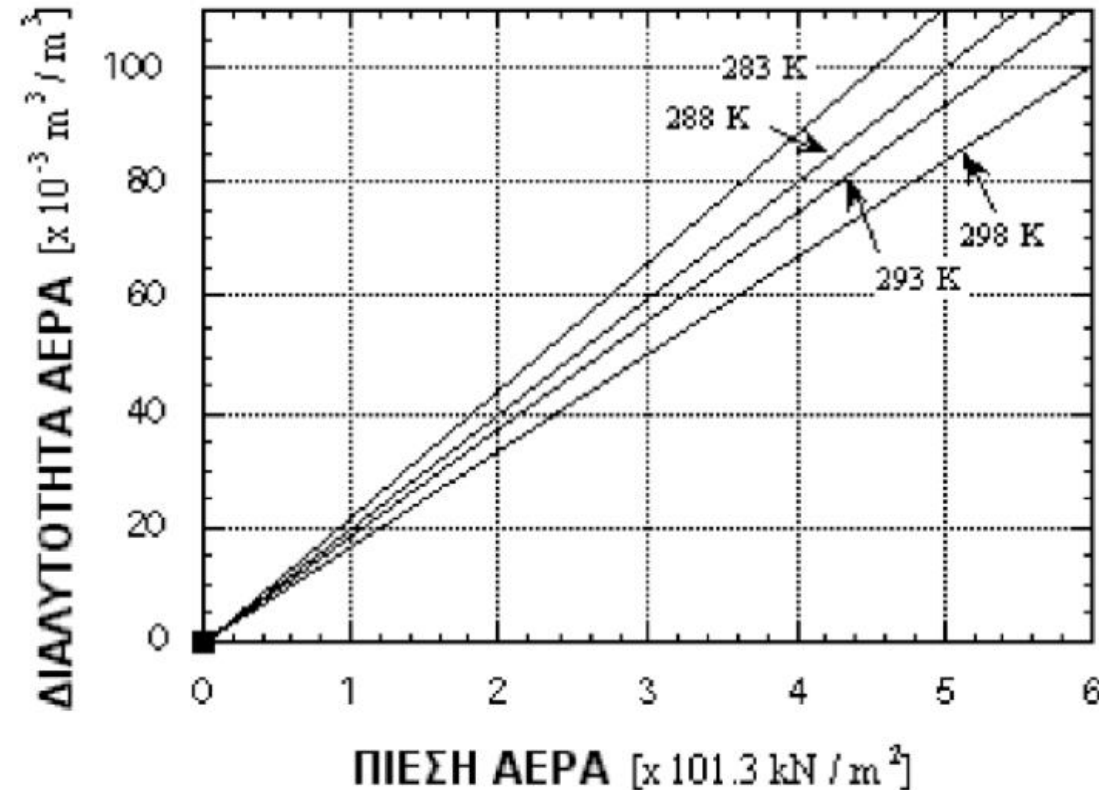
Για τη διάλυση του αέρα υπό πίεση χρησιμοποιούνται πολλές μέθοδοι:

- συνολική συμπίεση του ρεύματος εισόδου
- συμπίεση ενός τμήματος του ρεύματος εισόδου
- συμπίεση ενός τμήματος του ρεύματος εξόδου για ανακύκλωση
- συμπίεση ρεύματος νερού ανεξάρτητου



ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Η διάλυση του αέρα στο νερό ακολουθεί το νόμο του Henry, κατά τον οποίο η αύξηση γενικά της εφαρμοζόμενης πίεσης στο σύστημα, προκαλεί την αύξηση της διαλυτότητας του αέρα στο νερό.



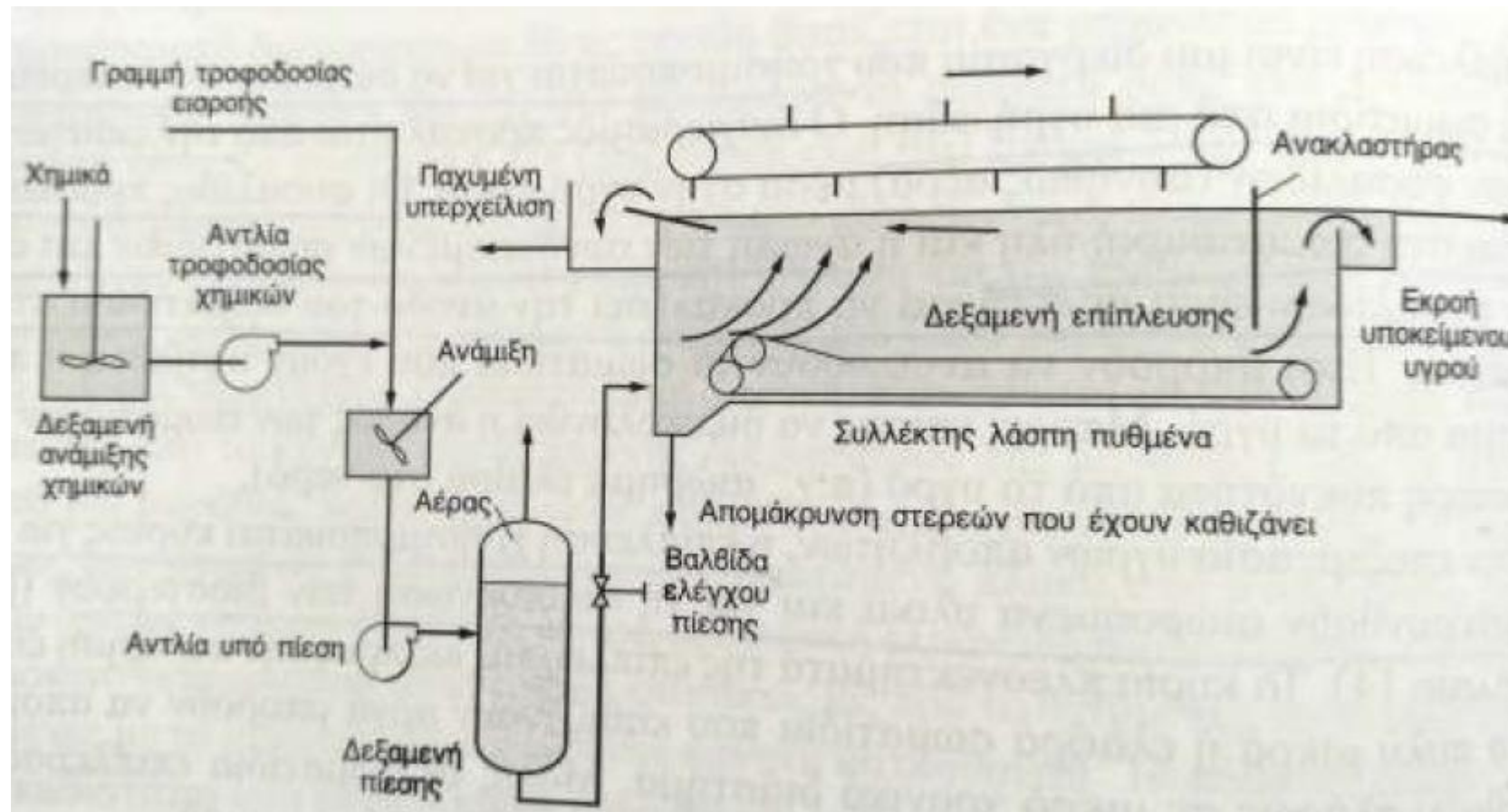
Δύο επιμέρους παραλλαγές του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

α) χωρίς ανακύκλωση της ροής, δηλαδή όλη η ροή διέρχεται από μια δεξαμενή συμπίεσης - γίνεται συμπίεση ολόκληρης της παροχής του υγρού αποβλήτου (σε μικρές μονάδες)

β) με ανακύκλωση της ροής, δηλαδή η ροή ανακύκλωσης διέρχεται από μια δεξαμενή συμπίεσης όπου συμπιέζεται πριν αναμιχθεί με το μη συμπιεσμένο ρεύμα πριν την είσοδο στη δεξαμενή επίπλευσης (σε μεγάλες μονάδες)

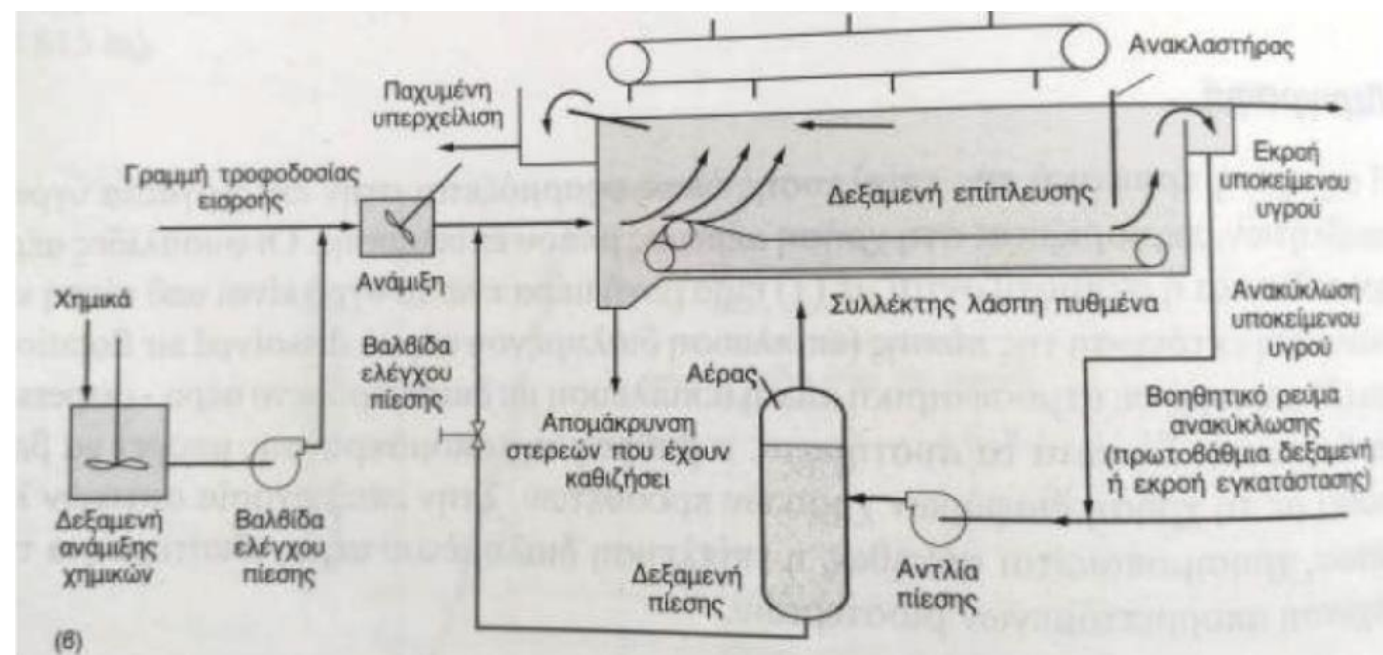
ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΑΕΡΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Χωρίς ανακύκλωση γίνεται συμπίεση ολόκληρης της παροχής του υγρού αποβλήτου (η ροή διέρχεται από μια δεξαμενή συμπίεσης)



Με ανακύκλωση, η ροή της ανακύκλωσης διέρχεται από δεξαμενή συμπίεσης (συμπίεση μέρους της παροχής) και εν συνεχεία αναμιγνύεται με την παροχή εισόδου πριν την είσοδο στη δεξαμενή επίπλευσης.

