

Δευτεροβάθμια Καθίζηση



Συσχετισμός μεταξύ Τύπων Καθίζησης, Συγκέντρωσης ΑΣ και Βαθμού Συσσωμάτωσης

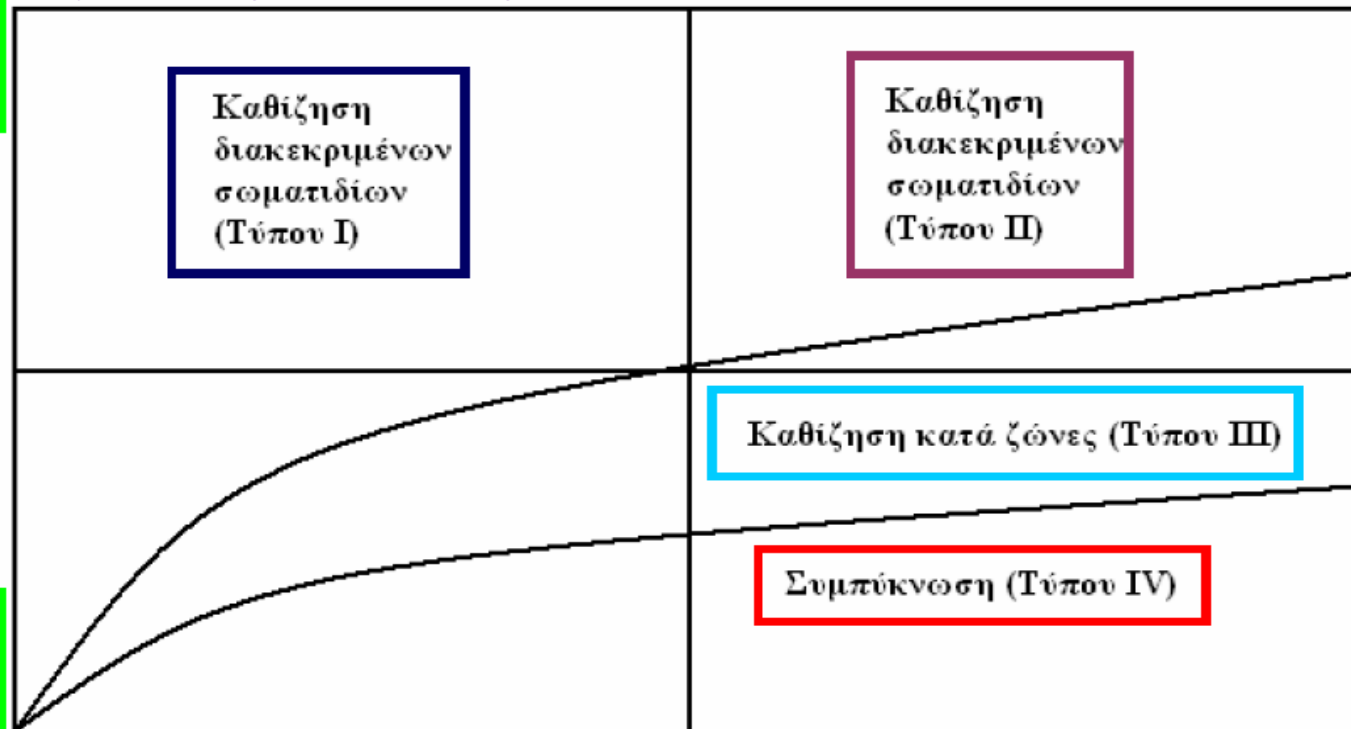
τα σωματίδια καθιζάνουν χωρίς αλληλεπίδραση με ταχύτητα ανεξάρτητη της συγκέντρωσης στερεών

Καθίζηση με συσσωμάτωση η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από την συγκέντρωση των στερεών

Λίγα
αιωρούμενα
στερεά, %



Πολλά
αιωρούμενα
στερεά, %



Όπου ισχυρή συσσωμάτωση οδηγεί σε καθιζάνον στρώμα (καθίζηση κατά ζώνες)

Όπου το στρώμα των στερεών συμπυκνώνεται.

Διακεκριμένα
σωματίδια

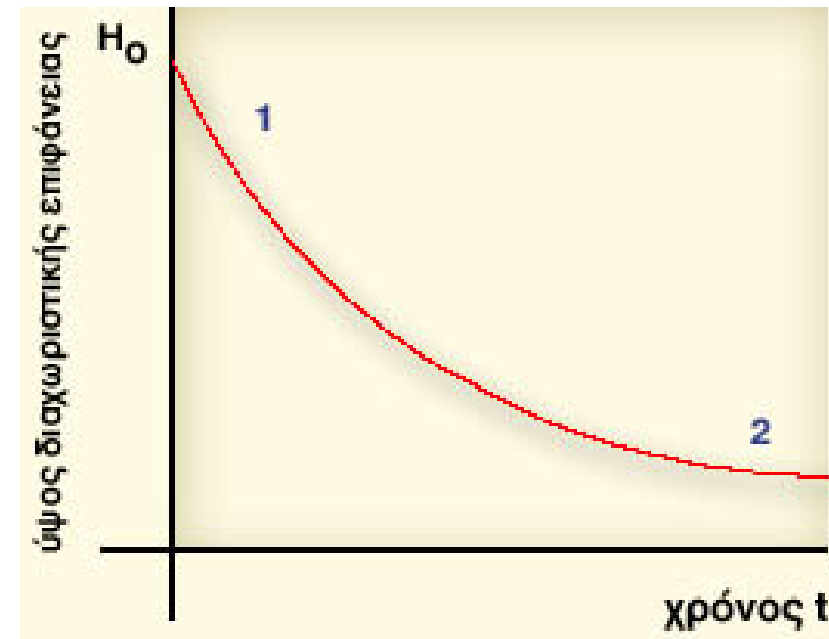


Συσσωματωμένα
σωματίδια

Σχεδιασμός Δευτεροβάθμιας Καθίζησης

Καθίζηση Τύπου III (συνθήκες παρεμποδιζόμενης καθίζησης ή καθίζησης κατά ζώνες)

- Ο σχεδιασμός της ΔΔΚ καλό είναι να βασίζεται σε **πειράματα** με στήλη καθίζησης.
- Ξεκινώντας με ένα ομοιόμορφο μείγμα **αρχικής συγκέντρωσης στερεών c_0** μετράται το **ύψος της διαχωριστικής επιφάνειας** ιλύος-υγρού (H) συναρτήσει του χρόνου (t)
- Η διαχωριστική επιφάνεια αρχικά κατέρχεται με σχετικά μεγάλη ταχύτητα (**διαύγαση, περιοχή 1**) ενώ μετέπειτα παρατηρείται επιβράδυνση καθώς προκαλείται **πύκνωση** (αντίστοιχα **καθιζήσεις τύπου III και IV**, περιοχή 2).

