



# Παραγωγή και επεξεργασία ιλύος Δευτερογενούς δεξαμενή καθίζησης

**Δημοσθένης Α. Σαρηγιάννης**  
**Αναπληρωτής Καθηγητής**  
**Περιβαλλοντικής Μηχανικής**

# Επεξεργασία ενεργού λάσπης

$$P_{ss} = SS_{NV} + (P_V) - P_e$$

Όπου:

$SS_{NV}$  =  $f m_{ss}$ , η εισερχόμενη μάζα μη αποικοδομήσιμων στερεών

$f$ : ποσοστό των στερεών που δεν είναι αποικοδομήσιμο [0,1 – 0,5  $\Rightarrow$  0,3]

$m_{ss}$ : kg/d εισερχόμενων αιωρούμενων στερεών,

$P_V = YF - k_d M$ : ημερήσια παραγωγή ενεργού λάσπης, kg VSS/d [ $\Delta X_V$ ]

$Y$ : συντελεστής παραγωγής κυτταρικής ουσίας, kgVSS/kg BOD<sub>5</sub> {a}

$k_d$ : ρυθμός ενδογενούς αναπνοής, d<sup>-1</sup> {b}

$F$ : αφαιρούμενο BOD<sub>5</sub> kg/d,

$M = VX_V$ : μάζα πτητικών στον αντιδραστήρα kg MLVSS

$V$ : Όγκος του αντιδραστήρα, m<sup>3</sup>

$X_V$ : Συγκέντρωση πτητικών στερεών στον αντιδραστήρα, kg/m<sup>3</sup>

$P_e = QX_e$ : στερεά απομακρυνόμενα μαζί με τα επεξεργασμένα απόβλητα, kg/d

$Q$ : ημερήσια παροχή αποβλήτων, m<sup>3</sup>/d

$X_e$ : συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ρεύμα εξόδου, kg/m<sup>3</sup>

# Επεξεργασία ενεργού λάσπης

## Ηλικία λάσπης

$$\theta_c = \frac{VX_v}{YF - k_d VX_v} = \frac{\text{kgMLVSS}}{\text{παραγόμεν} \circ \text{απτητικά} / \text{ημέρα}}$$

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \cdot U - k_d$$

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c}$$

$Y_{obs} = \text{kg παραγόμενη} / \text{kg BOD}_5 \text{ απομακρυνόμενο} = 0,2 +$

$$\sqrt{\frac{\text{kgBOD}_5/d}{\text{kgMLSS}}}$$

$$\Delta X_v = P_v = Y_{obs} \cdot F$$



# Επεξεργασία ενεργού λάσπης

## Επίδραση διάφορων παραμέτρων [1]

### ■ Νιτροποίηση

$$Y_{\text{total}} = Y + Y_N$$

$Y_N$ : Συντελεστής παραγωγής νιτροβακτηρίων

τυπική τιμή {0,15 mg VSS/mg N (org. + inorg.) removed

Επειδή όμως η νιτροποίηση απαιτεί χαμηλής φόρτισης βιολογική επεξεργασία η διεργασία παράγει γενικά μικρότερη ποσότητα λάσπης από τη συμβατική.

# Επεξεργασία ενεργού λάσπης

## Επίδραση διάφορων παραμέτρων [2]

### ■ Είδος αποβλήτων

Το είδος των αποβλήτων επηρεάζει, όπως φαίνεται και στον πίνακα τις τιμές των συντελεστών  $Y$  και  $k_d$  και συνεπώς επηρεάζει την ειδική απόδοση παραγόμενης λάσπης  $\text{kg VSS/kg BOD}_5$

Απόβλητα	$k'$	$\alpha$	$\beta$	$d$	$b$
	$\frac{d \text{ (mg/L BOD)}}{\text{mg / L MLVSS}}$	(βάση $\text{BOD}_5$ ) $Y$	$\eta\mu^{-1}$ $k_d$		
1. Οικιακά λύματα	0,017-0,03	0,5-0,73	0,075-0,125	0,3-0,52	0,05-0,14
2. Γάλα	0,017	0,667	0,073	0,414	0,064
3. Φρούτα και λαχανικά	0,068	0,60	0,115	—	—
4. Ζυθοποιΐα	—	0,56	0,10	0,48	0,142
5. Διύλιση πετρελαίου	0,074	0,49-0,62	0,10-0,16	0,40-0,77	(0,142-0,227)*
6. Χημικά-πετροχημικά	0,0029-0,018	0,31-0,72	0,05-0,18	0,31-0,76	(0,07-0,256)*
7. Φαρμακευτικά	0,018	0,72-0,77	—	0,46	—
8. Παραγωγή χαρτοπολτού (Kraft) και λεύκανση	—	0,5	0,08	0,65-0,8	0,12
9. Συντελεστής θερμοκρασίας: $k'_T = k_{20} \cdot \Theta^{T-20}$ , όπου $\Theta = 1,0-1,04$					
10. Οργανική φόρτιση: $OL = \frac{24S_o}{Xt} = 0,2 - 0,5 \text{ kg BOD}_5/\eta\mu.\text{ανά kg MLSS}$					
* Υπολογίστηκε σαν γινόμενο: $1,42 \times 6$					



# Επεξεργασία ενεργού λάσπης

## Επίδραση διάφορων παραμέτρων [3]

### ■ Επίδραση του διαλυμένου οξυγόνου

Γενικά όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στην περιοχή 0,5 έως 3 mg/L μειώνεται η καθαρή παραγωγή βιολογικής λάσπης, καθώς αυξάνεται η ενδογενής αναπνοή.