Για εφαρμογές καθαρισμού νερού που απαιτούν το διαχωρισμό/ απομάκρυνση ευαίσθητων κροκίδων (προερχομένων από προηγούμενη κροκίδωση) (πχ. πόσιμο νερό), το καταλληλότερο σύστημα είναι η επίπλευση με μερική ανακύκλωση της ροής.



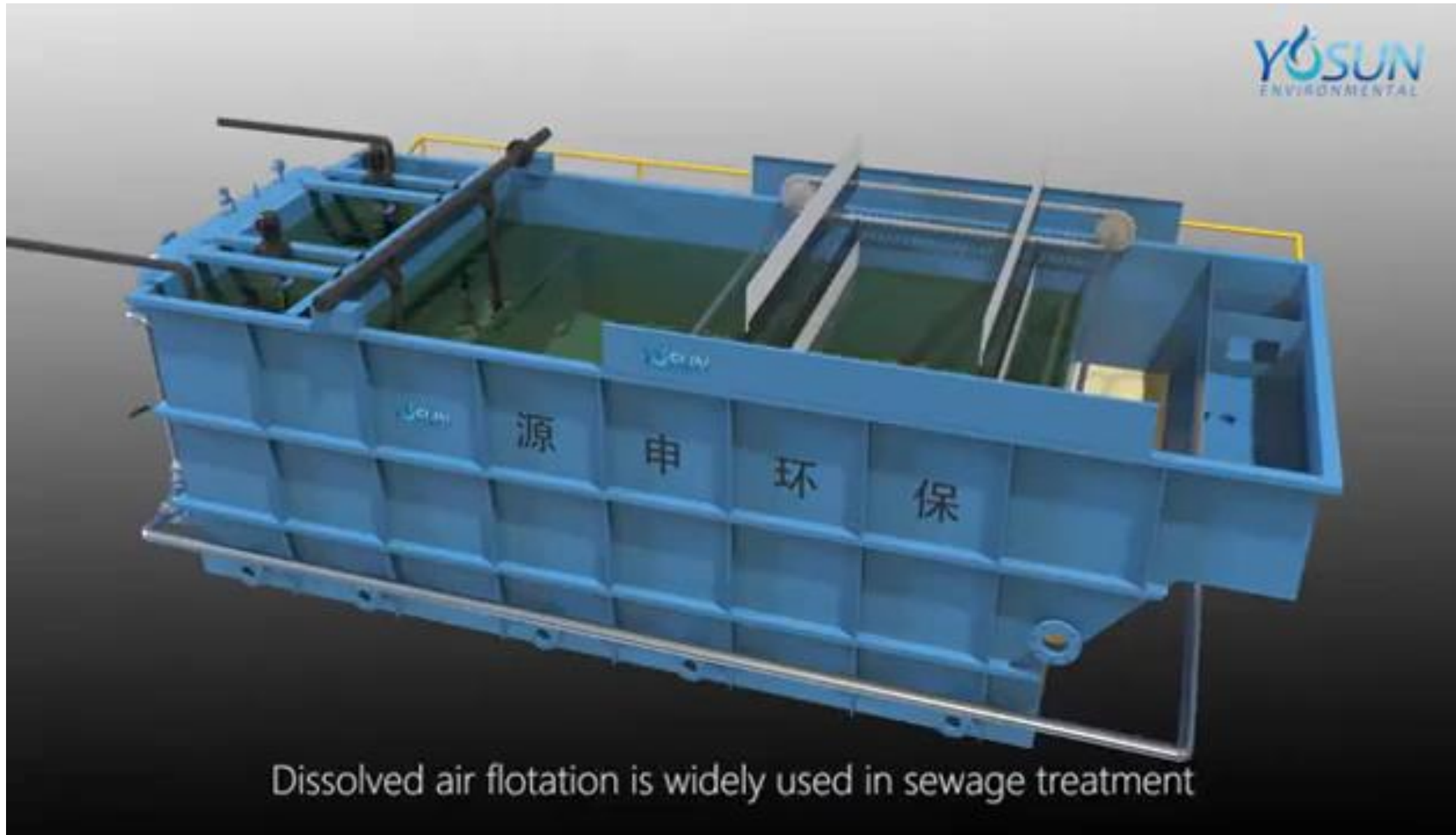
Επίπλευση με μερική ανακύκλωση της ροής

Κατά τη διεργασία αυτή, όλο το υγρό απόβλητο ρέει μέσα από τη δεξαμενή επίπλευσης.

Μέρος του καθαρισμένου αποβλήτου ανακυκλώνεται, συμπιέζεται και υφίσταται κορεσμό με αέρα.

Το ανακυκλωμένο, κορεσμένο και καθαρισμένο αυτό νερό εισάγεται κατόπιν στην δεξαμενή επίπλευσης μέσω μιας κατάλληλης διάταξης ελάττωσης της πίεσης και ανακατεύεται με το προς κατεργασία υγρό απόβλητο.

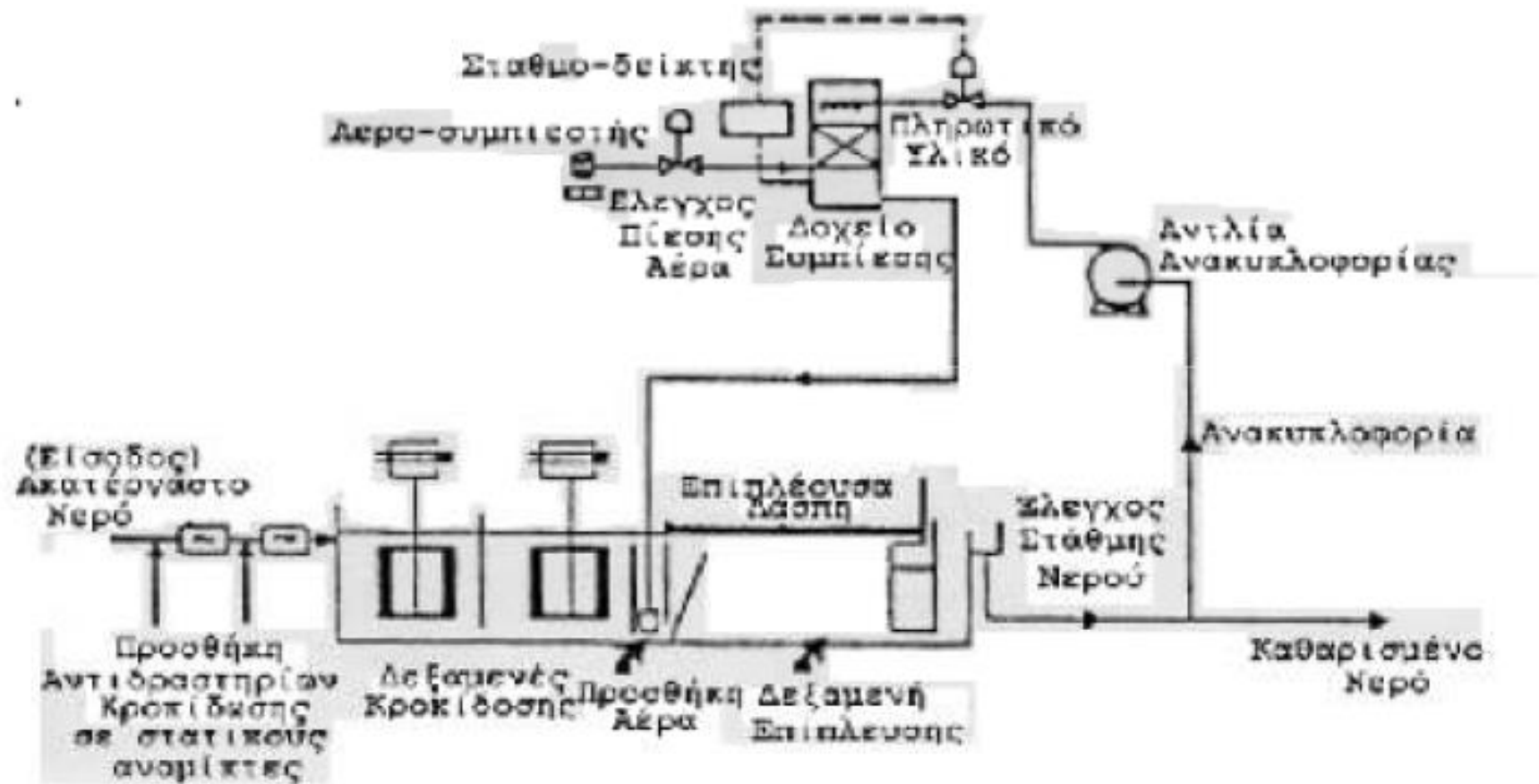
Οι φυσαλίδες προσκολλώνται στα κροκιδώματα, που επιπλέουν στην επιφάνεια. Το επίπλευσμα απομακρύνεται από την επιφάνεια, ενώ το καθαρισμένο νερό από τον πυθμένα της δεξαμενής επίπλευσης.



ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ ΜΕ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΑΕΡΑ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ

Επίπλευση με μερική ανακύκλωση της ροής.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ



(α)

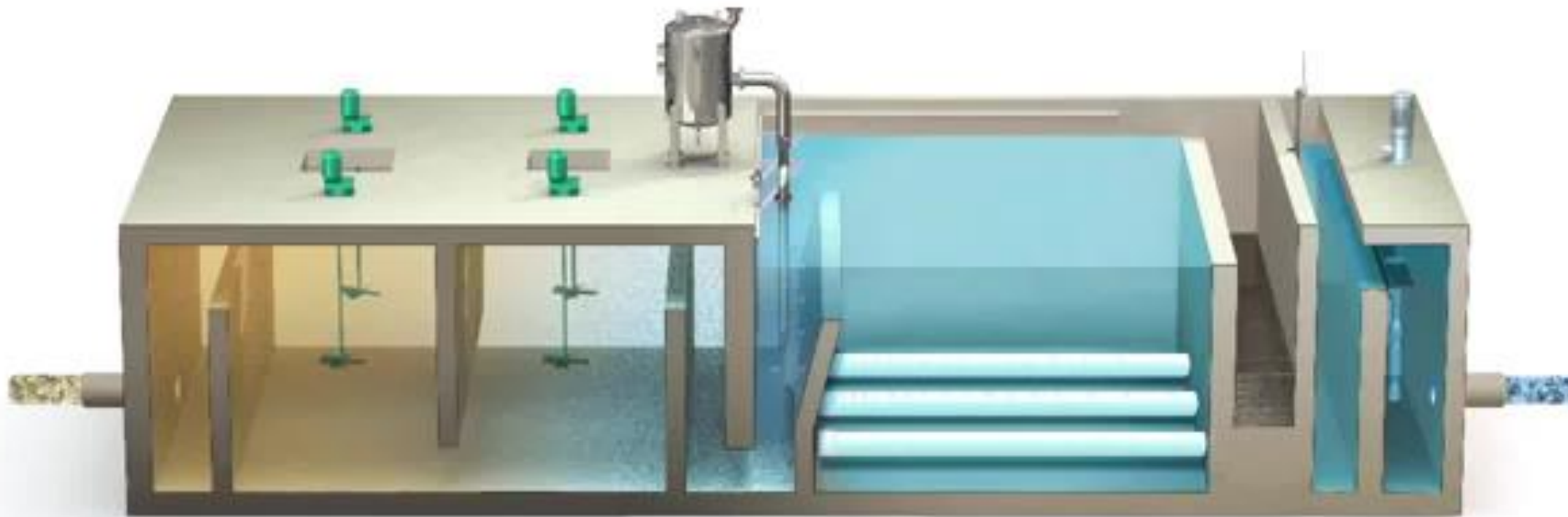
Η επίπλευση υπό κενό είναι ιστορικά η πρώτη εφαρμογή της επίπλευσης για τον καθαρισμό υγρών αποβλήτων (εργοστασίου παραγωγής χαρτοπολτού, με σκοπό την ανάκτηση ινών λιγνίνης από τα υγρά απόβλητα, στη Σουηδία - γύρω στο 1930).