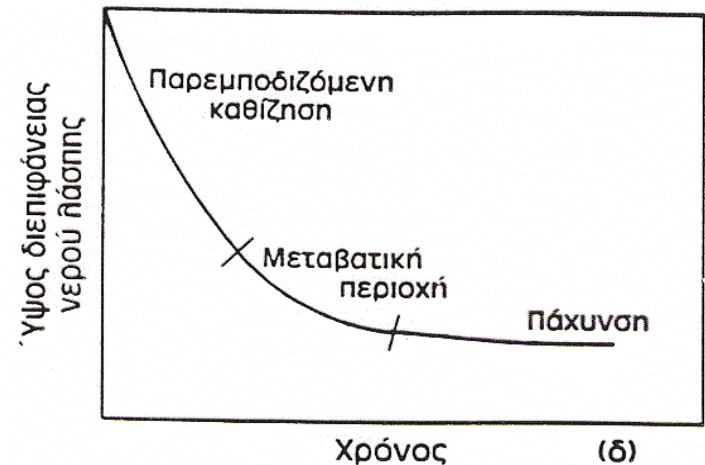
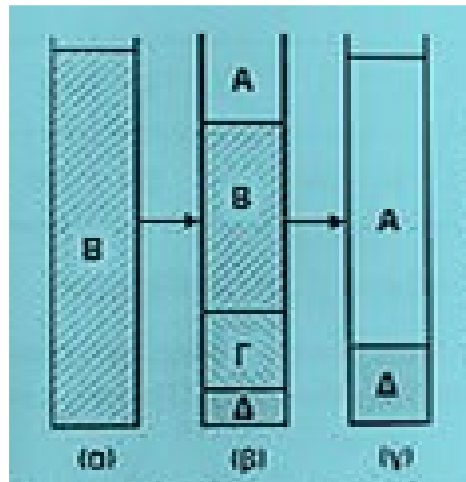
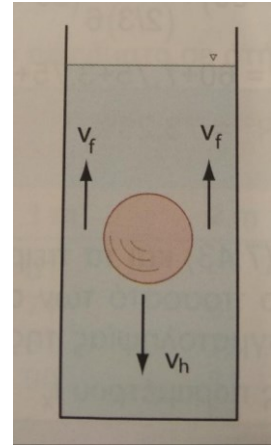


ΣΚΟΠΟΣ ΔΔΚ: → πρέπει να επιτυγχάνει και **διαύγαση** και **πύκνωση**

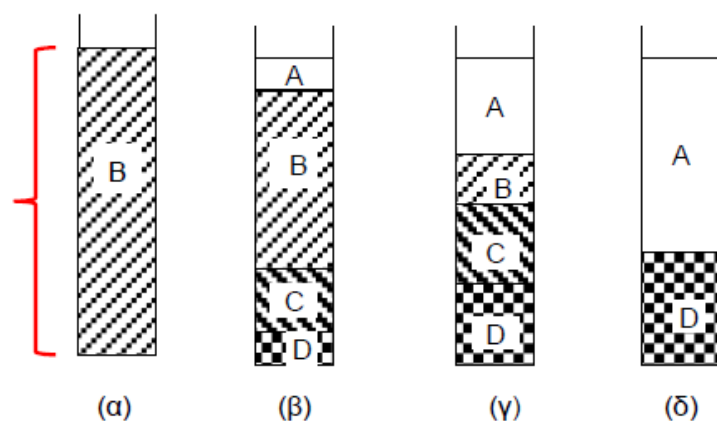
Καθίζηση ζώνης ή παρεμποδιζόμενη καθίζηση

Η μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων ($>1000\text{mg/L}$) κατά την είσοδο:

- **Μειώνει** την ταχύτητα καθίζησης (λόγω **αλληλεπίδρασης** σωματιδίων)
- Προκαλεί εύθραυστα συμπλέγματα σωματιδίων που διατηρούνται ακίνητα (λόγω της ανόδου του **εκτοπιζόμενου** νερού).
- Κατά την καθίζηση δημιουργούνται ευδιάκριτες περιοχές (**ζώνες**) διαφορετικής συγκέντρωσης.
- Η περιοχή με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση βρίσκεται στον **πυθμένα** όπου το στρώμα λάσπης συμπιέζεται και συμπυκνώνεται.



