



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

Μάρτιος 2021



- **Μέση ημερήσια παροχή (Q_m):** ισούται με το λόγο της συνολικής παροχής προς τις ημέρες του έτους, $\Sigma V/365$, και εκφράζεται σε m^3/day
- **Μέγιστη ημερήσια παροχή (Q_{max}):** ισούται με τη μέγιστη τιμή των ημερήσιων παροχών του έτους και εκφράζεται σε m^3/day
- **Ελάχιστη ημερήσια παροχή (Q_{min}):** ισούται με την ελάχιστη τιμή των ημερήσιων παροχών του έτους και εκφράζεται σε m^3/day
- **Μέγιστη ωριαία παροχή ή Παροχή Αιχμής (Q_h ή $Q_{αιχμής}$):** παρατηρείται κατά το 24ωρο της μέγιστης παροχής (Q_{max}) και εκφράζεται σε m^3/h
- **Ελάχιστη ωριαία παροχή ($minQ$):** παρατηρείται κατά το 24ωρο της ελάχιστης παροχής (Q_{min}) και εκφράζεται σε m^3/h

- Ανάλογα με το τμήμα που σχεδιάζουμε, επιλέγουμε την κατάλληλη παροχή σχεδιασμού

Υδραυλικός σχεδιασμός αγωγών, αντλιοστασίων	Διαστασιολόγηση μονάδας	Έλεγχος μονάδων & αγωγών σε καθίζηση	Υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων
Q_h	Q_{max}	$minQ$	Q_m

- η Μέση ημερήσια παροχή (Q_m) ισούται με τη μέση κατανάλωση νερού ύδρευσης ή

$$Q_m = (\Pi \cdot q \cdot 0,8) + E + I$$

Π = πληθυσμός

q = ειδική κατανάλωση νερού

E = παροχή βιομηχανικών αποβλήτων

I = διηθήσεις και εισροές

Σημειώστε ότι περίπου το 80% της κατανάλωσης νερού φτάνει στα υγρά απόβλητα

- η Μέγιστη ημερήσια παροχή ($Q_{\max}$) και η Ελάχιστη ημερήσια παροχή ($Q_{\min}$) λαμβάνονται από στατιστικά στοιχεία ή όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία θεωρείται ότι

$$Q_{\max} = \lambda_o \cdot Q_m$$

$$Q_{\min} = Q_m / \lambda_o$$

Ο συντελεστής λ_o κυμαίνεται μεταξύ 1,2 - 2. Συνήθως λαμβάνεται $\lambda_o = 1,5$

- η Μέγιστη ωριαία παροχή (παροχή αιχμής) (Q_h)

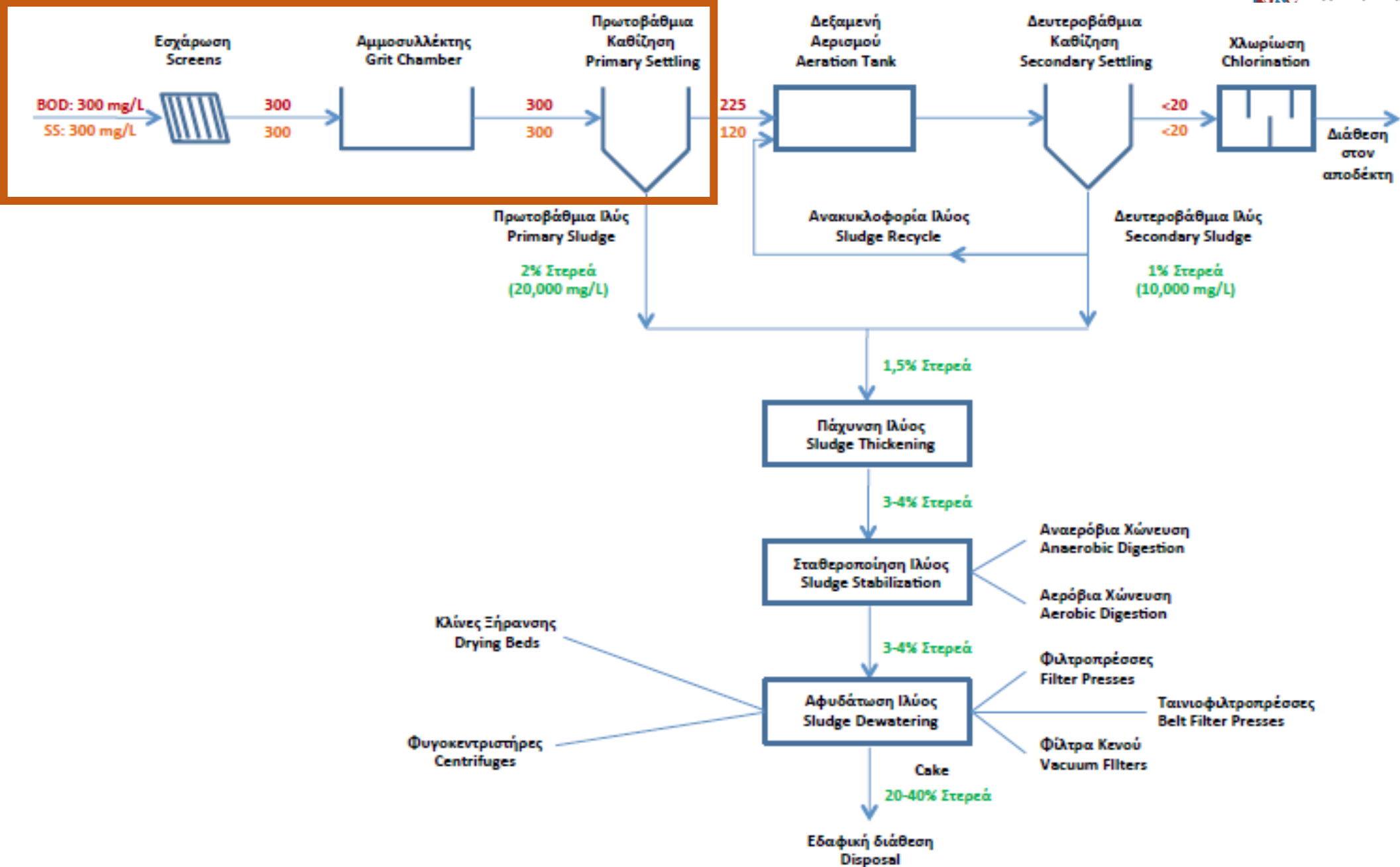
$$Q_h = \frac{[\lambda_o(\Pi \cdot q \cdot 0,8)]}{\lambda + E + I}$$

Για το λ συνήθως λαμβάνεται $\lambda = 10/24$

- η Ελάχιστη ωριαία παροχή ($\min Q$)
- $$\min Q = \lambda \frac{(\Pi \cdot q \cdot 0,8)}{\lambda_o} + E + I$$

ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΟΧΛΙΑ (ΕΛΙΚΑ ΑΡΧΙΜΗΔΗ)





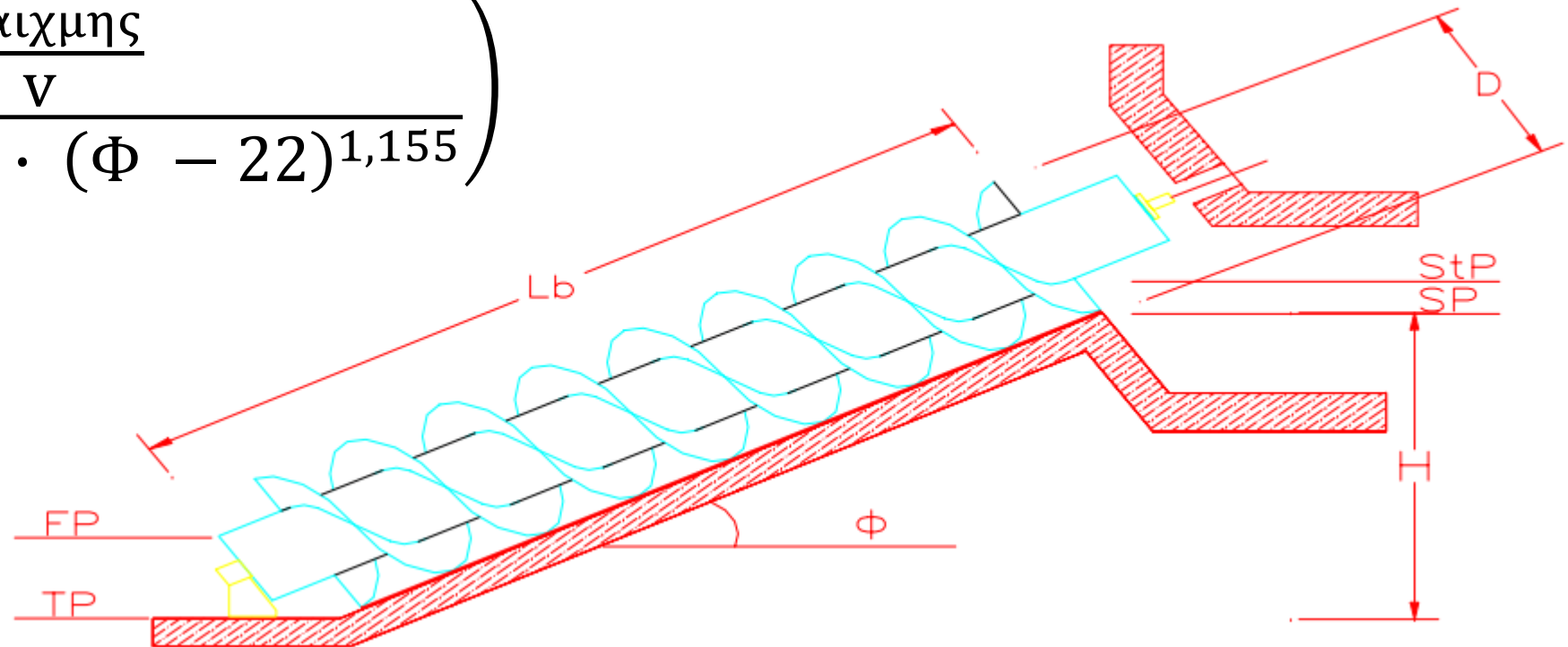
- Φρεάτιο εισόδου
- Χοντρή Σχάρα με διάκενα 30-80 mm
- Αντλίες ανύψωσης ή ατέρμονας κοχλίας [1 +1 εφεδρική]
- Η ελάχιστη παροχή των αντλιών ανύψωσης πρέπει να υπερκαλύπτει την συνολική μέγιστη παροχή που φθάνει με τους αποχετευτικούς αγωγούς στο αντλιοστάσιο ανύψωσης
- Διάταξη by-pass



- Διαστασιολόγηση: με τη μέγιστη ωριαία παροχή ($Q_{\text{αιχμής}}$)
- Αριθμός αντλιών: ν
- Διάμετρος σπείρας (D):

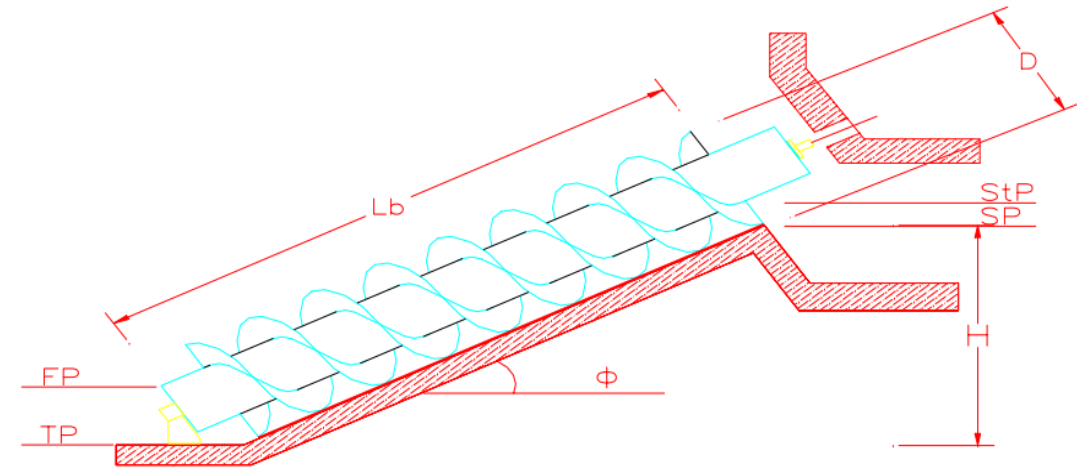
$$D = \left(\frac{\frac{Q_{\text{αιχμής}}}{\nu}}{1060 - 18,7 \cdot (\Phi - 22)^{1,155}} \right)^{0,426}$$

$$\Phi = 32-38^\circ$$



- Βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής (N) της έλικας

$$N = 50 \cdot D^{-2/3}$$



- Το ομόκεντρο κανάλι του κοχλία έχει **ακτίνα** (R) η οποία για κενό (δ) μεταξύ του κοχλία και του καναλιού

$$R = \frac{D}{2} + \delta$$



- Η παροχευτικότητα του κοχλία ρυθμίζεται από τη στάθμη προσαγωγής και παίρνει τη μέγιστη τιμή όταν η στάθμη προσαγωγής του υγρού φθάσει στο **σημείο πλήρωσης** του κοχλία (FP).
- Το ελάχιστο σημείο απ' όπου μπορεί να αντλήσει ο κοχλίας είναι το **σημείο επαφής** (TP).
- Το βέλτιστο σημείο λειτουργίας των κοχλίων βρίσκεται συνήθως στο **50%** της διαφοράς των σημείων πλήρωσης και επαφής.



- Η **απόσταση** μεταξύ των σημείων (FP) και (TP) για εσωτερική διάμετρο του κοχλίου (d) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$d = 0,6 \cdot D$$

$$FP_{-}TP = \left(\frac{D-d}{2} + d \right) \cdot \sigma\upsilon\nu(\Phi)$$

- Το **μέγιστο σημείο απόδοσης** του κοχλίου (StP) για μήκος κοχλίου (Lb) προκύπτει από τους ακόλουθους τύπους:

$$StP = SP + StP_{SP}$$

$$StP_{SP} = \left(\frac{D-d}{2} \right) \cdot \sigma\upsilon\nu(\Phi)$$

$$SP = Lb \cdot \eta\mu(\Phi)$$

- Το υπολογιζόμενο **ύψος ανύψωσης** του κοχλία (H) προκύπτει από την διαφορά του ύψους απόδοσης (SP) και του σημείου επαφής του κοχλία (TP):

$$H = SP - TP$$

Έλεγχος επάρκειας ύψους ανύψωσης του κοχλία:

Στάθμη υγρών στο φρεάτιο εισόδου του κοχλία: H_1

Στάθμη υγρών ανάντι των εσχαρών: H_2

Μέγιστο ύψος ανύψωσης των λυμάτων: $\Delta H = H_2 - H_1$

Πρέπει $\Delta H < H$

Υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων κοχλίας:

- Η **απόδοση** (E) των κοχλιωτών αντλιών τύπου Αρχιμήδη κυμαίνεται γενικά μεταξύ 0.60 και 0.72
- Η **ισχύς** των κινητήρων για το απαιτούμενο ύψος άντλησης είναι:

$$P = \frac{Q_{αιχμης} \cdot \Delta H \cdot 9,81}{E \cdot 3600}$$

- Συνήθως Επιλέγεται προσαυξημένη ισχύς (P_i) ίση με 25%

$$P_i = 1,25 P$$

Παράδειγμα: να γίνει διαστασιολόγηση κοχλιωτής αντλίας τύπου Αρχιμήδη για μέγιστη ωριαία παροχή αιχμής 673,428 m³/h

Επιλέγουμε αριθμό ν αντλιών, έστω ν = 3 κοχλίες, και γωνία Φ = 32°

Η διάμετρος σπείρας (D) του κοχλία υπολογίζεται:

$$D = \left(\frac{\frac{673,428}{3}}{1060 - 18,7 \cdot (32 - 22)^{1,155}} \right)^{0,426} = 0,584 \text{ m}$$

Η βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής (N) της έλικας υπολογίζεται:

$$N = 50 \cdot 0,584^{-\frac{2}{3}} = 71,548 \text{ στροφες ανα λεπτό}$$

Παράδειγμα: να γίνει διαστασιολόγηση κοχλιωτής αντλίας τύπου Αρχιμήδη για μέγιστη ωριαία παροχή αιχμής 673,428 m³/h

Το ομόκεντρο κανάλι του κοχλίου έχει ακτίνα (R) η οποία για κενό (δ) ίσο με 0,010 m είναι:

$$R = \frac{0,584}{2} + 0,010 = 0,302 \text{ m}$$

Η απόσταση μεταξύ των σημείων (FP) και (TP) για εσωτερική διάμετρο κοχλίου (d) είναι:

$$d = 0,6 \cdot 0,584 = 0,351 \text{ m}$$

$$FP_TP = \left(\frac{0,584 - 0,351}{2} + 0,351 \right) \cdot \sigma\upsilon\nu(32) = 0,39 \text{ m}$$

Παράδειγμα: να γίνει διαστασιολόγηση κοχλιωτής αντλίας τύπου Αρχιμήδη για μέγιστη ωριαία παροχή αιχμής 673,428 m³/h

Το σημείο (TP) θεωρείται ότι είναι στα 0 m και άρα $FP = 0,39$ m

Το μέγιστο σημείο απόδοσης του κοχλία (StP) για μήκος κοχλία (Lb) ίσο με 13 m προκύπτει:

$$SP = 13 \cdot \eta\mu(32) = 7,169 \text{ M}$$

$$StP_SP = \left(\frac{0,584 - 0,351}{2} \right) \cdot \sigma\upsilon\nu(32) = 0,097 \text{ m}$$

$$StP = 7,169 + 0,097 = 7,266 \text{ m}$$

Παράδειγμα: να γίνει διαστασιολόγηση κοχλιωτής αντλίας τύπου Αρχιμήδη για μέγιστη ωριαία παροχή αιχμής $673,428 \text{ m}^3/\text{h}$

Το υπολογιζόμενο ύψος ανύψωσης του κοχλία (H) προκύπτει:

$$H = 7,169 \text{ m}$$

Έλεγχος επάρκειας ύψους ανύψωσης του κοχλία

Αν η στάθμη του νερού στο φρεάτιο εισόδου του κοχλία είναι $H_1 = 10,80 \text{ m}$ και η στάθμη του νερού ανάντι των εσχαρών είναι $H_2 = 17,93 \text{ m}$, τότε το μέγιστο ανύψωσης των υγρών αποβλήτων θα είναι:

$$\Delta H = H_2 - H_1 = 17,93 - 10,80 = 7,13 \text{ m} < H = 7,196 \text{ m}$$

Παράδειγμα: να γίνει διαστασιολόγηση κοχλιωτής αντλίας τύπου Αρχιμήδη για μέγιστη ωριαία παροχή αιχμής 673,428 m³/h

Υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων του κοχλία

Η απόδοση (E) των κοχλιωτών αντλιών τύπου Αρχιμήδη κυμαίνεται γενικά μεταξύ 0,60 και 0,72. Θεωρούμε E = 0,70