Κατά τη μέθοδο αυτή, στο υγρό απόβλητο εφαρμόζεται ελαττωμένη πίεση (υποπίεση), οπότε ελαττώνεται η διαλυτότητα του αέρα που βρίσκεται ήδη διαλυμένος σ' αυτό, με αποτέλεσμα ο επιπλέον αέρας, που ήταν διαλυμένος κάτω από την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης, να εμφανίζεται τώρα με τη μορφή φυσαλίδων μικρής διαμέτρου, που προκαλούν την επίπλευση.



AquaDAF®

DISSOLVED AIR FLOTATION HIGH-RATE CLARIFIER



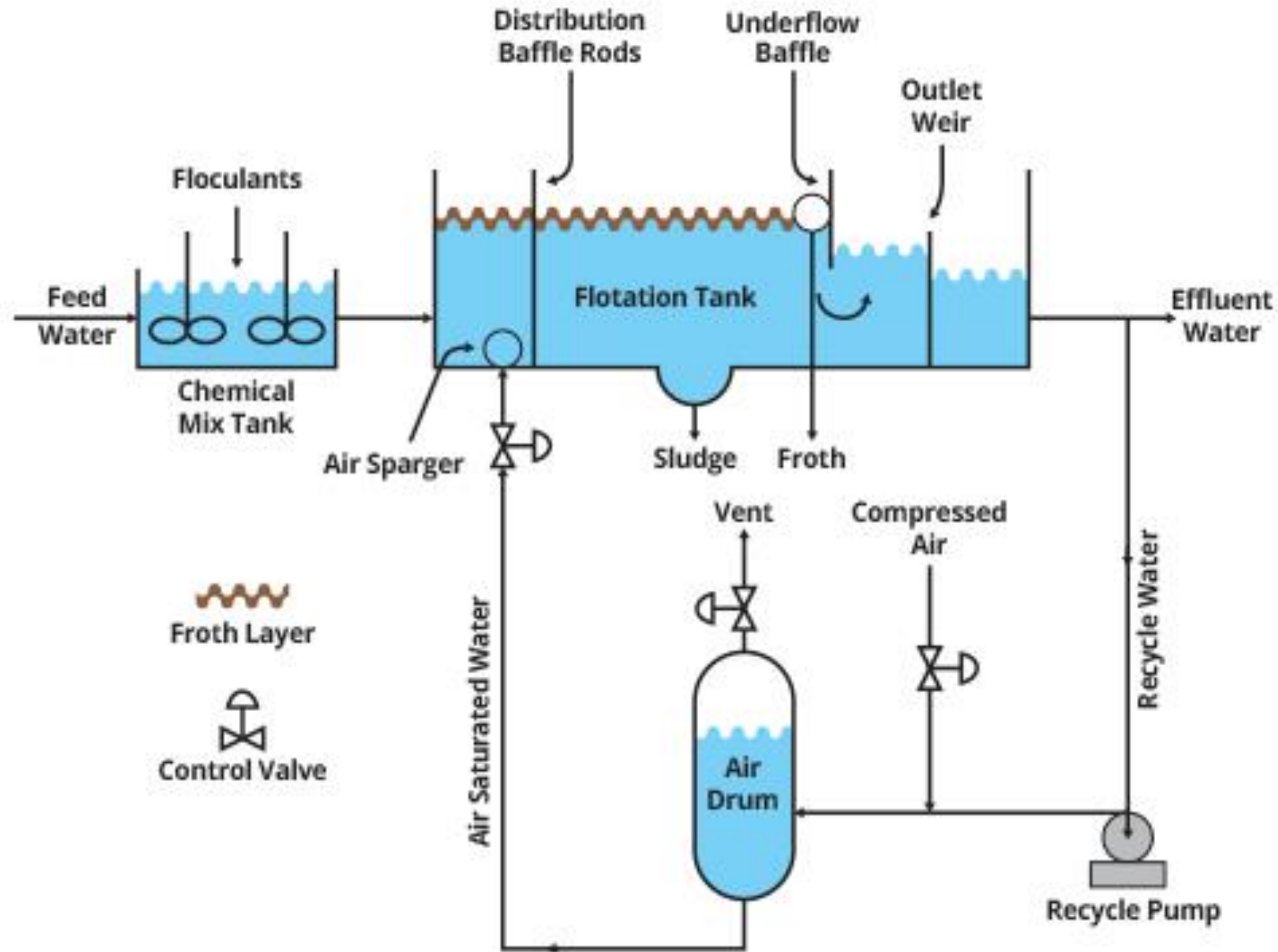
Η ηλεκτρολυτική επίπλευση στηρίζεται στην παραγωγή φυσαλίδων οξυγόνου και υδρογόνου που προκύπτουν από την ηλεκτρολυτική διάσπαση του νερού.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για την πύκνωση της ιλύος των αποβλήτων.

Συχνά στην επίπλευση χρησιμοποιούνται χημικά πρόσθετα είτε:

- Για τη δημιουργία συσσωματωμάτων (οπότε τα πρόσθετα ονομάζονται κροκιδωτικά)
- Για τη μεταβολή των επιφανειακών ιδιοτήτων των σωματιδίων με αποτέλεσμα την αύξηση πρόσφησης των φυσαλίδων στα στερεά (τα πρόσθετα σε αυτήν την περίπτωση είναι επιφανειακώς ενεργές ουσίες)

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ



- Λόγος αέρα/στερεά (A/S)

Μονάδα: mL αέρα / mg στερεών

- Συγκέντρωση στερεών στην εισροή
- Ασκούμενη πίεση, P

Μονάδα: atm

- Επιφανειακή φόρτιση (ταχύτητα ανόδου σωματιδίων)

Μονάδα: L/m²*min ή m³/m²/hr

- Ποσοστό εκροής που ανακυκλοφορείται και συμπιέζεται

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Μεταβλητή	Εύρος τιμών
Όγκος αέρα/Μάζα στερεών	0,005-0,060 mL/mg
Ασκούμενη πίεση	2,7-3,5 atm (275-350 kPa)
Επιφανειακή φόρτιση (ταχύτητα ανόδου σωματιδίων)	8-160 L/m ² min
Ποσοστό εκροής που ανακυκλοφορεί και συμπιέζεται	15-120 %

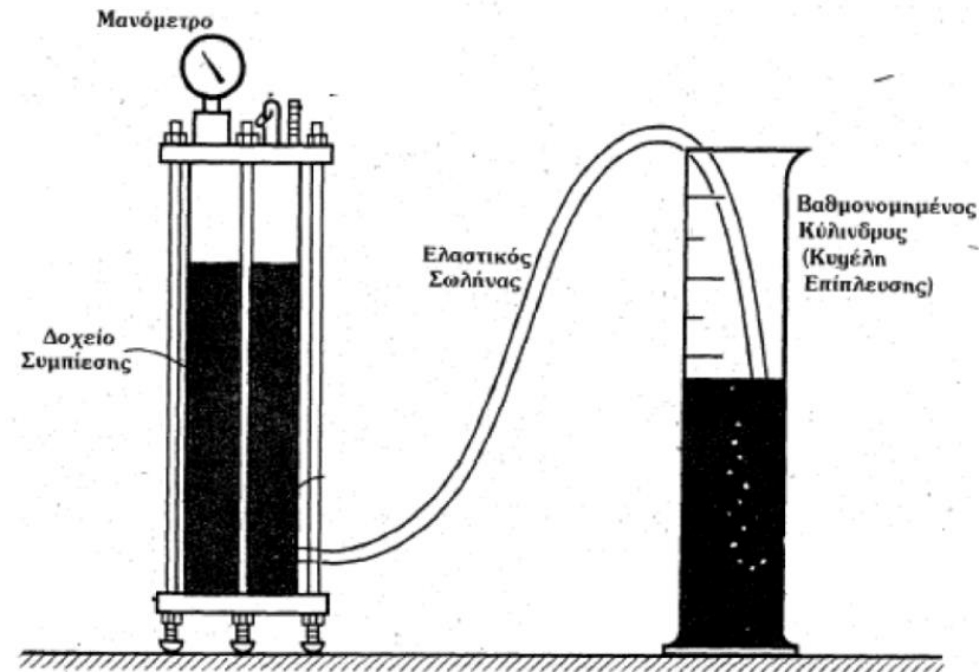
Παράμετρος	Αφαίρεση αιωρούμενων στερεών	Πύκνωση ιλύος
Πίεση (atm)	1,7-4,8	2,8-4,8
Σχέση A/S	0,01-0,1	0,02-0,03
Χρόνος επίπλευσης (min)	20-60	Μεχρι 180
Υδραυλική επιφανειακή Φόρτιση ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)	40-120	20-100
Ανακυκλοφορία (%)	5-120	30-150
Φόρτιση στερεών ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{d}$)	-	220-450
Στερεά στο απόβλητο (g/L)	-	2-5
Στερεά στο διαύγασμα (mg/L)	10-20	20-40
Στερεά στο επιπλέον (g/L)	5-10	30-40

Η διεργασία εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υγρού αποβλήτου → οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού θα πρέπει να εξαχθούν και από πιλοτικές μελέτες

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Η σημαντικότερη σχεδιαστική μεταβλητή είναι ο **λόγος όγκου αέρα/μάζα στερεών (A/S)** που απαιτείται για τον επιθυμητό βαθμό διαύγασης ή συμπύκνωσης της ιλύος.

Ο λόγος αυτός εξαρτάται από το είδος του αιωρήματος και υπολογίζεται μόνο πειραματικά με εργαστηριακή συσκευή επίπλευσης.