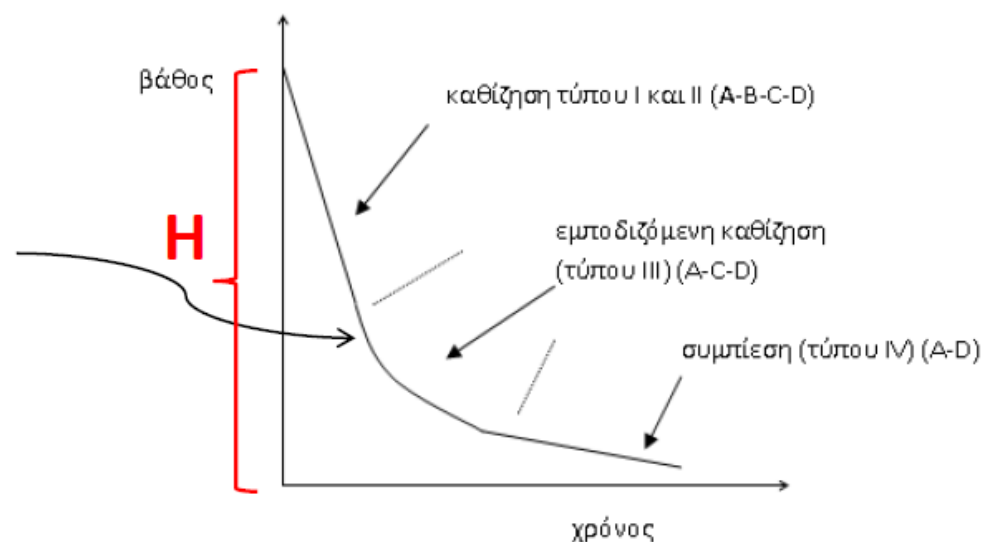
Τυπική πειραματική διαδικασία



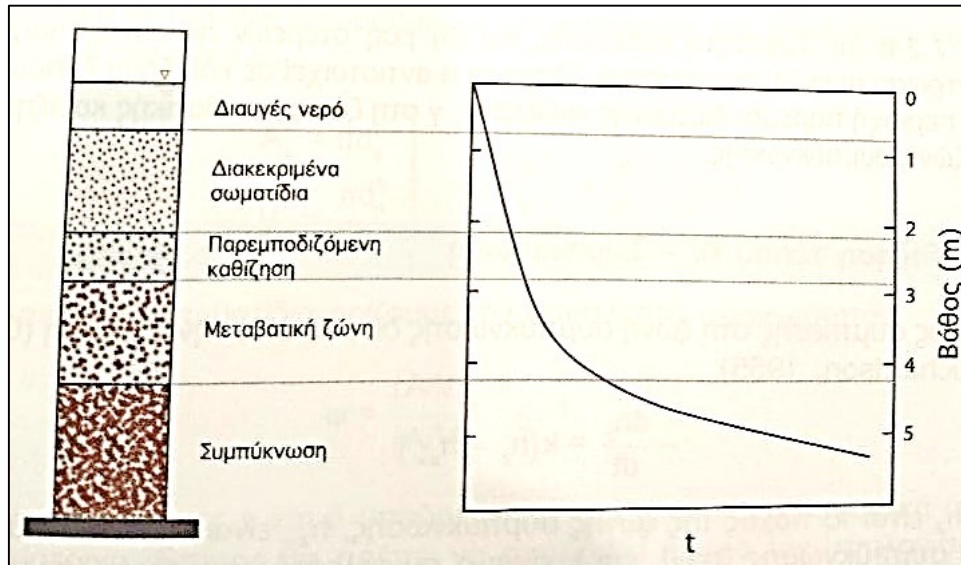
t_0 t_1 t_2

Κλίση της καμπύλης:
ταχύτητα διαύγασης
(μεταβλητή με το βάθος)

Παρατήρηση της
διεπιφάνειας (A/B)
συναρτήσει του χρόνου

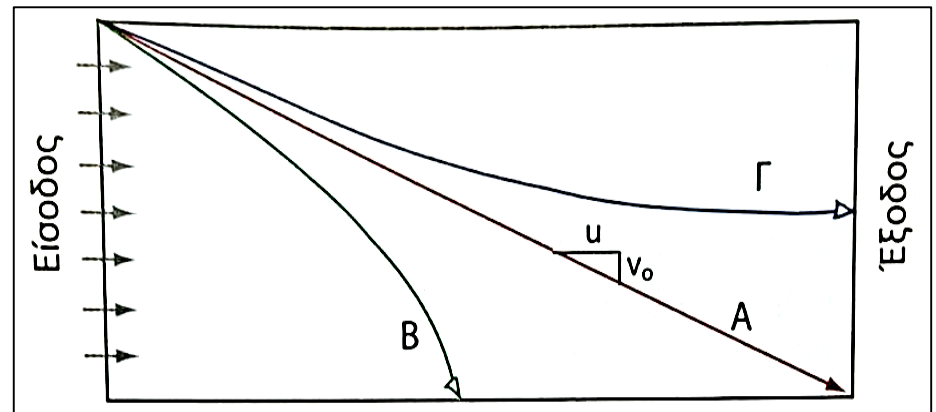


Ζώνες καθίζησης



**Ζώνες καθίζησης και
διάγραμμα του απαιτούμενου
χρόνου για την καθίζηση
αιωρούμενου σωματιδίου στις
διάφορες ζώνες της στήλης**

A: Διακεκριμένα σωματίδια
B: Σωματίδια που συσσωματώνονται
Γ: Παρεμποδιζόμενη καθίζηση



Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού
νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Σχεδιασμός ΔΔΚ με μία καμπύλη καθίζησης (1)

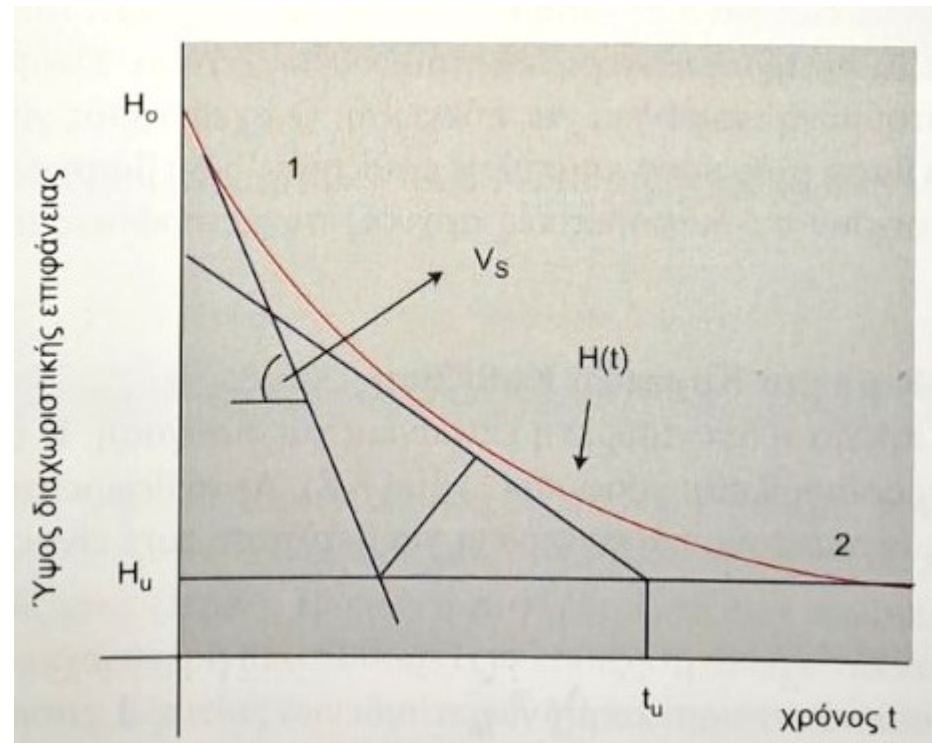
1) Προσδιορίζεται πρώτα η απαιτούμενη **επιφάνεια για διαύγαση**:

Η αρχική ταχύτητα -
 $dH/dt = v_s = u$
προσδιορίζεται γραφικά

Αυτή θεωρείται και η ταχύτητα διαύγασης.