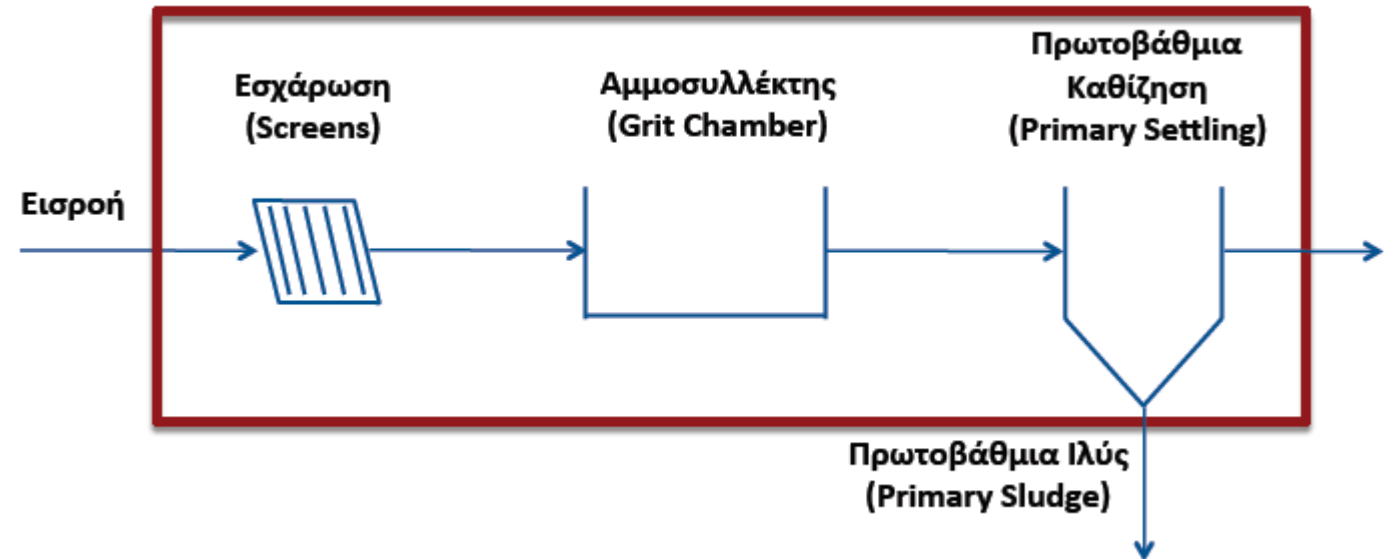
Η ισχύς των κινητήρων για το απαιτούμενο ύψος άντλησης είναι:

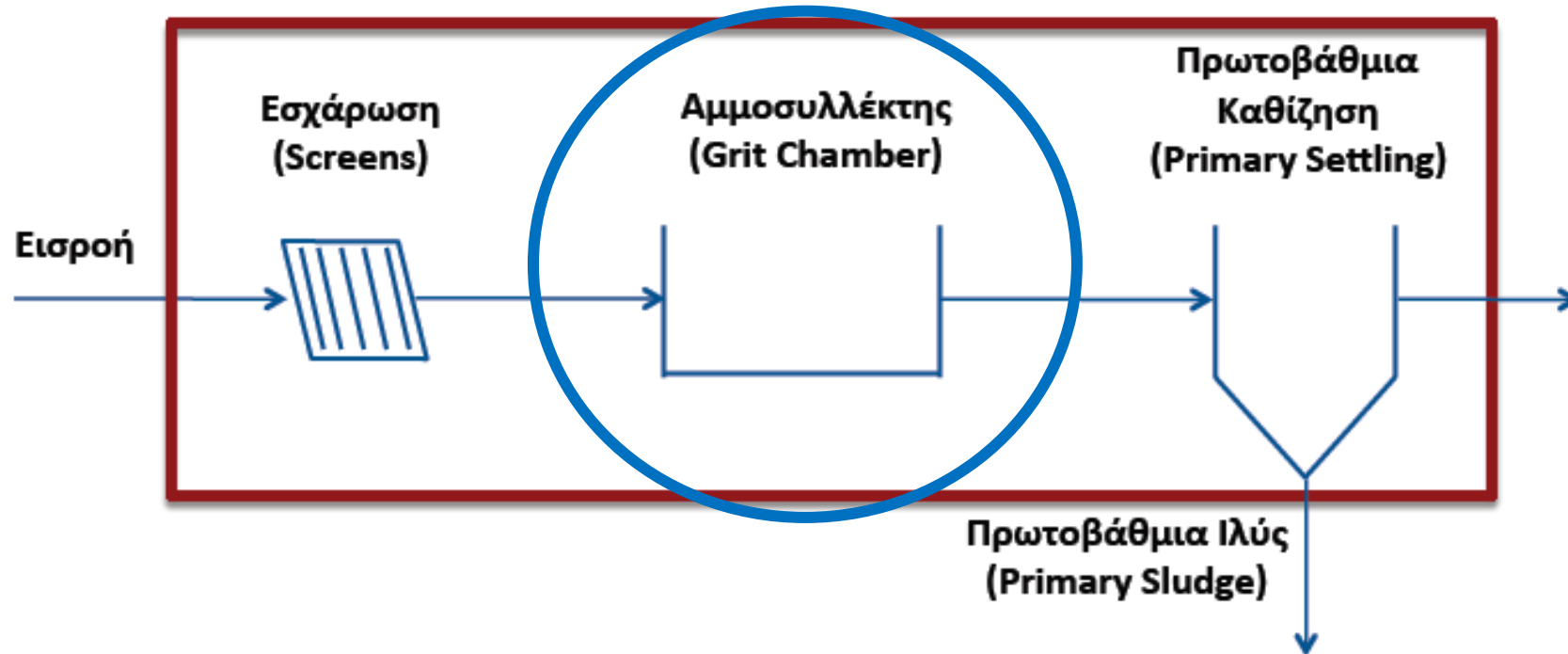
$$P = \frac{673,428 \cdot 7,196 \cdot 9,81}{0,70 \cdot 3600} = 18,692 \text{ kW}$$

Επιλέγεται προσαυξημένη κατά 25%

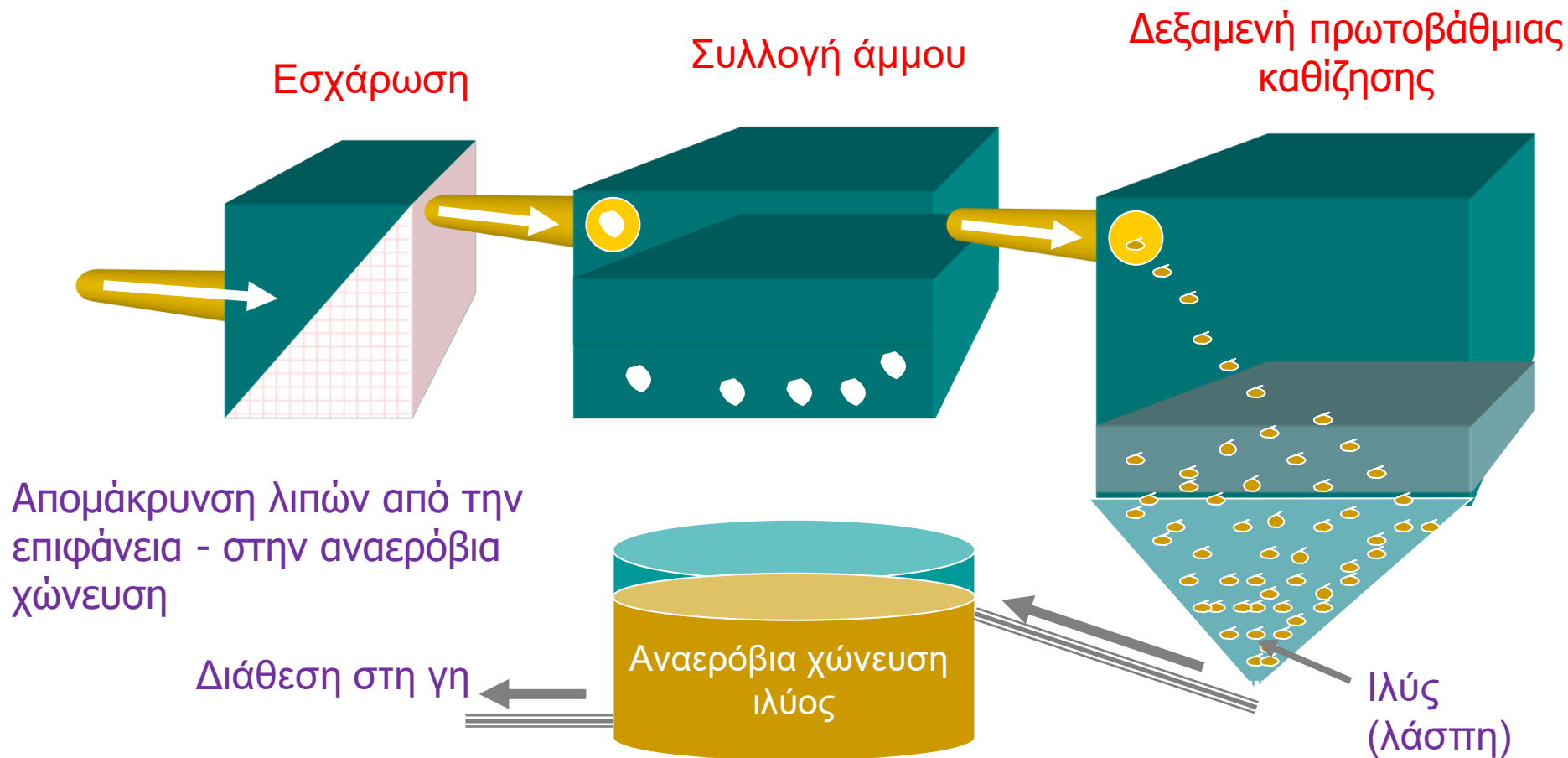
$$P_i = 1,25 \times 18,692 = 23,365 \text{ kW}$$

- Εσχάρωση
 - Αμμοσυλλογή
 - Λιποσυλλογή
 - Πρωτοβάθμια καθίζηση
 - Κροκίδωση
 - Επίπλευση
 - Διήθηση
- Προεπεξεργασία





- Οι εξαμμωτές (αμμοσυλλέκτες) τοποθετούνται, συνήθως, μετά τις εσχάρες και πριν τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.



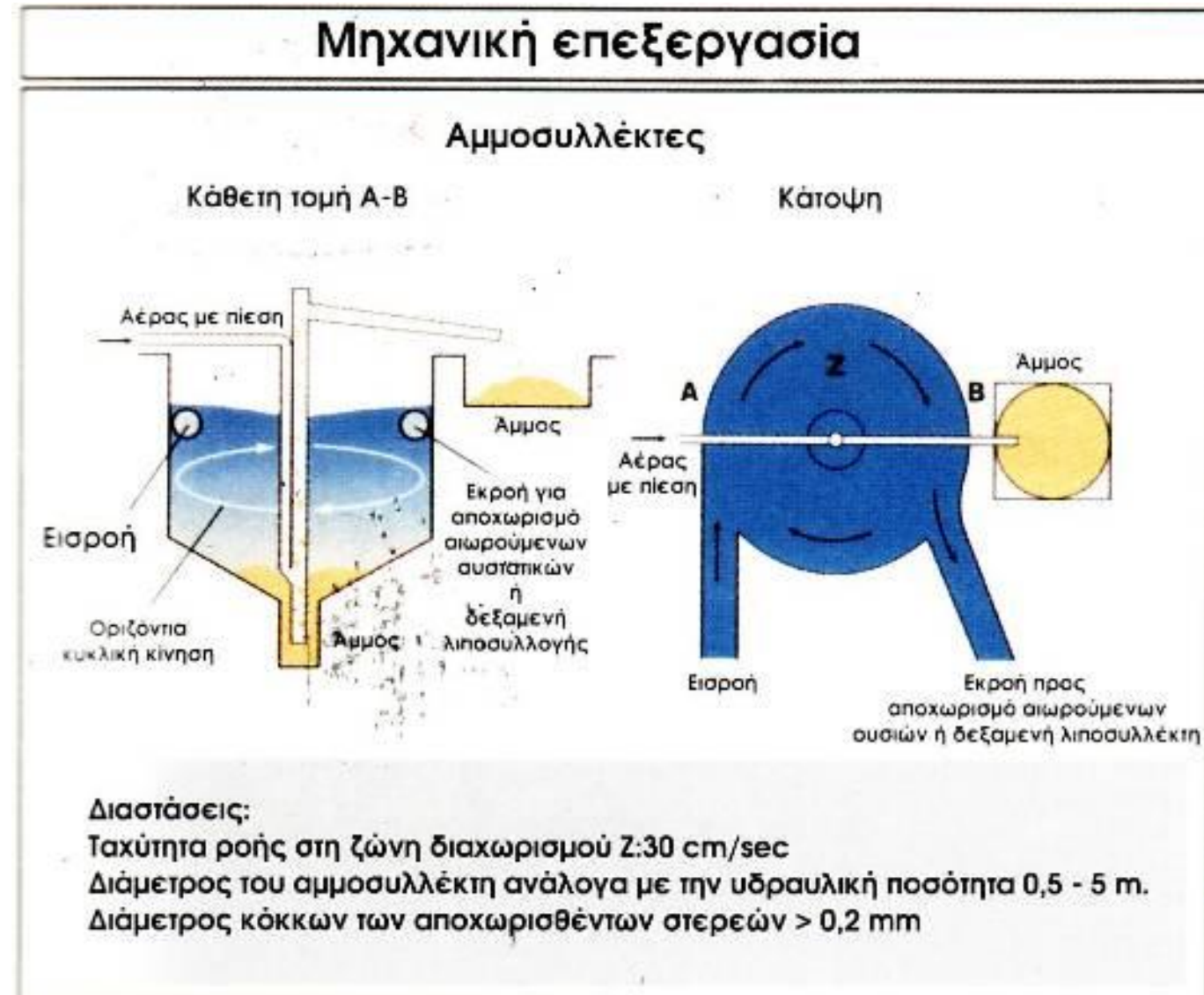
- Η άμμος που εμπεριέχεται στα υγρά απόβλητα πρέπει να απομακρυνθεί μόλις αυτά εισέλθουν στην ΕΕΛ, ειδάλλως μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην ορθή λειτουργία της.
- Η απομάκρυνση της άμμου είναι απαραίτητη για την προστασία του μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης καθώς και τη μείωση του σχηματισμού αποθέσεων σε αγωγούς, κανάλια και σωληνώσεις, φράξιμο αγωγών κλπ.
- Η απομάκρυνση της άμμου συμβάλλει σε μειωμένο όγκο των δεξαμενών επεξεργασίας ιλύος.
- Απομακρύνονται: άμμος αλλά και χαλίκια, πετραδάκια, κουκούτσια, φίλτρα από τσιγάρα και άλλα ανόργανα στερεά που έχουν περάσει από την εσχάρωση

- Τα σωματίδια που απομακρύνονται έχουν συνήθως διάμετρο $>$ από 0,15-0,2 mm.
- Τα σωματίδια απομακρύνονται με τις διεργασίες της καθίζησης και της διήθησης.
- Απομακρύνονται μη οργανικά σωματίδια των οποίων η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη εκείνης των οργανικών σωματιδίων.
- Η διάταξη εξάμμωσης είναι στην ουσία μια δεξαμενή καθίζησης όπου λαμβάνει χώρα καθίζηση διακεκριμένων σωματιδίων-στερεών (θα αναλυθεί σε επόμενο μάθημα αναλυτικά), ενώ ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει και με την επίδραση φυγόκεντρων δυνάμεων



- Σε μικρές μονάδες επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, η εξάμμωση και η λιποσυλλογή είναι **ξεχωριστά** στάδια, ή υπάρχει μόνο αμμοσυλλέκτης.
- Σε μεγαλύτερες μονάδες, η αμμοσυλλογή και η λιποσυλλογή μπορεί να γίνονται στην **ίδια** δεξαμενή
- Συνήθως κατασκευάζονται **δύο ή περισσότεροι** αμμοσυλλέκτες για παράλληλη λειτουργία ώστε να είναι δυνατή η περιοδική διακοπή της λειτουργίας για συντήρηση και καθαρισμό.
- Η άμμος που παραμένει στον πυθμένα του καναλιού αμμοσυλλογής απομακρύνεται είτε χειρωνακτικά με κάποιο φτυάρι είτε με κάποιο μηχανικό σύστημα συλλογής άμμου

- Τα σωματίδια καθιζάνουν χωρίς καμία επίδραση στις φυσικές τους ιδιότητες από τα γειτονικά τους σωματίδια.
- Ο προσδιορισμός των παραμέτρων σχεδιασμού γίνεται ύστερα από τακτικές μετρήσεις των συγκεντρώσεων των στερεών στο υγρό απόβλητο, που γίνονται σε ειδικές στήλες καθίζησης



Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπος αμμοσυλλεκτών:

- Αμμοσυλλέκτης οριζόντιας σταθερής ροής (Grit channel, Grit chamber)
 - ορθογώνιος
 - τετράγωνος
- Αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης

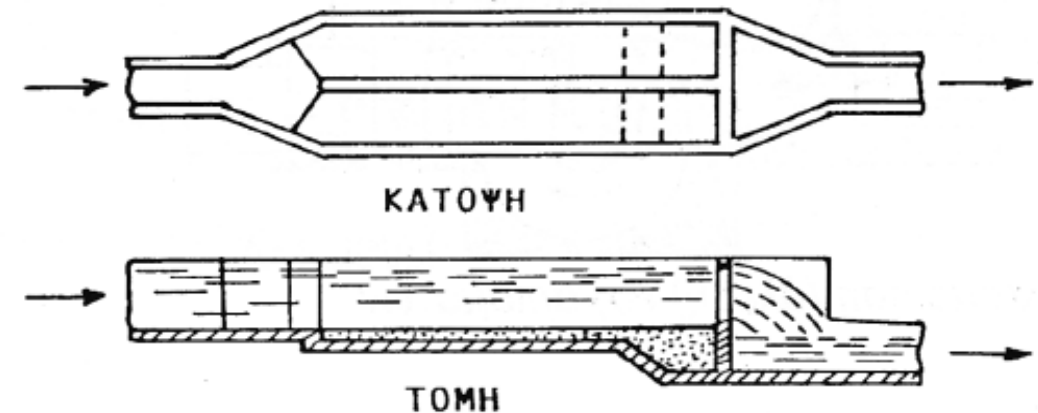
υπάρχει και ο Εξαμμοτής τύπου δίνης

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΣ ΑΜΜΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΡΟΗΣ

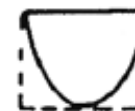
- Το παλαιότερο είδος εξαμμωτή.
- Ρηχή ορθογώνια δεξαμενή / ανοιχτό επιμήκες κανάλι. Συνήθως έχουν 2-3 παράλληλα αυλάκια, εκ των οποίων χρησιμοποιείται μόνο το ένα, ενώ σε περιπτώσεις μεγάλων παροχών νερού (βροχών) τίθενται σε λειτουργία και τα υπόλοιπα
- Η ταχύτητα ροής ρυθμίζεται ώστε να καθιζάνουν μόνο τα βαρύτερα σωματίδια, όπως η άμμος, ενώ τα οργανικά σωματίδια να παραμένουν σε αιώρηση και να παρασύρονται από τη ροή.
- Για να αποκλειστεί η περίπτωση καθίζησης οργανικών, η οριζόντια ταχύτητα ροής διατηρείται σχετικά υψηλή, σταθερή περίπου στα $0,3 \text{ m/s}$ και ο χρόνος παραμονής είναι σχετικά μικρός



- Η εξασφάλιση της σταθερής ταχύτητας επιτυγχάνεται με την κατασκευή κατάλληλου υπερχειλιστή στο κατάντη άκρο του αμμοσυλλέκτη.
- Τα απόβλητα διέρχονται κατά μήκος και εναποθέτουν στην άμμο στον πυθμένα
- Το σχήμα του καναλιού επιλέγεται ώστε να διευκολύνεται η καθίζηση της άμμου
- Δημιουργεί προβλήματα δυσσομίας
- Η τομή της διατομής είναι παραβολική με ορθογωνικό υπερχειλιστή (δίαυλος *Parshall*) ή ορθογωνική με αναλογικό υπερχειλιστή, που για κατασκευαστικούς λόγους εξομοιώνεται με τραπεζοειδή



→ Αναλογικός υπερχειλιστής



→ Παραβολικός υπερχειλιστής

- Σχετικά δύσκολη κατασκευή του παραβολικού καναλιού
- Το ύψος της στένωσης του υπερχειλιστή εξαρτάται από το πλάτος του καναλιού και το βάθος ροής που δεν πρέπει να υπερβαίνει το 70% του βάθους ροής αμέσως ανάντη της στένωσης
- Ο αμμοσυλλέκτης με ορθογωνική διατομή έχει πιο εύκολη κατασκευή αλλά η ταχύτητα ροής δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το βάθος της διατομής (μεγαλύτερες ταχύτητες στον πυθμένα)
- Ο πυθμένας καναλιού πρέπει να βρίσκεται **15-30 cm χαμηλότερα** από τον ανάντη πυθμένα του υπερχειλιστή για να μην παρασύρεται η άμμος που έχει καθιζάνει