Κάτω από τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας η διαφορά στην παραγωγή λάσπης μεταξύ δύο συστημάτων που λειτουργούν με 0,5 mg/L και 2 mg/L, αντίστοιχα, είναι μετρίσιμη.



# Επεξεργασία ενεργού λάσπης

## Επίδραση διάφορων παραμέτρων [4]

### ■ Επίδραση της θερμοκρασίας

Μεταβολή της θερμοκρασίας από 10 στους 18 °C διπλασιάζει την ταχύτητα μιας χημικής και πρότυπης βιολογικής καλλιέργειας.

Στην πράξη όμως η επίδραση της θερμοκρασίας στους συντελεστές  $Y$  και  $k_d$  δεν είναι τόσο σημαντική.

1. Στην περιοχή 15-22 °C δεν απαιτείται καμία διόρθωση στον υπολογισμό παραγόμενης λάσπης
2. Στην περιοχή 10-15 °C η τιμή του  $Y$  πρέπει να αυξηθεί (25% για αστικά λύματα) ενώ η τιμή του  $k_d$  παραμένει σταθερά.
3. Σε θερμοκρασίες κάτω από 10 °C η παραγωγή λάσπης αυξάνεται γενικά σε ποσοστό που δεν είναι προβλέψιμο με ακρίβεια.
4. Σε θερμοκρασίες πάνω από 22 °C η παραγωγή λάσπης μειώνεται, αλλά ο σχεδιασμός γίνεται συνήθως με τα δεδομένα της περιοχής 15-22 °C και θεωρείται ως συντηρητικός.



# Επεξεργασία ενεργού λάσπης

## Επίδραση διάφορων παραμέτρων [5]

### ■ Επίδραση της ειδικής φόρτισης {U}

Η τιμή του συντελεστή U επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή λάσπης, όπως προκύπτει και από την εξίσωση:

$$P_v = YF - \frac{k_d F}{C[F/M]} \quad [C \sim 0,9]$$

Σύμφωνα με την εξίσωση η παραγωγή βιολογικής λάσπης

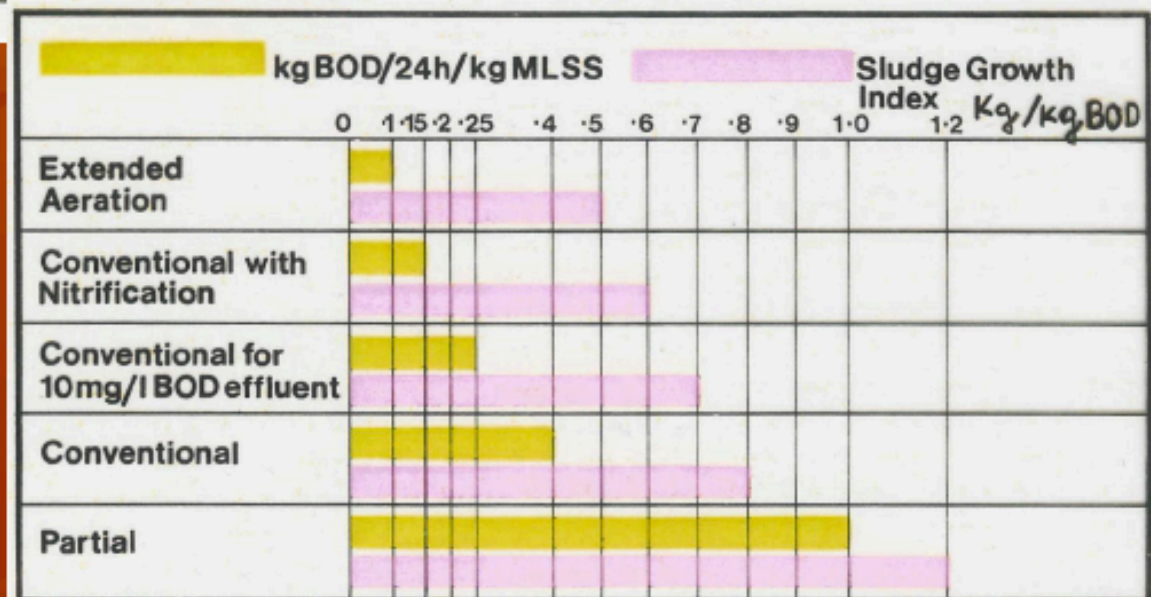
Αυξάνεται καθώς αυξάνεται το βιολογικό φορτίο που καταναλώνεται και η τιμή του {U}

Μειώνεται καθώς αυξάνεται η μάζα των M/O στο σύστημα δηλαδή καθώς αυξάνεται ή ηλικία της λάσπης.



# Επίδραση της παραμέτρου F/M {U} στην ειδική κατανάλωση οξυγόνου και παραγωγή λάσπης

Mode of Treatment	O <sub>2</sub> /24h(kg)					
	BOD/24h applied (kg)					
	0	0.55	0.85	1.25	1.65	2.0
Partial High Rate		■				
Conventional for 20 mg/l BOD effluent		■	■			
Conventional for 10 mg/l BOD effluent		■	■	■		
Conventional with nitrification		*mg/l N oxidised x 4.57 = additional mg/l O <sub>2</sub> required				
Extended Aeration		■	■	■	■	