Η απαιτούμενη επιφάνεια για διαύγαση τότε είναι:

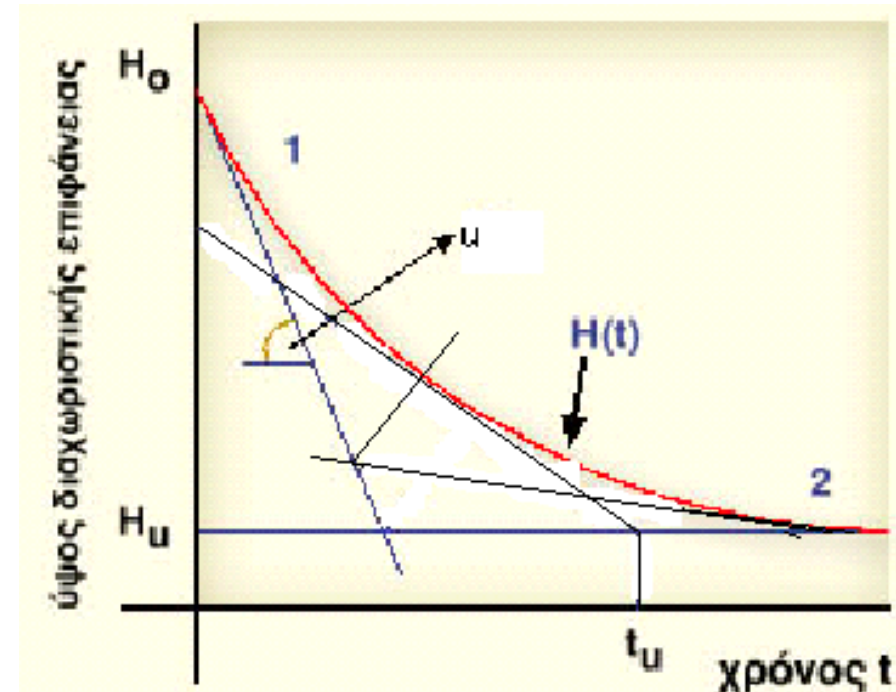
$$A_{\delta} = Q/u$$



Σχεδιασμός ΔΔΚ με μία καμπύλη καθίζησης (2)

2) Προσδιορίζεται έπειτα η απαιτούμενη επιφάνεια για **πύκνωση**:

- (α) αποφασίζουμε/επιλέγουμε την επιθυμητή συγκέντρωση πυκνωμένης λάσπης c_u .
- (β) Προσδιορίζουμε το βάθος $H_u = H_o c_o / c_u$.
(Αυτό που θα καταλαμβάνει πυκνωμένη λάσπη αν έχει ομοιόμορφη συγκέντρωση c_u).
Φέρουμε οριζόντια γραμμή στο βάθος H_u .
- (γ) Φέρνουμε εφαπτόμενες της καμπύλης $H(t)$ στις περιοχές διαύγασης και πύκνωσης και **διχοτομούμε** την γωνία που σχηματίζουν.
- (δ) Φέρνουμε **εφαπτομένη της $H(t)$** στο σημείο τομής της διχοτόμου η οποία τέμνει την οριζόντια γραμμή ($H_u = \text{σταθερά}$) στο σημείο (t_u, H_u) .



3) Η απαιτούμενη επιφάνεια για πύκνωση δίνεται τότε από την σχέση:

$$A_{\pi} = Q t_u / H_o$$

Σχεδιασμός ΔΔΚ με την μέθοδο εισροής στερεών

Βρίσκονται οι αρχικές ταχύτητες διαύγασης (u)

για σειρά από **αρχικές συγκεντρώσεις** (c_o)

και κατασκευάζεται η καμπύλη $u(c)$

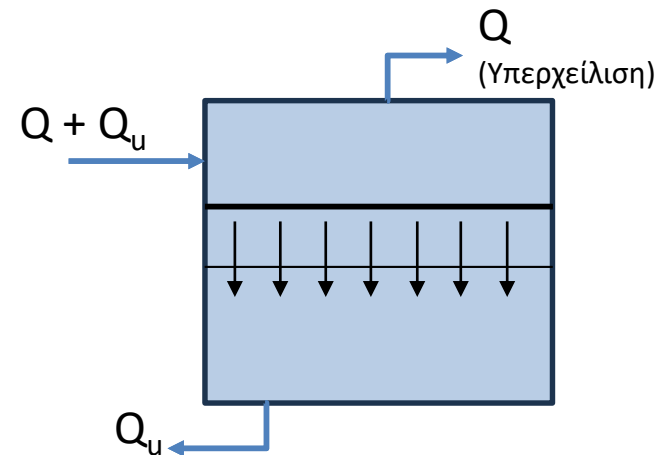
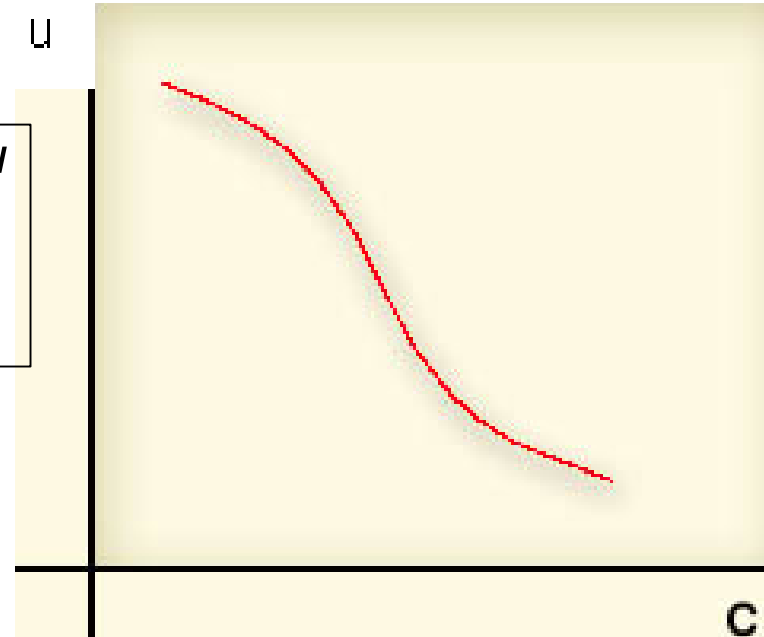
Βασική παραδοχή: η ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται μόνο από την **συγκέντρωση των στερεών C** , και είναι ανεξάρτητη του βάθους και του χρόνου.