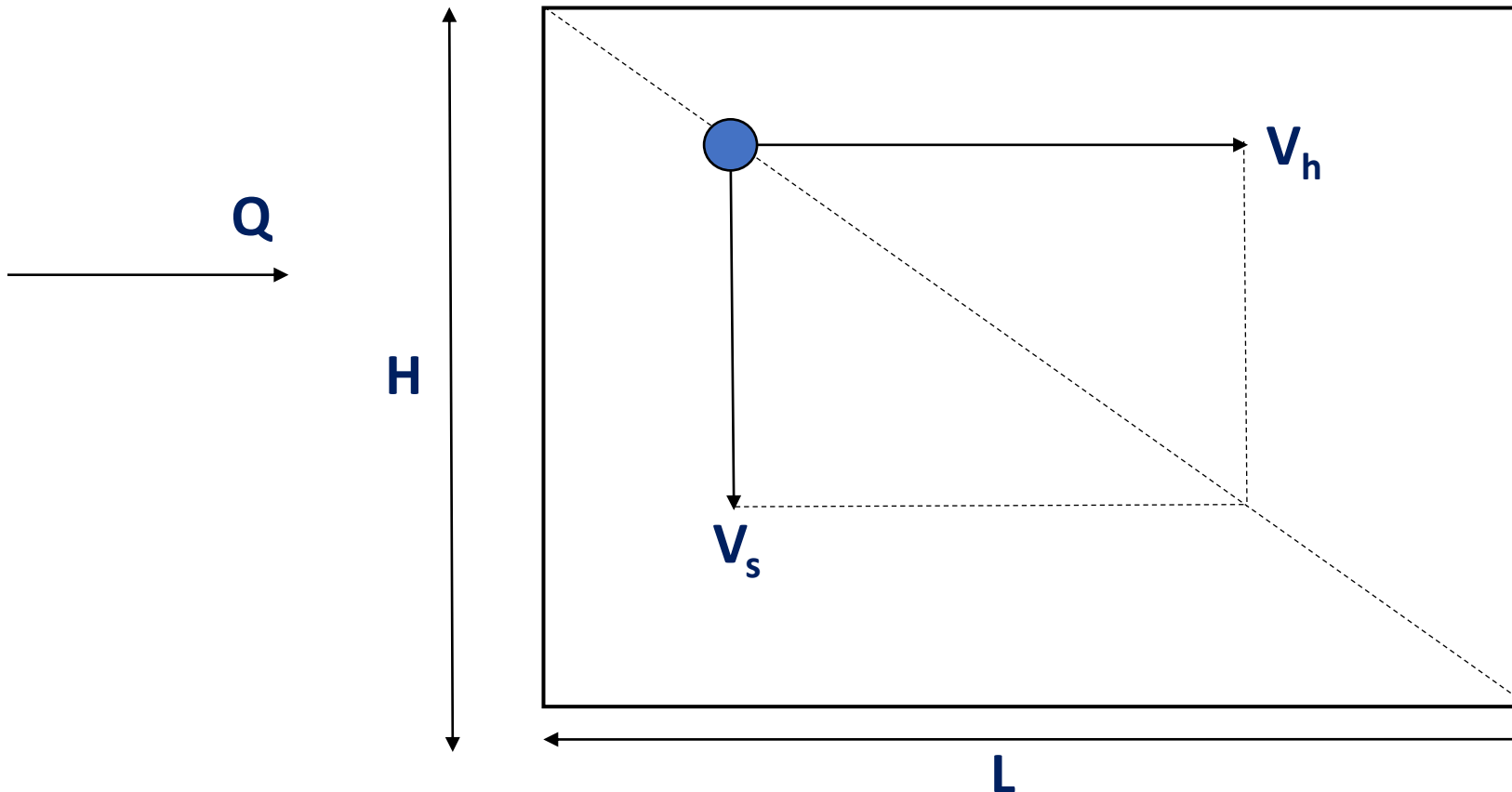


- Στα κατάντη η ροή του υπερχειλιστή πρέπει να είναι ελεύθερη, για να μην επηρεάζεται από τις κατάντη συνθήκες ροής η λειτουργία του υπερχειλιστή
- Για αυτό, δημιουργείται μια **Τεχνητή Απώλεια Ενέργειας** ίση με το μέγιστο βάθος ροής, κατασκευάζοντας ένα σκαλοπάτι για να έχουμε ελεύθερη πτώση του αποβλήτου
- Στο κανάλι πρέπει να προβλέπεται χώρος για τη συσσώρευση της άμμου και για το μηχανισμό απομάκρυνσής της → με μηχανικό ξέστρο και μεταφορικούς ιμάντες, αλλά σε μικρές εγκαταστάσεις (<1000 ΙΚ, ισοδ. κατ.) η άμμος συλλέγεται συνήθως χειρονακτικά με φτυάρια



Στοιχεία σχεδιασμού

- ❖ μήκος αμμοσυλλέκτη L , που εξαρτάται από το βάθος ροής H και τις ταχύτητες V_h οριζόντιας ροής και V_s καθίζησης, κατά την θεώρηση



- Ένα σωματίδιο που εισέρχεται στον αμμοσυλλέκτη, για να συγκρατηθεί πρέπει να φτάσει στον πυθμένα πριν εξαντληθεί το μήκος L του αμμοσυλλέκτη, κινούμενο υπό την επίδραση των δύο ταχυτήτων V_h και V_s κατά τη διαγώνιο.
- Από τα όμοια τρίγωνα έχουμε:

$$\frac{H}{L} = \frac{V_s}{V_h} \quad \longrightarrow \quad L = \frac{H \cdot V_h}{V_s} \quad \text{και} \quad L_{\max} = a \frac{V_k}{V_s} H_{\max}$$

α : συντελεστής ασφαλείας για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισόδου - εξόδου, λόγω τύρβης στην είσοδο και έξοδο του εξαμμωτή ($\alpha = 1,25 - 1,50$)

Συνήθως: **$L = 10 - 12 H$**

- Η οριζόντια ταχύτητα ροής V_h πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή, για την οποία τα σωματίδια ορισμένου ειδικού βάρους και ορισμένης διαμέτρου αρχίζουν να παρασύρονται.
- Μια μέθοδος υπολογισμού της V_h της έναρξης μετακίνησης σωματιδίων διαμέτρου d και πυκνότητας ρ_s είναι (εξίσωση Bagnold, 1966)

$$V_h > \frac{w}{1,25 \sqrt{\frac{f}{8}}} = 2,26 \cdot f^{0,5} \cdot V_s$$

w = ταχύτητα καθίζησης του σωματιδίου

f = συντελεστής τριβής, για $f = 0,01$ βρίσκουμε $V_h = 22,6 V_s$

- Η ταχύτητα καθίζησης V_s εξαρτάται από το ειδικό βάρος των σωματιδίων και τη θερμοκρασία του υγρού αποβλήτου
- Μπορεί να υπολογιστεί, για όλους τους αριθμούς Reynolds, από τον τύπο Cheng (1977)

$$\frac{w_s \cdot d_s}{\nu} = \sqrt{25 + 1,2 \left[(s - 1) \frac{g}{\nu^2} \right]^{2/3} d_s^2} - 5^{1,5}$$

w_s = η ζητούμενη ταχύτητα καθίζησης

ρ_s = πυκνότητα σωματιδίων κόκκου (2600 kg/m^3)

ρ = πυκνότητα νερού (1000 kg/m^3)

$s = \rho_s / \rho$

d_s = διάμετρος σωματιδίου

$\nu = 0,0000013$ κινηματικό ιξώδες νερού (10°C) m^2/sec

$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$

- Το βάθος του αμμοσυλλέκτη εξαρτάται από το βάθος ροής του στη μέγιστη παροχή.
- Για λόγους ασφαλείας, λαμβάνεται διπλάσιο του βάθους ροής H που αντιστοιχεί στη μέγιστη παροχή
- Παροχή $Q = A \cdot V_h$
και αν η διατομή είναι παραβολική πλάτους T τότε

$$Q = \frac{2}{3} \cdot H \cdot T \cdot V_h \quad \text{ή} \quad H = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{V_h \cdot T}$$

Το βάθος είναι συνήθως 0,6 - 1,5 m και το πλάτος 0,4 - 1,5 m

- Το πλάτος της στένωσης του ορθογωνικού υπερχειλιστή W_c υπολογίζεται από:

$$W_c = \frac{Q}{1,71 \cdot H^{1,5}}$$

- Η ταχύτητα ροής στο παραβολικό κανάλι που είναι σταθερή και ανεξάρτητη του βάθους ροής H δίνεται από:

$$V_h = \frac{Q}{A} = \frac{K}{K'} W_c$$

K = η σταθερά της στένωσης

K' = σταθερά της παραβολικής διατομής

- Στη στένωση του υπερχειλιστή η ροή είναι κρίσιμη, και το βάθος ροής δίνεται από

$$h_c = \frac{V_c^2}{g}$$

- Η επιφάνεια της διατομής $A_c = W_c \cdot h_c$

- Η παροχή $Q = A_c \cdot V h_c$

- Οι τοπικές απώλειες λόγω της στένωσης με λεία προσαρμογή και κατακόρυφα τοιχώματα

$$\Delta h_c = 0,1 \frac{V_c^2}{2g}$$

- Η **κρίσιμη ταχύτητα** στη στένωση προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης της ενέργειας για τις δύο διατομές, του αμμοσυλλέκτη και της στένωσης του υπερχειλιστή

$$H + \frac{V^2}{2g} = h_c + \frac{V_c^2}{2g} + \Delta h_c = \frac{V_c^2}{g} + \frac{V_c^2}{2g} + 0,1 \frac{V_c^2}{2g} \quad \longrightarrow \quad V_c = \left[\frac{2g}{3,1} \left(H + \frac{V^2}{2g} \right) \right]^{1/2}$$

- Στην περίπτωση που η διατομή του αμμοσυλλέκτη είναι ορθογωνική και ο υπερχειλιστής είναι αναλογικός, τότε η παροχή στον υπερχειλιστή υπολογίζεται από

$$Q = C \cdot w \cdot h \cdot (2g \cdot a)^{1/2}$$

C = σταθερά του υπερχειλιστή, ίση περίπου με 0,62

w, a = χαρακτηριστικά μεγάρη του υπερχειλιστή (ελάχιστο $a = 2,5$ cm)

h = βάθος ροής

- Αν z είναι το ανώτατο πλάτος ροής τότε έχουμε:

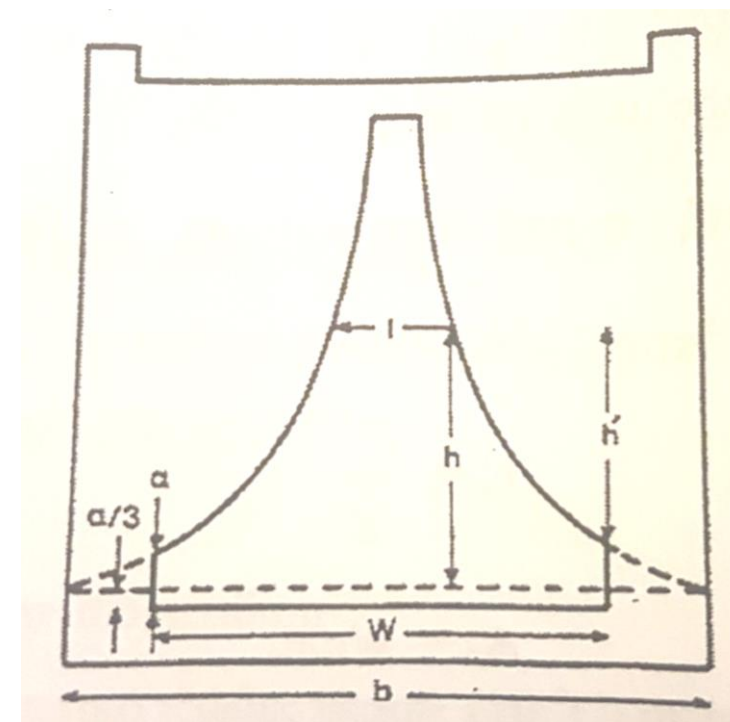
$$\frac{z}{w} = 1 - \frac{2}{180} \tau \omega \xi \epsilon \varphi \left(\frac{h'}{\alpha} \right)^{0,5}$$

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αναλογικού υπερχειλιστή (συντεταγμένες x, y) υπολογίζονται αφού επιλεγεί αρχικά το πλάτος w από την

$$y \cdot x^2 = 0,001147 \cdot w^2$$

και

$$y = \frac{Q}{0,3 w}$$



Τυπική διατομή αναλογικού τύπου υπερχειλιστή

- Η ταχύτητα ροής στο ορθογωνικό κανάλι του αμμοσυλλέκτη είναι σταθερή, ανεξάρτητη του βάθους ροής και δίνεται από

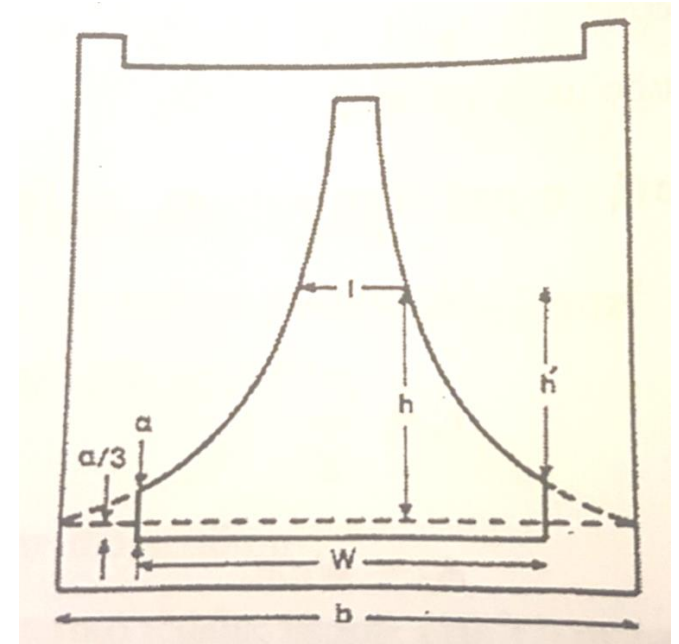
$$V_h = \frac{Q}{A} = \frac{C \cdot w \cdot h (2ga)^{1/2}}{b \cdot h} = C \frac{w}{b} (2ga)^{1/2}$$

- Ο όγκος του εξαμμωτή ($V_{\varepsilon\xi}$) υπολογίζεται με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής

$$V_{\varepsilon\xi} = \tau \cdot Q_h$$

τ = υδραυλικός χρόνος παραμονής, συνήθως 1 λεπτό (45-90 sec)

$$Q_h = \text{παροχή αιχμής} = A \cdot V_h$$

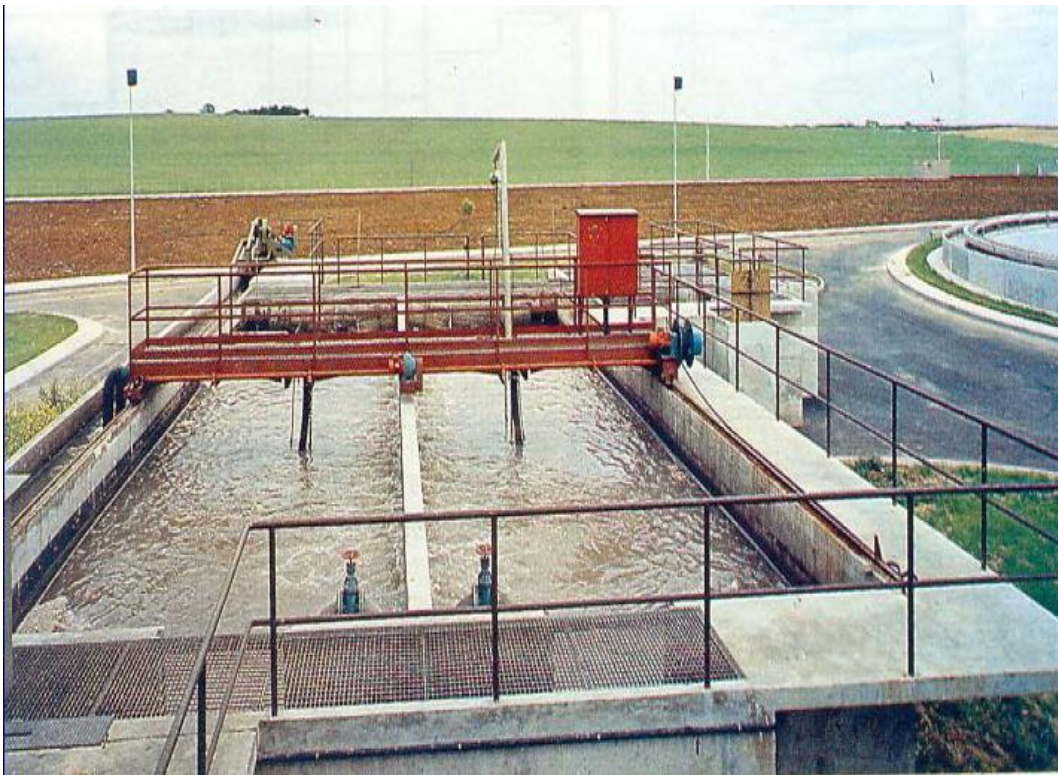


Τυπική διατομή αναλογικού τύπου υπερχειλιστή

- τετράγωνη δεξαμενή, στην οποία η είσοδος των λυμάτων γίνεται κατά μήκος της μίας πλευράς και η έξοδος κατά μήκος της αντίθετης πλευράς.
- Οι εξαμμωτές αυτοί σχεδιάζονται με βάση την ταχύτητα υπερχείλισης, που εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων και τη θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων.
- Η απομάκρυνση της άμμου γίνεται από ειδικό περιστρεφόμενο μηχανισμό ξέστρων που είναι τοποθετημένος μέσα στη δεξαμενή.

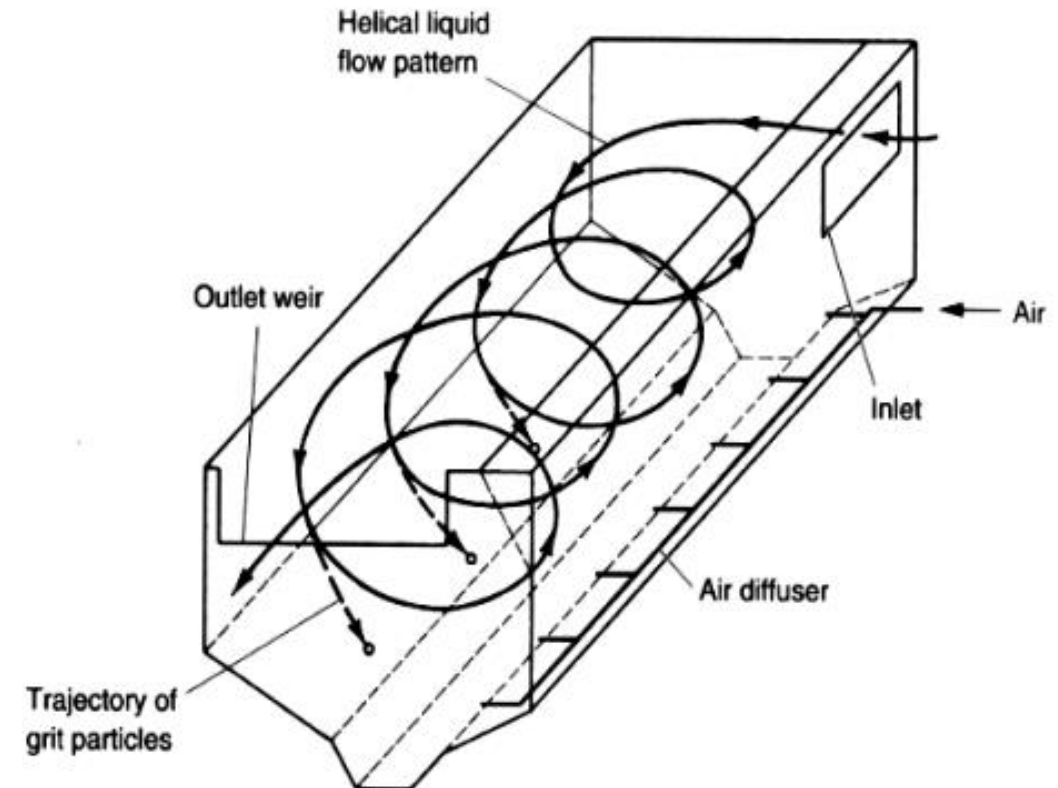


- Επειδή η διατήρηση μιας σταθερής ταχύτητας στον αμμοσυλλέκτη είναι προβληματική, εξελίχθηκε ο αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης.
- Δεξαμενές στις οποίες ασκείται αερισμός με τέτοιο τρόπο ώστε η ροή του νερού/λυμάτων να είναι ελικοειδής.



