



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>

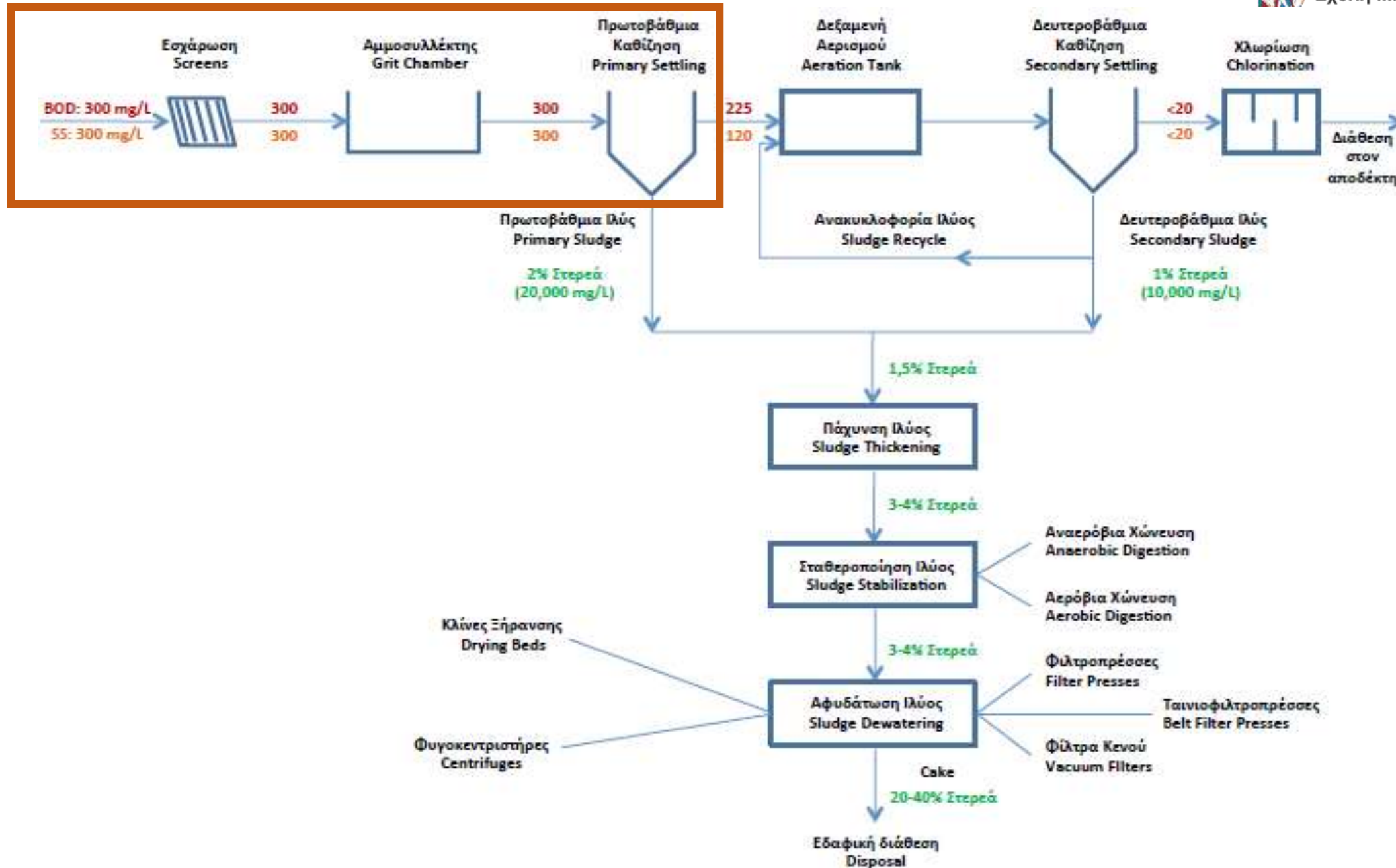
<https://www.facebook.com/LEEMtuc>

Μάρτιος 2021

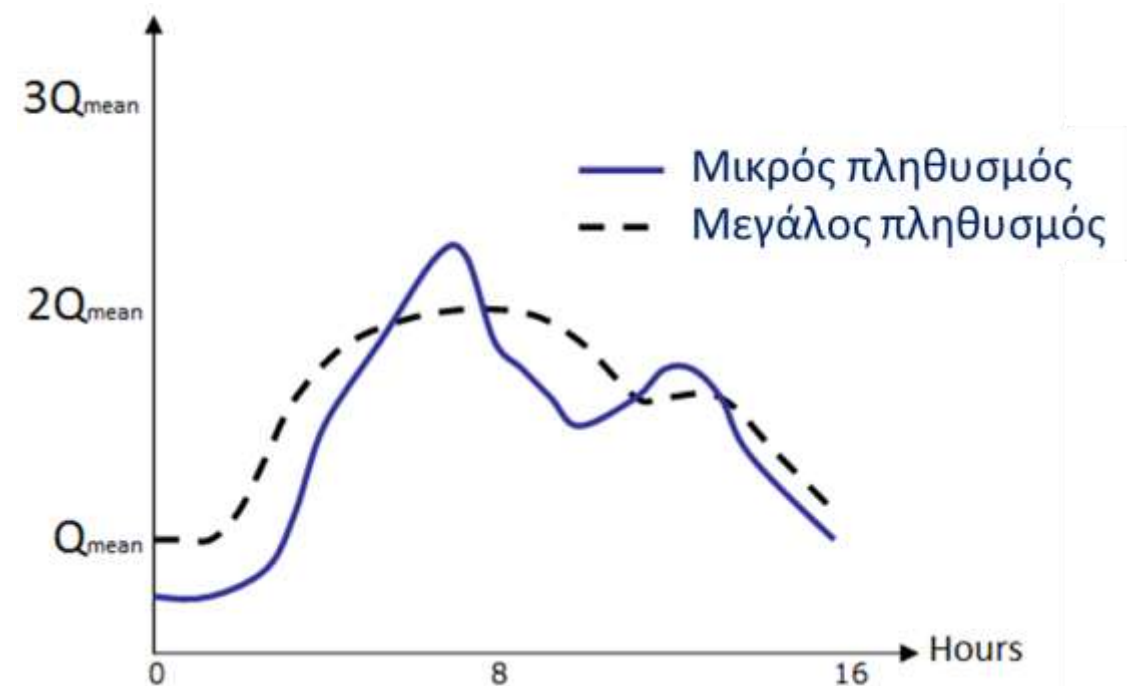


Εξισορρόπηση ροής





- Η παροχή των υγρών αποβλήτων παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για παράδειγμα, η κατανάλωση νερού κατά τις πρωινές ώρες είναι αυξημένη, ενώ αντίθετα κατά τη διάρκεια της νύχτας η κατανάλωση νερού είναι πολύ μικρή. Επίσης, αν το δίκτυο είναι παντορροικού, σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης η παροχή αποβλήτων στην ΕΕΛ αυξάνει σημαντικά.
- Λέγεται και «δεξαμενή ομογενοποίησης»



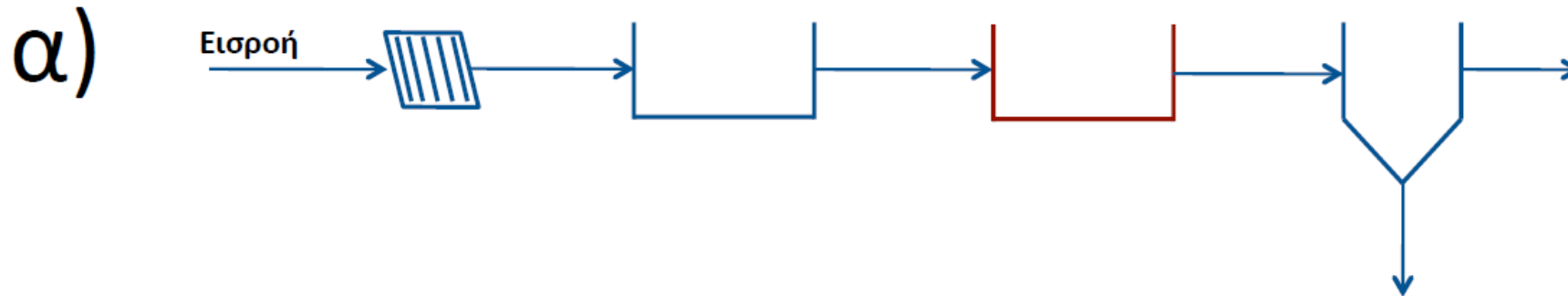
- Αντίστοιχες αυξομοιώσεις εμφανίζονται επίσης στις συγκεντρώσεις των **ρυπαντικών φορτίων**
- Η εξισορρόπηση ροής είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση των διακυμάνσεων στην παροχή για να επιτευχθεί **σχεδόν σταθερή ροή**, πριν τα λύματα εισέλθουν για πρωτοβάθμια ή δευτεροβάθμια επεξεργασία.
- Συμβάλλει και στην **εξουδετέρωση** (neutralization) των υγρών αποβλήτων ώστε να προληφθεί ένα υψηλό φορτίο (shock load) του συστήματος βιολογικής επεξεργασίας
- Απλά συγκρατεί το υγρό απόβλητο και το απελευθερώνει σταδιακά έτσι ώστε το εισερχόμενο υγρό απόβλητο στη συνέχεια να είναι καλά αναμεμιγμένο και να τροφοδοτείται υγρό απόβλητο με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά στα ακόλουθα στάδια επεξεργασίας (pH, χρώμα, θολότητα, αλκαλικότητα, BOD κλπ)

- Η εξισορρόπηση ροής **δεν** αποτελεί μέθοδο επεξεργασίας.
- Γενικά σχεδιάζεται για μια περίοδο συγκράτησης 24 h (συνηθίζεται επίσης για 8 h)
- Μπορεί να είναι χωμάτινες, ή από σκυρόδεμα ή από χάλυβα
- Κλίσεις πλευρών κυμαίνονται από 3:1 έως 2:1

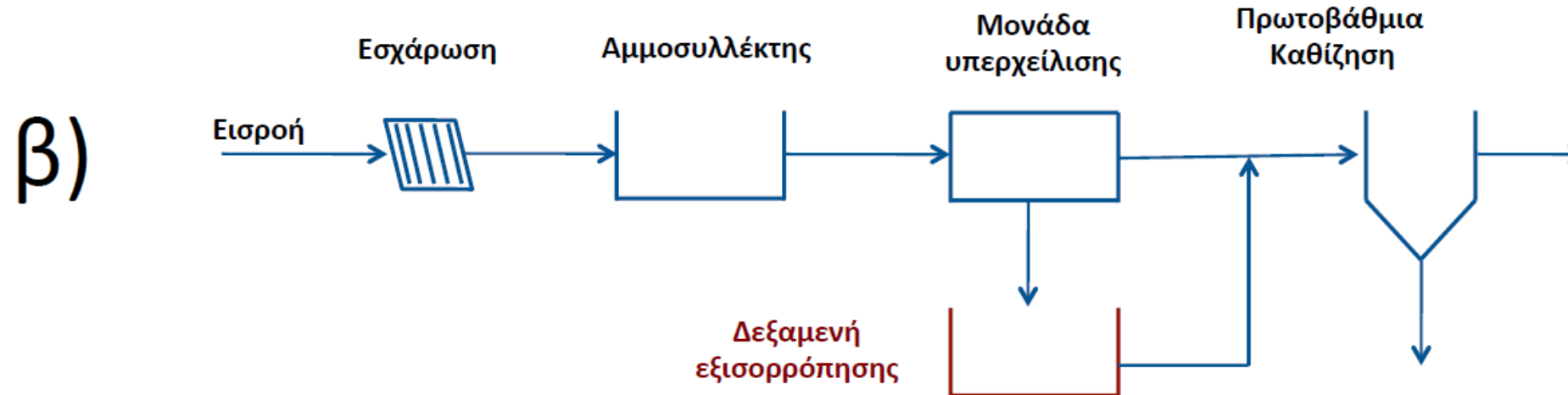
Η εξισορρόπηση της ροής συμβάλει:

- ✓ στην καλύτερη απόδοση των κατάντη διεργασιών εάν η παροχή είναι σταθερή
- ✓ στη μείωση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας των διεργασιών επεξεργασίας

Η δεξαμενή εξισορρόπησης ροής μπορεί να βρίσκεται είτε (α) εντός της γραμμής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είτε (β) εκτός.