Η **συνολική Ροή των Στερεών** (ανά μονάδα επιφανείας) από μια επιφάνεια διατομής της δεξαμενής είναι αποτέλεσμα:

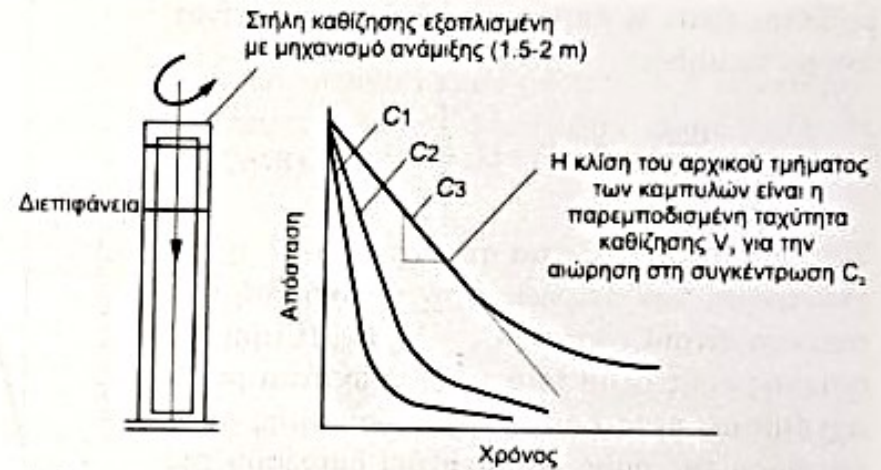
(α) της ροής εξαιτίας της **βαρύτητας** ($P\Sigma_\beta$) και

(β) εξαιτίας της **άντλησης** από το βυθό της δεξαμενής ($P\Sigma_\alpha$)

$$\text{Έτσι: } P\Sigma \text{ (kg/m}^2 \text{ h)} = P\Sigma_\alpha + P\Sigma_\beta$$

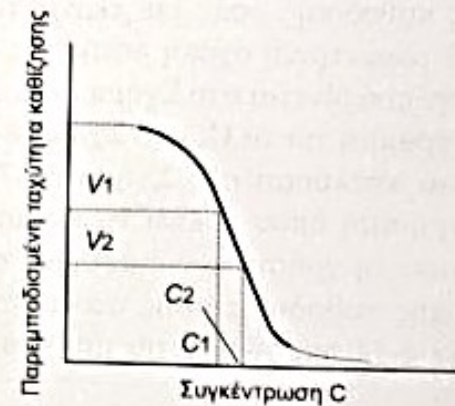


(α) Ταχύτητες διαύγασης που εξάγονται από τις δοκιμές καθίζησης στήλης για την αιώρηση σε διαφορετικές συγκεντρώσεις.



(α)

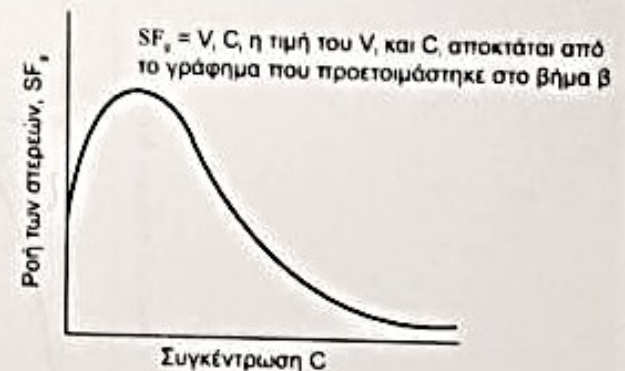
(β) γραφική παράσταση των ταχυτήτων διαύγασης της καθίζησης, που αποκτώνται στο προηγούμενο βήμα, προς την αντίστοιχη συγκέντρωση.



(β)

$$P\Sigma_{\beta} = u(c) \cdot c$$

(γ) γραφική παράσταση των ροών των στερεών προς την αντίστοιχη συγκέντρωση.



(γ)

Σχεδιασμός ΔΔΚ με την μέθοδο εισροής στερεών

$$P\Sigma_{\beta} = u(c) \cdot c \quad P\Sigma_{\alpha} = u_{\alpha} \cdot c$$

όπου u_{α} η ταχύτητα εξαιτίας της άντλησης στο βάθος της δεξαμενής.

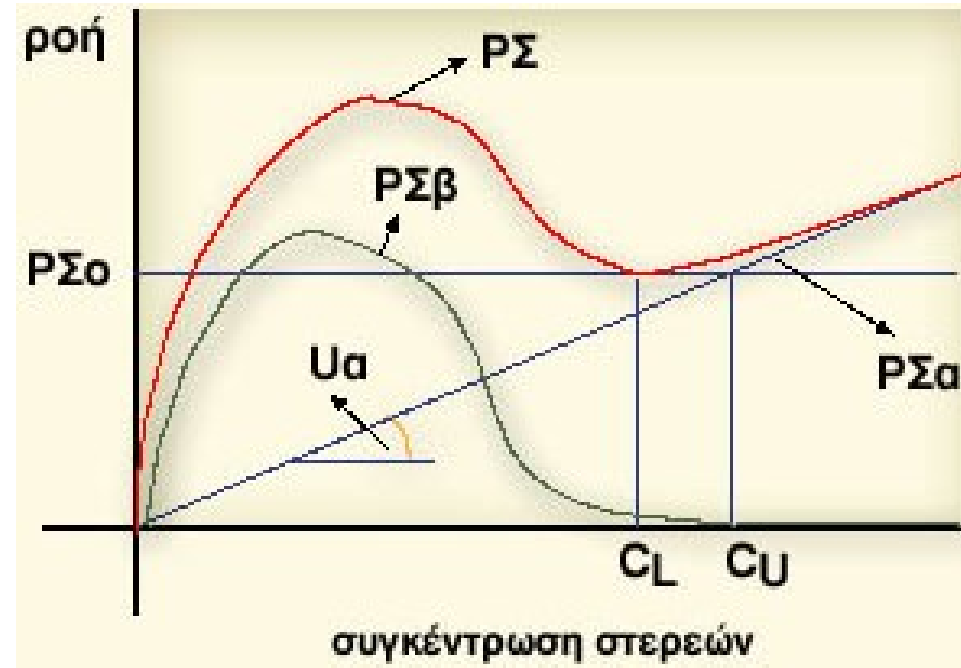
Η $P\Sigma_{\beta}$ ως συνάρτηση της συγκέντρωσης c , παρουσιάζει μέγιστο.

Το διάγραμμα της συνολικής ροής στερεών επομένως παρουσιάζει μέγιστο και ελάχιστο.

Το ελάχιστο παρουσιάζεται σε κάποια συγκέντρωση c_L και η αντίστοιχη ροή καλείται **οριακή (κρίσιμη) ροή $P\Sigma_0$** : η μέγιστη επιτρεπτή ροή στερεών στην εισροή της δεξαμενής.

Η απαιτούμενη επιφάνεια για πύκνωση δίνεται τότε από τη σχέση: **$A_{\pi} = (Qc_0 / P\Sigma_0)$**

όπου c_0 η συγκέντρωση στερεών στην είσοδο της ΔΔΚ.