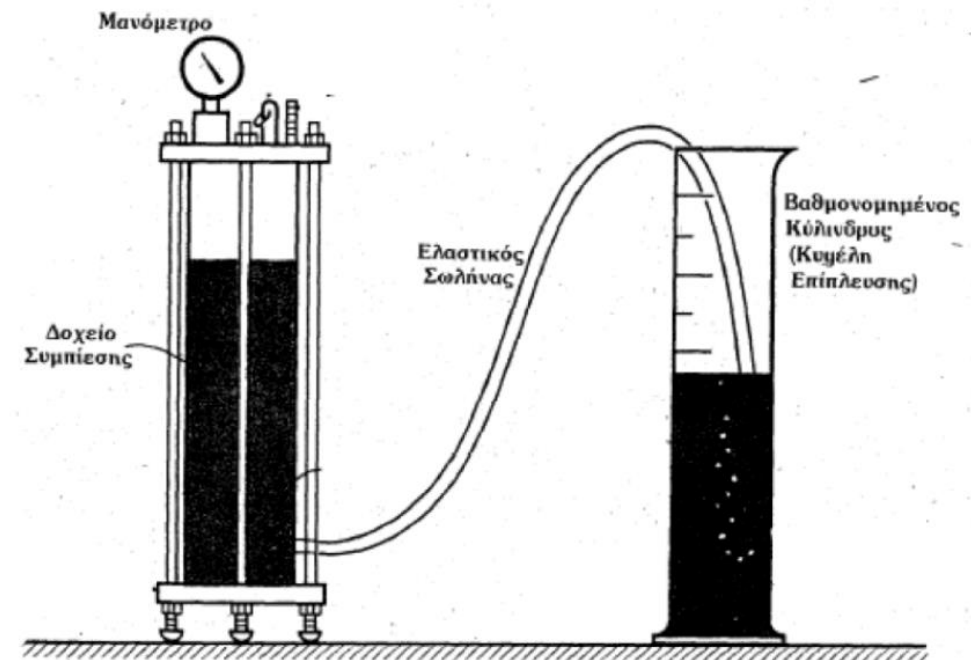
Εργαστηριακή συσκευή επίπλευσης

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Ο κορεσμένος αέρας εισάγεται μέσω κατάλληλης διάταξης μείωσης της πίεσης (π.χ. βελονοειδής βαλβίδα) στον ογκομετρικό κύλινδρο που περιέχει το προς κατεργασία υγρό απόβλητο, όπου η πίεση ελαττώνεται απότομα στην ατμοσφαιρική, με αποτέλεσμα το νερό/ απόβλητο να γίνεται υπέρκορο και ο επιπλέον αέρας που είχε διαλυθεί στη μεγαλύτερη πίεση, απελευθερώνεται τώρα με τη μορφή φυσαλλίδων πολύ μικρής διαμέτρου (20-100 μm), που τελικά προκαλούν την επίπλευση.

Τυπικές τιμές του λόγου A/S :

0,005 - 0,06 mL(αέρα)/mg(στερεά)



Εργαστηριακή συσκευή επίπλευσης

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Σε σύστημα επίπλευσης, η μάζα του εκλυόμενου αέρα (A) λαμβάνεται μέσω μέτρησης του διαλελυμένου αέρα στο νερό (mg/L) στην εισροή και εκροή. Έτσι

$$A = A_1 - A_2$$

A = mg/d (kg/d) εκλυόμενου αέρα με την εκτόνωση

A₁ = mg/d (kg/d) διαλελυμένου αέρα στο σημείο 1 (εισροή)

A₂ = mg/d (kg/d) διαλελυμένου αέρα στο σημείο 2 (εκροή)

και $A = A_1 - A_2 = Q_o(C_1 - C_2)$ (συστήματα χωρίς ανακυκλοφορία)

$A = A_1 - A_2 = R(C_1 - C_2)$ (συστήματα με ανακυκλοφορία)

Q = ροή (L/h)

C₁, C₂ = συγκέντρωση (mg/L) αέρα στις πιέσεις P₁, P₂

R = ανακυκλοφορία (L/h)

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Αν S_o είναι η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών (mg/L) στην τροφοδότηση, η τιμή S των αιωρούμενων στερεών (kg/d) στη σχέση A/S θα είναι

$$S = Q_o S_o$$

και η σχέση A/S διαμορφώνεται για την απλούστερη περίπτωση:

$$A/S = (C_1 - C_2)/S_o \quad (\text{συστήματα χωρίς ανακυκλοφορία})$$

$$A/S = (RQ_o)(C_1 - C_2)/S_o \quad (\text{συστήματα με ανακυκλοφορία})$$

Η διαλυτότητα S_a στο νερό ακολουθεί το νόμο του Henry και εξαρτάται από την πίεση του αέρα στο νερό και τη θερμοκρασία του.

Στα απόβλητα επηρεάζεται ακόμη και από τα συστατικά που αυτά περιέχουν.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Η διαλυτότητα του αέρα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα:

Θερμοκρασία (°C)	0	10	20	30
Διαλυτότητα αέρα, ml/l	29,2	22,8	18,7	15,7

Για ενδιάμεσες θερμοκρασίες η διαλυτότητα του αέρα μπορεί να υπολογιστεί με παρεμβολή.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Η τιμή S_a μετατρέπεται σε συγκέντρωση C_2 λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα του αέρα ρ_a :

$$S_a \rho_a = C_2 \quad [\text{cm}^3/\text{L}][\text{mg}/\text{cm}^3] = [\text{mg}/\text{L}]$$

και με $\rho_a = 1,3 \text{ mg}/\text{cm}^3$ λαμβάνουμε:

$$C_2 = 1,3S_a \quad (\text{συστήματα χωρίς ανακυκλοφορία})$$

$$A/S = (RQ_o)(C_1 - C_2)/S_o \quad (\text{συστήματα με ανακυκλοφορία})$$

Χαρακτηρίζουμε με Φ τη σχέση διαλυτότητας του αέρα στο δοχείο κράτησης με αυξημένη πίεση προς αυτή σε ατμοσφαιρική πίεση, τότε:

$$\Phi = C_1 / C_2 = P/1 = P$$

P = εφαρμοζόμενη πίεση. Επειδή ο κορεσμός δεν είναι πλήρης:

$$\Phi = fP$$

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Η τιμή του συντελεστή f εξαρτάται από τη μορφή του δοχείου συμπίεσης.

Σε 20°C και ένα πλαίσιο πίεσης 2-4 bar, η τιμή του f είναι 0,5-0,8.

Με την πλέον συντηρητική τιμή $f = 0,5$ οι τιμές Φ κυμαίνονται μεταξύ 1-2 bar.

Τότε η $\Phi = C_1 / C_2 = P/1 = P$ γίνεται

$$C_1 = \Phi C_2$$

και λαμβάνοντας υπόψη τις τελευταίες εξισώσεις:

$$C_1 = fP1,3S_a$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές C_1 και C_2 λαμβάνουμε τις σχέσεις A/S

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3S_a(fP - 1)}{S_o}$$

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Για ένα σύστημα όπου συμπιέζεται όλη η παροχή, η σχέση ανάμεσα στην αναλογία αέρα/στερεά, την πίεση λειτουργίας και τη συγκέντρωση των στερεών του επιπλεύσματος (λάσπης), δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3S_a(fP - 1)}{S_o}$$

- A/S = η αναλογία αέρα-στερεών (mL αέρα/mg στερεά)
- S_a = η διαλυτότητα του αέρα (mL/L)
- f = το κλάσμα του αέρα που διαλύεται στην πίεση P , συνήθως 0,5
- P = η απόλυτη πίεση στο δοχείο κορεσμού (atm). Η απόλυτη πίεση είναι το άθροισμα της μανομετρικής πίεσης (της πίεσης που δείχνει το μανόμετρο) και της βαρομετρικής πίεσης (1 atm)
- S_o = η συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην εισροή, (mg/L).

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Από την εξίσωση προκύπτει πως, εάν ο λόγος A/S έχει επιλεγεί, ο συντελεστής f είναι σταθερός και το S_o έχει προσδιοριστεί, τότε δίδεται η πίεση P :

$$P = \left(\frac{1}{f} \right) \frac{(A/S)S_o}{1,3S_a + 1}$$

Ο σχεδιασμός συστημάτων επίπλευσης δίχως ανακυκλοφορία περιλαμβάνει τον υπολογισμό της πίεσης P και τον προσδιορισμό του εμβαδού της απαιτούμενης επιφάνειας της δεξαμενής επίπλευσης.

Η επιφάνεια υπολογίζεται βάσει τιμών της Υδραυλικής Επιφανειακής Φόρτισης μεταξύ 117-234 $m^3/m^2/d$

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Όταν, όμως, μέρος μόνον της ροής υφίσταται συμπίεση, δηλ για μονάδες επίπλευσης στις οποίες συμπιέζεται μόνο η ανακυκλοφορία, τότε το 2ο σκέλος της προηγούμενης σχέσης, πολλαπλασιάζεται με R/Q , δηλαδή:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3S_a(fP - 1)R}{S_oQ}$$

R είναι η ανακύκλωση που συμπιέζεται (m^3/d) και

Q είναι η αρχική παροχή του ακατέργαστου αποβλήτου (m^3/d).

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Από την τελευταία εξίσωση προκύπτει πως για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, δεν θα πρέπει να δοθεί ως σταθερά μόνο η σχέση A/S , αλλά και η επανακυκλοφόρηση, προτού υπολογιστεί η πίεση P .

Η συνήθης διαδικασία περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της πίεσης P και του λόγου A/S και τον υπολογισμό της απαιτούμενης ανακύκλωσης R :

$$R = \frac{(A/S)Q_o S_o}{1,3S_a(fP - 1)}$$

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ

υπολογίζεται βάσει της ταχύτητας ανόδου (ή επιφανειακής φόρτισης) του συσσωματώματος φυσαλίδας-στερεού και της ογκομετρικής παροχής:

$$V = \frac{Q}{A} \rightarrow A = \frac{Q}{V}$$

A: η επιφάνεια της δεξαμενής επίπλευσης

V: η ταχύτητα ανόδου του συσσωματώματος φυσαλίδας-στερεού,

Q: η ογκομετρική παροχή του αποβλήτου/νερού

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ (ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ)

Καμπύλη συσχέτισης μέσω πειραματικών δεδομένων.

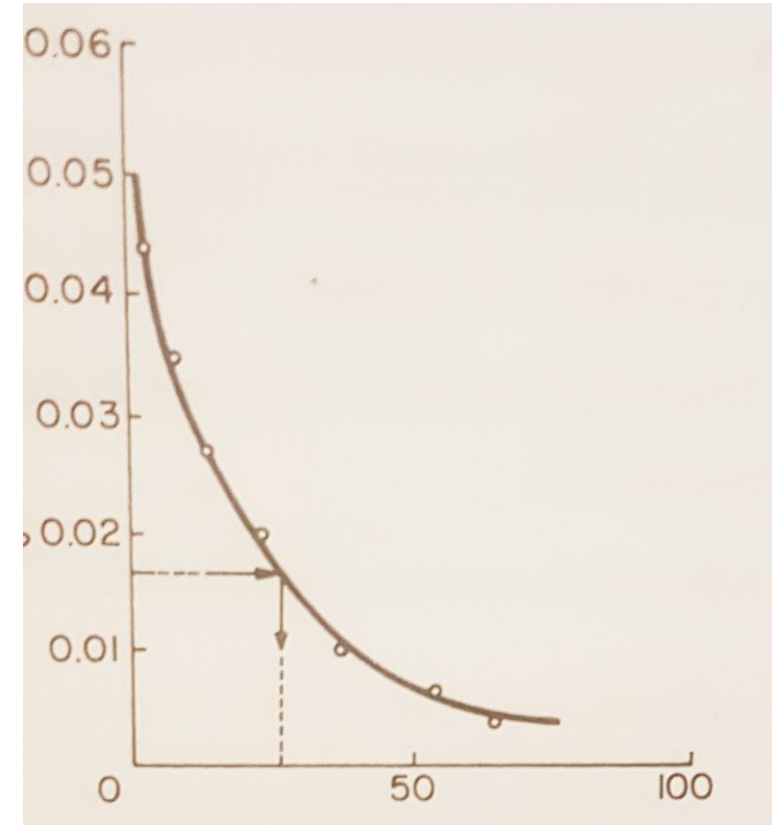
Για δοθείσα παροχή, η ποσότητα στερεών είναι σταθερή.