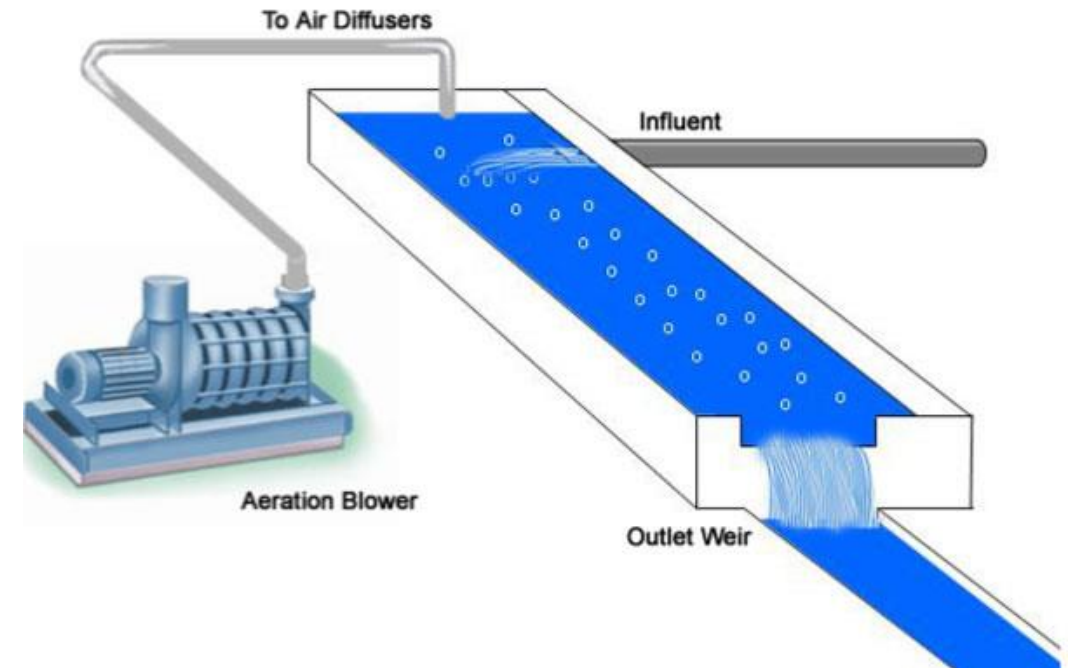
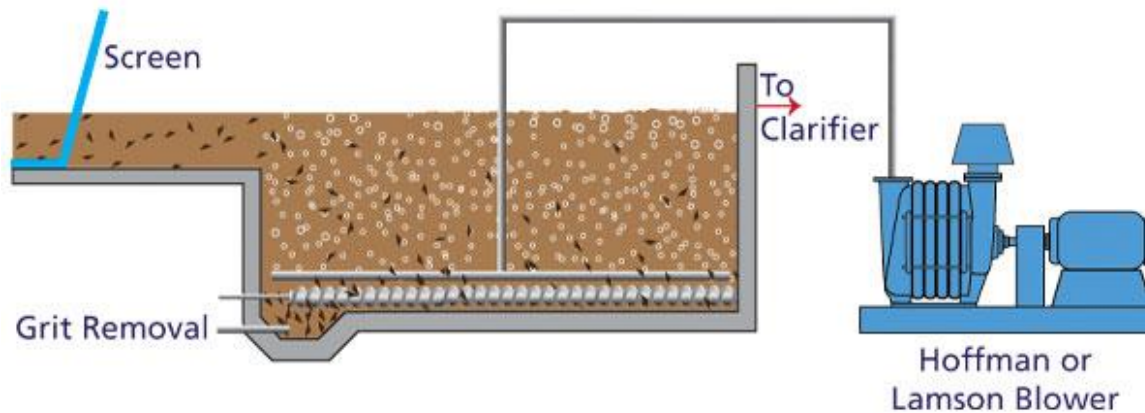
- Χρησιμοποιούνται σήμερα ευρύτατα καθώς παρουσιάζουν **πλεονεκτήματα** όπως
 - ✓ Σταθερή απόδοση για αυξομειώσεις της παροχής (με ρύθμιση της παροχής του αέρα)
 - ✓ Απαιτούν μικρότερο χώρο, λόγω μικρότερου χρόνου παραμονής
 - ✓ Αερισμός αποβλήτων (ευνοϊκή επίδραση στις ακόλουθες διεργασίες)
 - ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν σημεία προσθήκης χημικών, λόγω της μορφής της ροής (πχ προχλωρίωση, απομάκρυνση οσμών)
 - ✓ Χρησιμοποιούνται σαν λιποσυλλέκτες
 - ✓ Μικρές υδραυλικές απώλειες
 - ✓ Απλή λειτουργία
 - ✓ Η άμμος δεν χρειάζεται πλύση και διατίθεται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία (η σπειροειδής ροή παρασύρει τα οργανικά από την άμμο)

- Με ειδική διάταξη διαχυτήρων (blowers) παρέχεται πεπιεσμένος αέρας κατά μήκος της μιας πλευράς της δεξαμενής, ώστε να δημιουργείται σπειροειδής ροή με ελικοειδή κίνηση των σωματιδίων για να διευκολύνεται η καθίζησή τους.
- Η ταχύτητα περιστροφής (καθορίζεται από την παροχή αέρα) καθορίζει το μέγεθος των σωματιδίων που θα καθιζάνουν.
- Η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής = $0,3 \text{ m/sec}$



ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟΣ ΑΜΜΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

- Τιμές παροχής αέρα: $0,15-0,75 \text{ m}^3/\text{min}$ ανά m μήκους δεξαμενής (τυπική τιμή $0,30$)
- Για μεγάλες διατομές δεξαμενών, δηλ $\text{βάθος} > 3,5 \text{ m}$ και $\text{πλάτος} > 4 \text{ m}$, χρησιμοποιούνται τιμές $> 0,70 \text{ m}^3/\text{min}$
- Διαχυτήρες τοποθετούνται σε απόσταση $0,45-0,90$ από τον πυθμένα του αμμοσυλλέκτη.
- Συνίσταται η μέση ταχύτητα οριζόντιας ροής $< 0,10 \text{ m/sec}$ και η μέση υδραυλική επιφανειακή φόρτιση να είναι $50-60 \text{ m/h}$

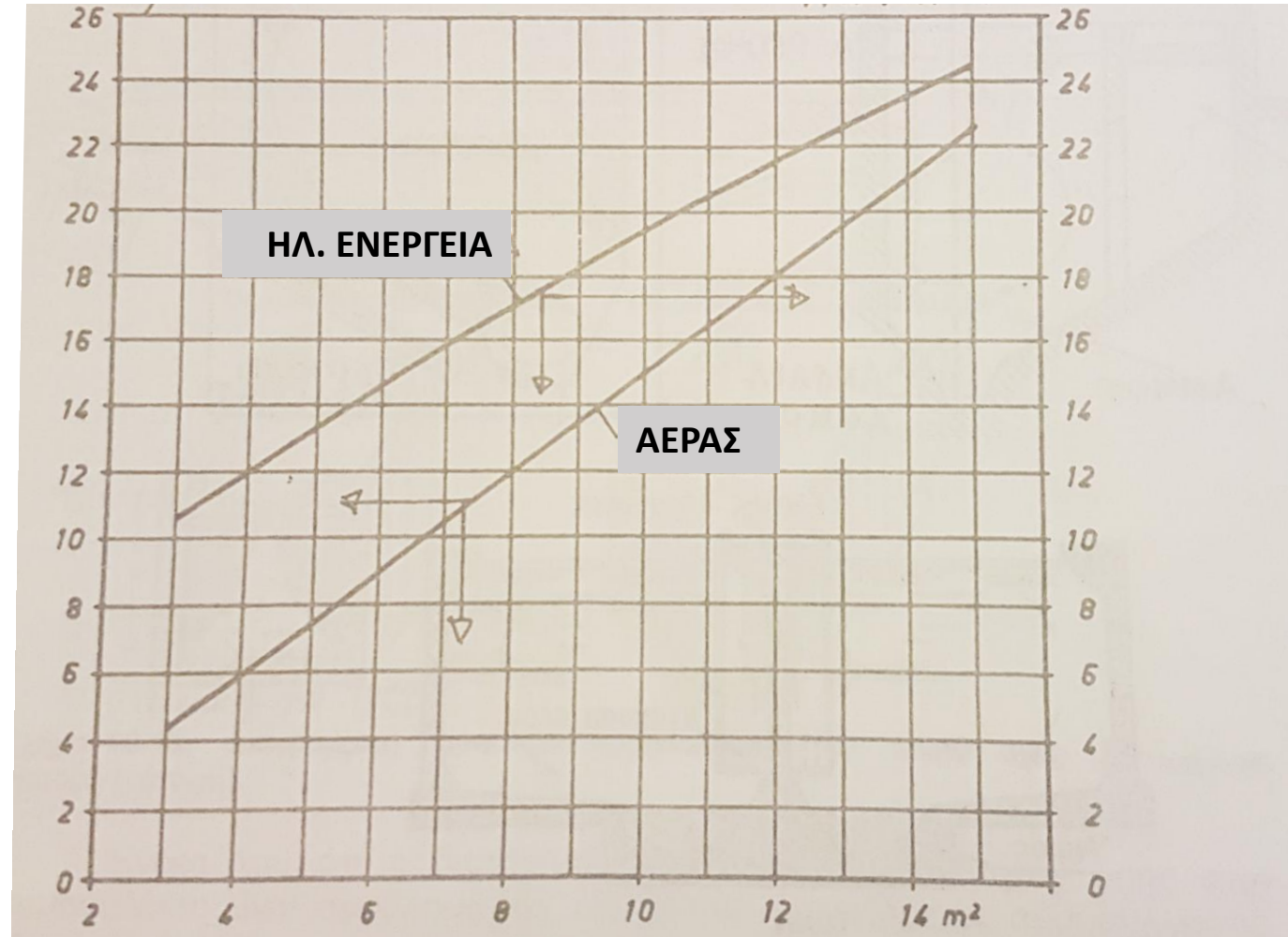


ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΑΕΡΑ

$\text{Nm}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ (μήκους δεξαμενής)

ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

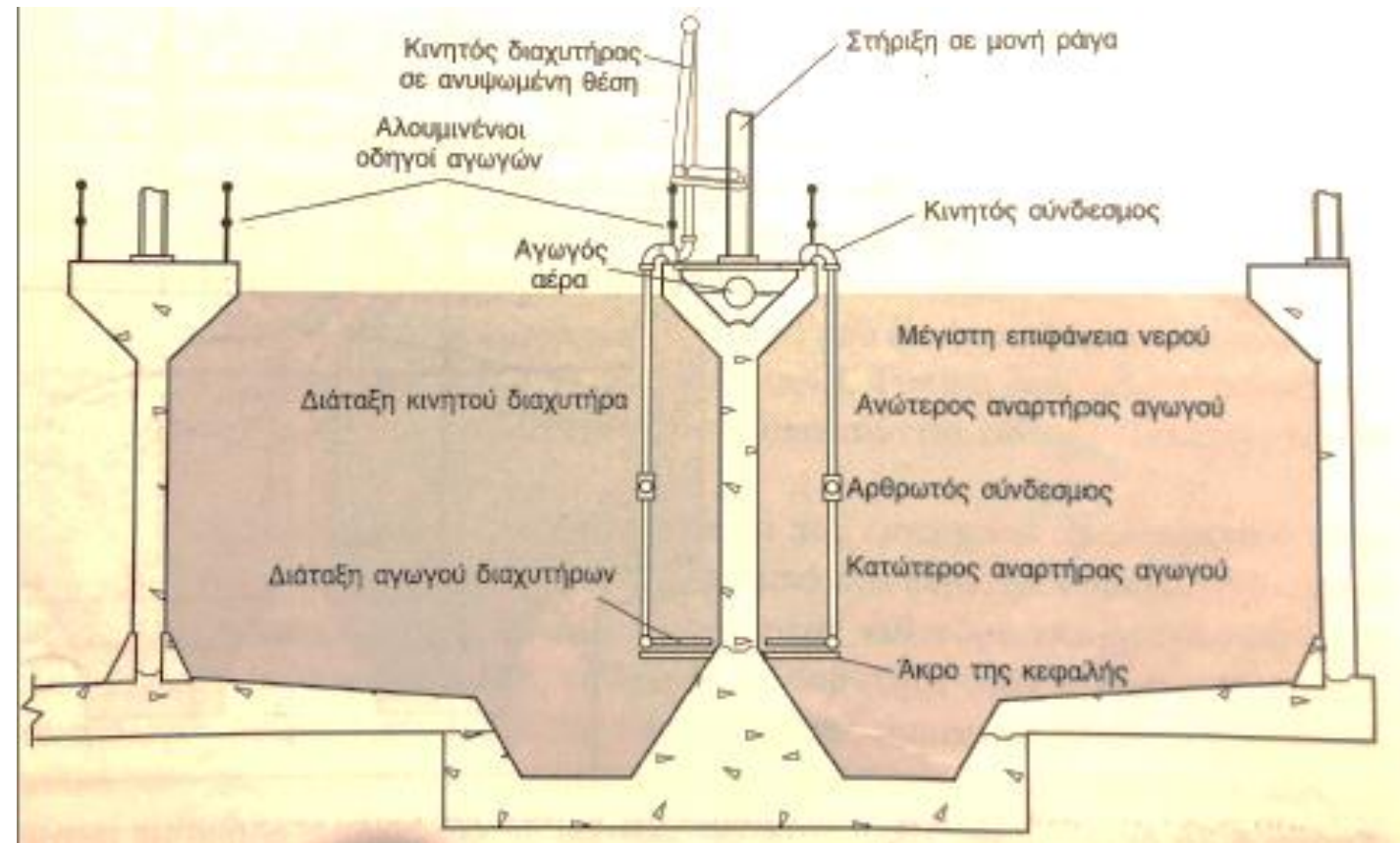
Watt/m^3



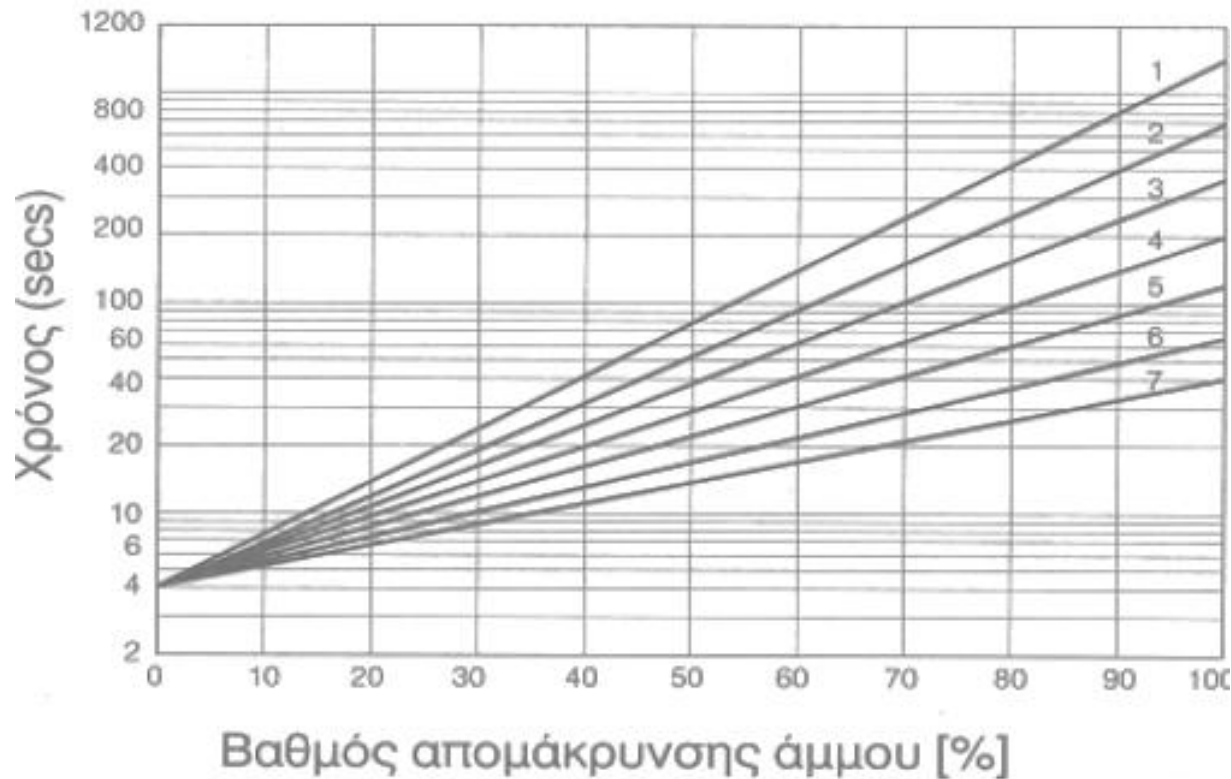
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΜΜΟΣΥΛΛΕΚΤΗ (m²)

ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟΣ ΑΜΜΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Η διάταξη εισροής πρέπει να είναι έτσι ώστε τα λύματα να εισάγονται σε ορθή γωνία ως προς τη διεύθυνση ροής και να αρχίζουν αμέσως να έχουν περιστροφική κίνηση για να μην δημιουργούνται αδρανείς περιοχές.