# Βιολογικό φίλτρο

- Όπως και στην επεξεργασία ενεργού λάσπης:

$$P_{ss} = SS_{NV} + P_V - P_e$$

Όπου:

$$P_V = Y \cdot F - k'_d \cdot A_m$$

$Y$  : συντελεστής παραγωγής κυτταρικής ουσίας,  $\text{kg VSS}/\text{kg BOD}_5$

$k'_d$  : ρυθμός ενδογενούς διαπνοής,  $\text{d}^{-1}$

$F$  : αφαιρούμενο  $\text{BOD}_5$   $\text{kg}/\text{d}$ ,

$A_m$  : Ολική επιφάνεια πληρωτικού υλικού,  $\text{m}^2$

Τυπικές τιμές για αστικά λύματα [  $0,5 - 1 \text{ kg BOD}_5/\text{m}^3\text{d}$  ] :

$$Y \sim 0,8 - 0,9 \text{ kg VSS}/\text{kg BOD}_5$$

$k'_d$  : επηρεάζεται από αντίστροφα από την επιφάνεια του πληρωτικού και το ύψος

για  $H \sim 6\text{m}, 90 \text{ m}^2/\text{m}^3, \quad k'_d = 0,2$

$H \sim 3\text{m}, 90 \text{ m}^2/\text{m}^3, \quad k'_d = 0,3$

$H \sim 6\text{m}, 130 \text{ m}^2/\text{m}^3, \quad k'_d = 0,32$

Η λάσπη του βιολογικού φίλτρου καθιζάνει καλύτερα από την ενεργό λάσπη και η συγκέντρωσή της μετά την καθίζηση κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5%.