Η A/S αυξάνει με την αύξηση της παροχής και έκλυσης αέρα.

Προκύπτει ότι εδώ λαμβάνεται ένα διαυγέστερο νερό, δηλ έχουμε χαμηλότερη ποσότητα SS στην εκροή.

Αύξηση του A/S πάνω από μια βέλτιστη τιμή δεν επιφέρει καμία πρόσθετη βελτίωση στην απόδοση

$$A/S = \frac{\text{kg of air released}}{\text{day}} \div \frac{\text{kg of SS in influent}}{\text{day}}$$
$$A/S = \frac{\text{kg αέρα}}{\text{day}} \div \frac{\text{kg στερεά στην εισροή}}{\text{day}}$$

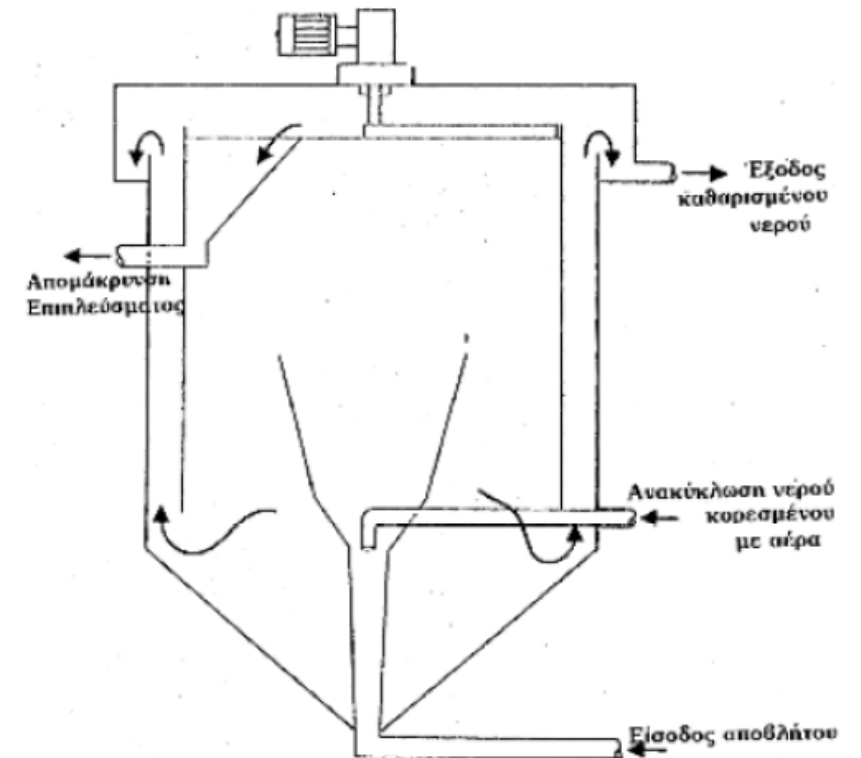


SS in effluent (mg/L)
Αιωρούμενα στερεά στην εκροή (mg/L)

ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές μονάδες επίπλευσης που κατεργάζονται υγρά απόβλητα ή στην περίπτωση πάχυνσης της λάσπης που παράγεται κατά τις διάφορες μεθόδους κατεργασίας των υγρών αποβλήτων, όταν δεν απαιτείται προκαταρκτική κροκίδωση πριν από την επίπλευση

Τυπικό βάθος: 1,5 - 3 m για ρυθμούς υπερχείλισης
 $2-15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$



ΟΡΘΟΓΩΝΙΕΣ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Οι ορθογώνιες δεξαμενές επίπλευσης προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κυκλικές, όπως π.χ. απλούστερος σχεδιασμός, εύκολη εισαγωγή του προς κατεργασία κροκιδωμένου νερού ή υγρού αποβλήτου, εύκολη απομάκρυνση του επιπλεύσματος και σχετικά μικρές απαιτήσεις επιφάνειας (χώρου).

- Βάθος δεξαμενών: περίπου 1.5 m
- Χρόνος παραμονής στις δεξαμενές: συνήθως 5 έως 15 min (εξαρτώμενος από τη φόρτιση και από το βάθος της δεξαμενής)

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Χάρτου	Ανάκτηση ινών	90-98%	
Κονσερβοποιία	Απομάκρυνση TSS	85-95%	
Έτοιμο φαγητό	Απομάκρυνση ελαίων & λιπών	85-95%	
Snack foods & Θαλασσινά			
Διυλιστήρια πετρελαίου	Απομάκρυνση TSS	85-95%	
Πλυντήρια αυτοκινήτων	Απομάκρυνση ελαίων & λιπών	90-95%	
Βιομηχανία χρωμάτων			
Επεξεργασία κοτόπουλου	Απομάκρυνση TSS	85-95%	
Σφαγείο βοοειδών	Απομάκρυνση ελαίων & λιπών	90-95%	
Γαλακτοκομικών	Απομάκρυνση BOD5	80-85%	

ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ - Που τη χρησιμοποιώ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Βυρσοδεψία	Απομάκρυνση TSS	85-95%
------------	-----------------	--------

Απομάκρυνση άλγων

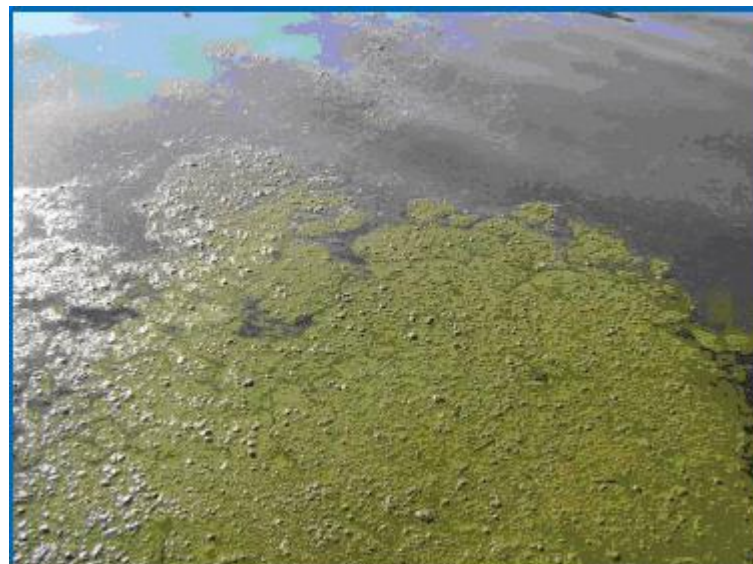
Φαρμακευτική

Υφασματα

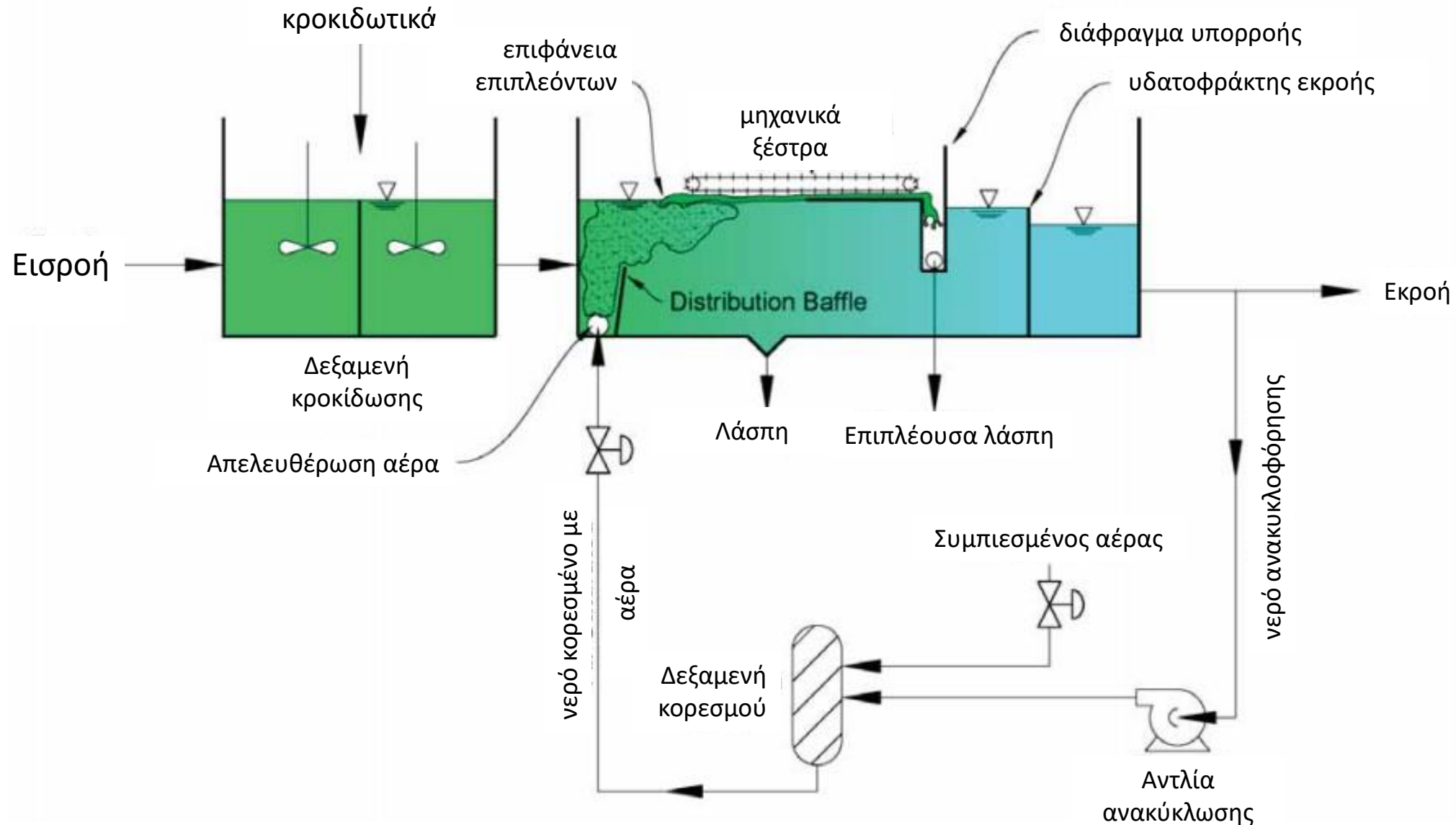
Αστικά λύματα

Απομάκρυνση αλγών από επιφανειακά νερά

- άλγη: δύσκολα στην καθίζηση σε δεξαμενές
- μπλε-πράσινη άλγη (κυανοβακτήρια) παράγουν κυανοτοξίνες, που προκαλούν ερεθισμούς στο δέρμα και στο στομάχι
- παράγουν άσχημες οσμές και γεύση