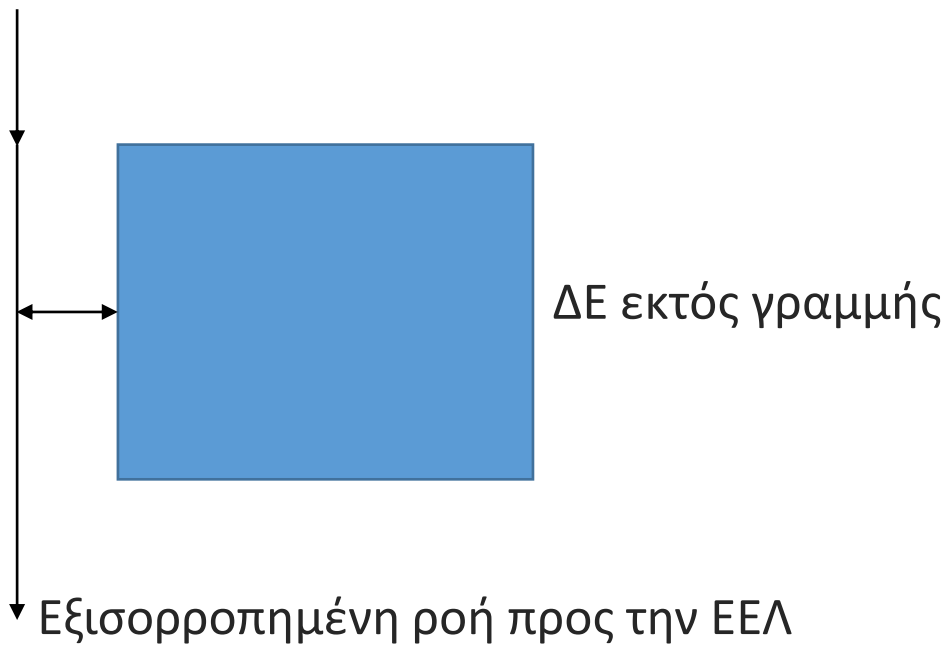
In-line equalization tank



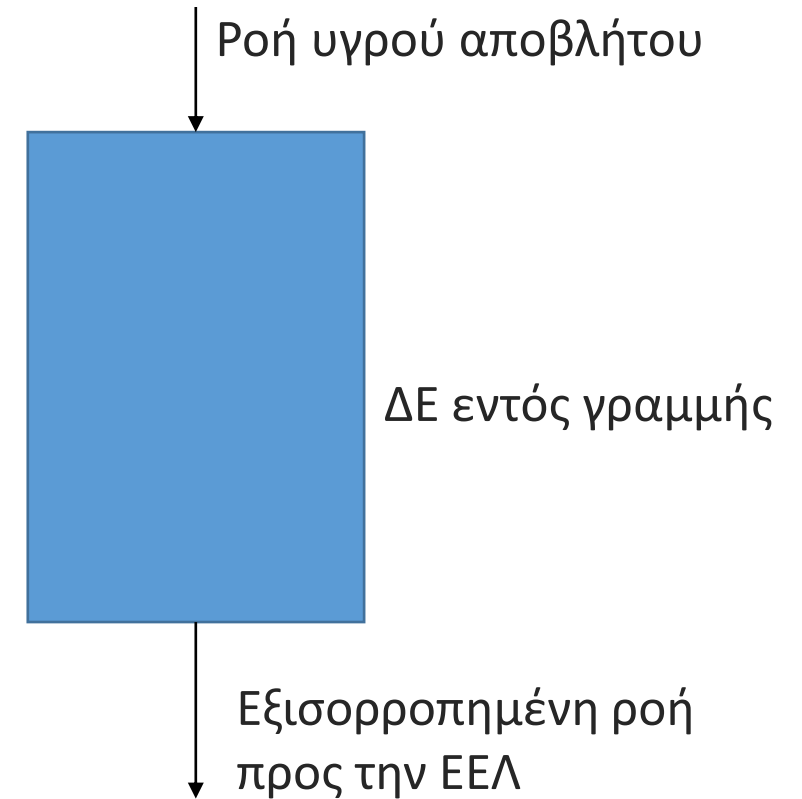
Side-line equalization tank

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ (EQUALIZATION TANK)

Η δεξαμενή εξισορρόπησης ροής μπορεί να βρίσκεται είτε (α) εντός της γραμμής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είτε (β) εκτός.



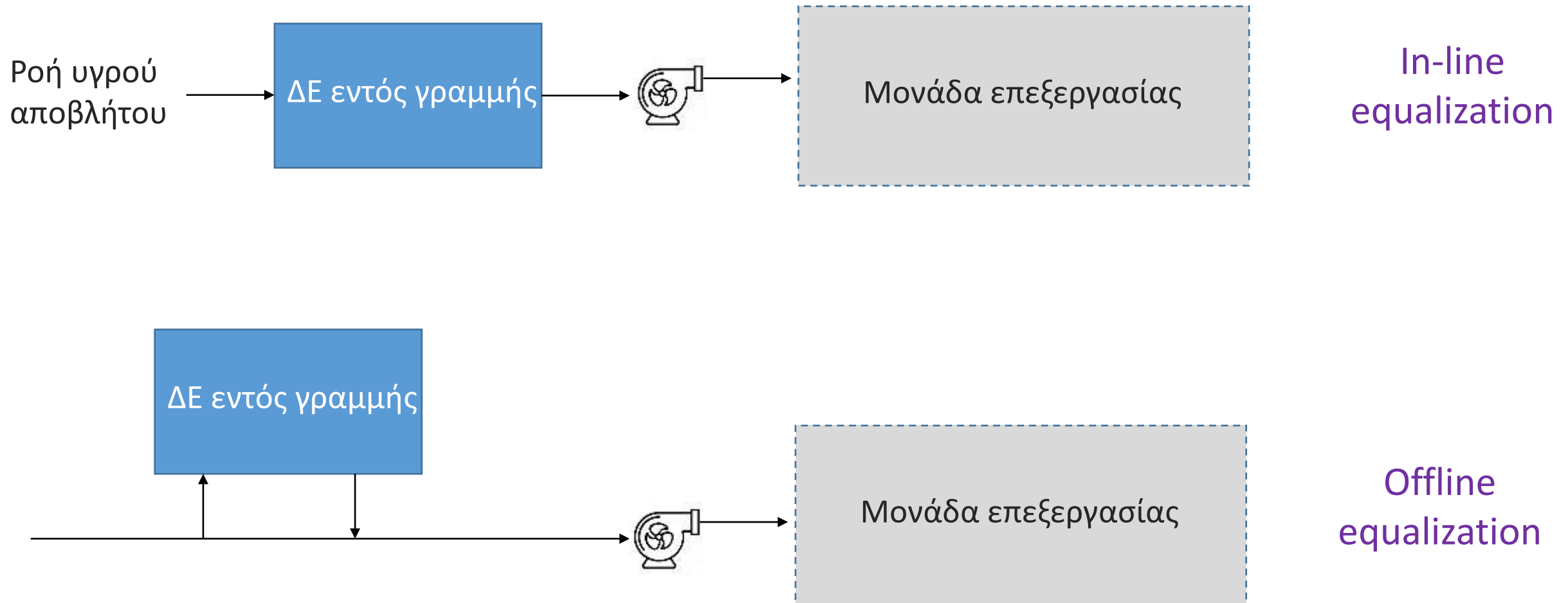
Side-line equalization



In-line equalization

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ (EQUALIZATION TANK)

Η δεξαμενή εξισορρόπηση ροής μπορεί να βρίσκεται είτε (α) εντός της γραμμής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων είτε (β) εκτός.



Στη διάταξη εντός γραμμής όλη η παροχή περνάει από τη δεξαμενή εξισορρόπησης

➔ Εξομάλυνση παροχής & συγκέντρωσης συστατικών

Στη διάταξη εκτός γραμμής μόνο η παροχή πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο εισέρχεται στη δεξαμενή εξισορρόπησης

➔ Μικρότερη εξομάλυνση συγκέντρωσης συστατικών

Η θέση της δεξαμενής εξισορρόπησης εξαρτάται από :

- τα χαρακτηριστικά του συστήματος συλλογής
- τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων
- τη διαθεσιμότητα χώρου

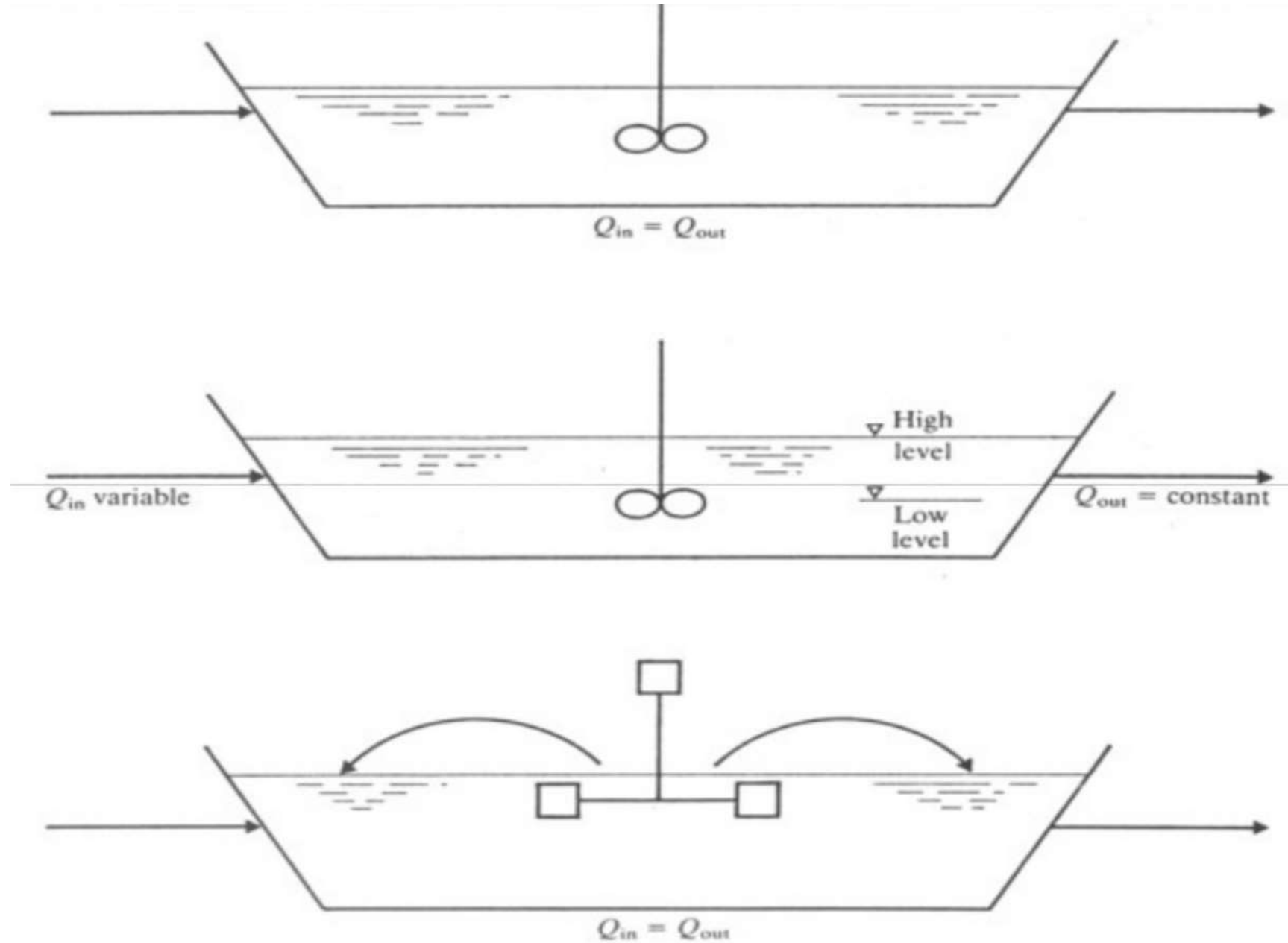
- Οι inline & side-line εξισορρόπηση ροής είναι και οι δύο αποτελεσματικοί τρόποι εξισορρόπησης των όγκων παροχής, αλλά η **in-line είναι πιο αποτελεσματική** για την εξουδετέρωση των διακυμάνσεων στις συγκεντρώσεις της εισροής καθώς όλος ο όγκος αναμιγνύεται με όλο το περιεχόμενο της δεξαμενής συγκράτησης
- Το μέγεθος και ο τύπος της ΔΕ ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα του υγρού αποβλήτου και τη μεταβλητότητα του ρεύματος υγρών αποβλήτων
- Η δεξαμενή πρέπει να έχει επαρκή όγκο ώστε να απορροφά αποτελεσματικά διακυμάνσεις της εισροής που προκαλούνται από τον προγραμματισμό παραγωγής της ΕΕΛ και να διαθέτει σε δόσεις περιοδικά το απόβλητο ή να το υπερχειλίζει στο δίκτυο