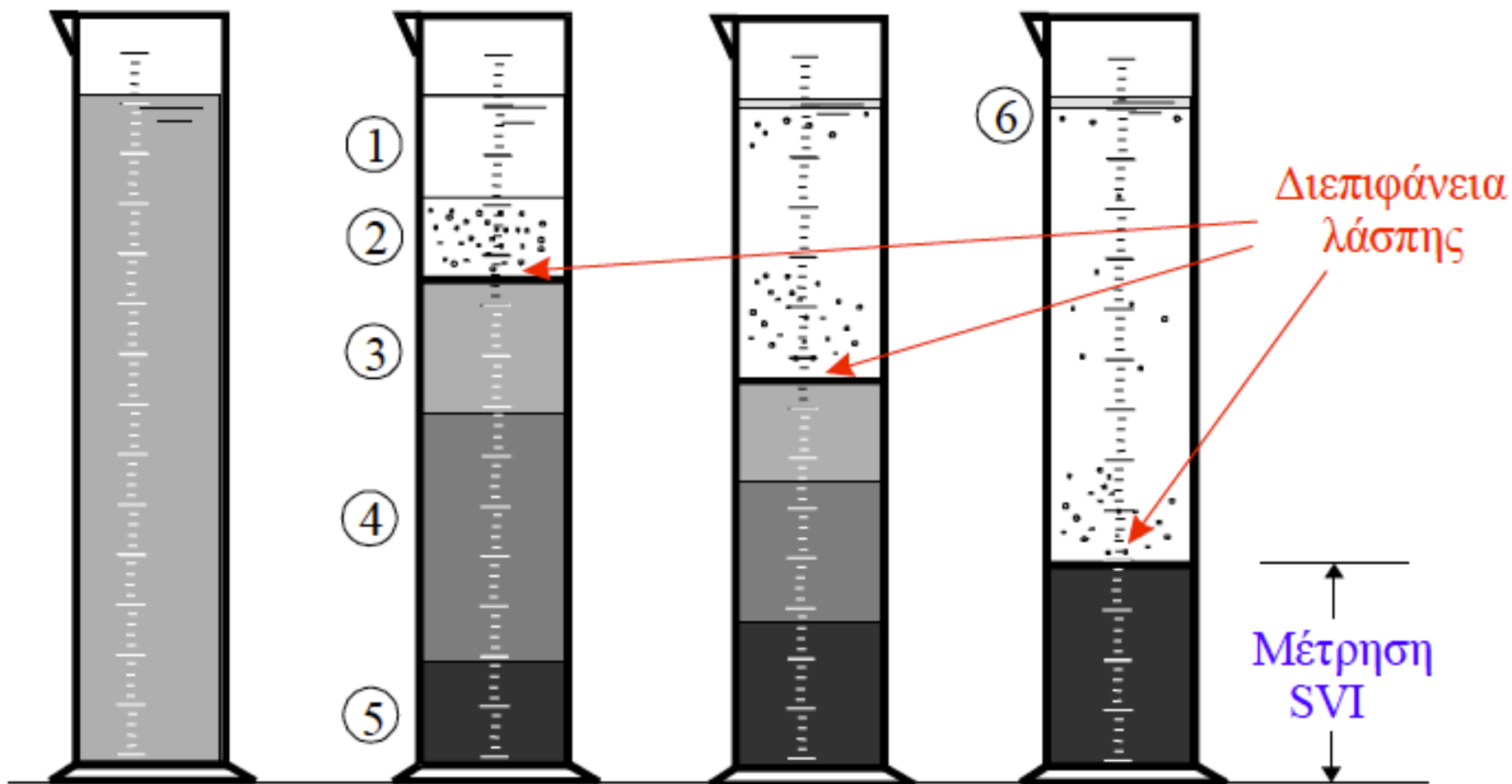
# Δευτερογενής δεξαμενή καθίζησης

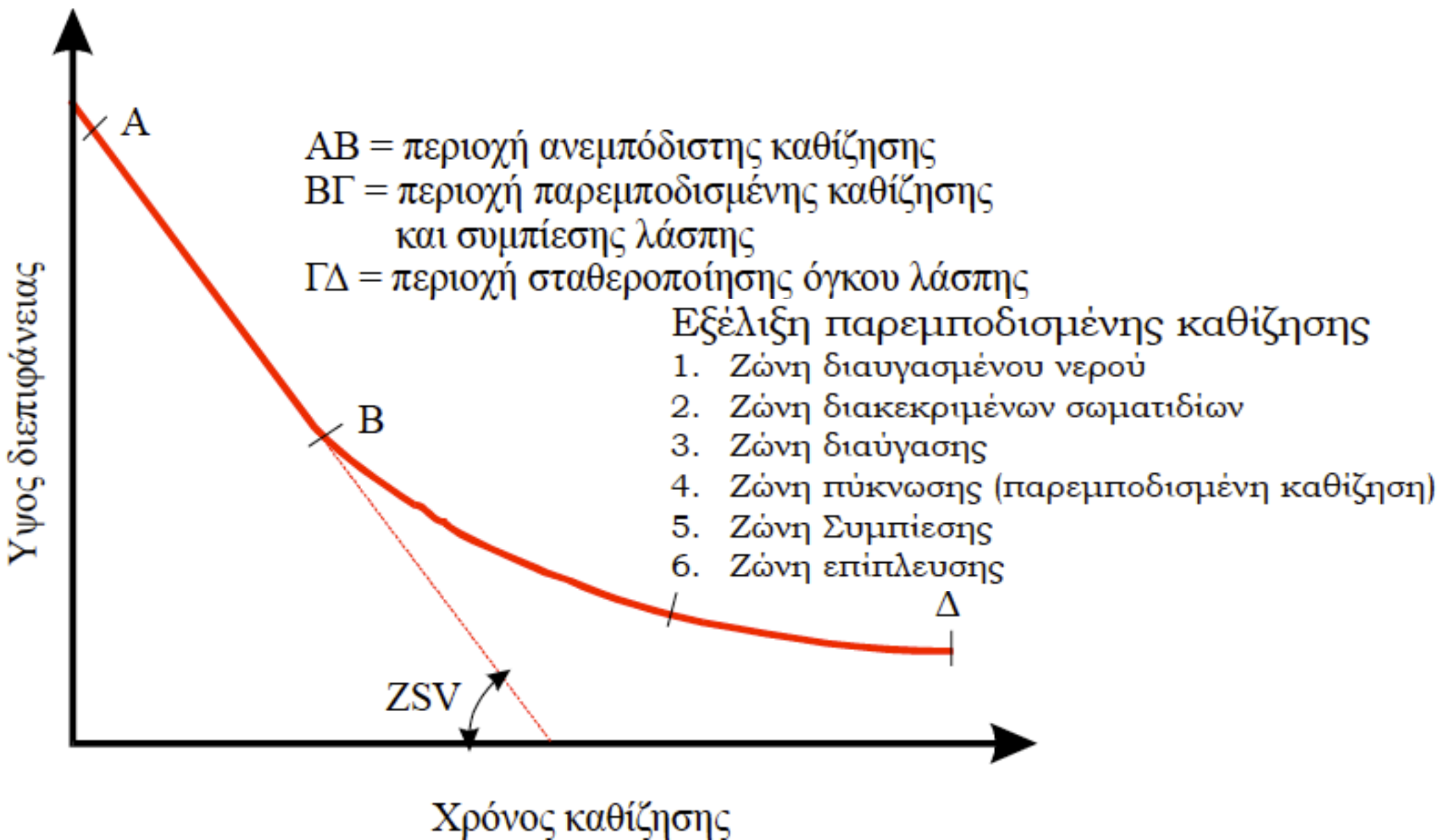


Αρχική  
κατάσταση

Μεταβατικές  
καταστάσεις

Τελική  
κατάσταση







# Ζώνη Καθίζησης

Για να μελετήσουμε θεωρητικά την ζώνη αυτή, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το γινόμενο της αρχικής παροχής επί της αρχικής συγκέντρωσης μπορεί να αναλυθεί σε ένα άθροισμα διακριτών γινομένων παροχών επί διαφόρων διακριτών συγκεντρώσεων σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