- Για τη μέγιστη παροχή, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 2-5 min
- Για άμμο μεγαλύτερης διαμέτρου από 0,2 mm → μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής



Υπολογισμός υδραυλικού χρόνου παραμονής
ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό
απομάκρυνσης του τυπικού μεγέθους κόκκων
της άμμου
(διάγραμμα Kalbskopf)

Μέγεθος κόκκων (mm)	Ποσοστιαία απομάκρυνση			
	100%	95%	90%	80%
0,125 - 0,16	1100	850	650	370
0,16 - 0,2	700	550	420	260
0,2 - 0,25	366	280	210	150
0,25 - 0,315	200	160	135	90
0,315 - 0,4	125	105	90	65
0,400 - 0,500	66			
0,500 - 0,800	42			

Απαραίτητος υδραυλικός
χρόνος παραμονής (sec)

Μέγεθος κόκκων (mm)	Ποσοστιαία απομάκρυνση			
	100%	95%	90%	80%
0,125 - 0,16	0,10	0,17	0,22	0,29
0,16 - 0,2	0,16	0,26	0,33	0,45
0,2 - 0,25	0,30	0,48	0,59	0,75
0,25 - 0,315	0,55	0,82	1,00	1,20
0,315 - 0,4	0,88	1,23	1,47	1,70

Επιτρεπτή υδραυλική
επιφανειακή φόρτιση
(cm/sec)

Παράμετροι σχεδιασμού αεριζόμενων αμμοσυλλεκτών

Παράμετρος	Διακύμανση	Τυπική τιμή
Ελάχιστος χρόνος παραμονής (min)	2 - 5	3
Βάθος (m)	2 - 5	
Μήκος (m)	7,5 - 20	
Πλάτος (m)	2,5 - 7	
Λόγος πλάτους - βάθους	1:1 - 5:1	1,5 - 1
Λόγος μήκους - πλάτους	3:1 - 5:1	4:1
Οριζόντια ταχύτητα ροής (m/s)		< 0,1
Κλίση επιπέδου βάσης		40-45°
Παροχή αέρα/m (m ³ /min)	0,2 - 0,5	0,3
Ποσότητα άμμου	0,004 - 0,2	0,015



Video αεριζόμενου αμμοσυλλέκτη σε ΕΕΛ

Να κατασκευαστεί εξαμμωτής τριών καναλιών και των δύο τύπων (ορθογωνικής και παραβολικής διατομής) με τα εξής δεδομένα ταχύτητα ροής στον εξαμμωτή $V = 0,30 \text{ m/s}$

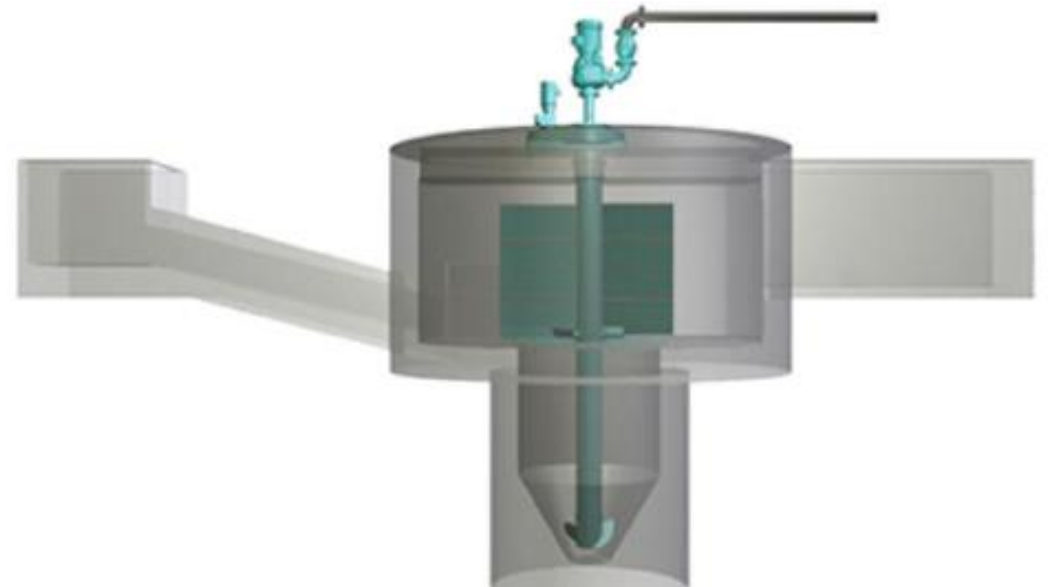
παροχές: $Q_{\max} = 60000 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{\text{aver}} = 40000 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{\min} = 25000 \text{ m}^3/\text{d}$

Χαρακτηριστικά άμμου: $d = 0,25 \text{ mm}$ $s=2$ $V_s = 0,0166 \text{ m/s}$ (ή $1436 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)

Να ληφθεί πρόνοια για το ενδεχόμενο το ένα κανάλι να μην λειτουργεί στην περίπτωση της μέγιστης παροχής

ΕΞΑΜΜΩΤΗΣ ΤΥΠΟΥ ΔΙΝΗΣ (ΤΥΠΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ)

- Στους εξαμμωτές τύπου δίνης (κυκλώνα) η ροή είναι περιστροφική.
- Η είσοδος των λυμάτων γίνεται εφαπτομενικά, στο πάνω μέρος του εξαμμωτή – κυκλώνα και η έξοδος των λυμάτων γίνεται επίσης από το επάνω μέρος.
- Τα στερεά καθιζάνουν διαγράφοντας ελικοειδείς τροχιές στο κάτω μέρος του εξαμμωτή.
- Οι εξαμμωτές αυτοί είναι συνήθως πατενταρισμένα συστήματα που παρέχονται από διάφορες εταιρείες.



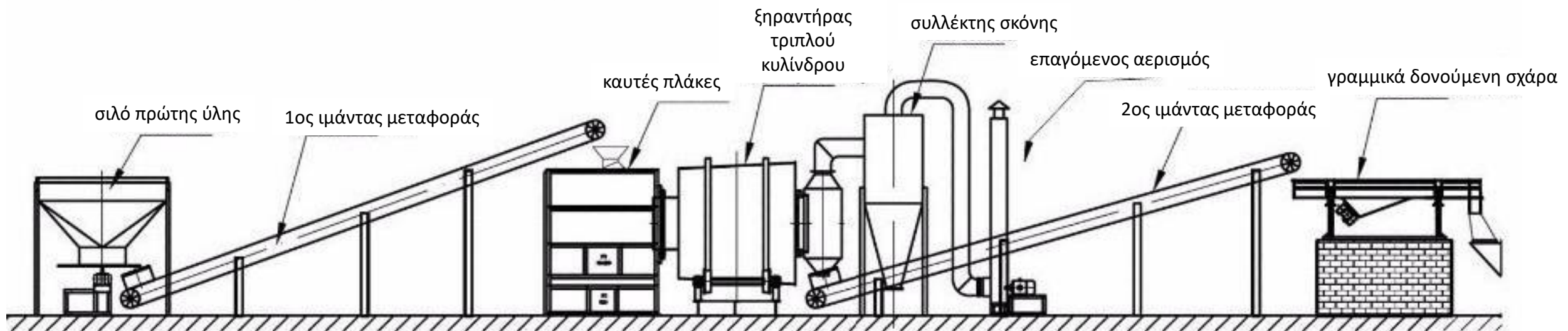
- Χαρακτηριστικά και ποσότητα άμμου που απομακρύνεται εξαρτώνται από τις συνθήκες της περιοχής, πχ είδος και κατάσταση αποχετευτικού δικτύου, αν λειτουργούν σκουπιδοφάγοι, αν εισέρχονται στο δίκτυο βιομηχανικά απόβλητα.

Είδος αποχετευτικού συστήματος	Διακύμανση ποσότητας άμμου (L/1000m ³)	Τυπική τιμή (L/1000m ³)	Μέση τιμή (L/κάτοικο/έτος)
Χωριστικό	15-75	30	5-12
Παντοροϊκό	75-220	100	
Μερικώς χωριστικό	45-65	60	

- Απομάκρυνση άμμου από χοάνες συλλογής: με αντλίες άμμου ή αεραντλίες (όσες οι χοάνες τόσες και οι αντλίες)

- Στράγγιση άμμου: σε κατάλληλο, μηχανικό, κοχλιωτο διαχωριστή υπό κλίση ώστε τα στραγγίσματα να επιστρέφουν στην κύρια ροή των υγρών αποβλήτων

Γραμμή ξήρανσης άμμου τριπλού κυλίνδρου



- Η άμμος που απομακρύνεται έχει υγρασία 20-30% (στερεά 70-80%), 8-49% πτητικά οργανικά στερεά και 70-80% ανόργανα συστατικά. Τα οργανικά στερεά έχουν δυσάρεστη οσμή και προσελκύουν έντομα

Να σχεδιαστεί αεριζόμενος εξαμμωτής για μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων μέσης ημερήσιας παροχής 50.000 m³/d. Ο λόγος μέγιστης προς μέση παροχή εκτιμάται σε 2,75.

- Επιλέγεται χρόνος παραμονής 3 min (τυπική τιμή)

Όγκος αμμοσυλλέκτη:
$$V = Q \cdot \tau = 50000 \cdot \frac{3}{24 \cdot 60} = 104,17 \text{ m}^3$$

- Επιλέγεται πλάτος και υπολογίζονται μήκος και βάθος. Επιλέγουμε $W = 3 \text{ m}$

για λόγο πλάτους προς βάθος $W/H = 1,5$ έχουμε βάθος $H = 3 / 1,5 = 2 \text{ m}$

για λόγο μήκους προς πλάτος $L/W = 4$ έχουμε μήκος $L = 3 \times 4 = 12 \text{ m}$

- Για τον υπολογισμό του τελικού μήκους εισάγεται συντελεστής ασφαλείας 1,15 για να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες εισροής-εκροής $L = 1,5 \times 12 = 13,8 \text{ m}$

Να σχεδιαστεί αεριζόμενος εξαμμωτής για μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων μέσης ημερήσιας παροχής 50.000 m³/d. Ο λόγος μέγιστης προς μέση παροχή εκτιμάται σε 2,75.

- Απαιτήσεις σε αέρα

για 0,40 m³ αέρα/min/m μήκος απαιτούνται (πίνακας)

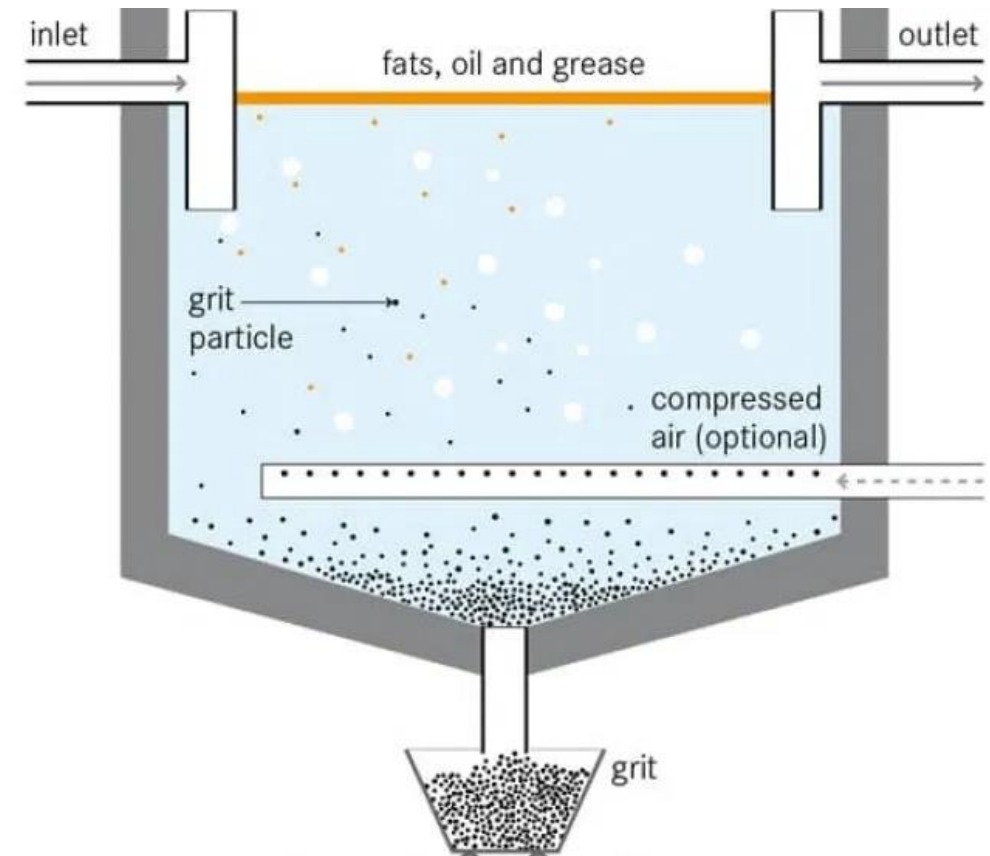
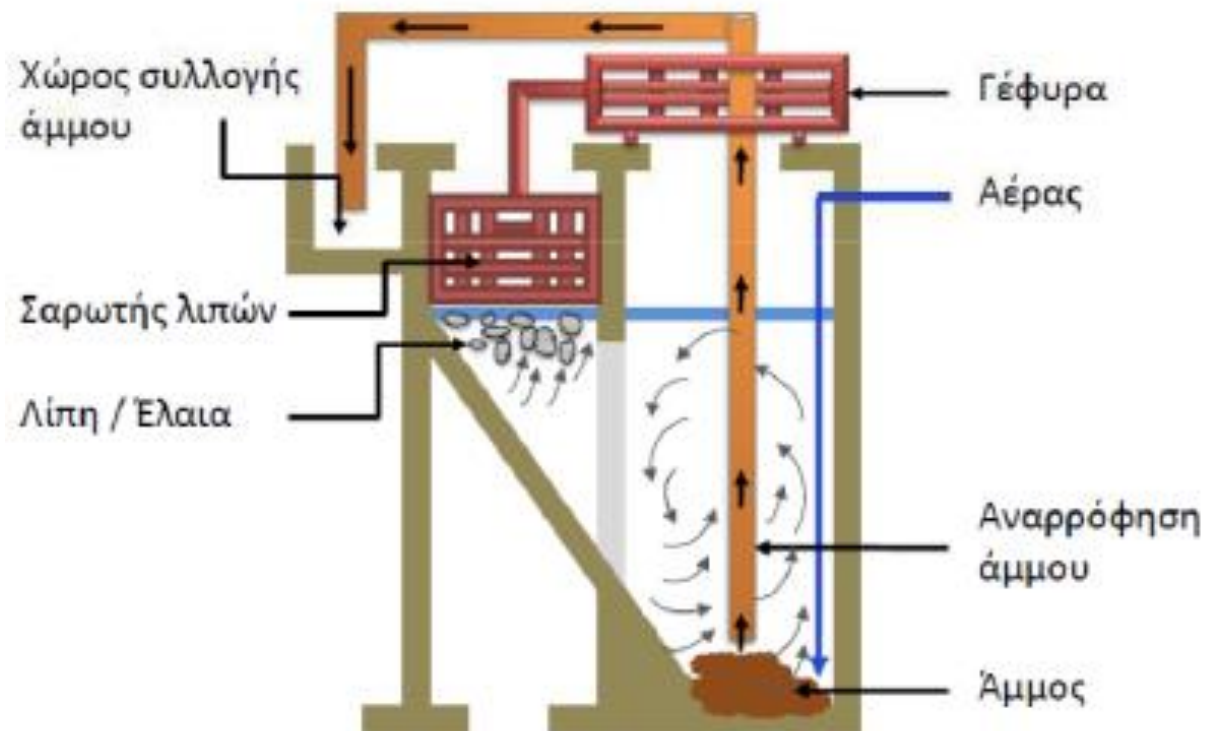
$$q_{\text{αερ}} = 0,4 \times 13,8 = 5,52 \text{ m}^3 \text{ αέρα/min}$$

- Ημερήσια ποσότητα άμμου που συλλέγεται

$$Q_{\text{άμμου}} = 50000 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-2} = 1 \text{ m}^3$$

ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΟΣ ΑΜΜΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

- Σε περίπτωση όπου βιομηχανικά απόβλητα διατίθενται στο σύστημα συλλογής, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η έκλυση πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) λόγω ανάδευσης (κίνδυνος υγείας για χειριστές μονάδας).
- Χρησιμοποιούνται και σαν λιποσυλλέκτες.



Που χρειάζονται

- απομάκρυνση ελαιωδών από επιφανειακά νερά πριν την κύρια επεξεργασία του νερού
- απομάκρυνση λιπαρών από τα οικιακά υγρά απόβλητα πριν την απόρριψη στο δίκτυο αποχέτευσης
- απομάκρυνση λιπαρών κατά την προεπεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων
- απομάκρυνση ελαιωδών προσμίξεων από τα υγρά απόβλητα των διυλιστηρίων πετρελαίου και άλλων βιομηχανιών
- απομάκρυνση ελαιωδών από τα συμπυκνώματα ατμού στη βιομηχανία πριν την ανακύκλωση νερού

- Οι λιποσυλλέκτες είναι δύο βασικών τύπων:

αεριζόμενοι: τα λίπη επιπλέουν με τη βοήθεια φυσαλίδων αέρα (επίπλευση με αέρα)

(υπερδιήθηση)

στατικοί: δεξαμενή που τα απόβλητα οδηγούνται και με κατάλληλα διαφράγματα συγκρατούνται στην επιφάνεια τα λίπη.

- Τέτοιες δεξαμενές συναντάμε σε μονάδες που αποβάλλουν μεγάλες ποσότητες λίπους, πχ εστιατόρια και μικρές βιοτεχνίες.
- Οι δεξαμενές μπορεί να είναι ορθογωνικές ή κυκλικές
- Σε μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας, αμμοσυλλογή και λιποσυλλογή γίνονται στην ίδια δεξαμενή (αεριζόμενο σύστημα).
- Αυτές μπορεί να είναι ορθογώνιες ή κυκλικές δεξαμενές, με γερανογέφυρα στη στέψη τους, που κινείται οριζόντια κατά τη φορά των υγρών ή κυκλικά αντιστοίχως.

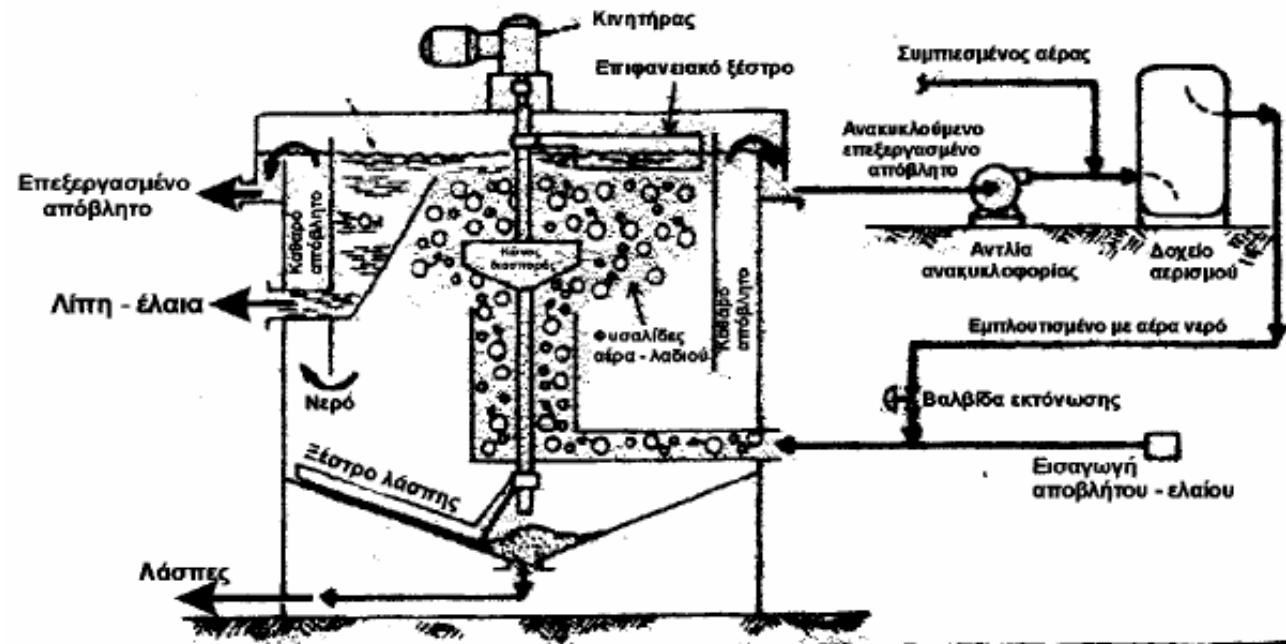
- Προτιμάται όταν πρόκειται για τον διαχωρισμό γαλακτώματος.
- Κατά τις διεργασίες αυτές, τα μικροσκοπικά σταγονίδια λαδιού μετατρέπονται σε μικροσκοπικές φυσαλίδες αέρα - λαδιού, λόγω διάχυσης, του αέρα που είναι διαλυμένος στο απόβλητο, προς το μη πολικό, λυόφοβο εσωτερικό τμήμα των μικκυλίων.
- Οι φυσαλίδες αέρα - λαδιού που σχηματίζονται, έχουν μικρότερη πυκνότητα από τα αντίστοιχα σταγονίδια του γαλακτώματος, οπότε ανεβαίνουν στην επιφάνεια γρηγορότερα από την κύρια μάζα του αποβλήτου.