Στόχοι εξισορρόπησης ροής

- Να παρέχει επαρκή εξουδετέρωση οργανικών διακυμάνσεων ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση του βιολογικού συστήματος επεξεργασίας
- Να παρέχει επαρκή έλεγχο του pH ή να ελαχιστοποιεί τις απαιτήσεις χημικών που χρειάζονται για την εξουδετέρωση
- Να ελαχιστοποιεί τις εξάρσεις παροχής σε φυσικο-χημικό σύστημα επεξεργασίας και να επιτρέπει να εφαρμόζεται τροφοδοσία χημικών συμβατή με τον εξοπλισμό τροφοδοσίας
- Να παρέχει συνεχή τροφοδοσία στο βιολογικό σύστημα σε περιόδους που η μονάδα είναι εκτός λειτουργίας
- Να προλαμβάνει την παροχή υψηλών συγκεντρώσεων τοξικών ουσιών στην ΕΕΛ

- Σε μια δεξαμενή εξισορρόπησης πρέπει να υπάρχει **ανάδευση** καθώς επίσης και **παροχή αέρα** ώστε να επιτυγχάνεται
 - ✓ καλύτερη ανάμιξη
 - ✓ παρεμποδίζεται η καθίζηση των στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής
 - ✓ αποφυγή αναερόβιων καταστάσεων και οσμών
 - ✓ έως ένα βαθμό βιολογική οξείδωση
 - ✓ χημική οξείδωση προϊόντων (εφόσον πραγματοποιείται)
- Ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής εξισορρόπησης είναι το βασικό μέγεθος σχεδιασμού της

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ (EQUALIZATION TANK)

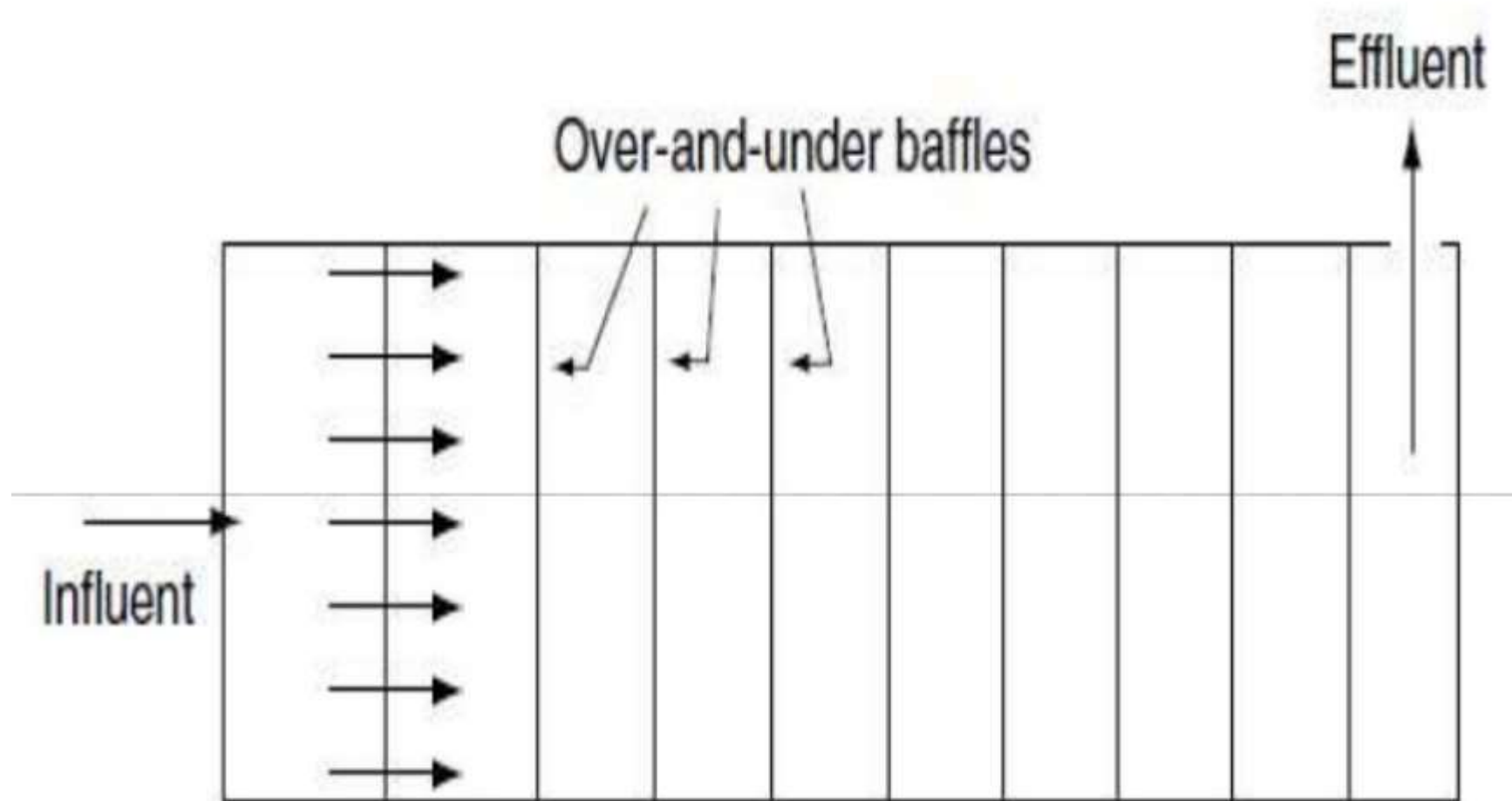


Η απλή συγκράτηση όμως του υγρού αποβλήτου δεν είναι αρκετή για την εξισορρόπηση. Η καλή ανάμιξη μπορεί να γίνει

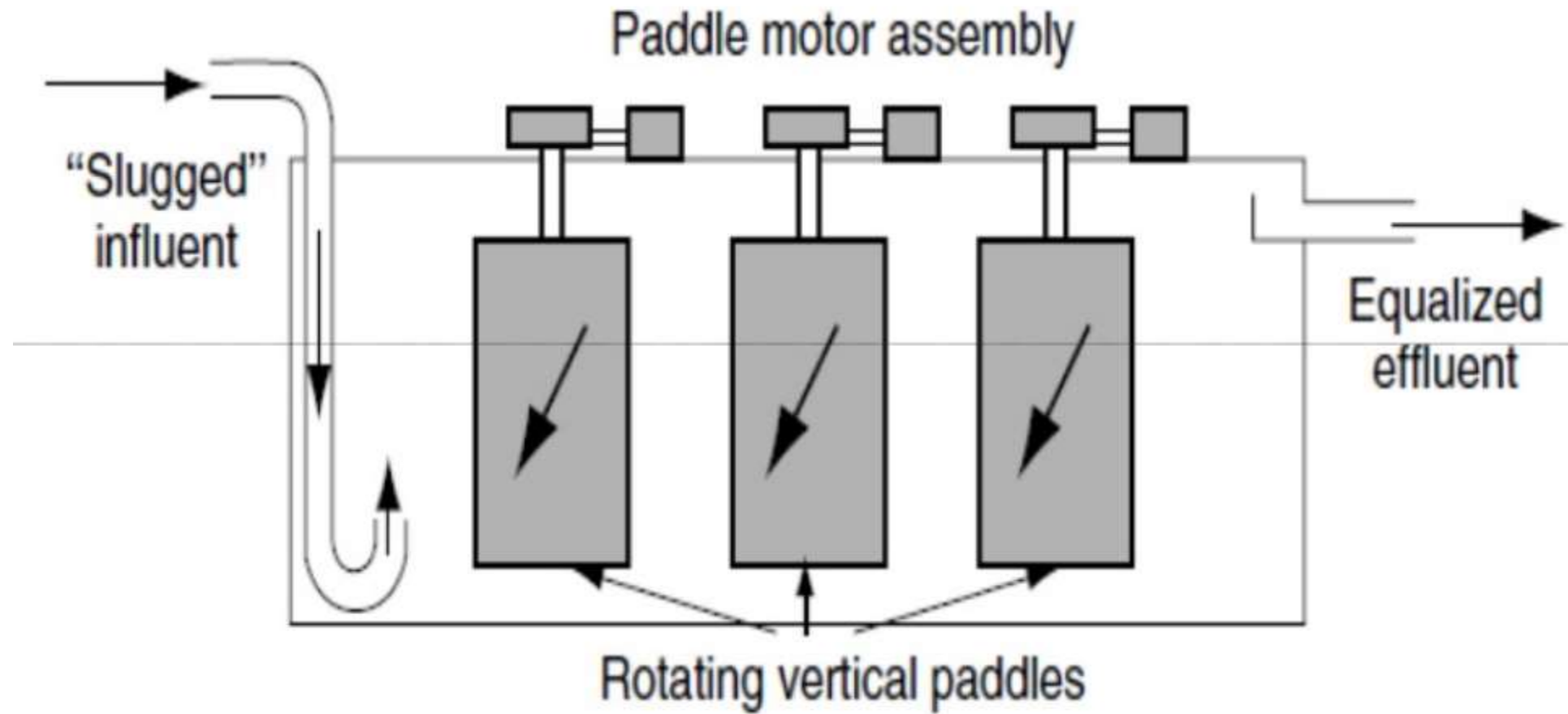
- 1) κατάλληλη διανομή και χρήση διαφραγμάτων: πιο οικονομική μέθοδος, αλλά η λιγότερο αποδοτική
- 2) μηχανική ανατάραξη: καλύτερη ανάμιξη από τα διαφράγματα, 15 περιστροφές/λεπτό (rpm)
- 3) αερισμός ($0,01-0,015 \text{ m}^3$ αέρα ανά m^3 υγρού αποβλήτου ανά λεπτό)
- 4) συνδυασμός όλων αυτών