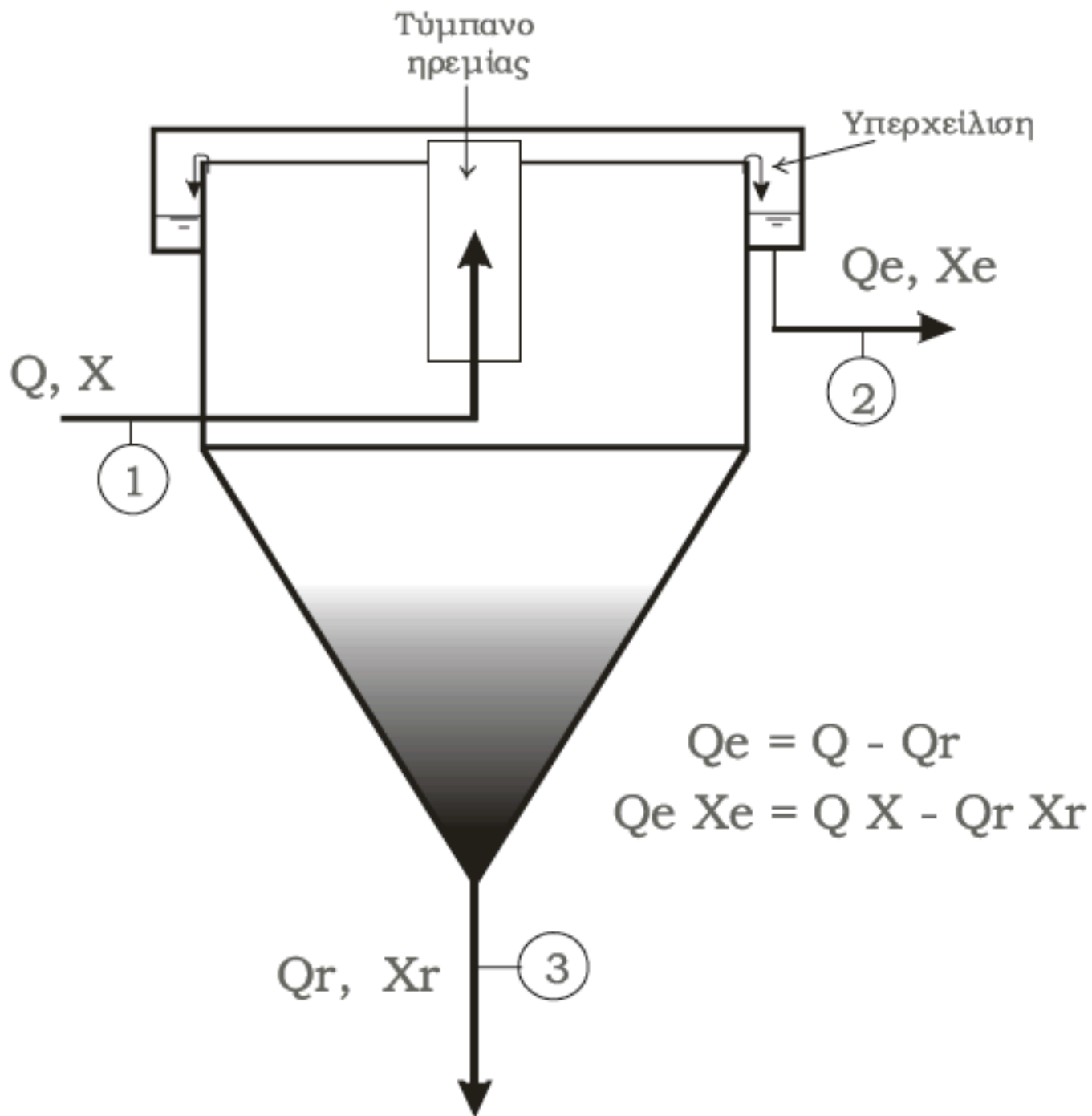
$$Q \cdot X = Q_{1,t} \cdot X_1 + Q_{2,t} \cdot X_2 + \dots + Q_{n,t} \cdot X_n \quad [1]$$

Όπου  $Q$  και  $X$  η αρχική παροχή (ή ποσότητα) του υγρού και η συγκέντρωση των σωματιδίων αντίστοιχα.

Αν και οι παροχές  $Q_i$  μεταβάλλονται συνεχώς, όμως ισχύει η σχέση:

$$Q = Q_{1,t} + Q_{2,t} + \dots + Q_{n,t} \quad [2]$$

Ετσι, στη ζώνη παρεμπόδισης, όπου οι συγκεντρώσεις μεταβάλλονται συνεχώς, σαν ανεξάρτητη παράμετρο διακριτής καθίζησης, θα ήταν σκόπιμο να χρησιμοποιήσουμε το γινόμενο  $G_i = u_i \cdot X_i$  και όχι την συγκέντρωση  $X_i$ . Η παράμετρος αυτή  $G$  ονομάζεται ροή στερεών (solid's flux).





# Σχεδιασμός διαυγαστήρα



Αν επιθυμούμε να σχεδιάσουμε την δεξαμενή καθίζησης ώστε  $X_e=0$  τότε η δεξαμενή λειτουργεί σαν **διαυγαστήρας** και σκοπό έχει να διαχωρίσει όλα τα στερεά από την ανάμικτη ροή. Στη περίπτωση αυτή ο σχεδιασμός της δεξαμενής βασίζεται στους νόμους που διέπουν την ζώνη διαύγασης και βασική παράμετρος σχεδιασμού αποτελεί η επιφάνεια της δεξαμενής ( $A$ ,  $m^2$ ) η οποία είναι συνάρτηση της ταχύτητα καθίζησης της ζώνης διαύγασης ( $ZSV$ ). Η επιφάνεια της δεξαμενής υπολογίζεται από την σχέση:

$$A_{cl} \geq \frac{Q_e}{ZSV_x}, m^2 \quad [3]$$

$$ZSV_i = a \exp(-b X_i) \quad [6]$$

Οι συντελεστές  $a$  και  $b$  μπορούν να εκτιμηθούν με τεχνικές γραμμικής παλινδρόμησης.