Είδη διαχωριστών με επίπλευση αέρα

- 1) Σύστημα DAF (Dissolved Air Flotation)
- 2) Σύστημα IAF (Induced Air Flotation)

1) Σύστημα DAF (Dissolved Air Flotation)

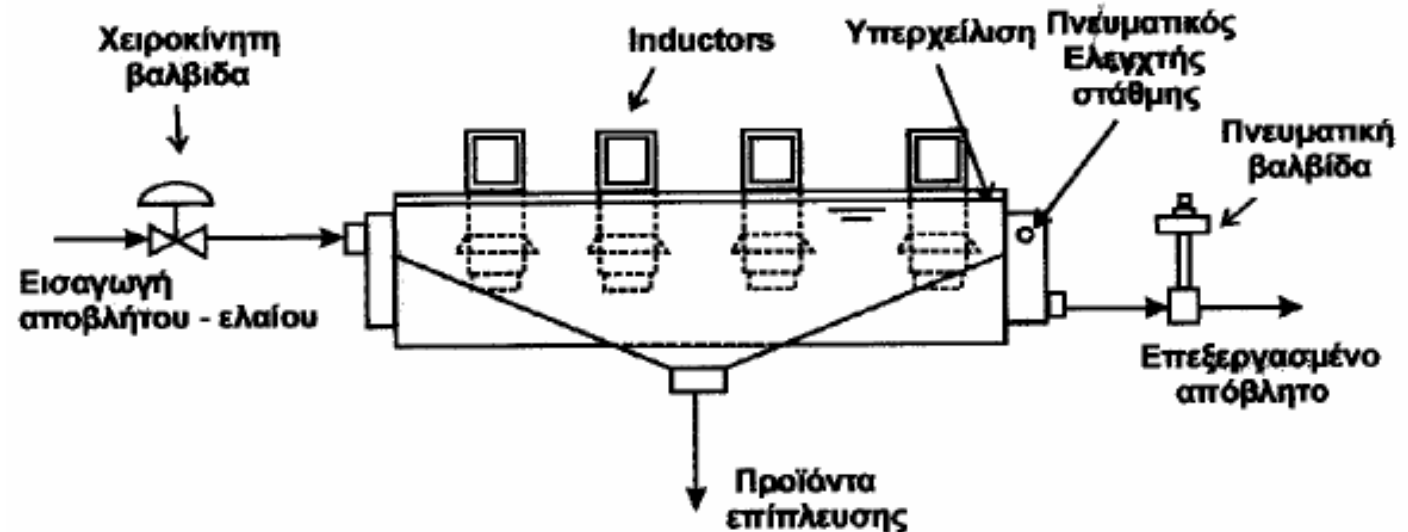
- διαλύεται αέρα σε υψηλή πίεση κατά αντirroή προς τη δεξαμενή επίπλευσης.
- Όταν η πίεση ελαττώνεται, καθώς ο αέρας μπαίνει στη δεξαμενή μέσα από μια οπή ελέγχου, ελαττώνεται και η διαλυτότητα του αέρα.
- Έτσι σχηματίζονται μικροσκοπικές φυσαλίδες αέρα και αέρα - λαδιού.
- Οι τελευταίες, αφού προσκολληθούν στα σταγονίδια του λαδιού, ανεβαίνουν στην επιφάνεια, λόγω μικρού ειδικού βάρους, και έτσι απομακρύνεται το λάδι.



1) Σύστημα IAF (Induced Air Flotation)

- Αέρας εισάγεται στο λύμα νερού μέσω ενός διαχυτήρα μικρής οπής. Η επαφή αέρα και νερού γίνεται σε ατμοσφαιρική πίεση → οι φυσαλίδες αέρα παρασύρονται στο νερό αντί να σχηματιστούν εκεί. Ο διαχωρισμός με IAF επιτυγχάνεται με την χρήση βαθμίδων (συνήθως 4)

Διαφορά DAF-IAF: στο DAF οι φυσαλίδες αέρα είναι μικρότερες από τα σταγονίδια του ελαίου οπότε «κολλούν» στα σταγονίδια ελαίου, ενώ στο IAF οι φυσαλίδες αέρα είναι μεγαλύτερες των σταγονιδίων και τα σταγονίδια ελαίου «κολλούν» στις φυσαλίδες αέρα. Έτσι το DAF, επειδή έχει την δυνατότητα να διαχωρίζει μικρότερα σταγονίδια ελαίων, είναι πιο αποτελεσματικό απ' ότι το σύστημα IAF.



- Η υπερδιήθηση είναι ακόμη μια μέθοδος για την επεξεργασία του γαλακτωματοποιημένου λαδιού.
- Στη διεργασία αυτή το απόβλητο με το λάδι αντλείται μέσω μιας μεμβράνης.
- Υπό στατική πίεση, το νερό και οι περισσότερες διαλυμένες ουσίες διαχέονται μέσω των πόρων αυτής της μεμβράνης.
- Τα μεγάλα μόρια, δηλαδή αυτά του λαδιού, κατακρατούνται, ενώ το νερό που περνά μέσα από την μεμβράνη περιέχει μικρή συγκέντρωση λαδιού ($< 100 \text{ mg/l}$).

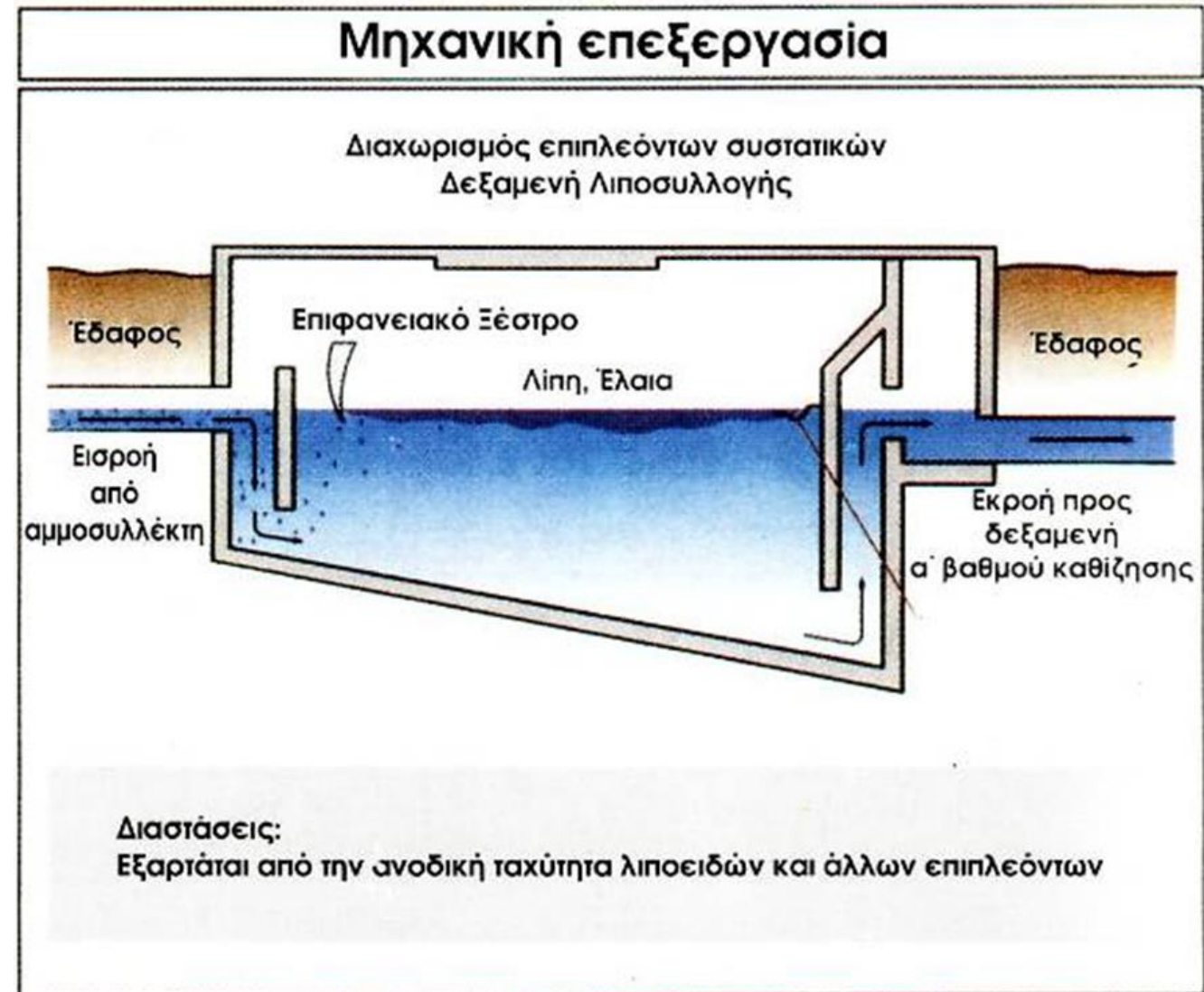
- μια μεγάλη και σημαντική κατηγορία ελαιοδιαχωριστών.
- Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη σημαντική διαφορά πυκνότητας μεταξύ νερού και των ελαιωδών ουσιών.
- Με τη βοήθεια της άνωσης οι σταγόνες λαδιού ανεβαίνουν στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής απ' όπου απομακρύνονται με κατάλληλες τεχνικές διατάξεις επιφανειακής συλλογής.

δύο κατηγορίες διαχωριστών βαρύτητας:

- 1) Διαχωριστές APIS (American Petroleum Institute Separator) και
- 2) Διαχωριστές παραλλήλων πλακών

ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ - ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΡΥΤΗΤΑ

- Η εισροή του υγρού αποβλήτου γίνεται σε στάθμη χαμηλότερη από την επιφάνεια που επιπλέουν τα λίπη και εξέρχονται από πολύ χαμηλότερο σημείο.
- διαχωρισμός ελαφρότερων λιπαρών ουσιών-ελαίων από κουζίνες, μηχανουργία, βενζινάδικα.
- Λίπη και έλαια κινούνται προς την επιφάνεια → απομάκρυνση με επιφανειακό ξέστρο



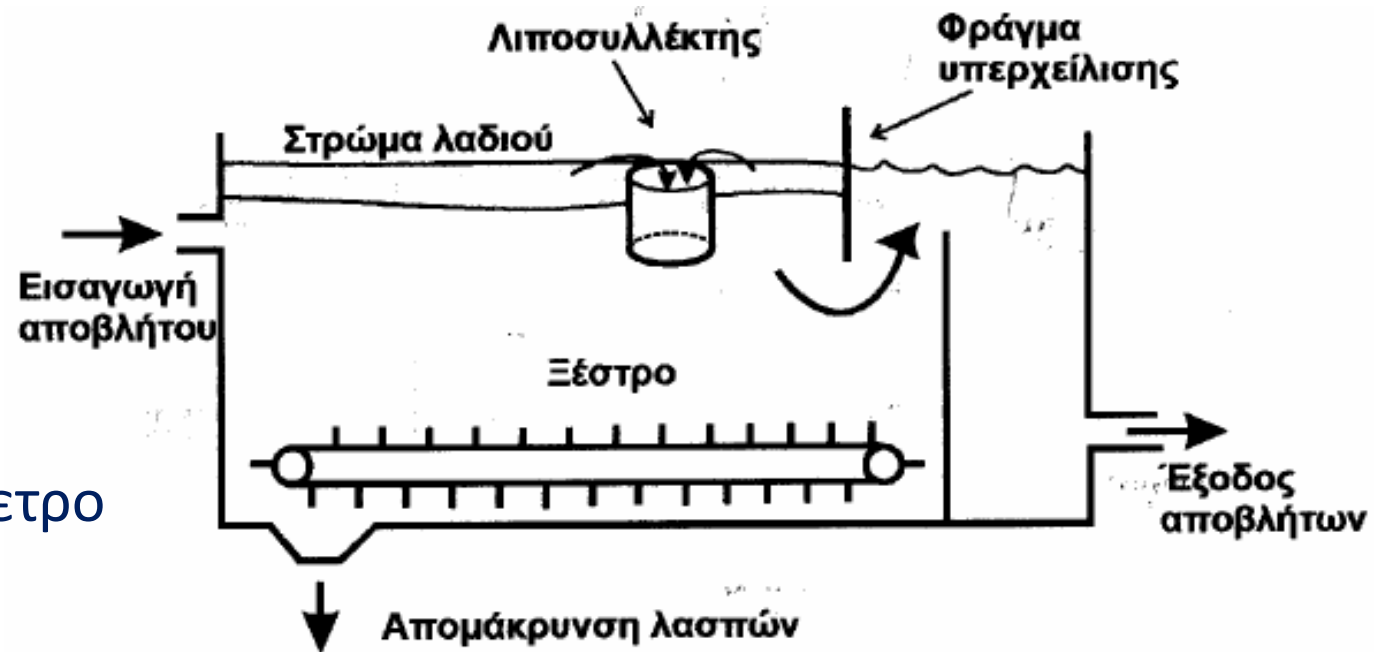
ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ - ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΡΥΤΗΤΑ

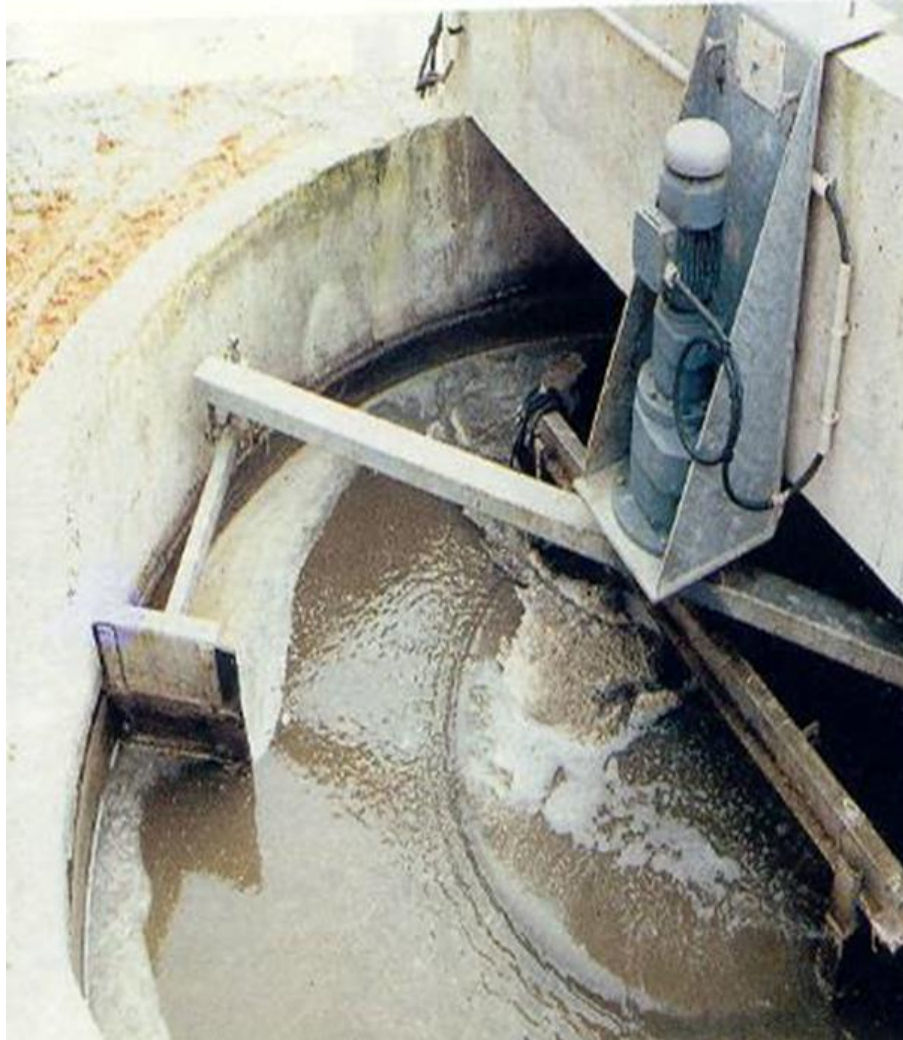
- Οι διαχωριστές APIS έχουν την ικανότητα να απομακρύνουν μεγάλες ποσότητες μη δεσμευμένου ελαίου αν και διαλυτά έλαια και τα περισσότερα γαλακτώματα δεν απομακρύνονται
- οι σταγόνες λαδιού ανέρχονται γραμμικά με οριακή ταχύτητα που καθορίζεται από το νόμο του Stokes όταν η ροή είναι στρωτή.

Σημαντικές παράμετροι

χρόνος παραμονής &
η επιφάνειά του που σχετίζεται με την
τροφοδοσία.

Οι APIS διαχωρίζουν σταγονίδια με διάμετρο
μεγαλύτερη από 200 μm περίπου.





Με αυτούς αντιμετωπίζονται τα **μειονεκτήματα** του προηγούμενου (APIS), που είναι

- αρκετά μεγάλο μέγεθος των δεξαμενών που απαιτείται έτσι ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητικός διαχωρισμός μεταξύ των φάσεων, με συνέπεια οι εγκαταστάσεις να καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και βάρος (μεγάλο κόστος κατασκευής),
- οι απώλειες λόγω εξάτμισης και ο κίνδυνος πυρκαγιάς,
- η υψηλή κατανάλωση ατμού ώστε να αποφευχθεί η ψύξη των βαρύτερων προϊόντων.

Ενώ στον APIS τα σταγονίδια ελαίου πρέπει να διανύσουν μεγάλη απόσταση μέχρι να αναδυθούν στην επιφάνεια, ο δρόμος αυτός μειώνεται με τους διαχωριστές παραλλήλων πλακών, όπου το λάδι συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος της επιφάνειας κάθε πλάκας και αναδύεται ευκολότερα προς την πάνω ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής διαχωρισμού.

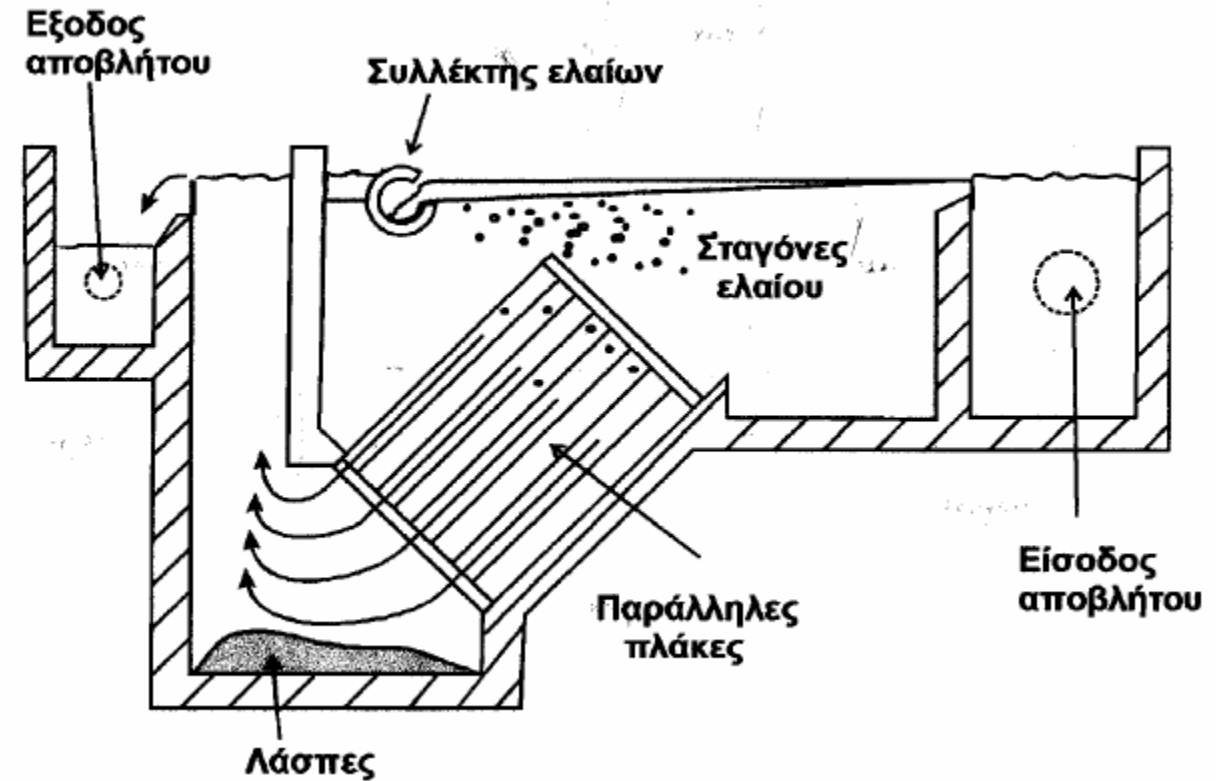
Τα στερεά σωματίδια του αποβλήτου, αντίθετα, συγκεντρώνονται στο πάνω μέρος της επιφάνειας κάθε πλάκας και καθιζάνουν στον πυθμένα.

ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ - ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΠΛΑΚΩΝ



CPI (Corrugated Plates Interceptors)

Η διαφορά τους από τον PPI, είναι ότι αποτελούνται από δέσμες 12-48 πλακών, οι οποίες αντί να είναι επίπεδες, έχουν αυλακώσεις (κυματοειδές σχήμα). Καθώς το απόβλητο ρέει ανάμεσα στις πλάκες, οι ελαφρότερες σταγόνες ελαίου επιπλέουν και συγκεντρώνονται στα ανώτερα σημεία των αυλακώσεων.



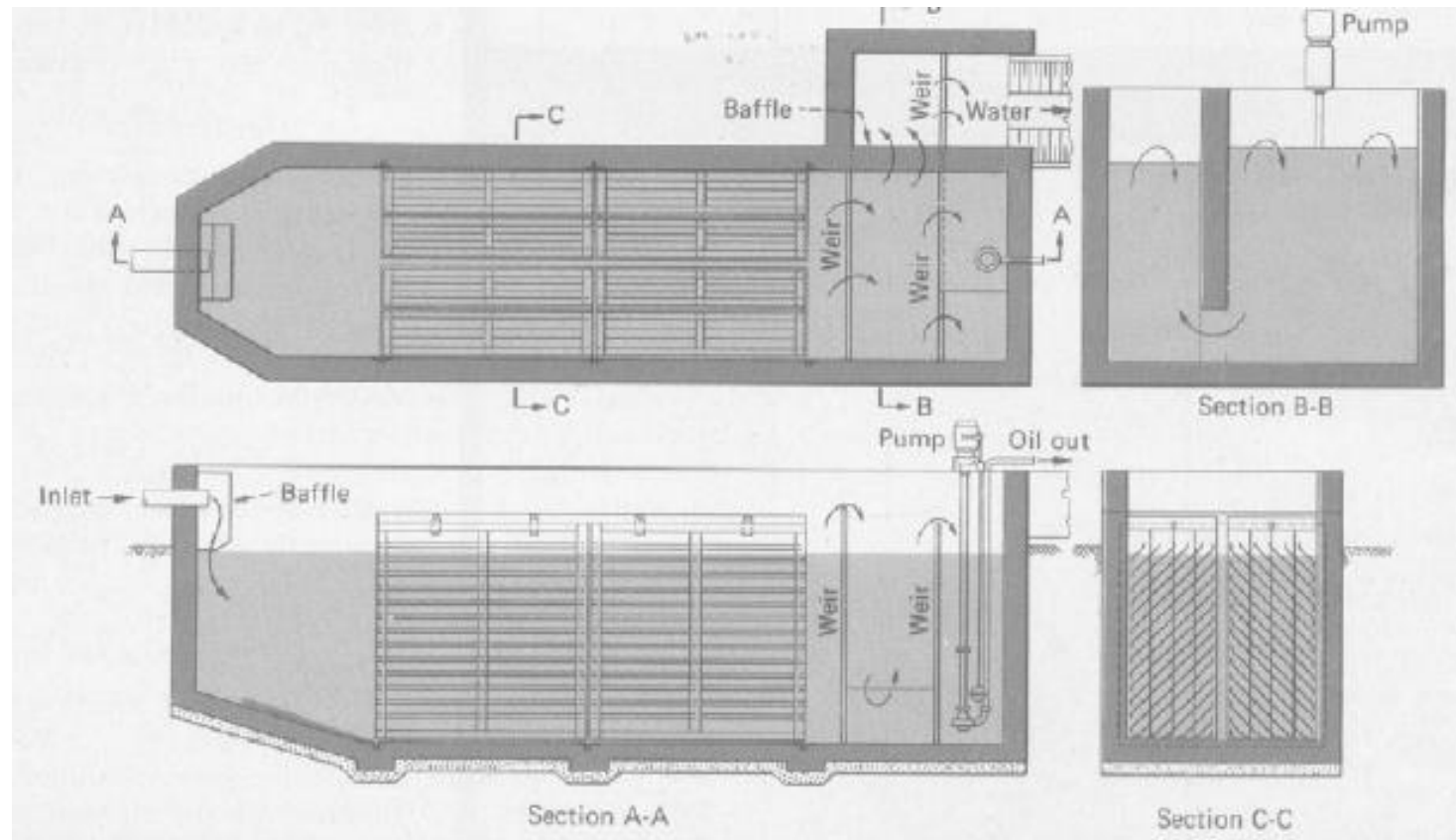
PPI (Parallel Plates Interceptors)

πρωτοχρησιμοποιήθηκαν από την Shell Oil Corp. το 1950 και μέχρι σήμερα έχουν μεγάλη αποδοχή. Αποτελούνται από ένα σετ παραλλήλων επίπεδων πλακών, με κλίση 45° . Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και με τον όρο Tilted Plate Separators.

ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ - ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

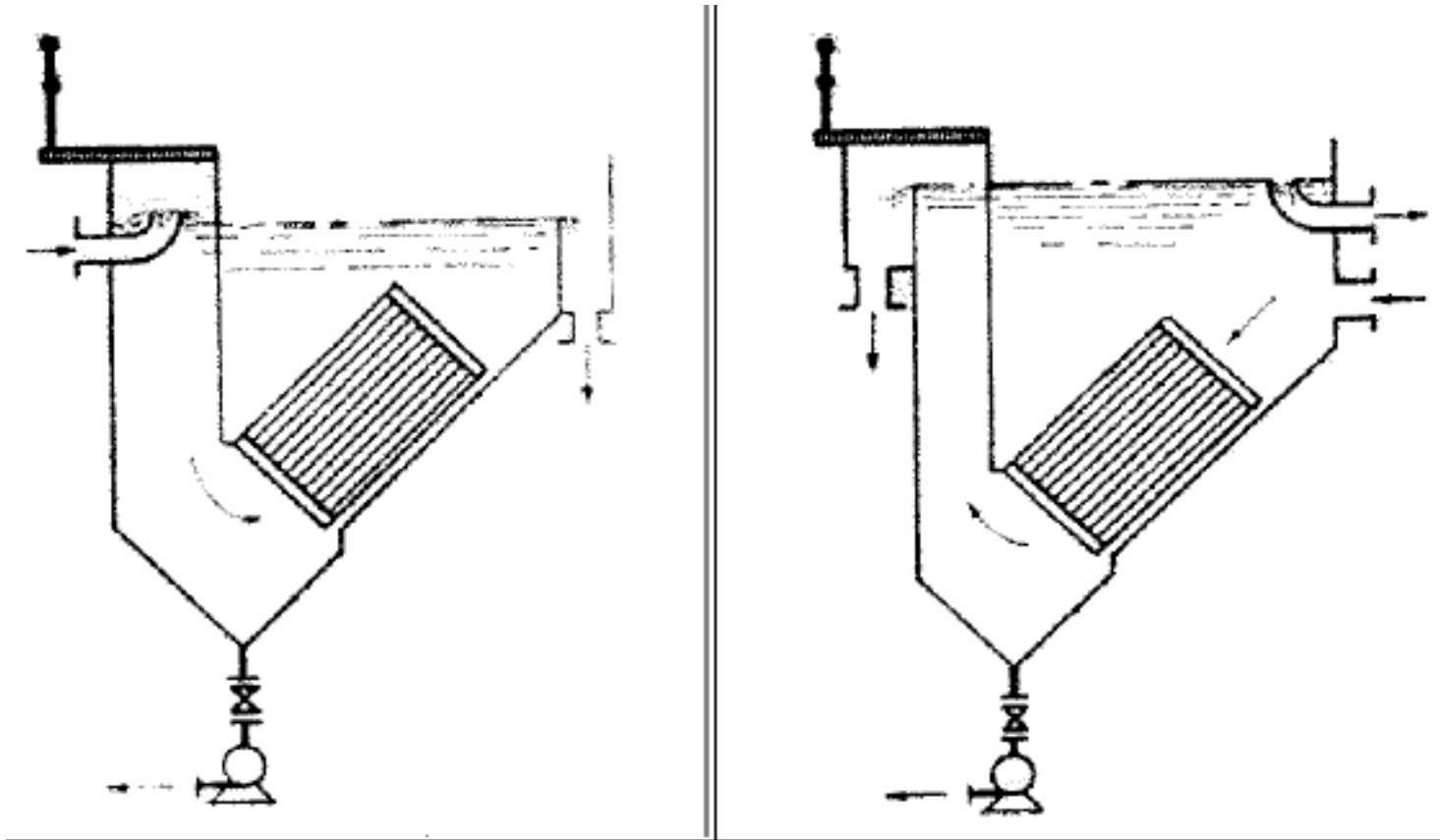
Στους διαχωριστές παραλλήλων πλακών, η ροή του αποβλήτου διαμέσου των πλακών μπορεί να είναι τριών τύπων :

α) Εγκάρσια ροή (cross flow)



ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ - ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Στους διαχωριστές παραλλήλων πλακών, η ροή του αποβλήτου διαμέσου των πλακών μπορεί να είναι τριών τύπων :

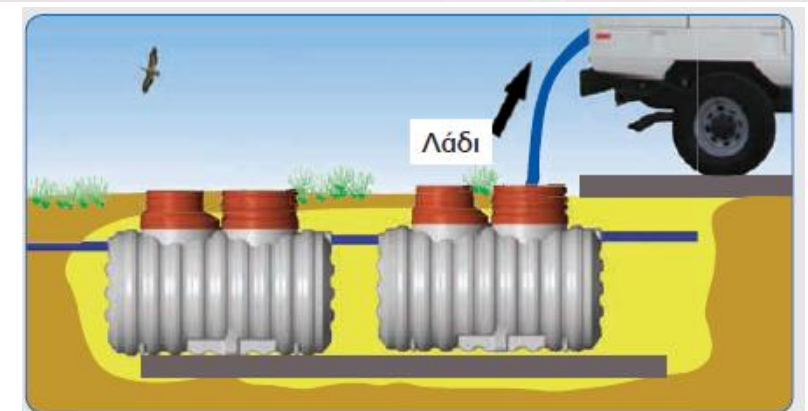
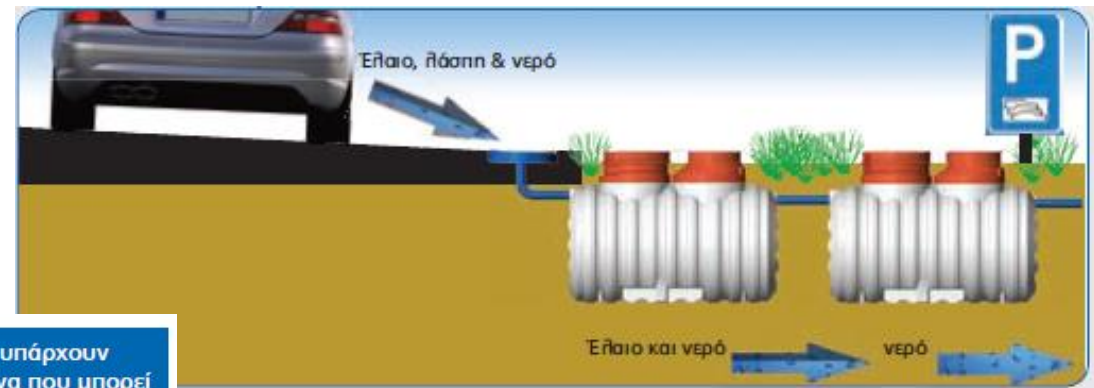


β) Ομορροή (co-current flow)

γ) Αντιρροή (counter-current flow)

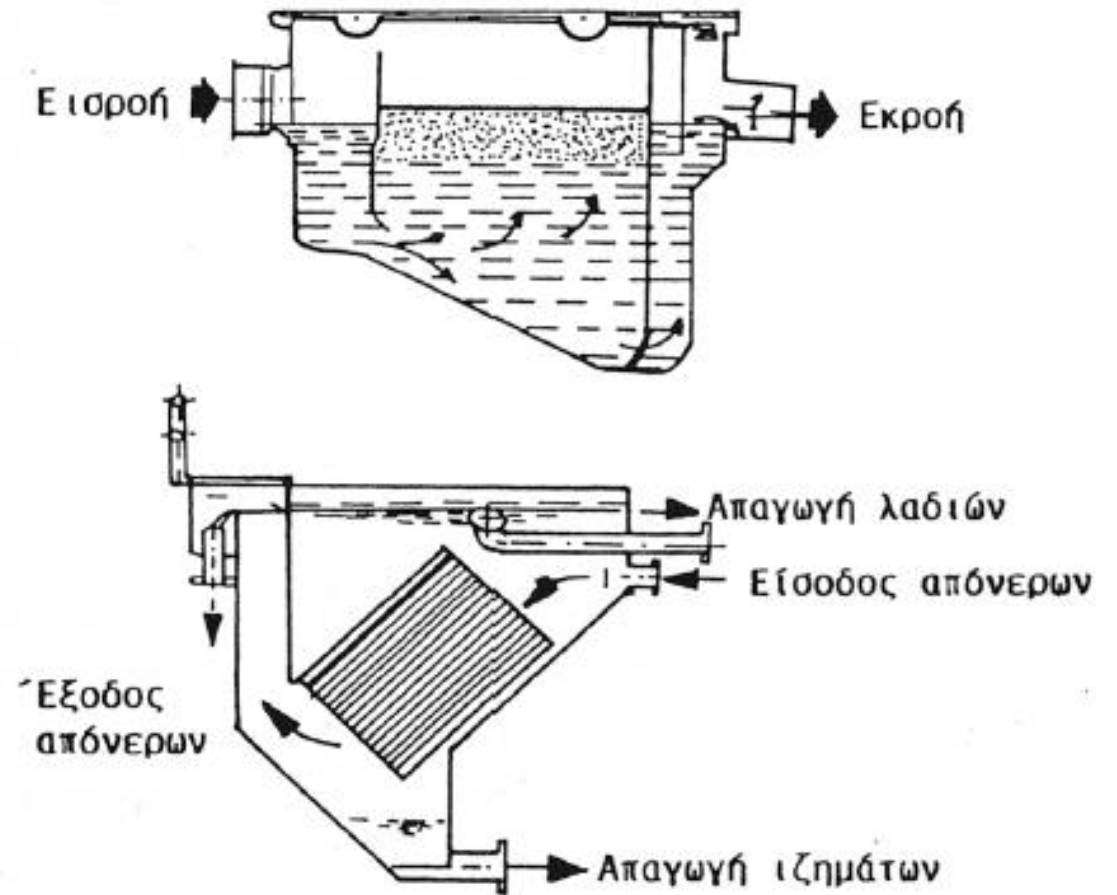
ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Στην αγορά μπορούν να βρεθούν και έτοιμα (plug-and-play) μοντέλα για διάφορες εφαρμογές



Λειτουργικά χαρακτηριστικά

- χρόνος παραμονής 3-5 min
- δυνατότητα αποθήκευσης λίπους: 40 L
- παροχή υγρών αποβλήτων: 1 L/sec
- θερμοκρασία εξόδου < 35°C
- το λίπος πρέπει να απομακρύνεται τακτικά
- Απόδοση φτάνει σε 80-90%
- τα συλλεγόμενα λίπη και τα έλαια διατίθενται για υγειονομική ταφή ή καίγονται σε ειδικούς καυστήρες



- βασίζεται στον υπολογισμό της οριακής ταχύτητας ανόδου των σταγονιδίων του λαδιού σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση που καθορίζεται από τον νόμο του Stokes ($Re < 0.5$):

$$V_s = \frac{g \cdot D_{co}^2}{18 \cdot \nu} \cdot (R_D - 1)$$

V_s = οριακή ταχύτητα ανόδου σωματιδίων λαδιού (m/s)

D_{co} = “cut-off” οριακή διάμετρος σταγονιδίου ελαίου (μm)

ν = κινηματικό ιξώδες (m²/s)

R_D = σχετική πυκνότητα ελαίου = ρ_p / ρ_c

ρ_p = πυκνότητα λαδιού (kg/m³)

ρ_c = πυκνότητα νερού (kg/m³)

όπου: $\nu = (0.17487 - 0.004427 \cdot T + 0.0000405 \cdot T^2) \cdot 10^{-5}$ (m²/s)

- Ένα σταγονίδιο λαδιού, σε μία δεξαμενή οριζόντιας ροής, κινείται με τη συνισταμένη δύο ταχυτήτων: την ταχύτητα ροής του υγρού (V_o) και την οριακή ταχύτητα ανόδου του σταγονιδίου (V_s).
- Αν Q = η παροχή του αποβλήτου και οι διαστάσεις της δεξαμενής είναι W = πλάτος, H = μήκος και L = πλάτος, τότε η ταχύτητα ροής V του εισερχομένου αποβλήτου δίδεται από:

$$V_o = \frac{Q}{H \cdot W}$$

- ενώ για να προλάβει να ανέβει μία σταγόνα που έχει οριακή ταχύτητα V_s πρέπει να ισχύει:

$$\frac{V_o}{V_s} \leq \frac{L}{H} \rightarrow V_s \leq \frac{V_o \cdot H}{L} = \frac{Q \cdot H}{L \cdot W \cdot H} = \frac{Q}{L \cdot W} = \frac{Q}{A} = V_o$$

A = επιφάνεια δεξαμενής (m^2)

$$\frac{V_o}{V_s} \leq \frac{L}{H} \rightarrow V_s \leq \frac{V_o \cdot H}{L} = \frac{Q \cdot H}{L \cdot W \cdot H} = \frac{Q}{L \cdot W} = \frac{Q}{A} = V_o$$

- Με βάση την τελευταία σχέση υπολογίζονται τα σταγονίδια λαδιού που θα συγκρατηθούν για δεδομένη επιφάνεια A της δεξαμενής απομάκρυνσης ελαίων.
- Ο λόγος Q/A που έχει διαστάσεις ταχύτητας και εκφράζει την μεγαλύτερη οριακή ταχύτητα (δηλαδή τη μικρότερη διάμετρο, D_{co}) των σωματιδίων που μπορούν να συγκρατηθούν στην δεδομένη δεξαμενή, ονομάζεται **ρυθμός υπερχείλισης ή επιφανειακή φόρτιση**.

Οι δεξαμενές αυτές σχεδιάζονται με βάσει τις παρακάτω προδιαγραφές:

- ✓ $3 \leq \tau \leq 5 \text{ min.}$
- ✓ $0.15 \text{ mm} \leq D_{co}$
- ✓ $0.9 \leq V_s \leq 3.6 \text{ m/h}$
- ✓ $15 \leq V_o \leq 55 \text{ m/h}$
- ✓ $0.3 \leq H / W \leq 0.5$
- ✓ $2 \leq W \leq 6 \text{ m}$
- ✓ $1 \leq H \leq 2.5 \text{ m}$
- ✓ $0,83 \leq \rho_p \leq 0.9 \text{ gr/cm}^3$ για πετρελαιοειδή
- ✓ $0,85 \leq \rho_p \leq 0.95 \text{ gr/cm}^3$ για βρώσιμα λάδια

τ = χρόνος παραμονής

Ελέγξτε αν ικανοποιούνται όλοι οι όροι σχεδιασμού μιας δεξαμενής διαχωρισμού ελαίων με διαστάσεις: πλάτος 3,048 m , βάθος 1,2192 m και μήκος ίσο με 15,24 m με μέγιστη τροφοδοσία αποβλήτου 2385 m³/day. Επίσης έχουμε ειδικό βάρος λαδιού 0,92, θερμοκρασία 60°F και μέγεθος σταγονιδίων 0,015 cm.