κάτοψη ΔΕ

πολλοί αγωγοί εισροής τοποθετημένοι σε τακτά διαστήματα στην πλευρά του πλάτους

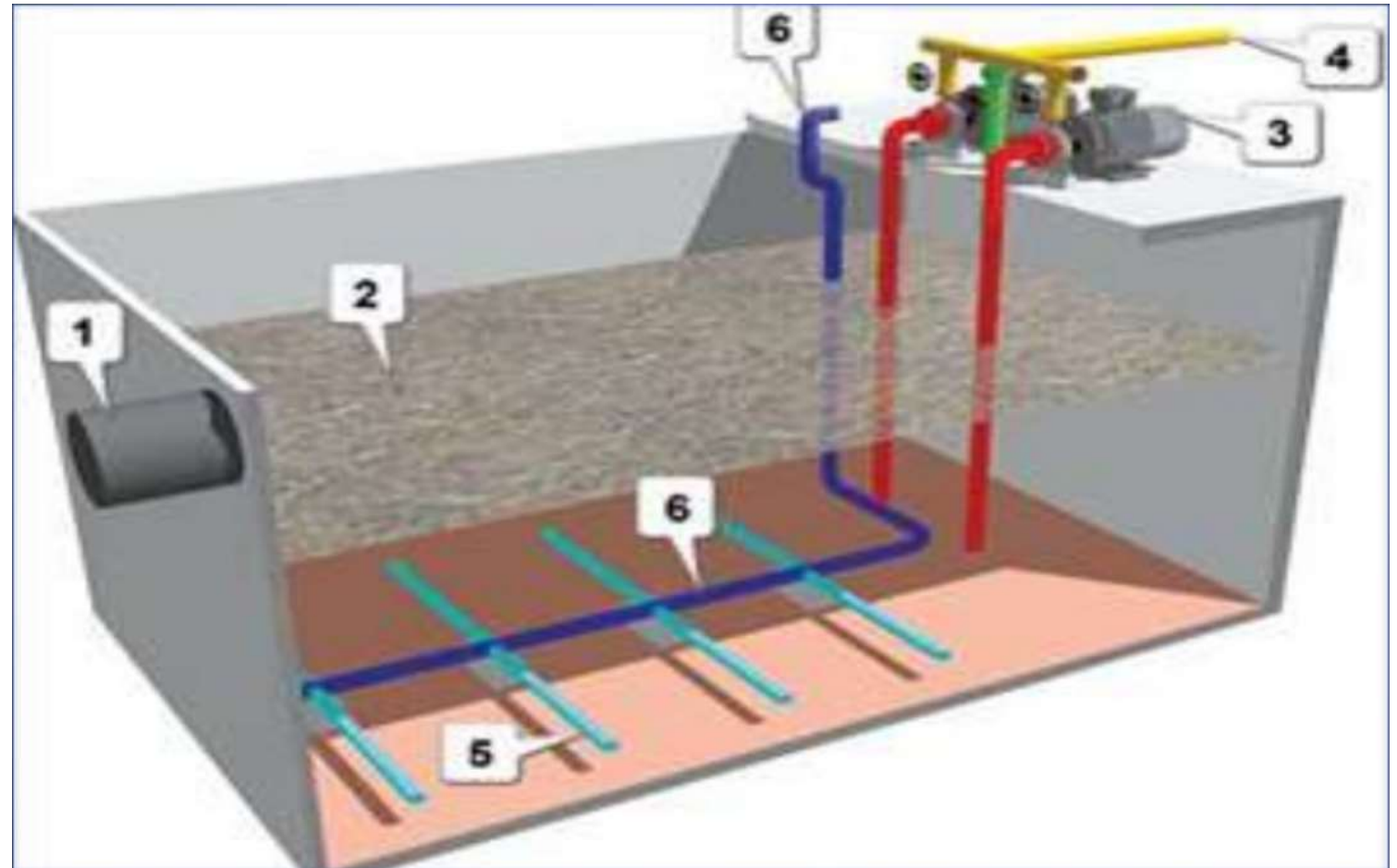


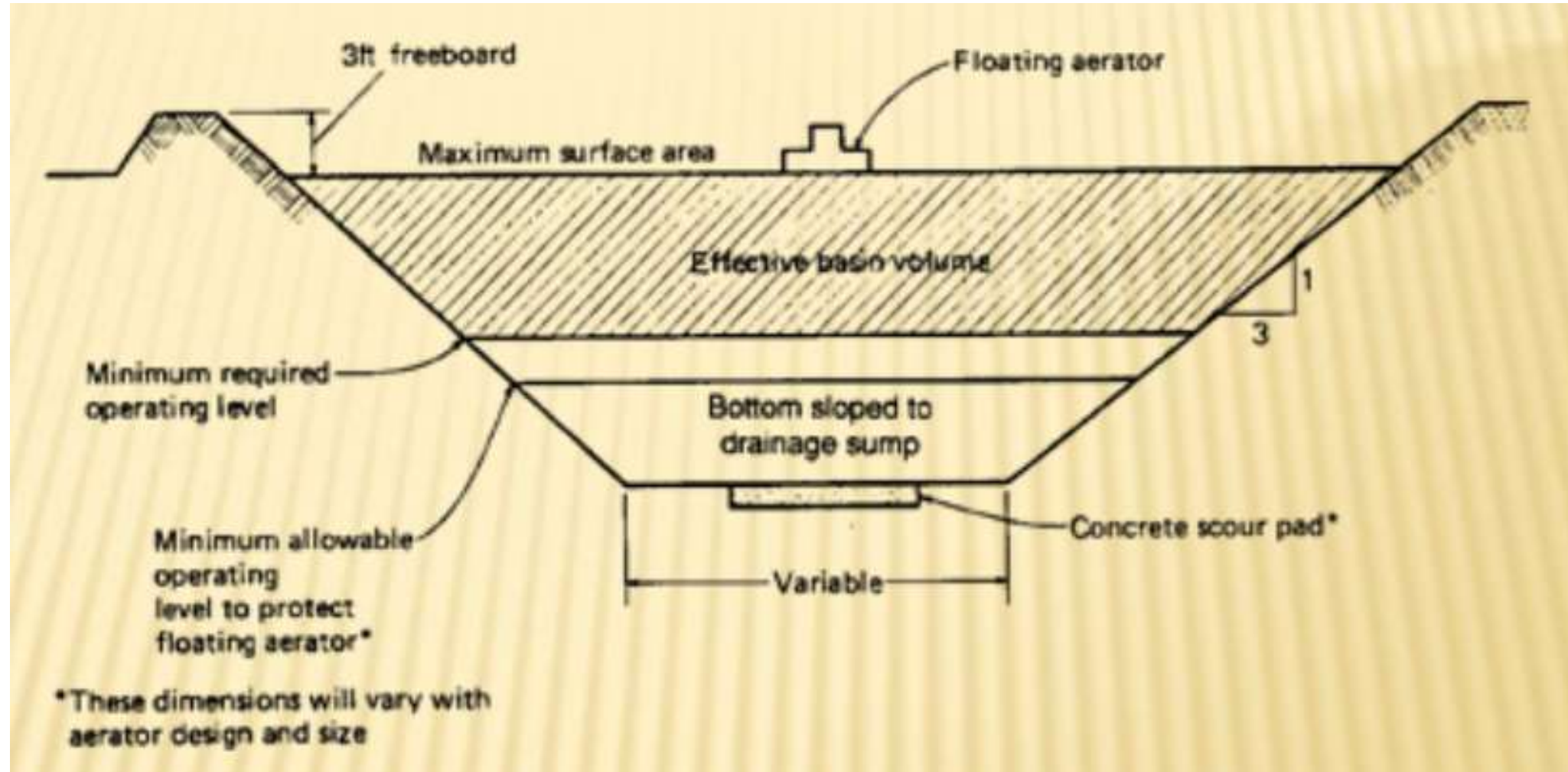
μηχανική ανατάραξη



ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ

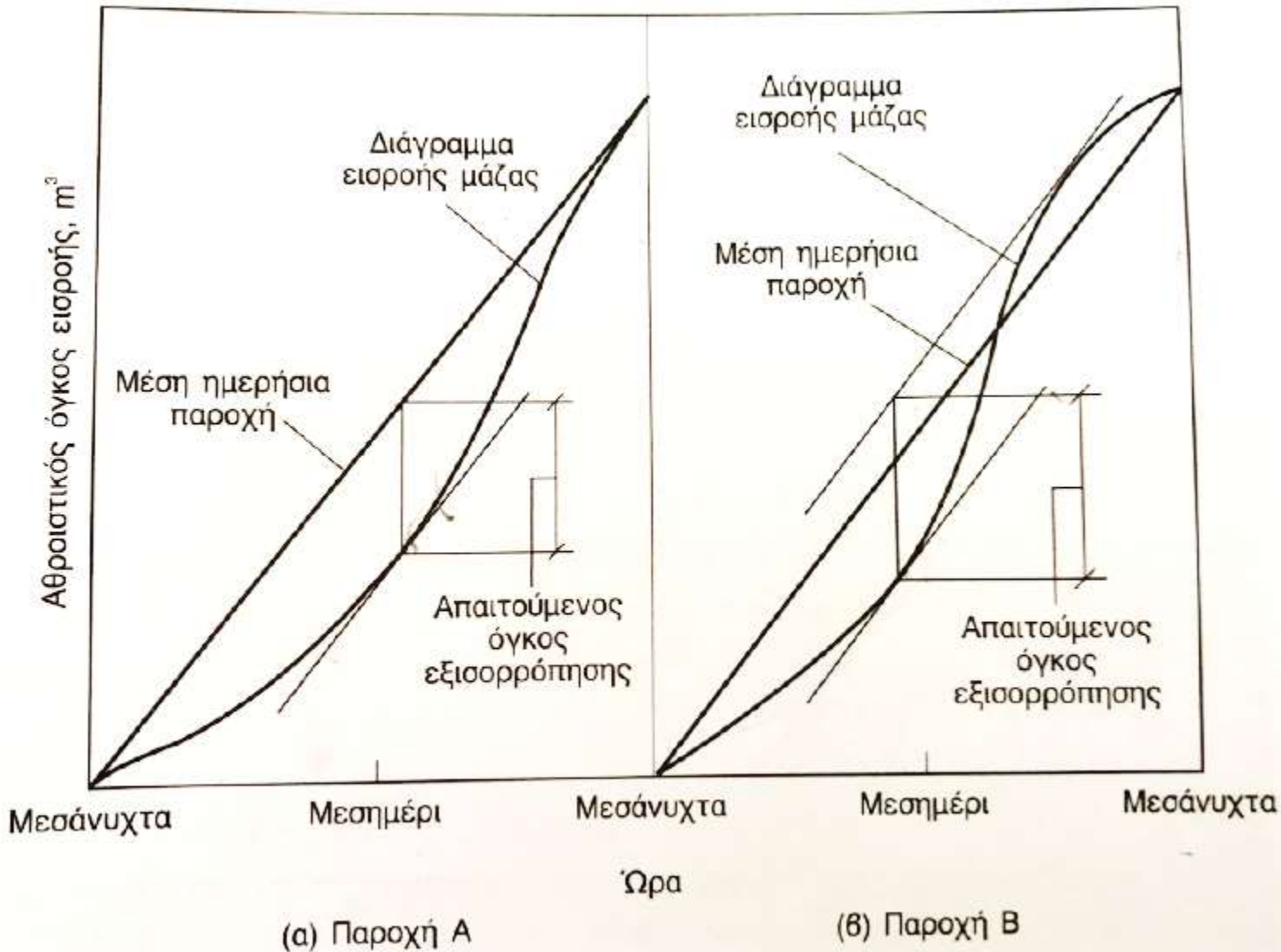
1. σωλήνα εισροής
2. στάθμη υγρού αποβλήτου
3. αντλίες
4. σωλήνα τροφοδοσίας
5. διαχυτήρας φυσαλίδων
6. γραμμή παροχής αέρα