C_U είναι η συγκέντρωση της πυκνωμένης ιλύος (σημείο τομής $P\Sigma_0$ με $P\Sigma_{\alpha}$)

Τι πρέπει να κάνουμε για να αυξηθεί το C_U ;

Μείωση $u_{\alpha} \rightarrow$ μείωση της $P\Sigma$ & $P\Sigma_0$

Σχεδιασμός ΔΔΚ με την μέθοδο εισροής στερεών

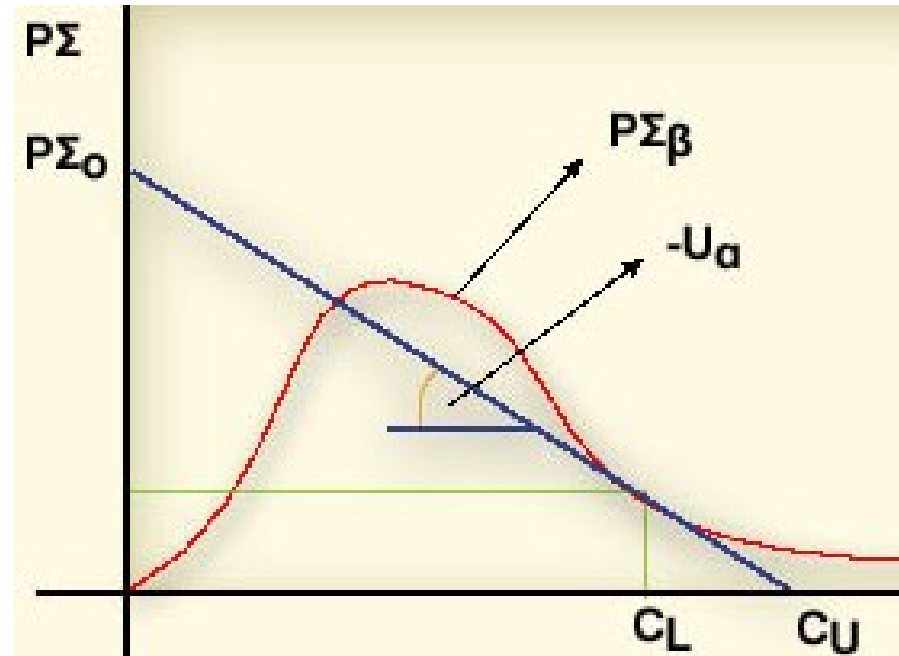
Εναλλακτικός τρόπος σχεδιασμού:

Φέρουμε από το σημείο $(c_U, 0)$

(όπου c_U είναι η επιθυμητή συγκέντρωση πυκνωμένης ιλύος) εφαπτόμενη της $P\Sigma_\beta$.

Αυτή τέμνει τον άξονα των $P\Sigma$ στο σημείο $P\Sigma_o$.

Η κλίση δίνει την απαιτούμενη ταχύτητα άντλησης.



Μας δίνει απευθείας εξάρτηση των C_U , $P\Sigma_o$ & U_α
Αύξηση του $C_U \rightarrow$ μείωση $P\Sigma_o$ & U_α

Η απαιτούμενη επιφάνεια για πύκνωση δίνεται πάλι από τη σχέση: $A_\pi = (Qc_o / P\Sigma_o)$
όπου c_o η συγκέντρωση στερεών στην είσοδο της ΔΔΚ.

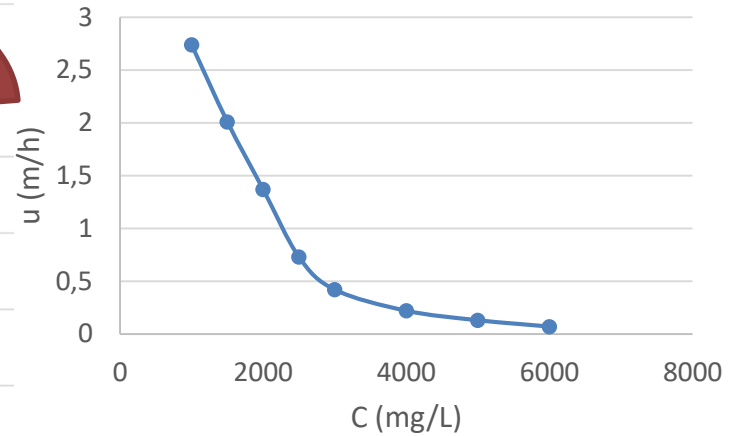
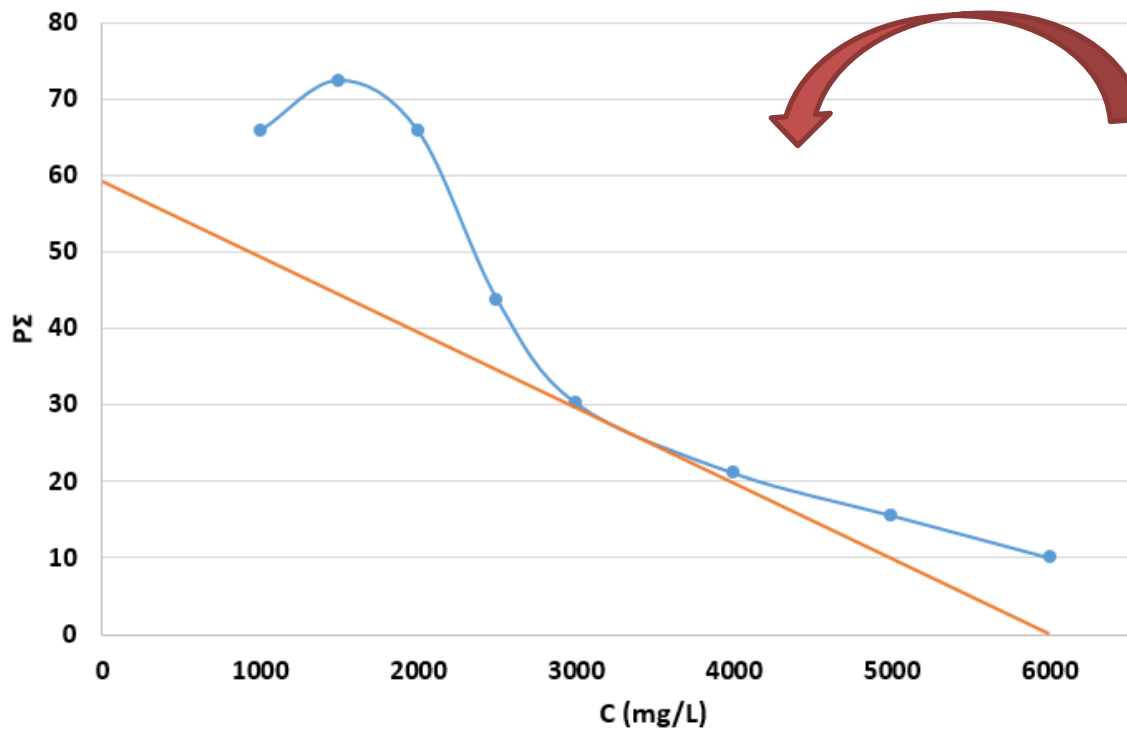
Παράδειγμα ΔΔΚ 1

Μια ΔΔΚ δέχεται $0,044 \text{ m}^3/\text{s}$ αιωρήματος που περιέχει 2000 mg/L στερεών.