Από το νόμο του Stokes υπολογίζουμε την οριακή ταχύτητα των σταγονιδίων.

$$V_s = \frac{g \cdot D_{co}^2}{18 \cdot \nu} \cdot (R_D - 1) \rightarrow V_s = \frac{981 \cdot (0,92 - 1) \cdot (0,015)^2}{18 \cdot (1,13 \cdot 0,01)} = -0,0868 \text{ cm/sec}$$

$$V_s = \frac{Q}{A} = 0,0868 \text{ cm/sec} \cdot 864 \frac{\text{m} \cdot \text{sec}}{\text{cm} \cdot \text{day}} = 75 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{day}}$$

Ελέγξτε αν ικανοποιούνται όλοι οι όροι σχεδιασμού μιας δεξαμενής διαχωρισμού ελαίων με διαστάσεις: πλάτος 3,048 m , βάθος 1,2192 m και μήκος ίσο με 15,24 m με μέγιστη τροφοδοσία αποβλήτου 2385 m³/day. Επίσης έχουμε ειδικό βάρος λαδιού 0,92, θερμοκρασία 60°F και μέγεθος σταγονιδίων 0,015 cm.

Επιφανειακή φόρτιση λειτουργίας:
$$\frac{2,385 \text{ m}^3/\text{day}}{(3,048 \text{ m}) \cdot (15,24 \text{ m})} = 61 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$$

Άρα ο συντελεστής ασφαλείας είναι $75/61 = 1,23$ ή 23%.

Ελέγξτε αν ικανοποιούνται όλοι οι όροι σχεδιασμού μιας δεξαμενής διαχωρισμού ελαίων με διαστάσεις: πλάτος 3,048 m , βάθος 1,2192 m και μήκος ίσο με 15,24 m με μέγιστη τροφοδοσία αποβλήτου 2385 m³/day. Επίσης έχουμε ειδικό βάρος λαδιού 0,92, θερμοκρασία 60°F και μέγεθος σταγονιδίων 0,015 cm.

Η ταχύτητα του αποβλήτου μέσα στο διαχωριστήρα είναι:

$$V_o = \frac{2,385 \text{ m}^3/\text{day}}{(3,048 \text{ m}) \cdot (1,2192 \text{ m})} = 763,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day} = 0,8839 \text{ cm/sec}$$

και $15 \cdot V_o = 15 \cdot 0,8868 = 1,3 \text{ cm/sec} > 0,8836 \text{ cm/sec}$

Επομένως είναι ικανοποιητική η ταχύτητα του αποβλήτου

$$\text{Βάθος} / \text{Πλάτος} = 1,2192/3,048 = 0,4 \Rightarrow \text{ικανοποιητικό.}$$

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΜΜΩΤΗ-ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗ

- Υπολογίζεται η παροχή αιχμής ($Q_{\text{αιχμης}}$)
- Επιλέγουμε χρόνο παραμονής τ
- Υπολογίζεται ο ελάχιστος όγκος εξάμμωσης: $V_{\text{min}} = Q_{\text{αιχμης}} \times \text{Χρόνος Παραμονής} = Q \times \tau$
- Επιλέγουμε αριθμό δεξαμενών σε λειτουργία: n
- Ελάχιστος όγκος κάθε δεξαμενής: $V_{\text{min,δεξ}} = V_{\text{min}} / n$
- Επιλέγεται Βάθος εξαμμοτή: $H_{\text{εξ}}$
- Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια: $\text{Sur}_{\text{εξ}} = V_{\text{min,δεξ}} / H_{\text{εξ}}$
- Επιλέγεται λόγος Πλάτος / Βάθος $\rightarrow$ πλάτος
- Επιλέγεται προσάυξηση μήκους και
- Υπολογίζεται Μήκος εξαμμοτή $L_{\text{εξ}} = \frac{\text{Sur}_{\text{εξ}}}{b_{\text{εξ}}} \cdot (1 + \alpha)$
- Η προκύπτουσα επιφάνεια του εξαμμοτή είναι: $\text{Sur}_{\text{εξ}} = L_{\text{εξ}} \cdot b_{\text{εξ}}$

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΜΜΩΤΗ-ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗ

- Τελικός όγκος δεξαμενής: $V_{\text{τελ,δεξ}} = \text{Sur}_{\text{εξ}} \cdot H_{\text{εξ}}$
- Συνολικός όγκος εξαμμοτή $V_{\text{ολ,εξ}} = V_{\text{τελ,δεξ}} \cdot n_{\text{εξ}}$

ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ

- Επιλέγουμε $q = 15 \text{ m}^3/\text{m}/\text{h}$

$$Q_{\text{air,ολ}} = q_{\text{εξ}} \cdot n_{\text{εξ}} \cdot L_{\text{εξ}}$$

- Υπολογίζεται η πίεση του αέρα (Pb) στην έξοδο από τους διαχυτές

$$P_b = P_{\text{atm}} + \frac{D_{\text{εξ}}}{10,31} + PL + P_{\text{sf}}$$

PL = απώλειες λόγω τριβών του αέρα στις σωληνώσεις = 0,020 atm

P_{sf} = συντελεστής ασφαλείας,

P_{atm} = ατμοσφαιρική πίεση 1 atm

$D_{\text{εξ}}$ = το βάθος τοποθέτησης διαχυτών

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΜΜΩΤΗ-ΛΙΠΟΣΥΛΛΕΚΤΗ

- Επιλέγεται συνολικός αριθμός διαχυτήρων n_δ
- Υπολογίζεται η Παροχή αέρα κάθε διαχυτήρα $Q_\delta = \frac{Q_{air,ολ}}{n_\delta}$
- Επιλέγεται αριθμός ζευγών οπών διάχυσης ανά διαχυτήρα $n_{\delta 2}$

Διαστασιολόγηση διαμέτρων οπών διάχυσης & διαχυτήρων

- Επιλέγουμε διάμετρο για τον σωλήνα του διαχυτήρα $d_{\delta 1}$
- Η ταχύτητα του αέρα είναι $V_{\delta 1} = 4 \cdot \frac{Q_\delta}{\pi \cdot \left(\frac{d_{\delta 1}}{1000}\right)^2 \cdot 3600}$
- Για Παροχή αέρα και διάμετρο οπών $d_{\delta 2}$: $Q_{\delta 2} = Q_\delta / n_{\delta 2}$
- Η ταχύτητα του αέρα είναι $V_{\delta 2} = 4 \cdot \frac{Q_{\delta 2}}{\pi \cdot \left(\frac{d_{\delta 2}}{1000}\right)^2 \cdot 3600}$

Υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων φυσητήρων

- Οι ενεργειακές απαιτήσεις κάθε φυσητήρα (P_w) υπολογίζονται για παροχή αέρα $Q_{air,ολ}$

$$P_w = \frac{w \cdot R \cdot T_o}{8,41 \cdot n_b} \cdot \left[\left(\frac{P_b}{P_o} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$w_i = 1,0 \cdot \frac{Q_{air,ολ}}{3600} \quad R = 8,134 \frac{\text{kJ}}{\text{k} \cdot \text{mole} \cdot \text{βαθμοίK}} \quad (\text{σταθερά αερίων})$$

T_o = θερμοκρασία εισόδου, 308 βαθμοί K P_o = 0,98 atm πίεση εισόδου n_b = απόδοση διαχυτήρα

- Τοποθετούνται δύο φυσητήρες, ένας σε λειτουργία και ένας εφεδρικός με εγκατεστημένη ισχύ εκάστου διαχυτήρα (P_i) για προσαύξηση ασφαλείας ($S_{fp}=0,45$)

$$P_i = P_w \cdot (1 + S_{fp})$$

Υπολογισμός αντλίας συλλογής άμμου AIR - LIFT:

- Η παραγόμενη ποσότητα άμμου (q_{sand}) εκτιμάται σε 30 L/1000 m³ λυμάτων με ποσοστό υγρασίας 50%.
- Όγκος άμμου $V_{\text{sand}} = \frac{Q_{\text{αιχμης}} \cdot 24 \cdot 30}{1000 \cdot n_{\text{εξ}}}$ λίτρα άμμου ανά δεξαμενή και ανά ημέρα
- Επιλέγεται κώνος συλλογής άμμου με διαστάσεις τέτοιες ώστε ο ωφέλιμος όγκος του να υπερεπαρκεί για τη συγκέντρωση της άμμου
- Για επιλεγμένο χρόνο λειτουργίας της αντλίας $T_{\text{air,lift}}$ απαιτούμενη παροχή άμμου

$$Q_{\text{air,lift}} = \frac{V_{\text{sand}}}{T_{\text{air,lift}}} \quad \text{λίτρα άμμου ανά ώρα}$$

Υπολογισμός αντλίας συλλογής άμμου AIR - LIFT:

- Ο απαιτούμενος αέρας (V_{as1}) για ανύψωση 1 m^3 άμμου δίνεται από την σχέση

$$V_{as1} = \frac{H_1}{k \cdot \log\left(\frac{H_2 + 10,4}{10,4}\right)} \quad \text{m}^3 \text{ αέρα ανά m}^3 \text{ άμμου}$$

Τα H_1 και H_2 προσδιορίζονται βάσει των διαστάσεων του κώνου

$$k = 10,2$$

- Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την ανύψωση του ανωτέρω όγκου άμμου (V_{sand}):

$$V_{air} = V_{as1} \cdot \frac{Q_{air, lift}}{1000} \quad \text{m}^3/\text{h}$$

Υπολογισμός μεγέθους σωλήνα αεραντλίας (Air – Lift):

- Ταχύτητα αέρα στο σωλήνα: $V_{\text{air}} = 5,1 \text{ m/sec}$
- Τροφοδοσία αέρα μέσω φυσητήρα: $V_1 = 6 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
- Προσαυξημένη τροφοδοσία αέρα μέσω φυσητήρα: $V_2 = V_1 \cdot 1,5 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
- Η διάμετρος σωλήνα αέρα AIR - LIFT είναι

$$D_{\text{air}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot V_{\text{air}} \cdot 10^6 \cdot 3600}} \cdot 10^6$$

Επιλογή διαστάσεων λιποσυλλέκτη:

- Το κανάλι λιπών έχει μήκος: $L_{\text{λιπ}} = L_{\text{εξ}}$
- Επιλέγεται πλάτος
- Βάθος καναλιού $H_{\text{λιπ}} = H_{\text{εξ}}$
- Υπολογίζεται η επιφανειακή φόρτιση

$$L_o = \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$$

Υπολογισμός ποσότητας λιπών και διαστασιολόγηση φρεατίου συλλογής:

- Ημερήσια ποσότητα λιπών

$$\lambda_d = \frac{[\Pi_o(1 + \Sigma)^n]q}{365 \cdot 1000}$$

Π_o = κάτοικοι

Σ = ετήσια αύξηση πληθυσμού

n = έτη λειτουργίας (Σχεδιασμός)

q = παραγωγή λιπών (L/κάτοικο/έτος)

- Επιλέγεται χρόνος αποθήκευσης $t_{\lambda_{\text{λιπ}}}$
- Πλάτος και βάθος ίδια με το κανάλι του λιποσυλλέκτη
- Το Μήκος $L_{2\lambda_{\text{λιπ}}}$ επιλέγεται
- Ο ωφέλιμος όγκος υγρών του φρεατίου: $V_{2\lambda_{\text{λιπ}}} = L_{2\lambda_{\text{λιπ}}} \times H \times b$
- Η ικανότητα αποθήκευσης: $V_{2\lambda_{\text{λιπ}}} / \lambda_d$

Να κατασκευαστεί αεριζόμενος αμμοσυλλέκτης - λιποσυλλέκτης για παροχή αιχμής

673,428 m³/h

- Σε όλες τις ΕΕΛ υπάρχει μετρητής παροχής - μετριέται σε ανοιχτούς ή κλειστούς αγωγούς
- Προτιμάται σε ανοιχτούς αγωγούς ώστε να είναι επισκέψιμο το παροχόμετρο
- Τα υγρά διέρχονται από ειδικά διαμορφωμένο κανάλι ορθογωνικής ή παραβολικής διατομής (διώρυγα Parshall). Το ειδικό όργανο εκπέμπει υπέρηχους ώστε να υπολογίζεται ανά πάσα στιγμή η στάθμη στη διατομή. Σφάλμα είναι μικρό (1-2%)
- Η παροχή μετριέται σε συνεχή βάση “online”.
- Ελέγχεται αν υπερφορτίζεται ή υποφορτίζεται η ΕΕΛ
- Ρυθμίζεται η επανακυκλοφορία της ενεργούς ιλύος
- Ρυθμίζεται η δόση χλωρίου για την αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη απολύμανση

Υπολογισμός ποσότητας λιπών και διαστασιολόγηση φρεατίου συλλογής:

Υπερηχητικός μετρητής

Online μέτρηση
παροχής



ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ

- Η παροχή στον Δίαυλο Parshall υπολογίζεται από το βάθος ροής ανάντη της στένωσης με τη σχέση:

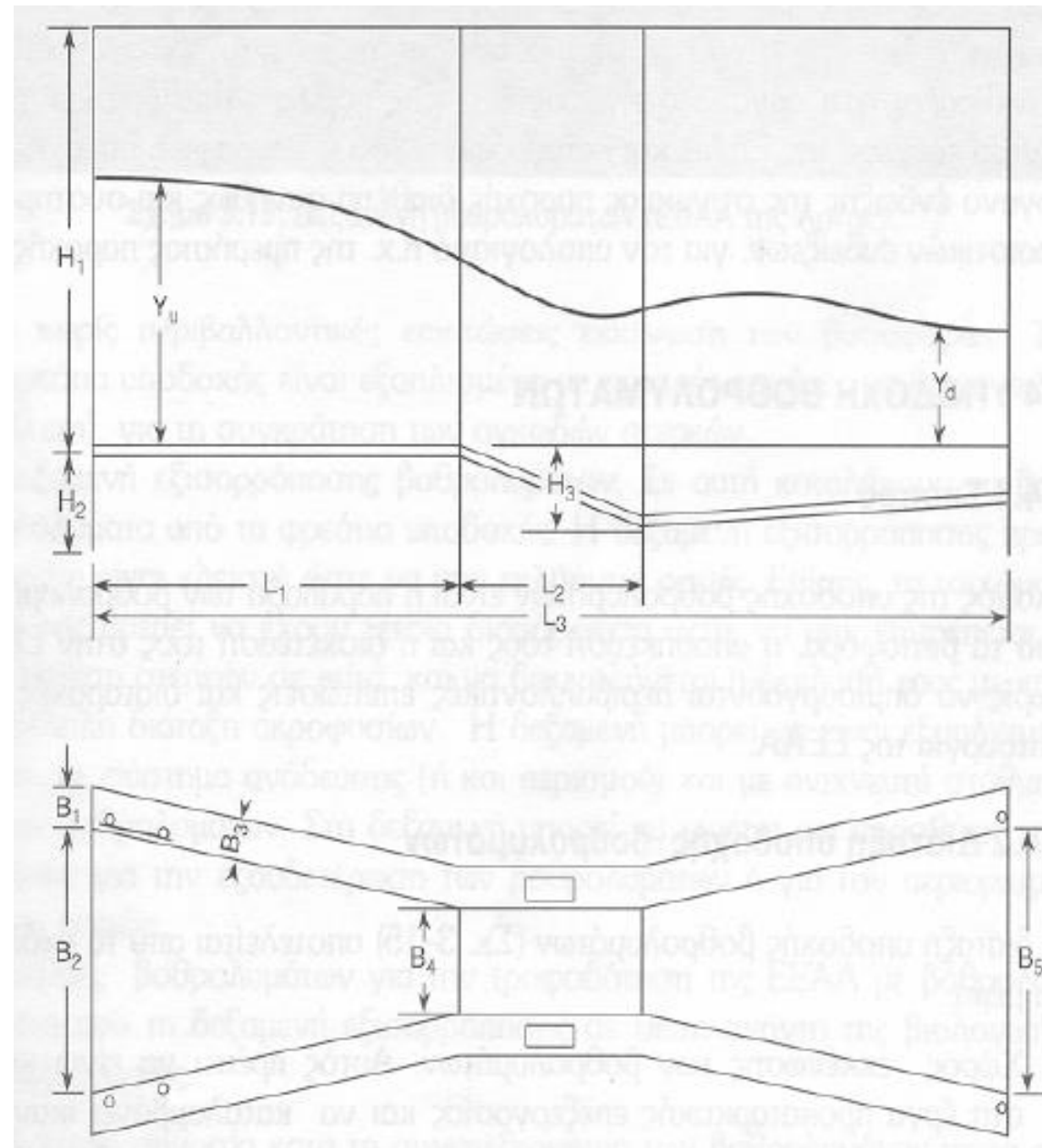
$$Q = k \cdot Y_u^n$$

Y_u = Βάθος ροής ανάντη της στένωσης

k, n = συντελεστές, εξαρτώνται από το πλάτος στένωσης w

- Για την καλή λειτουργία του διαύλου μετά τη στένωση (κατάντη), θα πρέπει να υπάρχει βάθος ροής Y_d που δεν υπερβαίνει το 50-70% του Y_u ή να υπάρχει ελεύθερη πτώση.
- Πριν τη στένωση πρέπει να υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα ίσο με $20 B_2$.

Βασικές διαστάσεις διαύλου Parshall



Συντελεστές για τον υπολογισμό του k

W (mm)	min Q (L/s)	max Q (L/s)	min Y_u (m)	max Y_u (m)	k	n	Y_u/Y_d (%)
25,4	0,009	5,40	0,015	0,20	0,064	1,55	50
50,8	0,18	13,2	0,015	0,24	0,1207	1,55	50
76,2	0,77	32,10	0,030	0,33	0,1771	1,55	50
152,4	1,50	111,0	0,030	0,45	0,3812	1,58	60
228,6	2,50	251,0	0,030	0,61	0,5354	1,53	60
304,8	3,32	457,0	0,030	0,76	0,6906	1,522	70
457,2	4,80	695,0	0,030	0,76	1,056	1,538	70
609,6	12,10	937,0	0,046	0,76	1,424	1,55	70

Τυπικές διαστάσεις διαύλου Parshall σε mm (Danfoss)

W (mm)	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	L ₁	L ₂	L ₃
50,8	410	58	43	22	36	60	214	60	50,8	135	406	114	774
76,2	610	75	57	25	50	60	259	60	76,2	178	457	152	914
152,4	610	155	114	76	79	60	397	60	152,4	394	610	305	1525
228,4	762	143	114	76	67	60	575	60	228,6	381	864	305	1626
304,8	914	270	292	76	194	60	845	60	304,8	610	1343	610	2867

- Ο χώρος εκκένωσης θα πρέπει να είναι κλειστός με σύστημα απόσμησης και σύστημα έκπλυσης.
- Πρέπει να βρίσκεται κοντά στα λοιπά έργα προεπεξεργασίας.
- Τα φρεάτια υποδοχής έχουν σύστημα στεγανής σύνδεσης με τα βυτιοφόρα
- Τα βοθρολύματα από τα φρεάτια υποδοχής καταλήγουν σε κλειστές δεξαμενές εξισορρόπησης.
- Οι δεξαμενές αυτές έχουν σύστημα αερισμού ή ανάδευσης.
- Συχνά, για την εξουδετέρωση των βοθρολυμάτων, προστίθενται χημικές ουσίες.
- Η τροφοδότηση της μονάδας με βοθρολύματα πρέπει να γίνεται σε χρονικές ημερήσιες περιόδους που τα ρυπαντικά φορτία των υγρών αποβλήτων είναι ελάχιστα.
- Από εμπειρικά στοιχεία προκύπτει ότι το μέγιστο φορτίο βοθρολυμάτων που μπορεί να δεχθεί μια μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων είναι, όσο αφορά το BOD₅, ίσο με το 15% του φορτίου σχεδιασμού