# Σχεδιασμός Παχυντήρα



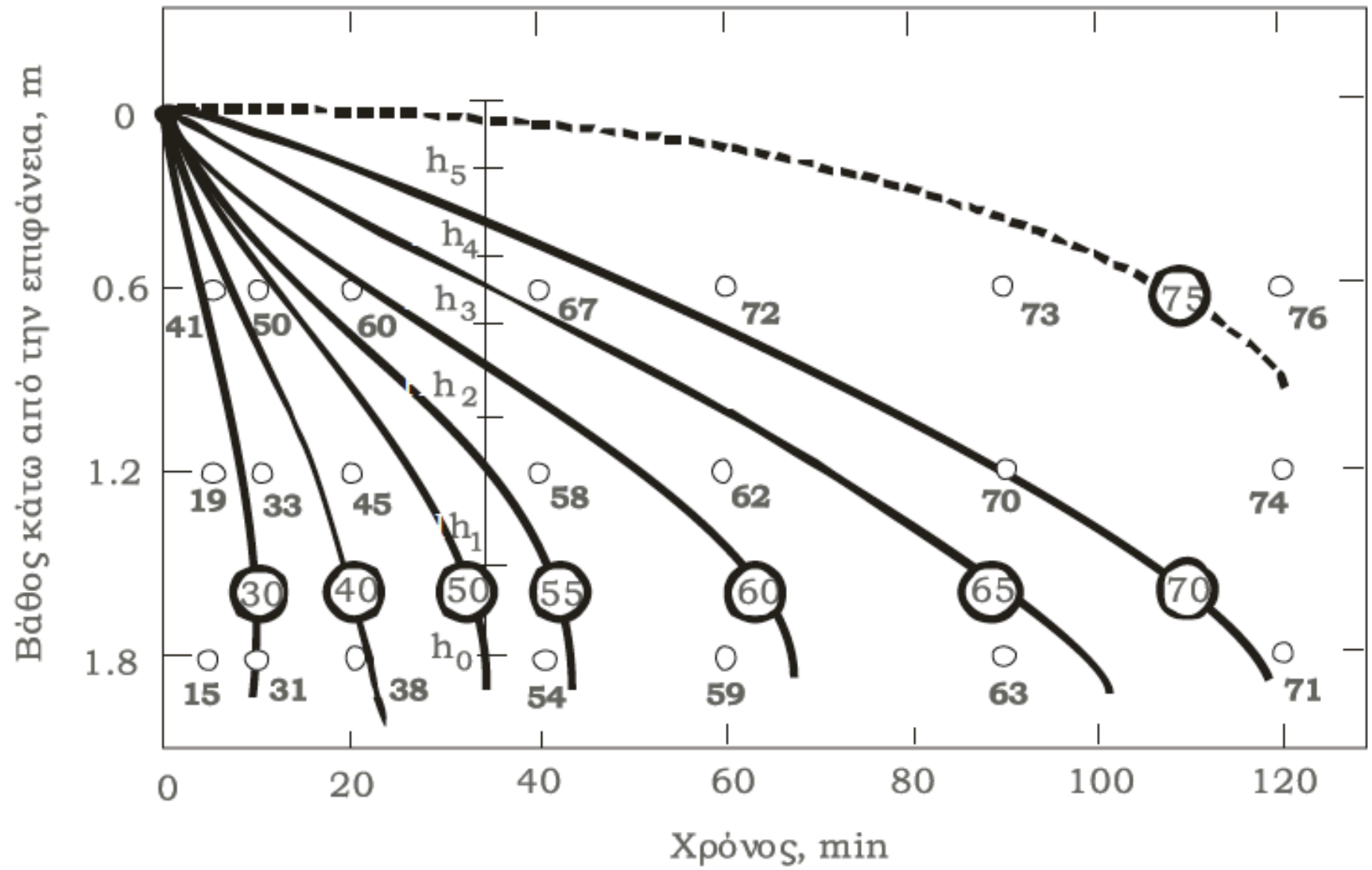
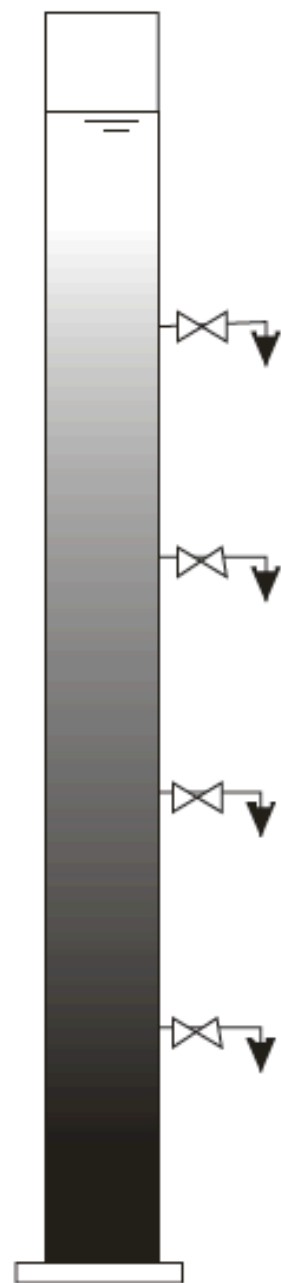
Αν ο σχεδιασμός αποσκοπεί ώστε να παραλαμβάνουμε την δεδομένη παροχή  $Q_r$  με μία επιθυμητή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών  $X_r$  ή όταν  $X_e \neq 0$  τότε η δεξαμενή καθίζησης ονομάζεται **παχυντήρας**. Στην περίπτωση αυτή ο σχεδιασμός της δεξαμενής βασίζεται στους νόμους που διέπουν την ζώνη παρεμποδισμένης καθίζησης (σχήμα 1) και βασική παράμετρος σχεδιασμού αποτελεί και πάλι η επιφάνεια της δεξαμενής ( $A$ ,  $m^2$ ) η οποία είναι συνάρτηση της ελάχιστης ροής  $G_r$  ( $kg/m^2-d$ ) στερεών που αντιστοιχεί στην συγκέντρωση  $X_r$ . Η επιφάνεια της δεξαμενής υπολογίζεται από την σχέση:

$$A_{Th} \geq \frac{Q \cdot X}{G_r}, m^2 \quad [4]$$



Μπορεί μία δεξαμενή καθίζησης να λειτουργεί και σαν διαυγαστήρας αλλά και σαν παχυντήρας. Στη περίπτωση αυτή υπολογίζεται η επιφάνεια της δεξαμενής ανεξάρτητα σαν διαυγαστήρας και ανεξάρτητα ως παχυντήρας και η τελική επιφάνεια της δεξαμενής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A = \max(A_{CL}, A_{th}), \text{ m}^2 \quad [5]$$