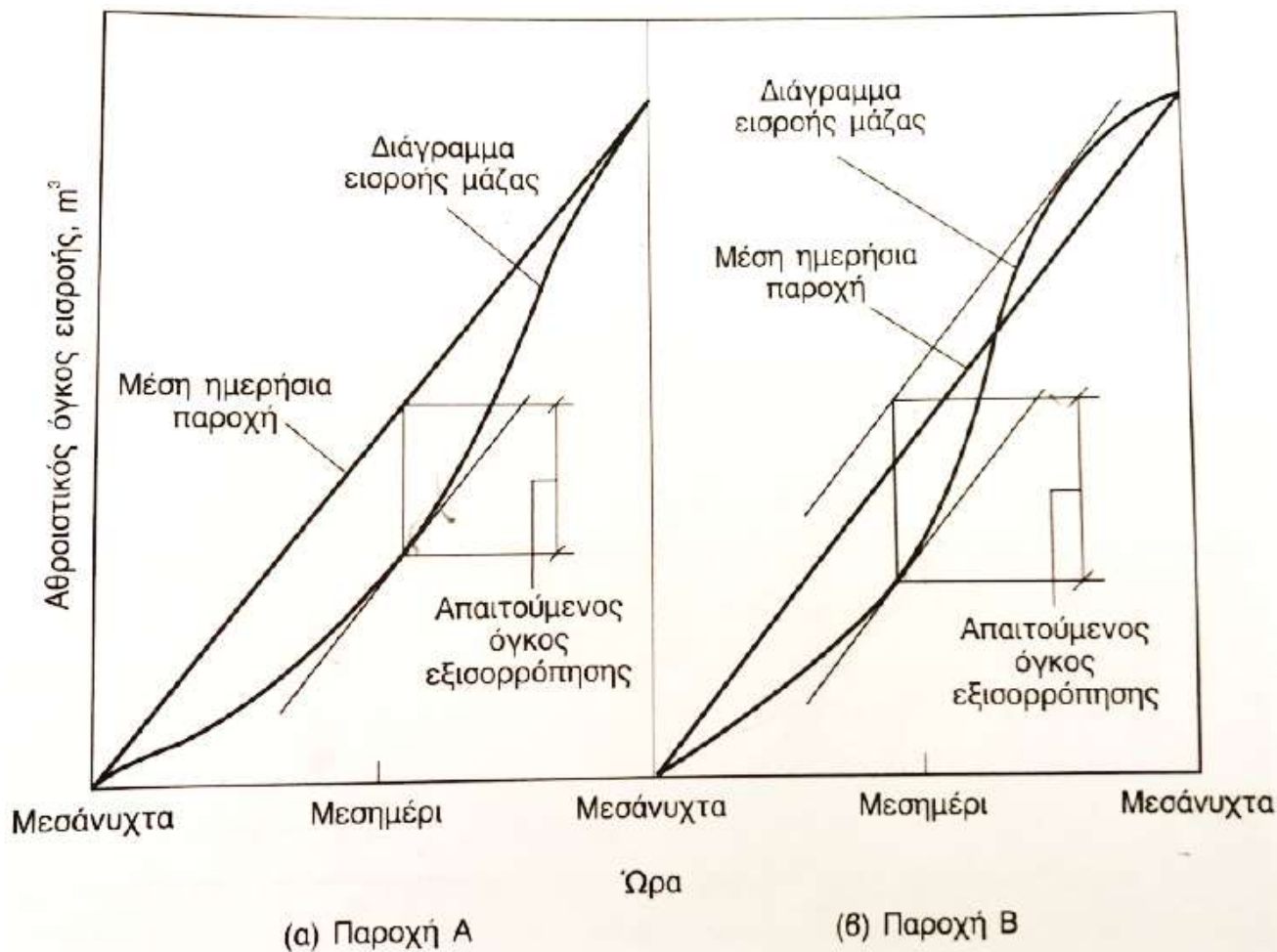


- Ο υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου της δεξαμενής εξισορρόπησης στηρίζεται στον προσδιορισμό των ωριαίων διακυμάνσεων της παροχής και του ρυπαντικού φορτίου για ένα ολόκληρο 24ωρο.
- Για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου όγκου της δεξαμενής πρέπει να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα αθροιστικής παροχής (αθροιστικός όγκος εισροής ως συνάρτηση του χρόνου).
- Δύο τυπικές καμπύλες αθροιστικής παροχής παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.

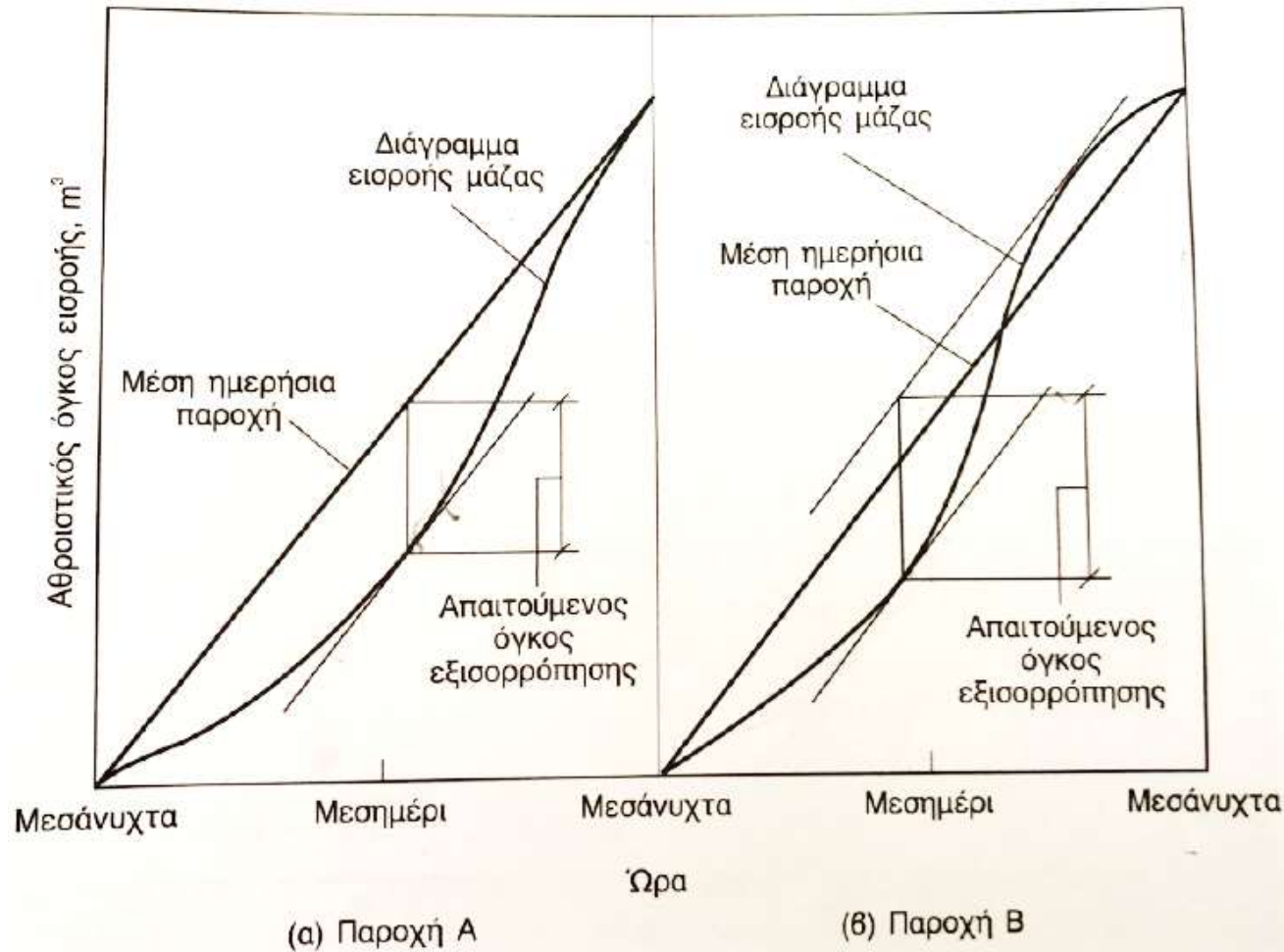
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ



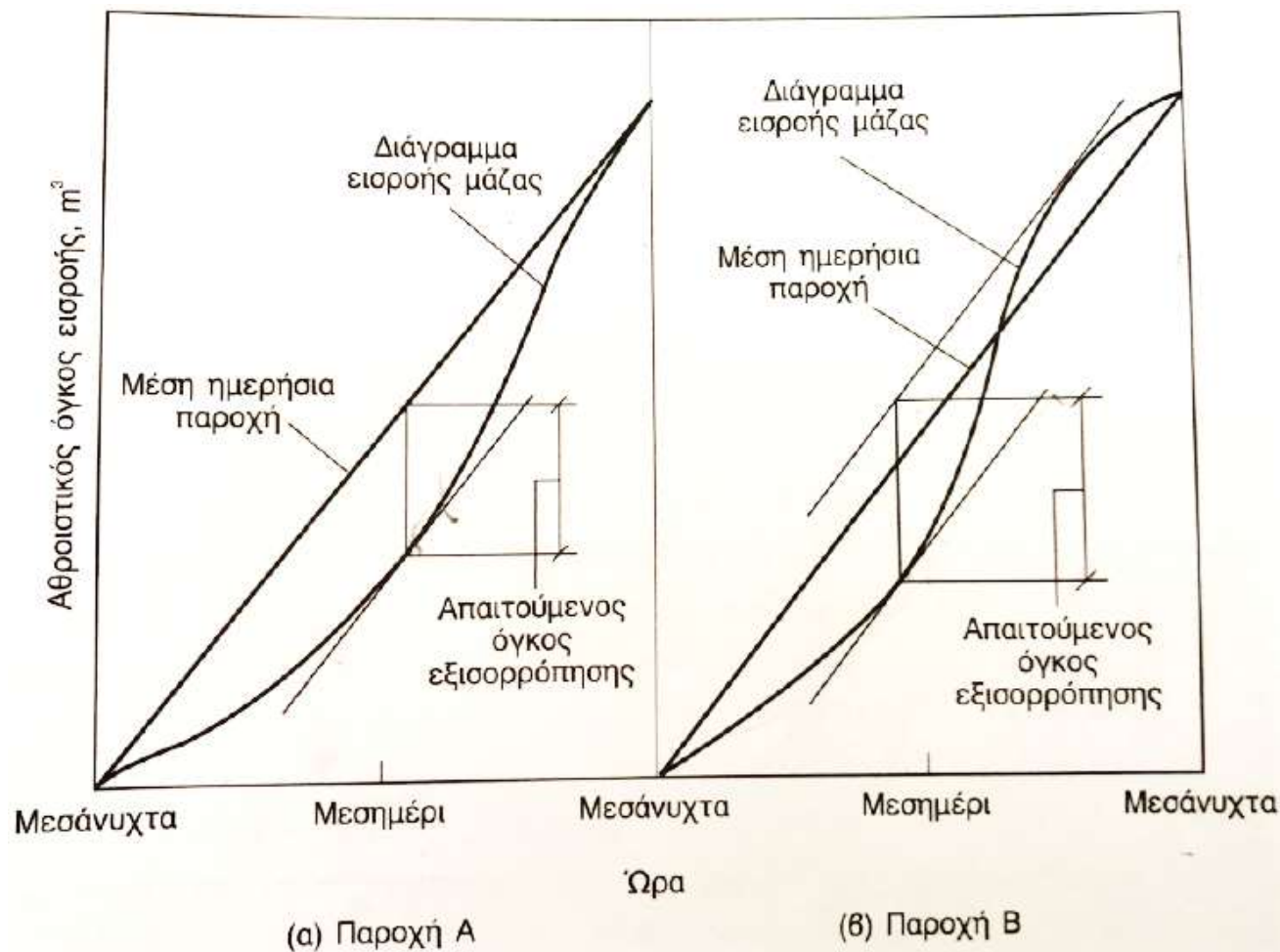
- Σχηματικά διαγράμματα για τον υπολογισμό του όγκου της δεξαμενής εξισορρόπησης
- Το τέλος της καμπύλης αθροιστικής παροχής εκφράζει τη συνολική ημερήσια παροχή.



- 1) Χαράσσουμε την ευθεία γραμμή που ενώνει την αρχή των αξόνων με το τέλος της καμπύλης αθροιστικής παροχής. Η κλίση της ευθείας αυτής ισούται με τη **μέση ωριαία παροχή**.
- 2) Σχεδιάζουμε μια ευθεία γραμμή παράλληλη προς την ευθεία γραμμή της μέσης ημερήσιας παροχής, η οποία να εφάπτεται στην καμπύλη αθροιστικής παροχής.



- 3) Αν η γραμμή αθροιστικής παροχής εκτείνεται και προς τις δύο πλευρές της ευθείας μέσης παροχής (Σχήμα 1β), τότε σχεδιάζουμε δύο παράλληλες ευθείες που εφάπτονται στην καμπύλη αθροιστικής παροχής.



4) Η κατακόρυφη απόσταση ανάμεσα στην εφαπτόμενη και στη γραμμή μέσης ημερήσιας παροχής (Σχήμα 1α) ή ανάμεσα στις δύο εφαπτόμενες (Σχήμα 1β) μας δίνει τον απαιτούμενο όγκο της δεξαμενής εξισορρόπησης της ροής.

Στην πράξη ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής εξισορρόπησης

αυξάνεται κατά 10-20% για λόγους ασφαλείας

Τα δεδομένα υγρών αποβλήτων από μια κοινότητα σε ωριαία βάση καταγράφηκαν όπως φαίνεται στον Πίνακα. Προσδιορίστε τον όγκο μιας ΔΕ για μια ΕΕΛ.

Παραγωγή υγρών αποβλήτων από μια κοινότητα												
Χρόνος (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Παροχή (m³/min)	2,0	7,2	7,5	6,7	8,3	9,3	20,0	25,0	31,0	27,5	24,0	20,0
Χρόνος (h)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Παροχή (m³/min)	21,0	19,0	15,0	10,0	6,5	7,6	7,2	6,8	5,5	4,5	3,5	3,0

Τα δεδομένα υγρών αποβλήτων από μια κοινότητα σε ωριαία βάση καταγράφηκαν όπως φαίνεται στον Πίνακα. Προσδιορίστε τον όγκο μιας ΔΕ για μια ΕΕΛ.