Οι ταχύτητες αρχικής καθίζησης (u) έχουν προσδιοριστεί **πειραματικά** για **διάφορες συγκεντρώσεις στερεών** όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Συγκέντρωση Στερεών (mg/l)	Αρχική Ταχύτητα Καθίζησης (m/h)
1000	2,74
1500	2,01
2000	1,37
2500	0,73
3000	0,42
4000	0,22
5000	0,13
6000	0,07

Να σχεδιαστεί δεξαμενή
που να δίνει συγκέντρωση
πυκνωμένης λάσπης
6000 mg/L.



- Κατασκευάζουμε το διάγραμμα u vs $C \rightarrow$ από τα πειραματικά αποτελέσματα
- Κατασκευάζουμε το διάγραμμα $P\Sigma_\beta$ vs C (**ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ**)
 - $P\Sigma_\beta = u * C$ (**kg/m² h**)
- Φέρουμε την εφαπτομένη από το σημείο με συντεταγμένες (6000, 0) η οποία τέμνει τον άξονα των $P\Sigma$ στα 60 kg/m²d. Άρα $P\Sigma_0 = 60 \text{ kg/m}^2\text{h}$.

C_U

Η απαιτούμενη επιφάνεια:

$$A_\pi = \frac{Q c_0}{P\Sigma_0} = \frac{0,044 \frac{m^3}{s} \times 2 \frac{kg}{m^3} \times 8,64 \times 10^4 \frac{s}{d}}{60 \text{ kg} / m^2 d} = 127 m^2$$

Βρίσκουμε την απαιτούμενη επιφάνεια για **διαύγαση**.

Για $c = 2000 \text{ mg/L}$ έχουμε $u_s = 1,37 \text{ m/h}$.

Επομένως:

$$A_\delta = \frac{Q}{u_s} = \frac{0,044 \frac{m^3}{s} \times 3.600 \text{ s/h}}{1,37 \text{ m/h}} = 116 m^2$$

Αρα τα $127 m^2$ που απαιτούνται για πύκνωση επαρκούν και για διαύγαση.

Συγκέντρωση Στερεών (mg/l)	Αρχική Ταχύτητα Καθίζησης (m/h)
1000	2,74
1500	2,01
2000	1,37
2500	0,73
3000	0,42
4000	0,22
5000	0,13
6000	0,07

Η παροχή από τον βυθό Q_u βρίσκεται ακολούθως:

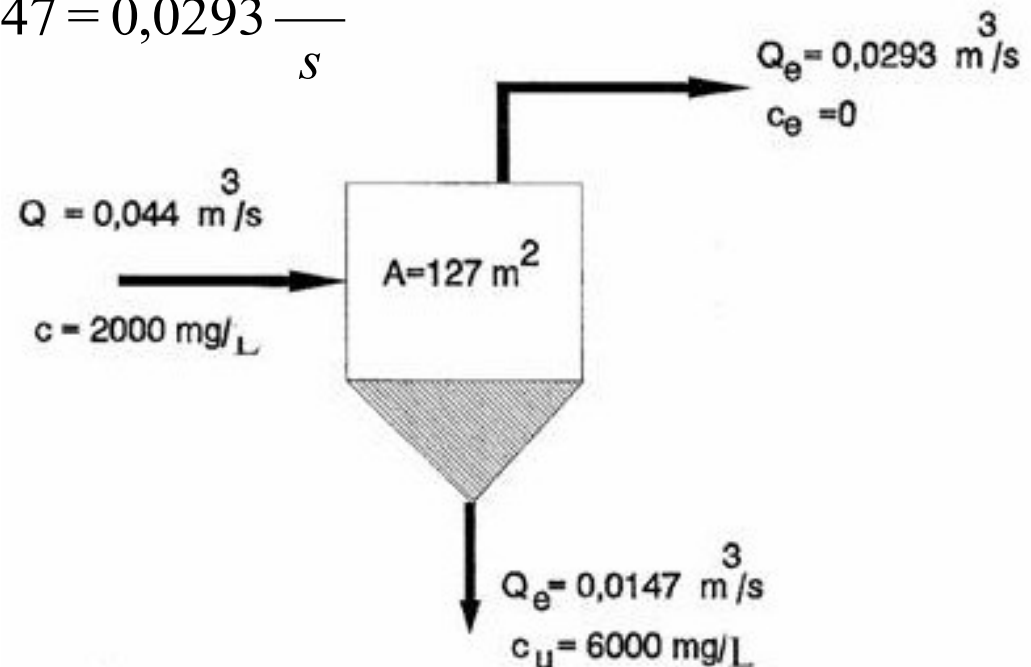
Σε μόνιμη κατάσταση ένα συνολικό ισοζύγιο μάζας δίνει:

$$Q c_0 = Q_u \cdot c_u \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,044 \times 2.000 = Q_u \times 6.000 \Rightarrow Q_u = 0,0147 \frac{m^3}{s}$$

Επομένως η παροχή διαυγασμένου νερού είναι:

$$Q_e = Q - Q_u = 0,044 - 0,0147 = 0,0293 \frac{m^3}{s}$$



Παράδειγμα ΔΔΚ 2

Να βρεθεί η **διάμετρος της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης** μιας εγκατάστασης βιολογικής επεξεργασίας με τα εξής δεδομένα:

- **Παροχή αποβλήτων από ΔΑ: $2667 \text{ m}^3/\text{d}$**
- **Συγκέντρωση λάσπης στη δεξαμενή αερισμού: $X = 2500 \text{ mg/L}$**
- **Επιθυμητή συγκέντρωση λάσπης στην καθίζηση: $X_u = 10000 \text{ mg/L}$**

Δίνεται πίνακας πειραματικών δεδομένων καθίζησης βιολογικής λάσπης σε ογκομετρικό κύλινδρο **1 L** και ύψους **H = 0,35m**:

Χρόνος min	0	2	4	6	10	16	24	32	40	50
Ύψος λάσπης mL	1000	850	725	600	450	350	280	240	220	210