Σχήμα 3: Γραφικός υπολογισμός ταχύτητας καθίζησης των διαφόρων συγκεντρώσεων



# Σχεδιασμός Παχυντήρα

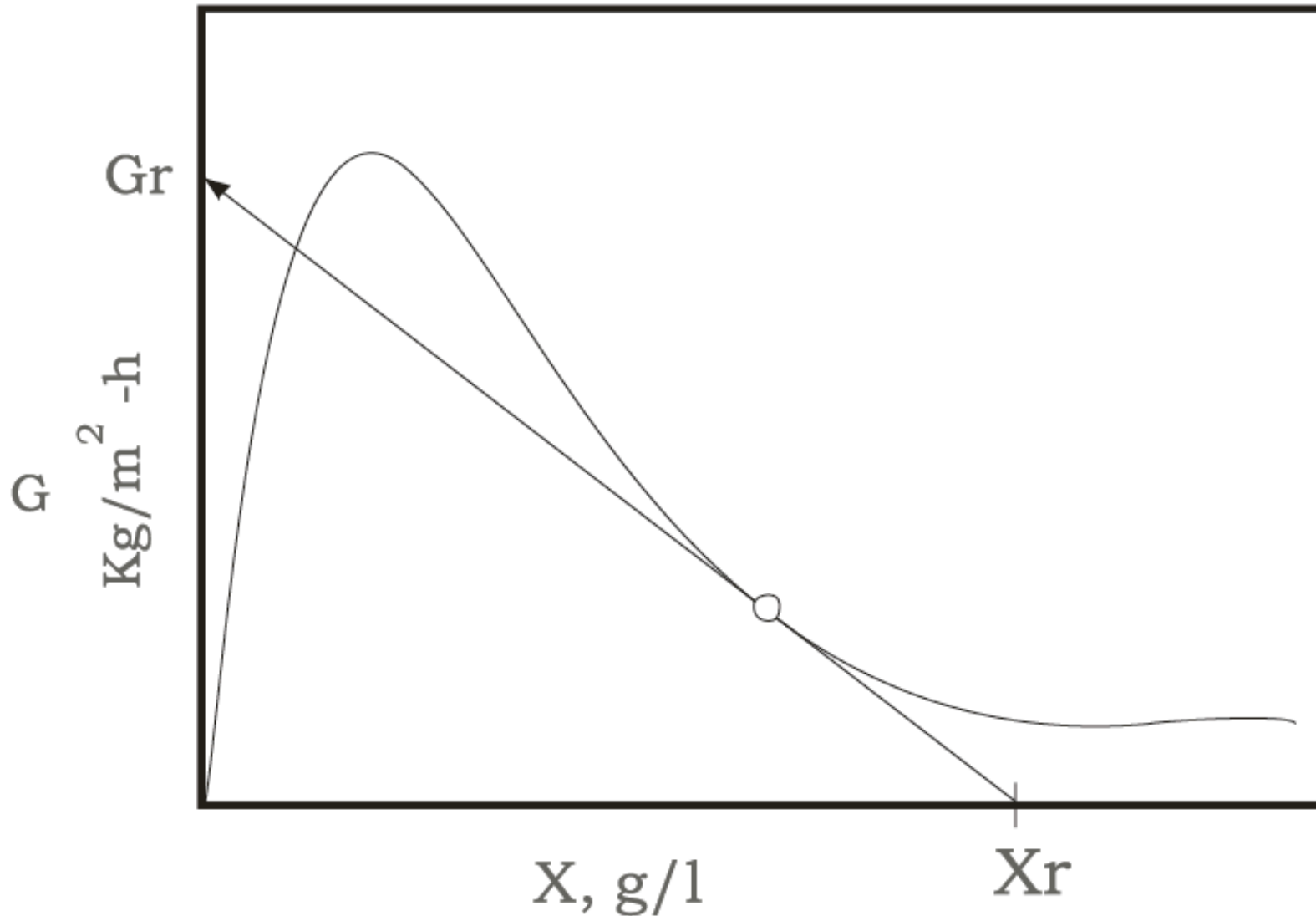


Στο διάγραμμα αυτό χαράσσονται κατ' εκτίμηση οι «ισοσυγκεντρωτικές» καμπύλες ενώνοντας τα σημεία που έχουν την ίδια συγκέντρωση. Από τις καμπύλες αυτές απομονώνουμε τα τμήματά τους που είναι γραμμικά και από αυτά τα τμήματα υπολογίζουμε την ταχύτητα  $u_i$  που αντιστοιχεί στην συγκέντρωση  $X_i$ . Αποδεικνύεται και πάλι ότι η σχέση της ταχύτητας με τη συγκέντρωση ακολουθεί μία παρόμοια σχέση με αυτή της [6].

$$u_i = a' \exp(-b' X_i) \quad [7]$$

Οι συντελεστές  $a'$  και  $b'$  δεν συμπίπτουν με τους  $a$  και  $b$  της σχέσεως [6].

Από τα δεδομένα αυτά σχεδιάζεται το διάγραμμα του σχήματος 4 με συντεταγμένες τη ροή στερεών  $G_i = u_i \cdot X_i$  σε συνάρτηση με την συγκέντρωση  $X_i$ .