Από τα δεδομένα υπολογίζουμε την αθροιστική παροχή.

Κατασκευάζουμε ένα διάγραμμα χρόνου - αθροιστικής παροχής.

Φέρνουμε τις δύο παράλληλες στα σημεία Α και Β: $\alpha = 2 \times 10^3 \text{ m}^3$ και $\beta = 3,5 \times 10^3 \text{ m}^3$

Έτσι, ο συνολικός όγκος $= 5,5 \times 10^3 \text{ m}^3 = 5500 \text{ m}^3$

Παρ' όλα αυτά, θα επιλέξουμε μια δεξαμενή 6500 m^3 , περίπου 18% επιπλέον σε όγκο, ώστε να υπολογίσουμε και μια ελεύθερη επιφάνεια και άλλους παράγοντες (όγκος ασφαλείας κλπ)

Σχεδιάστε μια δεξαμενή εξισορρόπησης για τα ακόλουθα χαρακτηριστικά παροχής. Να παράξετε 25% επιπλέον χωρητικότητα για εξοπλισμό, μη αναμενόμενες διακυμάνσεις παροχής, και συγκέντρωση στερεών. Υπολογίστε την επίπτωση της εξισορρόπησης στο φορτίο BOD₅.

Παραγωγή υγρών αποβλήτων από μια κοινότητα												
Χρόνος (h)	0000	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100
Παροχή (m ³ /s)	0,0481	0,0359	0,0226	0,0187	0,0187	0,198	0,0226	0,0359	0,0509	0,0631	0,0670	0,0682
BOD ₅ (mg/L)	110	81	53	35	32	40	66	92	125	140	150	155
Χρόνος (h)	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
Παροχή (m ³ /s)	0,0718	0,0744	0,0750	0,0781	0,0806	0,0843	0,0854	0,0806	0,0781	0,0670	0,0583	0,0526
BOD ₅ (mg/L)	160	150	140	135	130	120	125	150	200	215	170	130

Σχεδιάστε μια δεξαμενή εξισορρόπησης για τα ακόλουθα χαρακτηριστικά παροχής. Να παράξετε 25% επιπλέον χωρητικότητα για εξοπλισμό, μη αναμενόμενες διακυμάνσεις παροχής, και συγκέντρωση στερεών. Υπολογίστε την επίπτωση της εξισορρόπησης στο φορτίο BOD_5 .

Λόγω της επαναλαμβανόμενης και πινακοειδούς φύσεως των υπολογισμών, εδώ χρησιμοποιείται υπολογιστής για να επαληθευτεί αν οι υπολογισμοί είναι συνεπείς με την επιλογή της αρχικής τιμής.

Αν η αρχική τιμή είναι η πρώτη παροχή μεγαλύτερη από τη μέση παροχή μετά την ακολουθία των χαμηλών νυχτερινών παροχών, τότε η τελευταία σειρά των υπολογισμών θα πρέπει να καταλήγει σε μια τιμή αποθήκευσης 0.

Σχεδιάστε μια δεξαμενή εξισορρόπησης για τα ακόλουθα χαρακτηριστικά παροχής. Να παράξετε 25% επιπλέον χωρητικότητα για εξοπλισμό, μη αναμενόμενες διακυμάνσεις παροχής, και συγκέντρωση στερεών. Υπολογίστε την επίπτωση της εξισορρόπησης στο φορτίο BOD_5 .

Το πρώτο βήμα τότε είναι να υπολογιστεί η μέση παροχή. Σε αυτήν την περίπτωση είναι $0,05657 \text{ m}^3/\text{s}$.

Στη συνέχεια, οι παροχές διατάσσονται σε σειρά με αρχή τη χρονική στιγμή και παροχή που πρώτη υπερβαίνει τη μέση.

Σε αυτήν την περίπτωση είναι 0900 h με παροχή $0,0631 \text{ m}^3/\text{s}$. Η διάταξη πίνακα φαίνεται στη συνέχεια.

Χρόνος	Παροχή (m³/s)	Vol _{in} (m³)	Vol _{out} (m³)	dS (m³)	ΣdS (m³)	BOD ₅ (mg/)	M _{BOD-in} (kg)	S (mg/L)	M _{BOD-out} (kg)
0900	0,0631	227,16	203,65	23,51	23,51	140	31,80	140,00	28,51
1000	0,067	241,2	203,65	37,55	61,06	150	36,18	149,11	30,37
1100	0,0682	245,52	203,65	41,87	102,93	155	38,06	153,83	31,33
1200	0,0718	258,48	203,65	54,83	157,76	160	41,36	158,24	32,23
1300	0,0744	267,84	203,65	64,19	221,95	150	40,18	153,06	31,17
1400	0,075	270	203,65	66,35	288,3	140	37,80	145,89	29,71
1500	0,0781	281,16	203,65	77,51	365,81	135	37,96	140,51	28,62
1600	0,0806	290,16	203,65	86,51	452,32	130	37,72	135,86	27,67
1700	0,0843	303,48	203,65	99,83	552,15	120	36,42	129,49	26,37
1800	0,0854	307,44	203,65	103,79	655,94	125	38,43	127,89	26,04
1900	0,0806	290,16	203,65	86,51	742,45	150	43,52	134,67	27,43
2000	0,0781	281,16	203,65	77,51	819,96	200	56,23	152,61	31,08
2100	0,067	241,2	203,65	37,55	857,51	215	51,86	166,79	33,97
2200	0,0583	209,88	203,65	6,23	863,74	170	35,68	167,42	34,10
2300	0,0526	189,36	203,65	-14,29	849,45	130	24,62	160,69	32,73
0000	0,0481	173,16	203,65	-30,49	818,96	110	19,05	152,11	30,98
0100	0,0359	129,24	203,65	-74,41	744,55	81	10,47	142,42	29,00
0200	0,0226	81,36	203,65	-122,29	622,26	53	4,31	133,61	27,21
0300	0,0187	67,32	203,65	-136,33	485,93	35	2,36	123,98	25,25
0400	0,0187	67,32	203,65	-136,33	349,6	32	2,15	112,79	22,97
0500	0,0198	71,28	203,65	-132,37	217,23	40	2,85	100,46	20,46
0600	0,0226	81,36	203,65	-122,29	94,94	66	5,37	91,07	18,55
0700	0,0359	129,24	203,65	-74,41	20,53	92	11,89	91,61	18,66
0800	0,0509	183,24	203,65	-20,41	0,12	125	22,91	121,64	24,77

της
ν Περιβάλλοντος

Η τρίτη στήλη μετατρέπει τις παροχές σε όγκους χρησιμοποιώντας το χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων:

$$\pi\chi \quad V_{in} = (0,0631 \text{ m}^3/\text{s}) (1 \text{ h})(3600 \text{ s/h}) = 227,16 \text{ m}^3$$

Η τέταρτη στήλη είναι ο μέσος όγκος που εξέρχεται από τη δεξαμενή εξισορρόπησης:

$$\pi\chi \quad V_{in} = (0,005657 \text{ m}^3/\text{s}) (1 \text{ h})(3600 \text{ s/h}) = 203,655 \text{ m}^3$$

Η πέμπτη στήλη είναι η διαφορά του όγκου εισροής και εκροής. Για το δεύτερο χρονικό διάστημα:

$$dS = V_{in} - V_{out} = 227,16 - 203,655 = 23,505 \text{ m}^3$$

Η έκτη στήλη είναι το συγκεντρωτικό άθροισμα των διαφορών μεταξύ όγκου εισροής και εκροής :

$$\text{Αποθήκευση} = \sum dS = 37,55 + 23,51 = 61,06 \text{ m}^3$$

Προσέξτε ότι η τελευταία τιμή για την συγκεντρωτική αποθήκευση είναι $0,12 \text{ m}^3$. Δεν είναι μηδέν λόγω της τελικής στρογγυλοποίησης στους υπολογισμούς. Στο σημείο αυτό, η δεξαμενή εξισορρόπησης είναι άδεια και έτοιμη να ξεκινήσει τον επόμενο ημερήσιο κύκλο. Ο απαιτούμενος όγκος για την ΔΕ είναι η μέγιστη αθροιστική αποθήκευση. Με το επιπλέον 25%, ο όγκος αυτός θα είναι:

$$\text{Όγκος αποθήκευσης} = (863,74 \text{ m}^3) (1,25) = 1,079.68 \text{ ή } 1080 \text{ m}^3$$

Η μάζα του BOD_5 που εισέρχεται στη ΔΕ είναι το προϊόν της εισροής (Q), της συγκέντρωσης του BOD_5 (S_o) και του χρόνου ολοκλήρωσης (Δt):

$$M_{BOD-in} = (Q) (S_o)(\Delta t)$$

Η μάζα του BOD_5 που εισέρχεται από τη ΔΕ είναι το προϊόν της μέσης εκροής (Q_{avg}), της μέσης συγκέντρωσης του BOD_5 (S_{avg}) στη δεξαμενή και του χρόνου ολοκλήρωσης (Δt):

$$M_{BOD-out} = (Q_{avg}) (S_{avg})(\Delta t)$$

Η μέση συγκέντρωση:

$$S_{avg} = \frac{(V_i)(S_o) + (V_s)(S_{prev})}{V_i + V_s}$$

V_i = όγκος εισροής κατά το διάστημα Δt (m^3)

S_o = μέση συγκέντρωση BOD_5 κατά το διάστημα Δt (g/m^3)

V_s = όγκος υγρών αποβλήτων στη δεξαμενή στο τέλος του προηγούμενου χρονικού διαστήματος (m^3)

S_{prev} = συγκέντρωση BOD_5 στη δεξαμενή στο τέλος του προηγούμενου χρονικού διαστήματος (mg/L) = (previous S_{avg}) (g/m^3)

Σημειώστε ότι $1 \text{ mg/L} = 1 \text{ g/m}^3$, και οι υπολογισμοί της πρώτης σειράς (0900) είναι:

$$M_{\text{BOD-in}} = (0,0631 \text{ m}^3/\text{s}) (140 \text{ g/m}^3)(1 \text{ h})(3600 \text{ s/h})(10^{-3}\text{kg/g}) = 31,8 \text{ kg}$$

$$S_{\text{avg}} = \frac{(227,16 \text{ m}^3)(140 \text{ g/m}^3) + 0}{227,16 \text{ m}^3 + 0} = 140 \text{ mg/L}$$

$$M_{\text{BOD-out}} = (0,05657 \text{ m}^3/\text{s}) (140 \text{ g/m}^3)(1 \text{ h})(3600 \text{ s/h})(10^{-3}\text{kg/g}) = 28,5 \text{ kg}$$

Σημειώστε ότι οι μηδενικές τιμές στους υπολογισμούς των S_{avg} ισχύουν μόνο στο ξεκίνημα της άδειας δεξαμενής.

Επίσης, σε αυτήν την περίπτωση $M_{\text{BOD-in}}$ και $M_{\text{BOD-out}}$ διαφέρουν μόνο λόγω των διαφορών στις παροχές.

Για τη δεύτερη γραμμή (1000 h) οι υπολογισμοί είναι:

$$M_{\text{BOD-in}} = (0,0670 \text{ m}^3/\text{s}) (150 \text{ g/m}^3)(1 \text{ h})(3600 \text{ s/h})(10^{-3} \text{ kg/g}) = 36,2 \text{ kg}$$

$$S_{\text{avg}} = \frac{(241,20 \text{ m}^3)(150 \text{ g/m}^3) + (23,51 \text{ m}^3)(140 \text{ g/m}^3)}{241,20 \text{ m}^3 + 23,51 \text{ m}^3} = 149,11 \text{ mg/L}$$

$$M_{\text{BOD-out}} = (0,05657 \text{ m}^3/\text{s}) (149,11 \text{ g/m}^3)(1 \text{ h})(3600 \text{ s/h})(10^{-3} \text{ kg/g}) = 30,37 \text{ kg}$$

Σημειώστε ότι V_s είναι ο όγκος των υγρών αποβλήτων στη δεξαμενή στο τέλος του προηγούμενου χρονικού διαστήματος. Συνεπώς, ισούται με dS . Η συγκέντρωση του BOD_5 (S_{prev}) είναι η μέση συγκέντρωση στο τέλος του προηγούμενου χρονικού διαστήματος (S_{avg}) και όχι η συγκέντρωση εισροής για το προηγούμενο διάστημα (S_o).