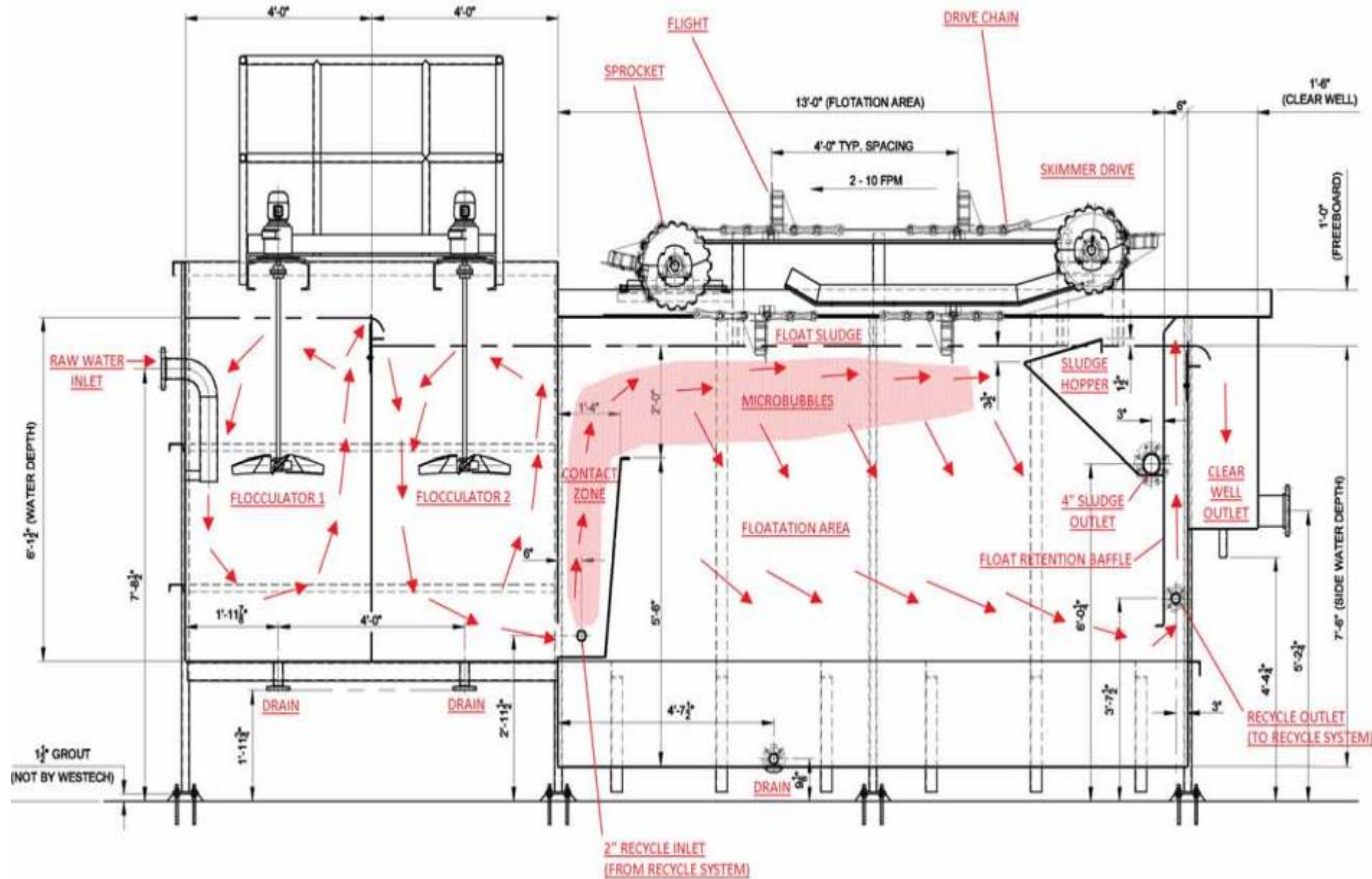


Απομάκρυνση αλγών από επιφανειακά νερά



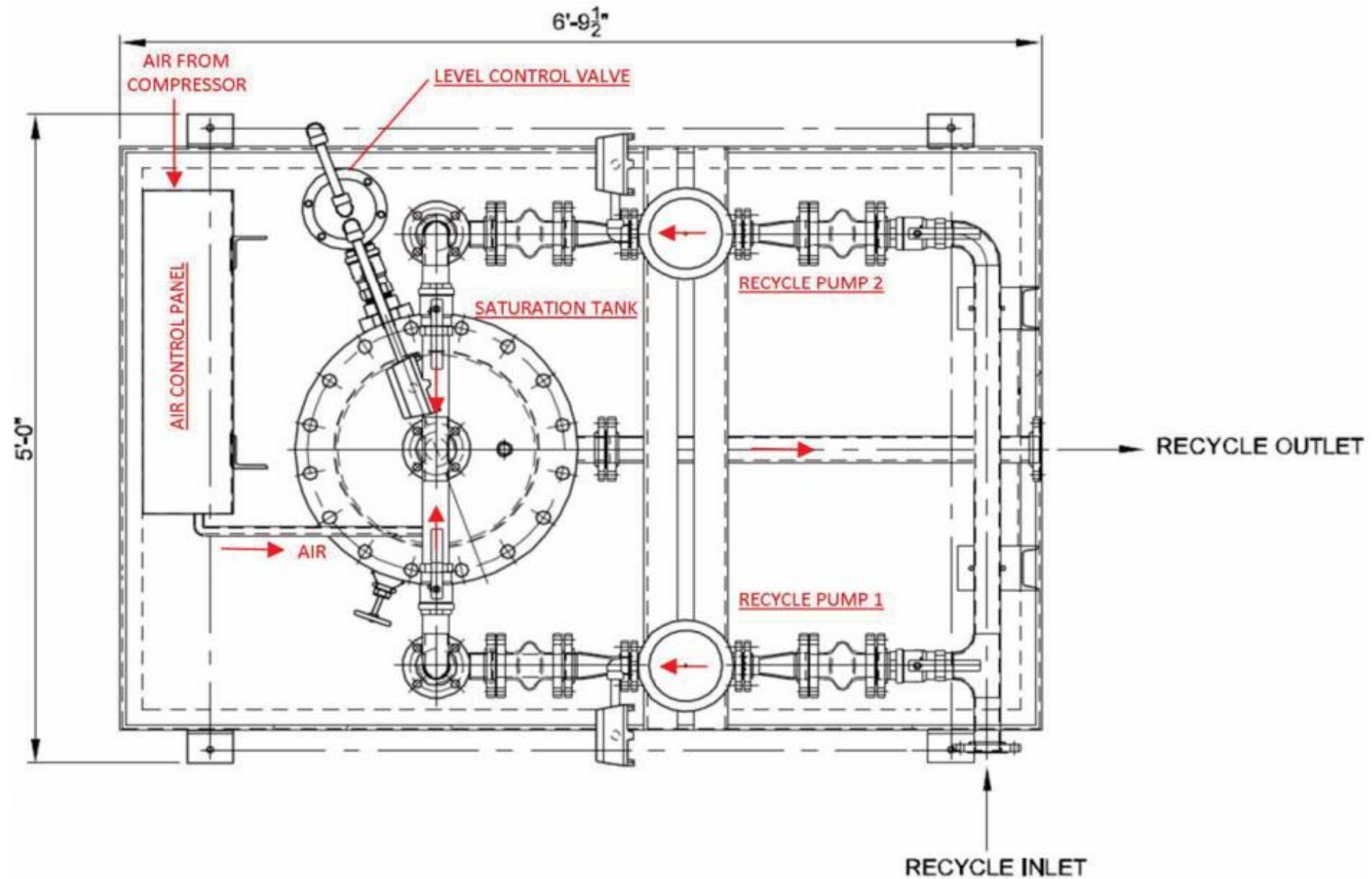
ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ - Που τη χρησιμοποιώ