Γραφικός υπολογισμός της οριακής ροής στερεών ώστε η συγκέντρωση της λάσπης στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης να είναι  $X_r$



# Σχεδιασμός Παχυντήρα



Η εφαπτομένη στη καμπύλη του διαγράμματος, από το σημείο  $X_r$ , προσδιορίζει το  $G_r$  που αποτελεί το μέγιστο  $G$  που μπορεί να πετύχει την συγκέντρωση  $X_r$  στον πυθμένα της δεξαμενής.

Για οποιοδήποτε  $G < G_r$  θα έχουμε, ασφαλώς, μεγαλύτερη συγκέντρωση λάσπης στον πυθμένα αλλά όμως αυτό θα αντιστοιχεί σε επιφάνεια δεξαμενής μεγαλύτερης απ' ότι χρειαζόμαστε.

Όταν υπολογιστεί το  $G_r$  τότε από την σχέση [4] υπολογίζεται η ελάχιστη επιφάνεια της δεξαμενής πάχυνσης της βιολογικής λάσπης.

$$A_{\text{Th}} \geq \frac{Q \cdot X}{G_r}, \text{ m}^2 \quad [4]$$



# Μαθηματικός υπολογισμός οριακής ροής στερεών

Το σημείο επαφής της εφαπτομένης της καμπύλης  $G_i = f(X_i)$  από το σημείο  $G_r$  έχει συντεταγμένες  $X_L$  και  $G_L$ . Οι συντεταγμένες αυτές μπορούν να υπολογιστούν δεδομένου ότι το σημείο αυτό αντιστοιχεί στην παράγωγο της καμπύλης  $G_i = f(X_i)$  που διέρχεται και από το σημείο  $X_r$ . Έτσι υπολογίζεται:

$$X_L = \frac{X_r}{2} + \frac{\sqrt{X_r^2 - \frac{4 \cdot X_r}{b}}}{2} \text{ και}$$

$$G_L = X_L \cdot a \cdot \exp(-b \cdot X_L)$$

Το σημείο  $G_r$  υπολογίζεται από την σχέση:

$$G_r = X_L^2 \cdot a \cdot b \cdot \exp(-b \cdot X_L)$$

# ΑΕΡΟΒΙΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΛΑΣΠΗΣ [1]

- Παραμονή σε συνθήκες αερισμού για >8 μέρες
- Ισχύς αερισμού επαρκής για ανάδευση

Επιφανειακός αερισμός : 10 -30 W/m<sup>3</sup>

Διάχυση αέρα : 1 – 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h

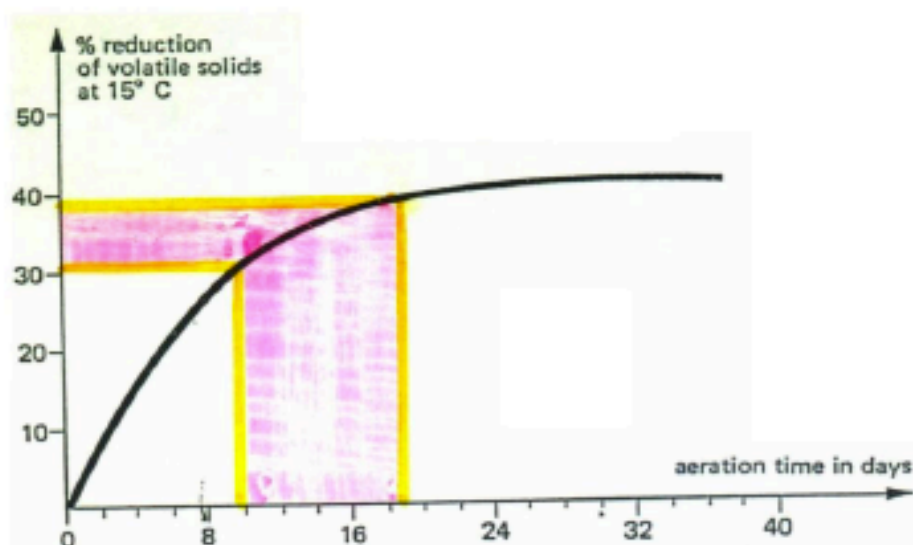
Γενικά αύξηση της συγκέντρωσης οξυγόνου δεν επιταχύνει την σταθεροποίηση

Η πύκνωση της λάσπης πριν την αερόβια σταθεροποίηση για δεδομένες εγκαταστάσεις αυξάνει το χρόνο παραμονής και ευνοεί τη διεργασία

Η απαίτηση οξυγόνου σπάνια υπερβαίνει τα 0,6 kg O<sub>2</sub>/kg Organic matter

Η μείωση των ολικών στερεών κυμαίνεται μεταξύ 30 και 35%

με αντίστοιχη μείωση των πτητικών στερεών σε ποσοστό 35 έως 45%







# Στοιχεία Σχεδιασμού Πυκνωτών

<b>Τυπός</b>	<b>Φόρτιση, kgSS/m<sup>2</sup>d</b>	<b>Πιθανή πύκνωση, g/L</b>
<b>Πρωτογενής, Σύμφωνα με VSS που περιέχονται</b>	<b>80-120</b>	<b>100</b>
<b>Πρωτογενής + ενεργός, Σύμφωνα με VSS που περιέχονται</b>	<b>50-70</b>	<b>50-70</b>
<b>Ενεργός λάσπης</b>	<b>25-30</b>	<b>50-70</b>
<b>Απομάκρυνση CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	<b>400</b>	<b>150-250</b>
<b>Καταβύθιση με μεταλλικά υδροξειδία</b>	<b>15-25</b>	<b>30-40</b>