Για την τρίτη γραμμή (1100 h) η συγκέντρωση του BOD_5 είναι:

$$S_{avg} = \frac{(245,52 \text{ m}^3)(155 \text{ g/m}^3) + (61,06 \text{ m}^3)(149,11 \text{ g/m}^3)}{245,52 \text{ m}^3 + 61,06 \text{ m}^3} = 153,83 \text{ mg/L}$$

Ανάμιξη



Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και υγρών αποβλήτων απαιτείται ανάμιξη δύο ή περισσότερων ουσιών σε διάφορα σημεία με σκοπό την επίτευξη της ομοιόμορφης διασποράς στο τελικό μίγμα. Αυτό μπορεί να είναι:

- Ένα **διάλυμα στερεάς φάσης σε υγρή φάση**, πχ διάλυμα κροκιδωτικής ουσίας που προστίθεται κατά την επεξεργασία νερού
- Ένα **αιώρημα στερεού σε υγρή φάση**, πχ αιώρημα ενεργού άνθρακα κατά την επεξεργασία νερού
- **Δύο στερεές φάσεις**, πχ ανάμιξη δύο ιλύων, ανάμιξη πρωτογενούς και δευτερογενούς ιλύος, ανάμιξη υγρής και ξηρής ιλύος στον ξηραντήρα
- **Διάλυμα αέριας φάσης σε υγρή φάση**, πχ διάχυση αέρα κατά τον αερισμό υγρών αποβλήτων για εξασφάλιση οξειδωτικών (αερόβιων) συνθηκών

Αποτελεσματικότητα ανάμιξης → **υψηλός βαθμός ομοιογένειας** σε μικρό χρονικό διάστημα με τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Ανάλογα με τα συστατικά, μπορεί να απαιτείται αργή ή ταχεία ανάδευση.

Στην επεξεργασία πόσιμου νερού και υγρών αποβλήτων, το ιξώδες είναι χαμηλό, συνεπώς η ενέργεια ανάμιξης είναι **σχετικά μικρή** (3-6 kW/m³).

Με υδραυλικές διατάξεις ή μηχανικούς αναμίκτες

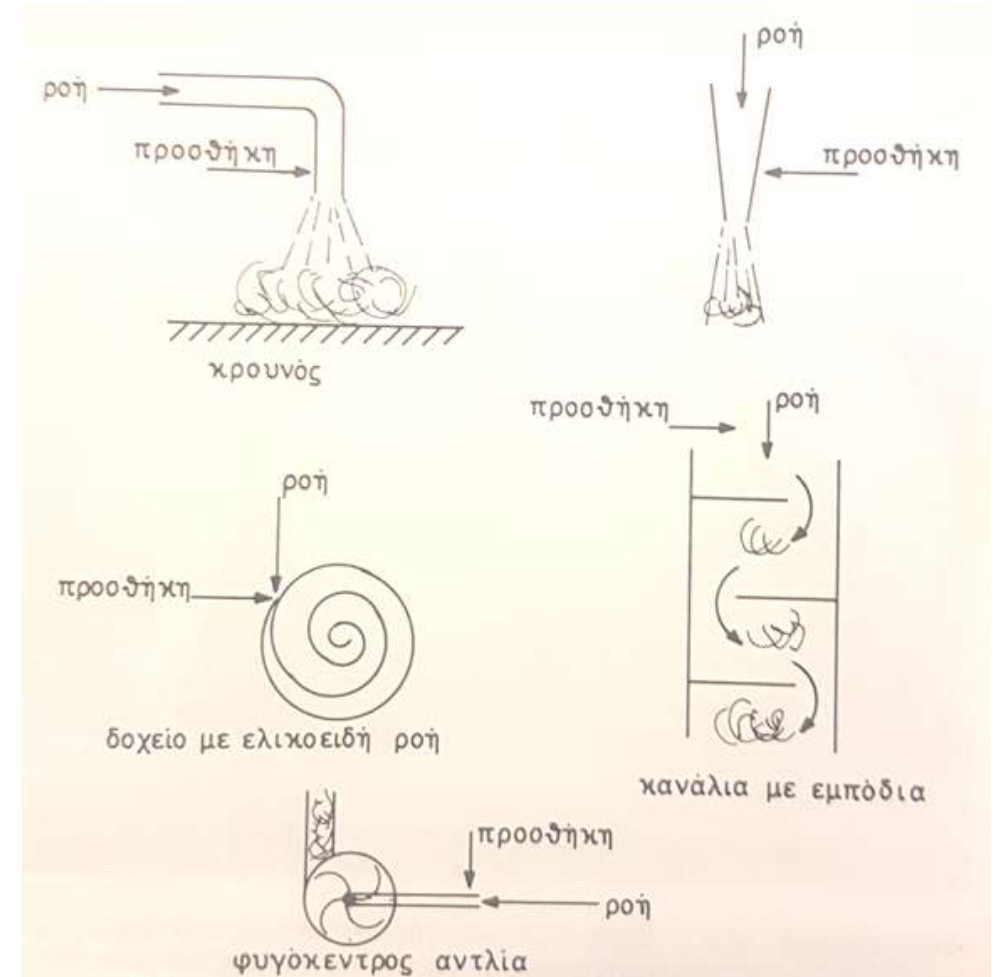
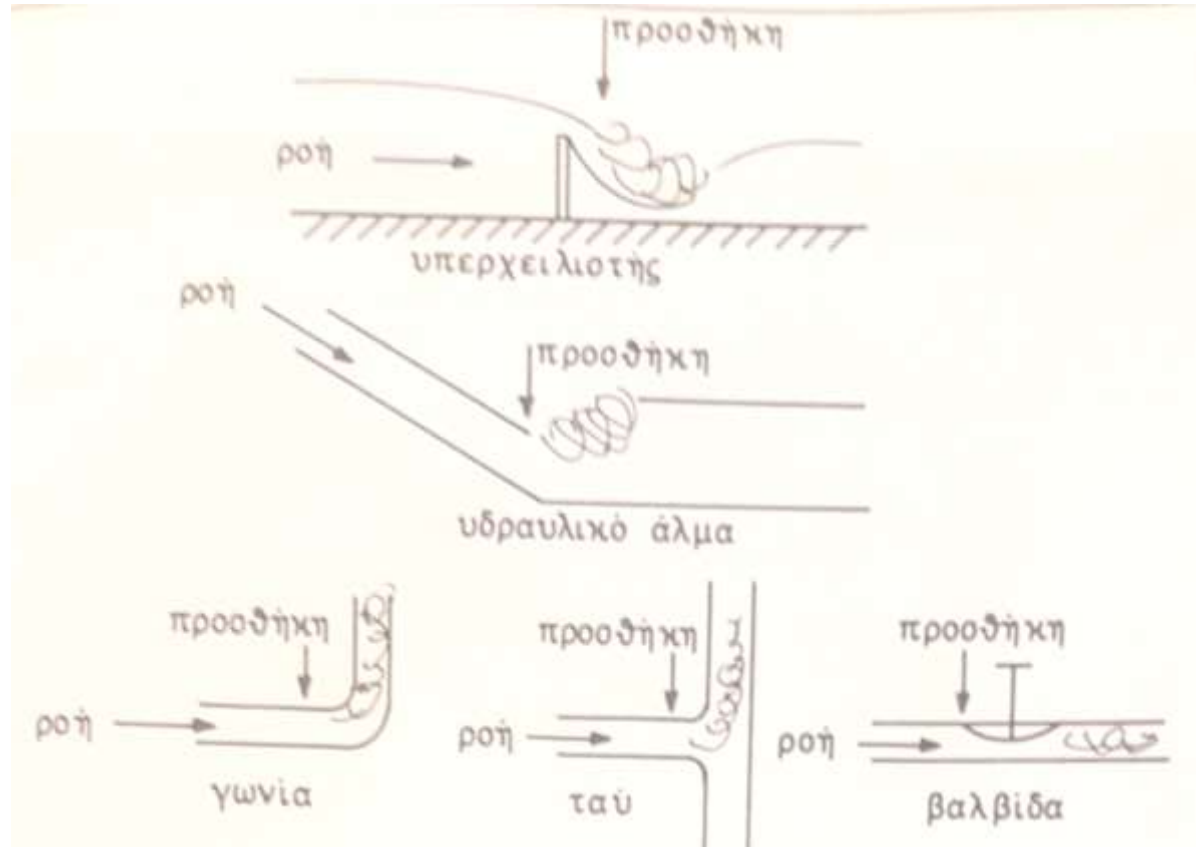
Υδραυλική ανάμιξη

όταν η ανάμιξη είναι συνεχής διεργασία

εκμεταλλεύεται τη δημιουργία τύρβης σε ορισμένα σημεία της ροής, πχ

- υπερχειλιστές
- υδραυλικά άλματα
- γωνίες, ταυ, βαλβίδες κλπ
- κρουνοί
- δοχεία ελικοειδούς ροής
- κανάλια με εμπόδια
- αντλίες

Διατάξεις υδραυλικής ανάμιξης

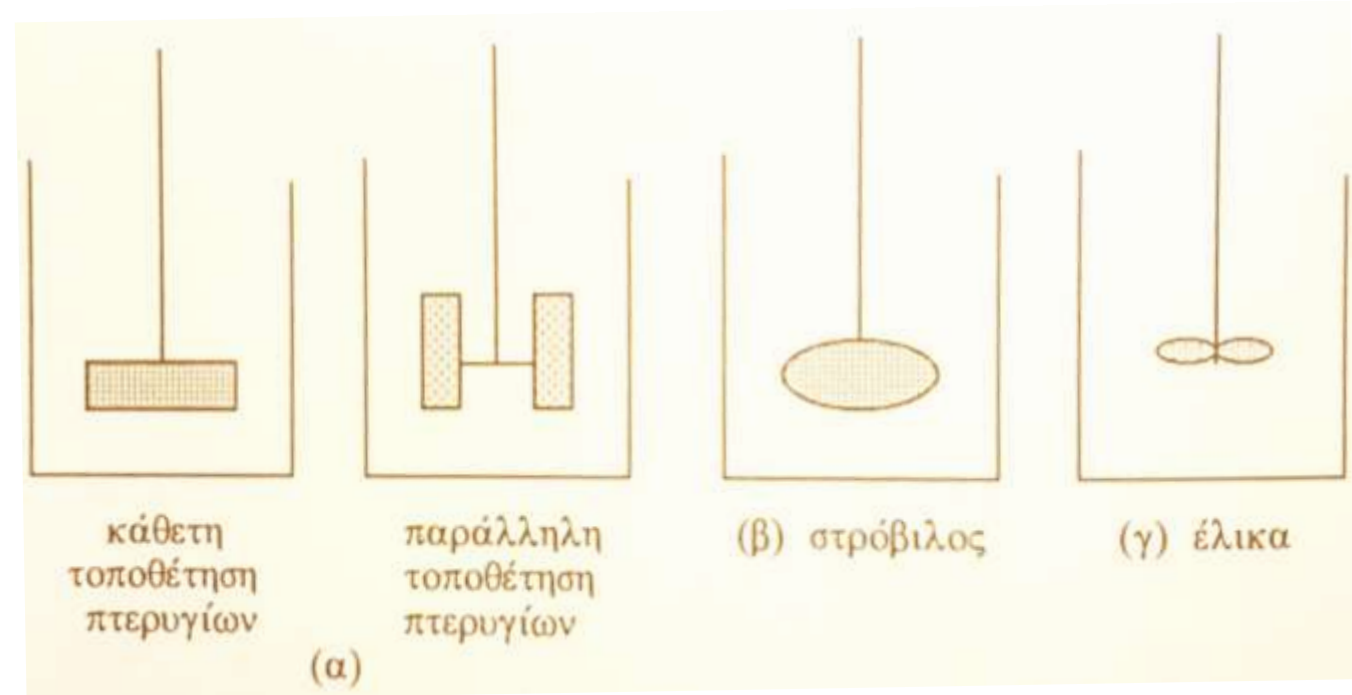


βασικό μειονέκτημα: ο βαθμός ανάμιξης εξαρτάται από την κινητική ή δυναμική ενέργεια της ροής που μεταβάλλεται με τη μεταβολή της ροής