Απομάκρυνση αλγών από επιφανειακά νερά



ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ - Που τη χρησιμοποιώ

Σύστημα κορεσμού αέρα

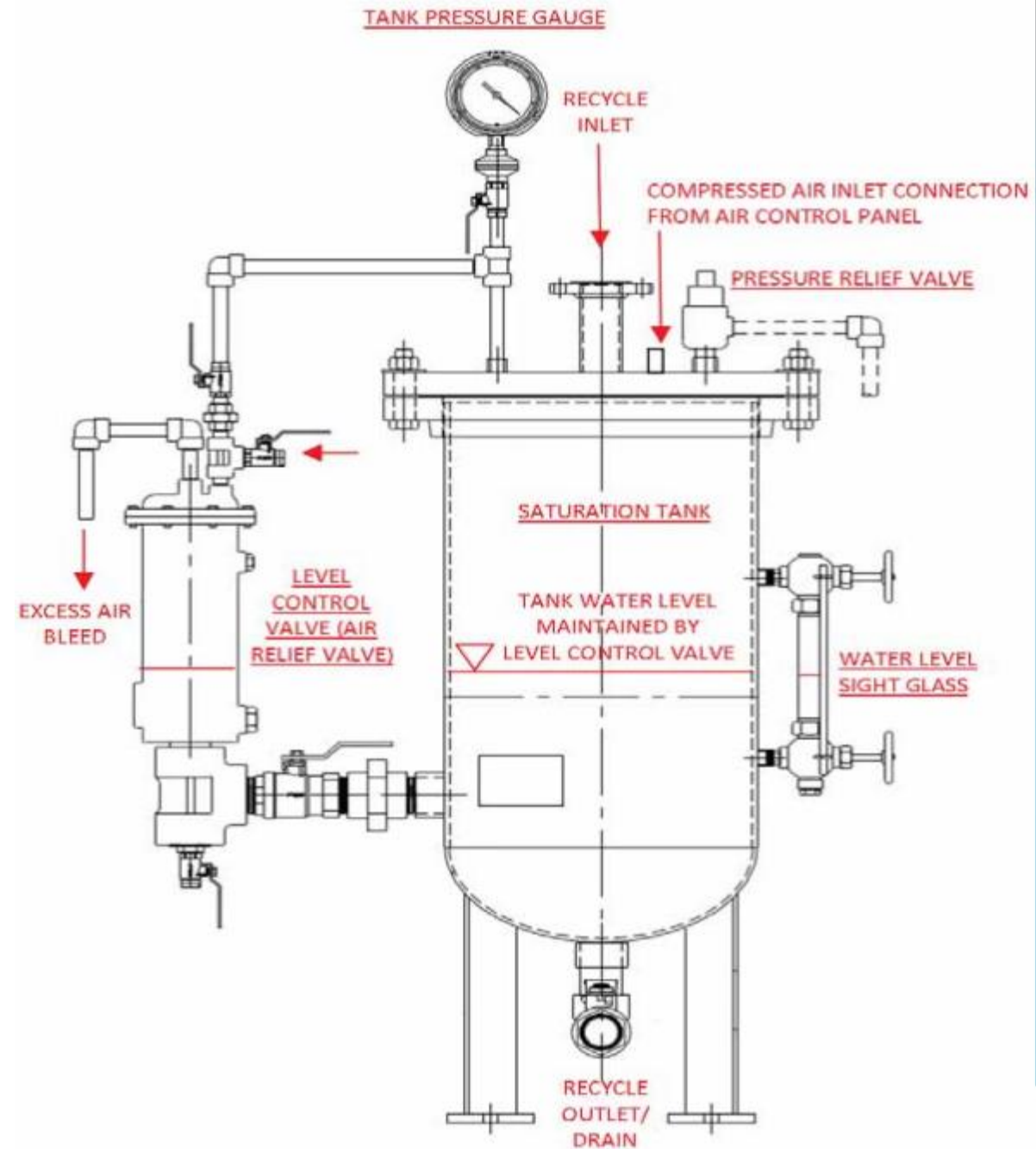


ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ - Που τη χρησιμοποιώ

Σύστημα κορεσμού αέρα

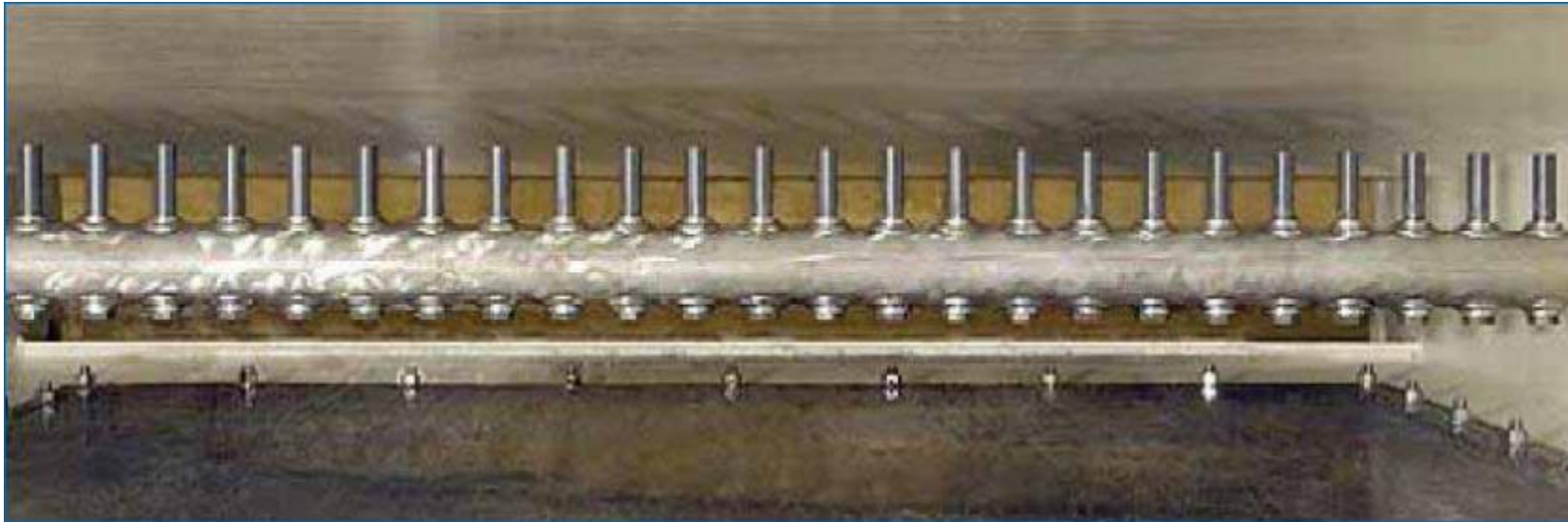


Κρήτης
νικών Περιβάλλοντος

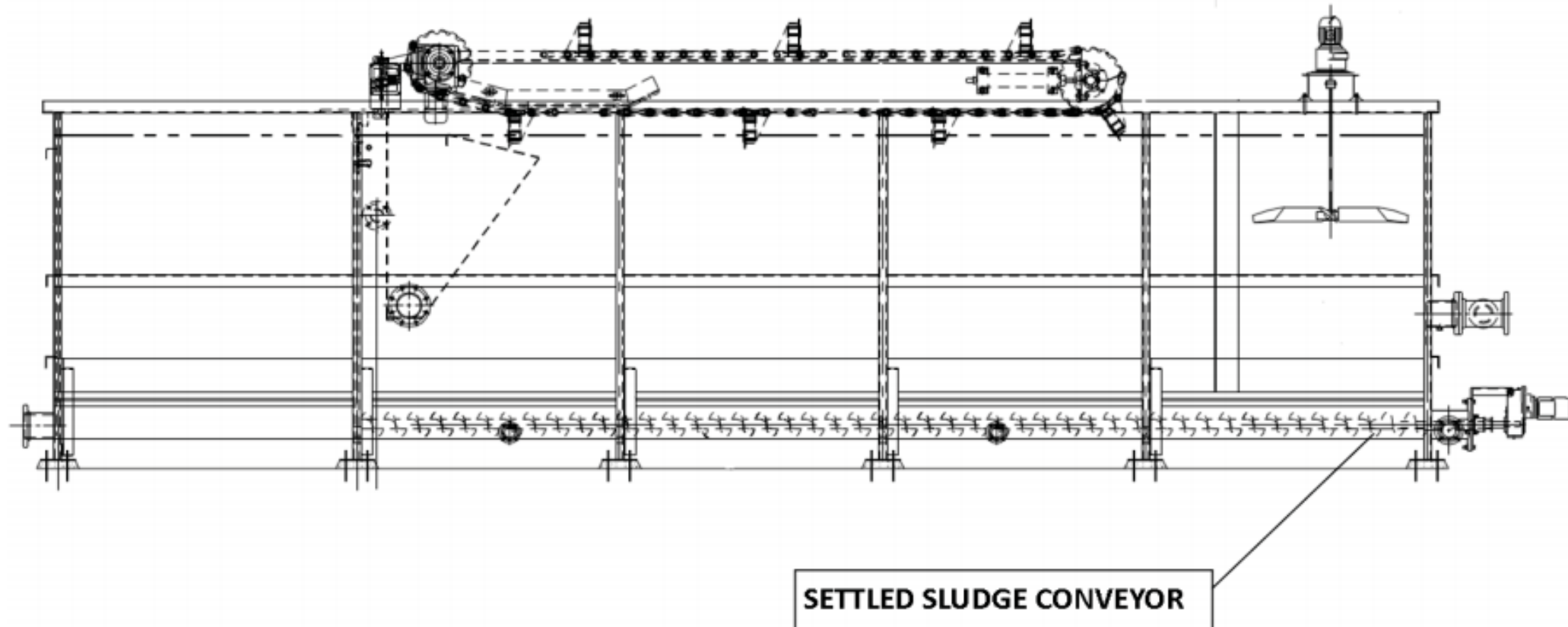


Ακροφύσια απελευθέρωσης αέρα

- μέσα στη δεξαμενή
- έμφραξη ίσως να είναι πρόβλημα
- σχηματισμός μικροφυσαλίδων