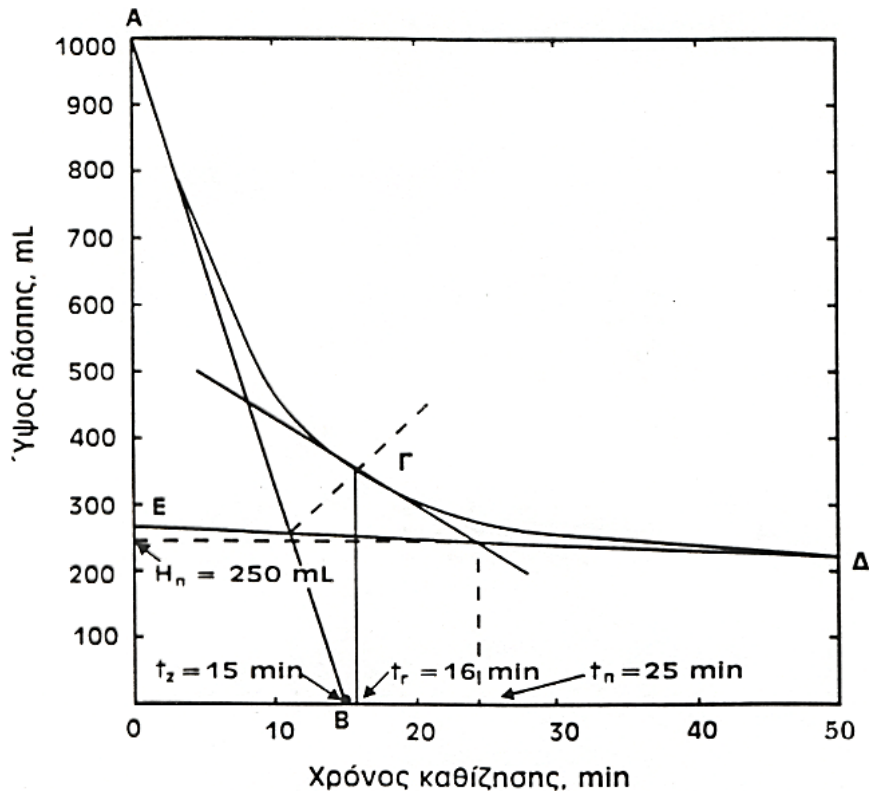
Λύση Παραδείγματος

Χρόνος min	0	2	4	6	10	16	24	32	40	50
Ύψος λάσπης mL	1000	850	725	600	450	350	280	240	220	210

(i) Σχεδιάσουμε την καμπύλη του σχήματος από τα πειραματικά αποτελέσματα. Προεκτείνοντας το ευθύγραμμο τμήμα της παρεμποδιζόμενης καθίζησης της καμπύλης βρίσκουμε το **σημείο B** όπου $t_z = 15 \text{ min}$.

Η ταχύτητα διαύγασης θα είναι:

$$u = 0A/0B = H/t_z = 0,35\text{m} / (15/60)\text{h} = 1,4 \text{ m/h}$$



Άρα η απαιτούμενη επιφάνεια για διαύγαση είναι:

$$A_{\Delta} = Q / u = \frac{2667 \text{ m}^3/\text{d}}{1,4 * 24 \text{ m/d}} = 79,4 \text{ m}^2$$

Και η διάμετρος της ΔΚ είναι $D = 10 \text{ m}$
(Εμβαδό κύκλου: $A = \pi * r^2$)

Προσδιορίζεται έπειτα η απαιτούμενη επιφάνεια για **πύκνωση**:

(α) έχουμε επιλέξει την επιθυμητή συγκέντρωση πυκνωμένης λάσπης **c_u** .

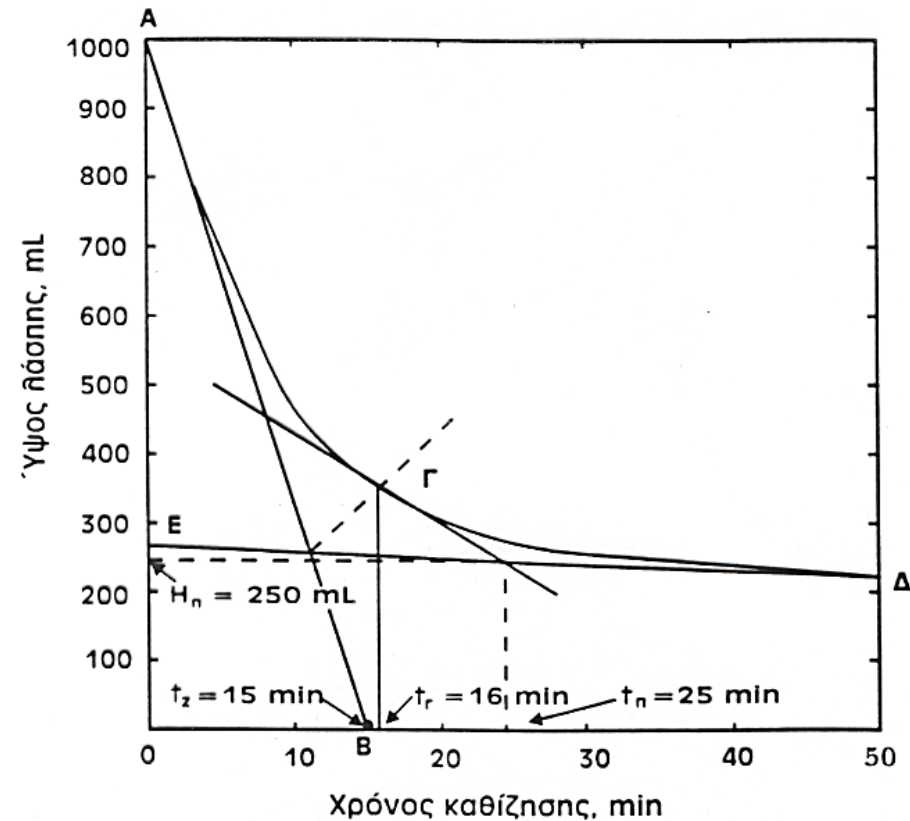
(β) Προσδιορίζουμε το βάθος **$H_u = H_o \cdot c_o / c_u$** .

$$H_u = \frac{2500}{10.000} 1000 = 250 \text{ mL}$$

Φέρουμε οριζόντια γραμμή στο βάθος H_u .

(γ) Φέρουμε εφαπτόμενες της καμπύλης $H(t)$ στις περιοχές διαύγασης και πύκνωσης και **διχοτομούμε** την γωνία που σχηματίζουν.

(δ) Φέρουμε εφαπτομένη της $H(t)$ στο σημείο τομής της διχοτόμου η οποία τέμνει την οριζόντια γραμμή ($H_u = \text{σταθερά}$) στο σημείο (t_u, H_u) . **$t_u = 25 \text{ min}$**



Η απαιτούμενη επιφάνεια για πύκνωση δίνεται τότε από την σχέση:

$$A_{\pi} = Q t_u / H_o = 132,3 \text{ m}^2$$

Άρα και η διάμετρός της είναι **$D = 13 \text{ m}$** (Εμβαδό κύκλου: $A = \pi \cdot r^2$)