Μηχανικά μέσα ανάμιξης

Για συνεχή ή ασυνεχή διεργασία

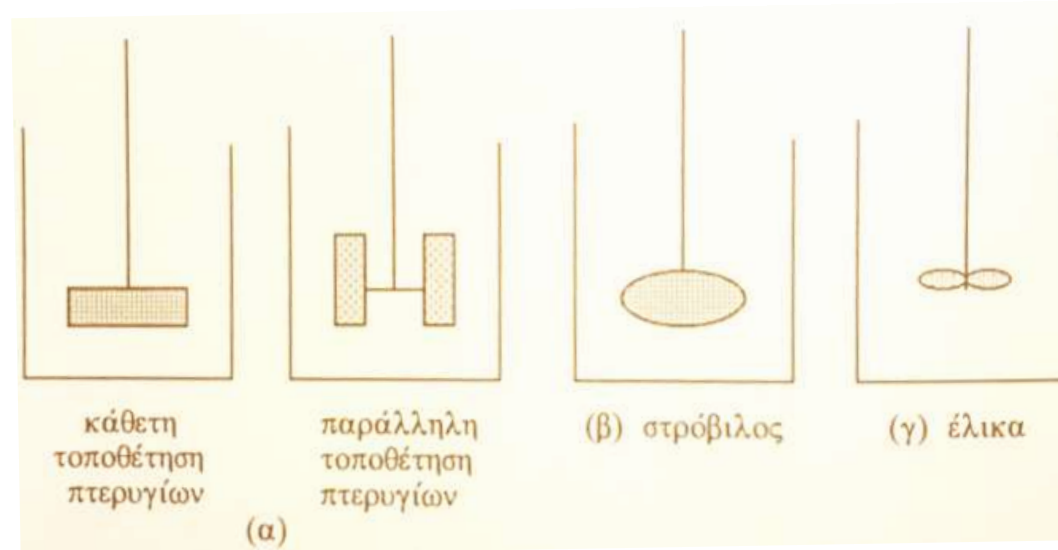
- αναμικτήρες με πτερύγια διαφόρων σχημάτων που τοποθετούνται παράλληλα ή κάθετα προς τον άξονα περιστροφής τους.
- αναμικτήρες - στρόβιλοι: συνήθως 2,4 ή περισσότερα μικρά πτερύγια τοποθετούνται στην περιφέρεια ενός δίσκου κάθετα προς τον άξονα κίνησης
- αναμικτήρες με έλικες παρόμοιες με αυτές της θαλάσσιας τεχνολογίας



Μηχανικά μέσα ανάμιξης

Για συνεχή ή ασυνεχή διεργασία

- τα πτερύγια και οι στρόβιλοι έχουν την τάση να περιστρέφουν το ρευστό ενιαία, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σχετική κίνηση των διαφόρων τμημάτων του ρευστού που είναι απαραίτητη για την ανάμιξη (vortex). Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου τοποθετούνται στα δοχεία ανάμιξης σταθερά πτερύγια ή τοποθετείται κεκλιμένα ο άξονας περιστροφής



Μηχανικά μέσα ανάμιξης - Σχεδιασμός

Απαιτούμενη ισχύς ανάμιξης ως συνάρτηση ανεξάρτητων μεταβλητών:

$$P = f(D, n, g, \mu, \rho)$$

P = ισχύς (ML^2/T^3)

D = διάμετρος πτερυγίων (L)

n = ταχύτητα (στροφές ανά δευτερόλεπτο, T^{-1})

g = συντελεστής βαρύτητας (LT^2)

μ = απόλυτο ιξώδες (ML^{-1}/T^1)

ρ = πυκνότητα του ρευστού (ML^{-3})

Μηχανικά μέσα ανάμιξης - Σχεδιασμός

Αριθμός ισχύος N_p :

$$N_p = k \cdot R^p \cdot F^q$$

όπου $R = \frac{Re}{\pi}$ $F = \frac{Fr}{\pi^2}$

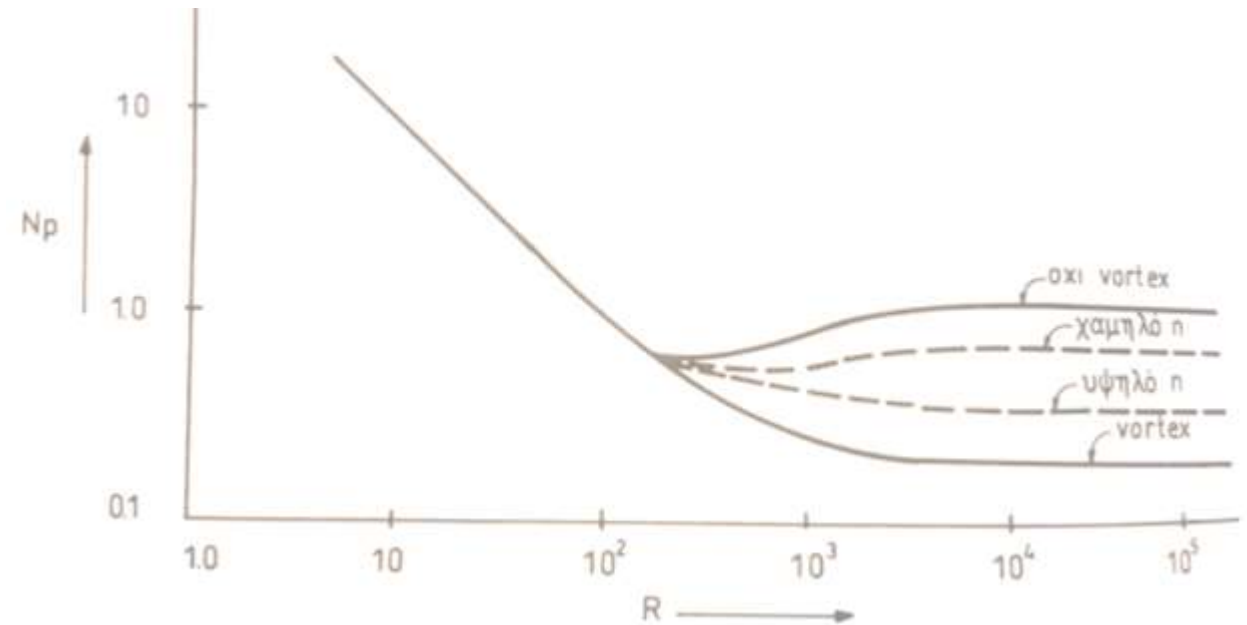
R = αριθμός μέτρο του αριθμού Reynolds

Re = αριθμός Reynolds

Fr = αριθμός Froude

k = σταθερά που εξαρτάται από τη γεωμετρία του συστήματος

p, q = εξαρτώνται από το καθεστώς ροής



Μηχανικά μέσα ανάμιξης - Σχεδιασμός

$R < 300$ (χαμηλές ταχύτητες)

Ο αριθμός N_p γίνεται ανεξάρτητος του αριθμού F

$$N_p = \frac{k}{R} \quad \longrightarrow \quad \frac{P}{D^5 \cdot \rho \cdot n^3} = \frac{k \cdot \mu}{D^2 \cdot n \cdot \rho}$$

$$\longrightarrow \quad P = k \cdot \mu \cdot n^2 \cdot D^3$$

Για αναδευτήρα με 2 πτερύγια, $k = 36$

Για έλικες με 3 πτερύγια, $k = 40-45$

Διάφοροι σχεδιασμοί στροβίλων $k > 100$

Μηχανικά μέσα ανάμιξης - Σχεδιασμός

$R > 10^4$ (υψηλές ταχύτητες)

Συνθήκες πλήρους τύρβης, εξάρτηση από τον F , δηλ την ταχύτητα

Ο αριθμός N_p γίνεται ανεξάρτητος του αριθμού R ($p=0$) $N_p = k \cdot F^q$

Για σταθερά πτερύγια: $q = 0$ και $N_p = k$

$$\longrightarrow P = k \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5 \quad k = 0,3 - 6,3$$

$300 < R < 10^4$ μεταβατική ζώνη: πειραματικές συσχετίσεις μόνο

Μια διάταξη ανάμιξης έχει μια έλικα με διάμετρο 10 cm και περιστρέφεται με 300 στροφές ανά λεπτό στο νερό στους 20°C.

- Να υπολογιστεί ο αριθμός Re
- Αν η σταθερά k για το σύστημα είναι 5, τι ισχύς απαιτείται για να λειτουργήσει ο αναμικτήρας;

Να δειχθεί γιατί ένας αναμικτήρας που λειτουργεί σε νερό δεν μπορεί να έχει συνθήκες γραμμικής ροής

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μια διάταξη ανάμιξης έχει μια έλικα με διάμετρο 10 cm και περιστρέφεται με 300 στροφές ανά λεπτό στο νερό στους 20°C.

- Να υπολογιστεί ο αριθμός Re
- Αν η σταθερά k για το σύστημα είναι 5, τι ισχύς απαιτείται για να λειτουργήσει ο αναμικτήρας;

Να δειχθεί γιατί ένας αναμικτήρας που λειτουργεί σε νερό δεν μπορεί να έχει συνθήκες γραμμικής ροής

Ο αριθμός Re δίνεται από την:

V_s = ταχύτητα ροής

d_p = διάμετρος σωματιδίου = 0,1 m

μ = ιξώδες νερού ($1,005 \times 10^{-3}$ Ns/m² στους 20°C)

ρ_w = πυκνότητα νερού = 998 kg/m³

n = 300 στροφές ανά λεπτό (rpm) = 5 s⁻¹

$$Re = \frac{V_s \cdot \rho_w \cdot d_p}{\mu} = \frac{\pi \cdot d_p^2 \cdot n \cdot \rho_w}{\mu}$$

$$Re = \frac{3,14 \cdot (0,1)^2 \cdot 5 \cdot 998}{1,005 \times 10^{-3}} = 1,56 \times 10^5$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μια διάταξη ανάμιξης έχει μια έλικα με διάμετρο 10 cm και περιστρέφεται με 300 στροφές ανά λεπτό στο νερό στους 20°C.

- Να υπολογιστεί ο αριθμός Re
- Αν η σταθερά k για το σύστημα είναι 5, τι ισχύς απαιτείται για να λειτουργήσει ο αναμικτήρας;

Να δειχθεί γιατί ένας αναμικτήρας που λειτουργεί σε νερό δεν μπορεί να έχει συνθήκες γραμμικής ροής

$$R = \frac{Re}{\pi} = \frac{1,56 \times 10^5}{3,14} = 4,96 \times 10^4$$

Εάν ο σχηματισμός vortex αποφεύγεται με τη χρήση πτερυγίων, τότε:

$$P = k \cdot \rho_w \cdot n^3 \cdot D^5 = 5 \cdot 998 \cdot 5^3 \cdot (0,1)^5 = 6,24 \text{ Nm/s}$$

$$k = 5$$

$$d_p = 0,1 \text{ m}$$

$$\rho_w = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 5 \text{ s}^{-1}$$

Η ισχύς που απαιτείται είναι πολύ χαμηλή

Μια διάταξη ανάμιξης έχει μια έλικα με διάμετρο 10 cm και περιστρέφεται με 300 στροφές ανά λεπτό στο νερό στους 20°C.

- Να υπολογιστεί ο αριθμός Re
- Αν η σταθερά k για το σύστημα είναι 5, τι ισχύς απαιτείται για να λειτουργήσει ο αναμικτήρας;

Να δειχθεί γιατί ένας αναμικτήρας που λειτουργεί σε νερό δεν μπορεί να έχει συνθήκες γραμμικής ροής

Για να έχουμε γραμμική ροή, ο R πρέπει να είναι μικρότερος του 300. Οι στροφές που θα εξασφαλίσουν τέτοιο R είναι:

$$n = \frac{R \cdot \mu}{d_p^2 \cdot \rho_w} = \frac{300 \cdot 1,005 \cdot 10^{-3}}{(0,1)^2 \cdot 998} = 0,030 \text{ rps}$$

$$\text{ή } n = 1,8 \text{ rpm} \quad \text{πολύ χαμηλή ταχύτητα}$$