Απομάκρυνσης καθιζάνουσας λάσπης



Απομάκρυνση λάσπης - ζώνη επίπλευσης

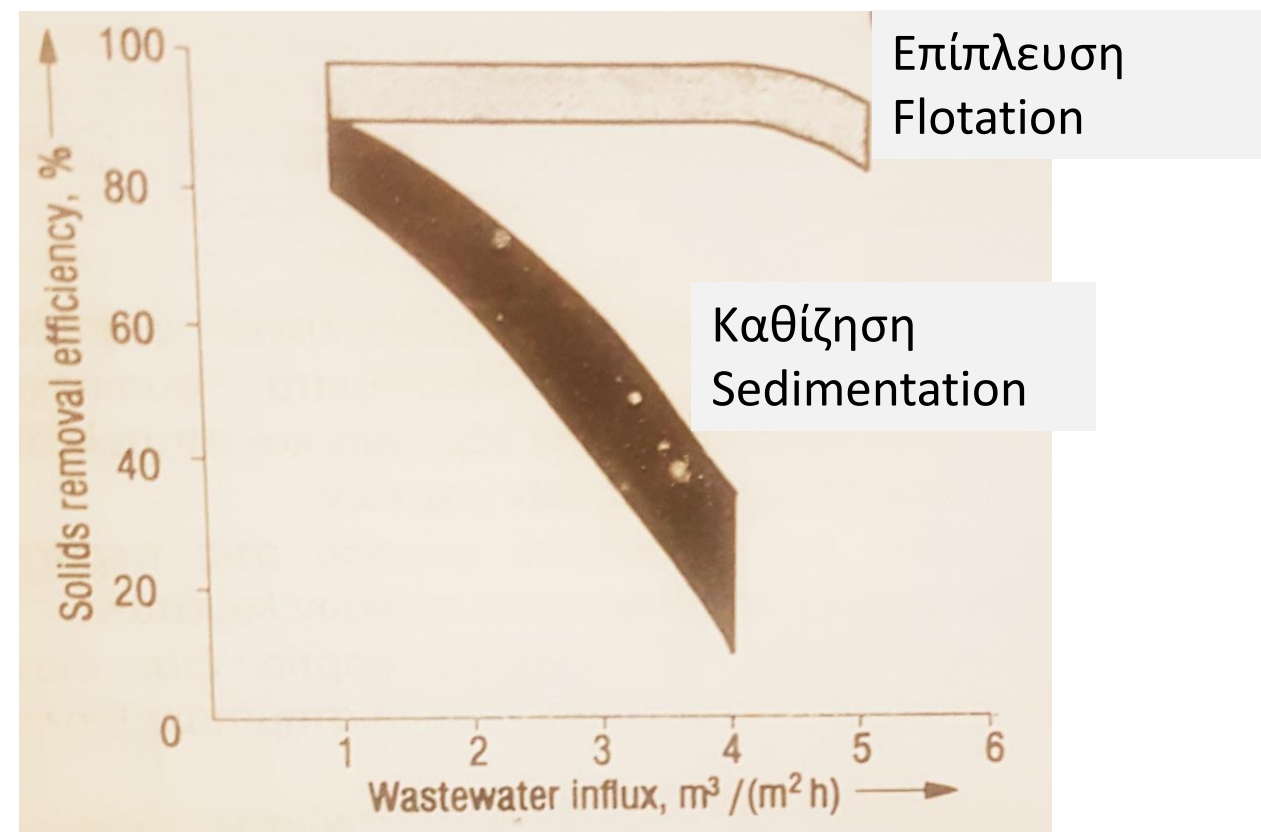




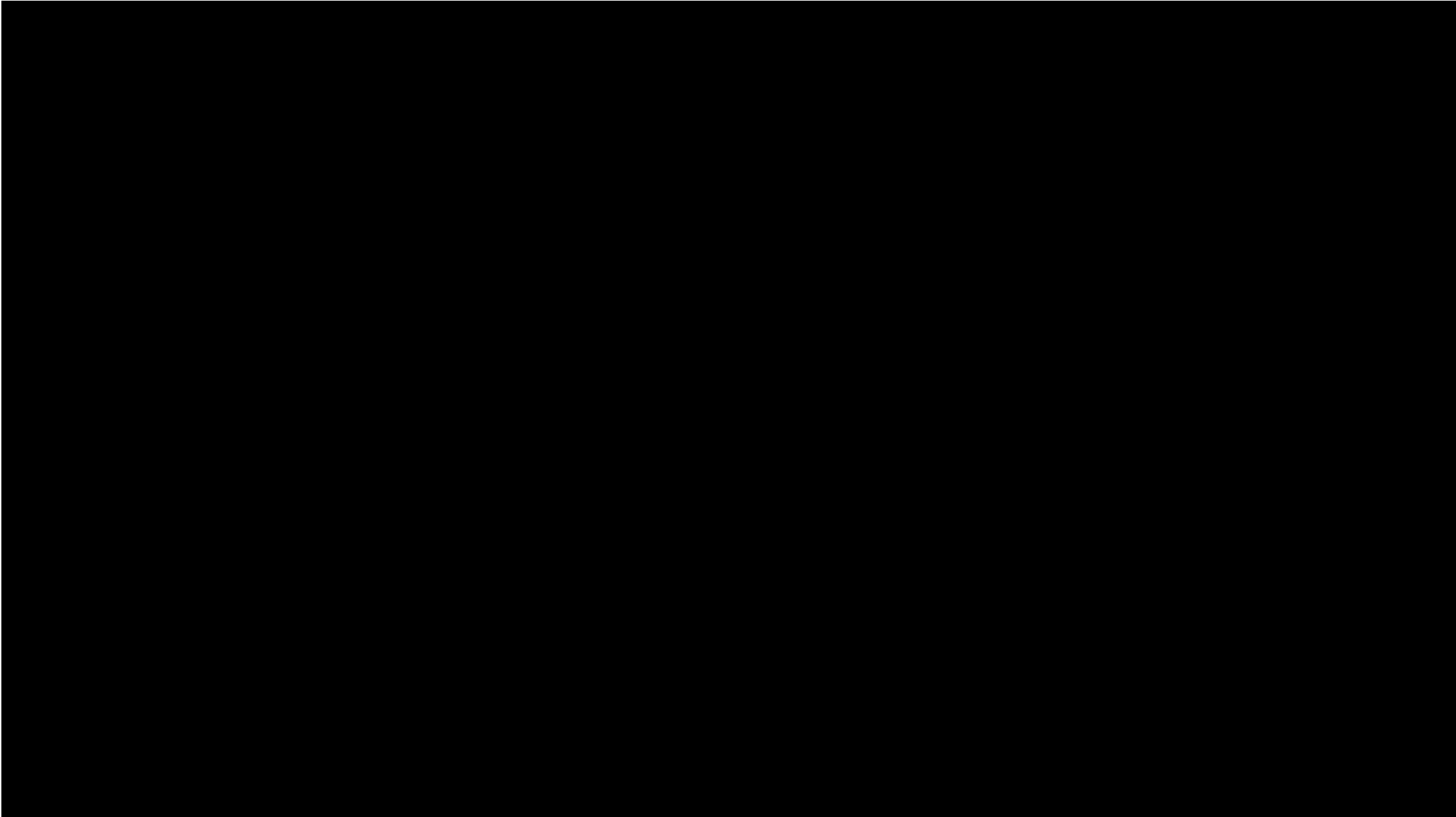
Υγρό απόβλητο	Εισροή		Αφαίρεση	
	Αιωρούμενα στερεά (mg/L)	BOD5 (mg/L)	Αιωρούμενα στερεά (%)	BOD5 (%)
Διύλιση πετρελαίου	441		95,0	
Σφαγείο ζώων	1400	1225	85,6	67,3
Παραγωγή χαρτιού	1180	210	97,5	62,6
Παραγωγή & επεξεργασία φυτικών ελαίων	890	3050	94,8	91,6
Κονσερβοποιία φρούτων και λαχανικών	1350	790	80,0	60,0
Παραγωγή σαπουνιών	390	310	91,5	91,6
Παραγωγή κόλλας	540	1820	94,3	91,8
Αστικά λύματα	240	325	69,0	49,2

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ - ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

- επενδυτικό κόστος για επίπλευση < καθίζησης [μικρότερη επιφάνεια για επίπλευση]
- λειτουργικό κόστος επίπλευσης > καθίζησης
- Ειδικά για ενεργό ιλύ: με επίπλευση λαμβάνεται διπλάσια επιφανειακή φόρτιση σε σύγκριση με την καθίζηση, δηλ. μικρότερο κόστος εγκατάστασης διότι η ανοδική ταχύτητα της ιλύος στην επίπλευση υπερβαίνει την ταχύτητα καθίζησης
- Επίπλευση: ποιοτικά ανώτερη εκροή, με αφαίρεση στερεών > 95%







ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ - ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΡΕΑΤΟΣ



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Πειραματικά δεδομένα επίπλευσης δίχως ανακυκλοφόρηση για ένα δοθέν απόβλητο έδωσαν βέλτιστη σχέση A/S $0,04 \text{ kg αέρα} / \text{kg στερεών}$.

Η ογκομετρική ροή του υγρού αποβλήτου είναι $3780 \text{ m}^3/\text{day}$ και αυτό περιέχει 250 mg/L αιωρούμενων στερεών.

Με αυτή τη σχέση A/S μειώνεται η περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών στην εκροή σε 25 mg/L .

Να σχεδιαστεί ένα σύστημα επίπλευσης δίχως ανακυκλοφόρηση.

Λαμβάνουμε $f = 0,5$ και θερμοκρασία λειτουργίας 20°C .

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Πειραματικά δεδομένα επίπλευσης δίχως ανακυκλοφόρηση για ένα δοθέν απόβλητο έδωσαν βέλτιστη σχέση A/S 0,04 kg αέρα / kg στερεών. Η ογκομετρική ροή του υγρού αποβλήτου είναι 3780 m³/day και αυτό περιέχει 250 mg/L αιωρούμενων στερεών. Με αυτή τη σχέση A/S μειώνεται η περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών στην εκροή σε 25 mg/L. Να σχεδιαστεί ένα σύστημα επίπλευσης δίχως ανακυκλοφόρηση.

Λαμβάνουμε $f = 0,5$ και θερμοκρασία λειτουργίας 20°C.

1) Υπολογισμός πίεσης P

$$P = \left(\frac{1}{f}\right) \frac{(A/S)S_o}{1,3S_a+1} = \left(\frac{1}{0,5}\right) \frac{(0,04)250}{(1,3 \times 18,7)+1} = 2,9 \text{ atm}$$

2) Επιλογή Υδραυλικής Επιφανειακής Φόρτισης

$$L_{RV} = 175,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Πειραματικά δεδομένα επίπλευσης δίχως ανακυκλοφόρηση για ένα δοθέν απόβλητο έδωσαν βέλτιστη σχέση A/S 0,04 kg αέρα / kg στερεών. Η ογκομετρική ροή του υγρού αποβλήτου είναι 3780 m³/day και αυτό περιέχει 250 mg/L αιωρούμενων στερεών. Με αυτή τη σχέση A/S μειώνεται η περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών στην εκροή σε 25 mg/L. Να σχεδιαστεί ένα σύστημα επίπλευσης δίχως ανακυκλοφόρηση. Λαμβάνουμε $f = 0,5$ και θερμοκρασία λειτουργίας 20°C.

3) Υπολογισμός εμβαδού απαιτούμενης επιφάνειας

$$A = \frac{Q_o}{L_{RV}} = \frac{3780}{175,8} \frac{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right]}{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}\right]} = 21,5 \text{ m}^2$$

4) Υπολογισμός φόρτισης στερεών

$$L_{SF} = \frac{Q_o \cdot S_o}{A} = \frac{3780 \cdot 0,25}{21,5} \frac{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]}{\text{m}^2} = 43,9 \text{ kg/m}^2/\text{d}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Για το προηγούμενο παράδειγμα, να σχεδιαστεί ένα σύστημα επίπλευσης με επανακυκλοφόρηση, λαμβάνοντας μία μόνο τιμή για την πίεση $P = 2,9 \text{ atm}$

1) Από το σχήμα: $A/S = 0,4$

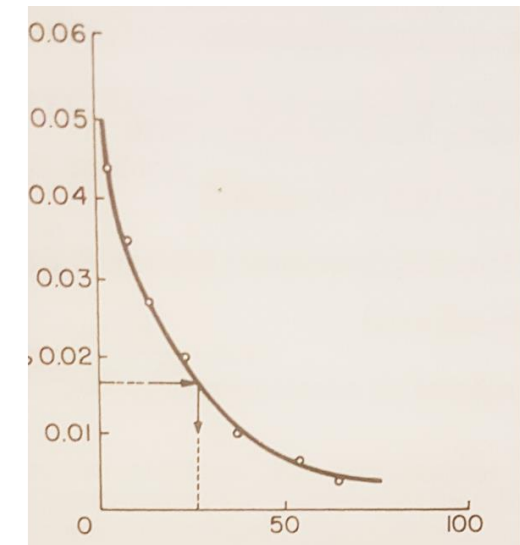
2) Υπολογισμός R

$$R = \frac{(A/S)Q_o S_o}{1,3S_a(fP - 1)} = \frac{0,04 \cdot 3780 \cdot 0,25}{1,3 \cdot 0,018 \cdot (0,5 \cdot 2,9 - 1)} = 3743 \text{ m}^3/\text{d}$$

3) Επιλογή Υδραυλικής Επιφανειακής Φόρτισης

$$L_{RV} = 175,8 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$$

$$A/S = \frac{\frac{\text{kg of air released}}{\text{day}}}{\frac{\text{kg of SS in influent}}{\text{day}}} = \frac{\frac{\text{kg αέρα}}{\text{day}}}{\frac{\text{kg στερεά στην εισροή}}{\text{day}}}$$



SS in effluent (mg/L)

Αιωρούμενα στερεά στην εκροή (mg/L)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Για το προηγούμενο παράδειγμα, να σχεδιαστεί ένα σύστημα επίπλευσης με επανακυκλοφόρηση, λαμβάνοντας μία μόνο τιμή για την πίεση $P = 2,9 \text{ atm}$

4) Ολική ροή

$$Q_t = Q_o + R = 7523 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$A = \frac{Q_t}{L_{RV}} = \frac{7523}{175,8} \frac{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right]}{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}\right]} = 42,8 \text{ m}^2$$

Η απαιτούμενη επιφάνεια είναι διπλάσια σε σχέση με το προηγούμενο παράδειγμα χωρίς ανακυκλοφόρηση. Λαμβάνεται όμως μια εκροή με χαμηλότερη περιεκτικότητα στερεών ($<25 \text{ mg/L}$).

Να σχεδιαστεί μια μονάδα επίπλευσης για την πάχυνση βιολογικής ιλύος από 4.000 mg/L σε 30.000 mg/L (περίπου 3%). Δίνονται:

1. Παροχή βιολογικής ιλύος = 500 m³/d
2. Βέλτιστος λόγος A/S = 0,010
3. Θερμοκρασία = 20°C

Ως πρώτη περίπτωση θεωρήστε ότι συμπιέζεται όλη η περιοχή. Να υπολογίσετε την ασκούμενη (μανομετρική) πίεση, καθώς και την απαιτούμενη επιφάνεια της δεξαμενής επίπλευσης.

Εξετάσετε, επίσης, και την περίπτωση της συμπίεσης μέρους της παροχής, όταν η ασκούμενη (μανομετρική) πίεση είναι η ίδια όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Ποιος είναι στην περίπτωση αυτή ο λόγος ανακυκλοφορίας και η απαιτούμενη επιφάνεια;