



Τμήμα Χημικών Μηχανικών- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

# Αντιδραστήρες Βιολογικού Καθαρισμού

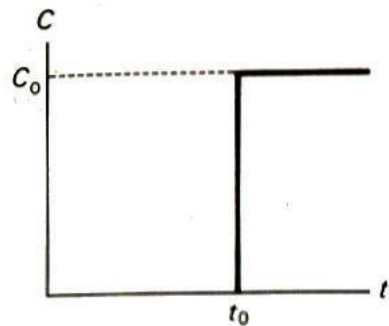


Αγροτική Κολινδρού καλοκαίρι 1983

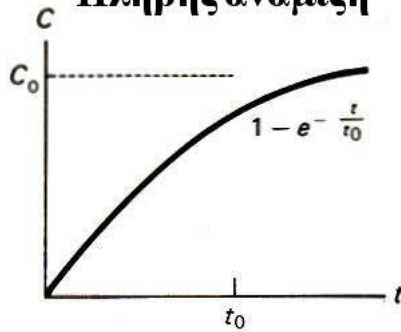
# Καμπύλες απόκρισης στην έξοδο για βηματική και παλμική μεταβολή ιχνηλάτη



Εμβολική ροή



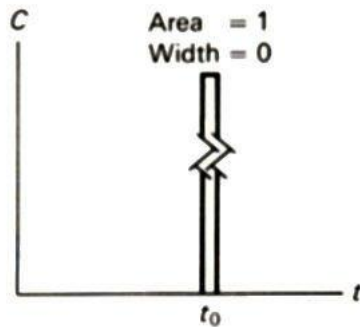
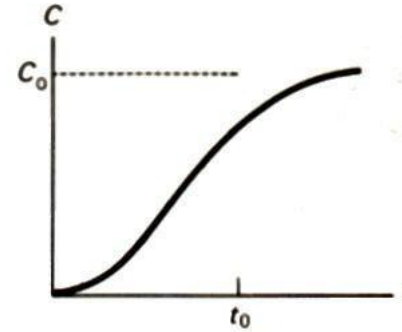
Συνεχής ροή  
Πλήρης ανάμιξη



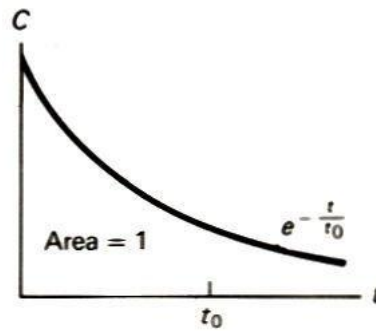
Continuous tracer input



Τυχαία ροή

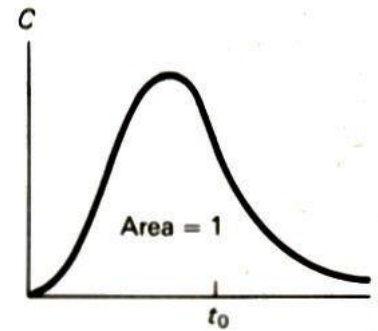


(a)



Slug tracer input

(b)



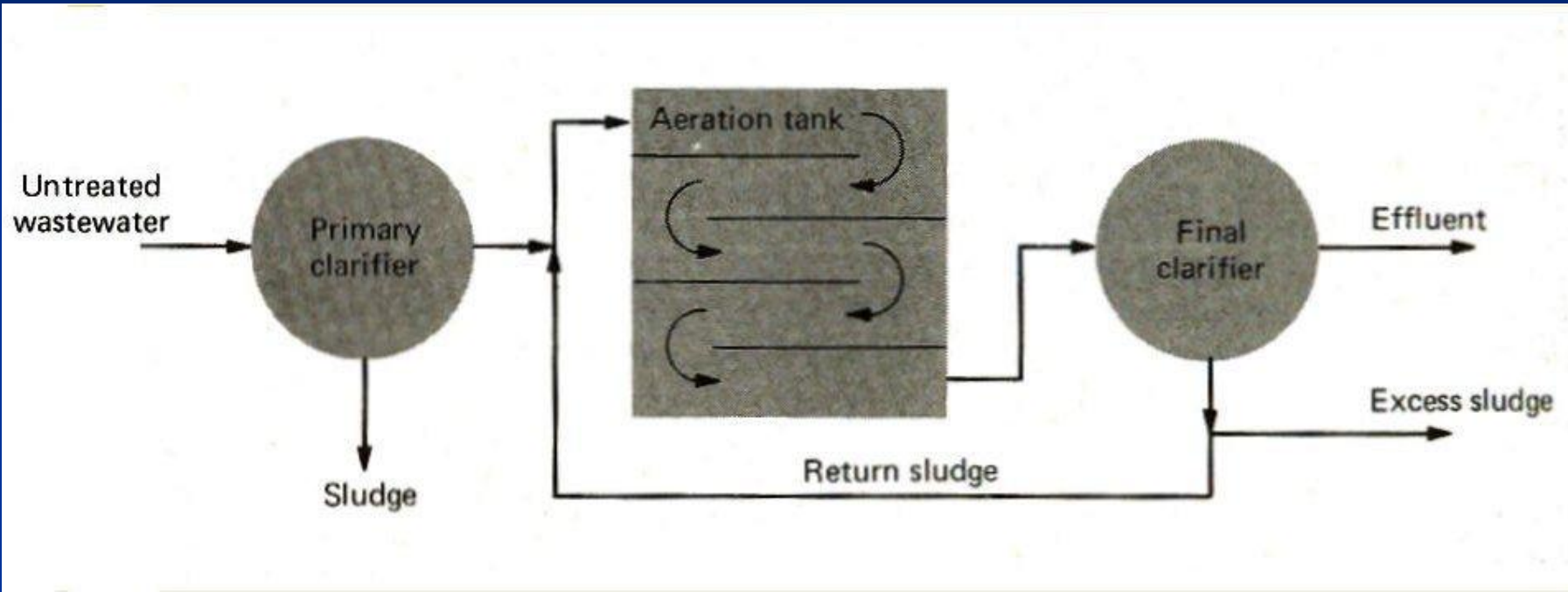
(c)

Αν σε ένα αντιδραστήρα με νερό γίνει προσθήκη στην είσοδο ενός ιχνηλάτη που δεν αντιδρά με αρχική συγκέντρωση  $C_0$ , η αντίστοιχη συγκέντρωση  $C$  στην έξοδο μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο ανάλογα με τη μορφή του αντιδραστήρα

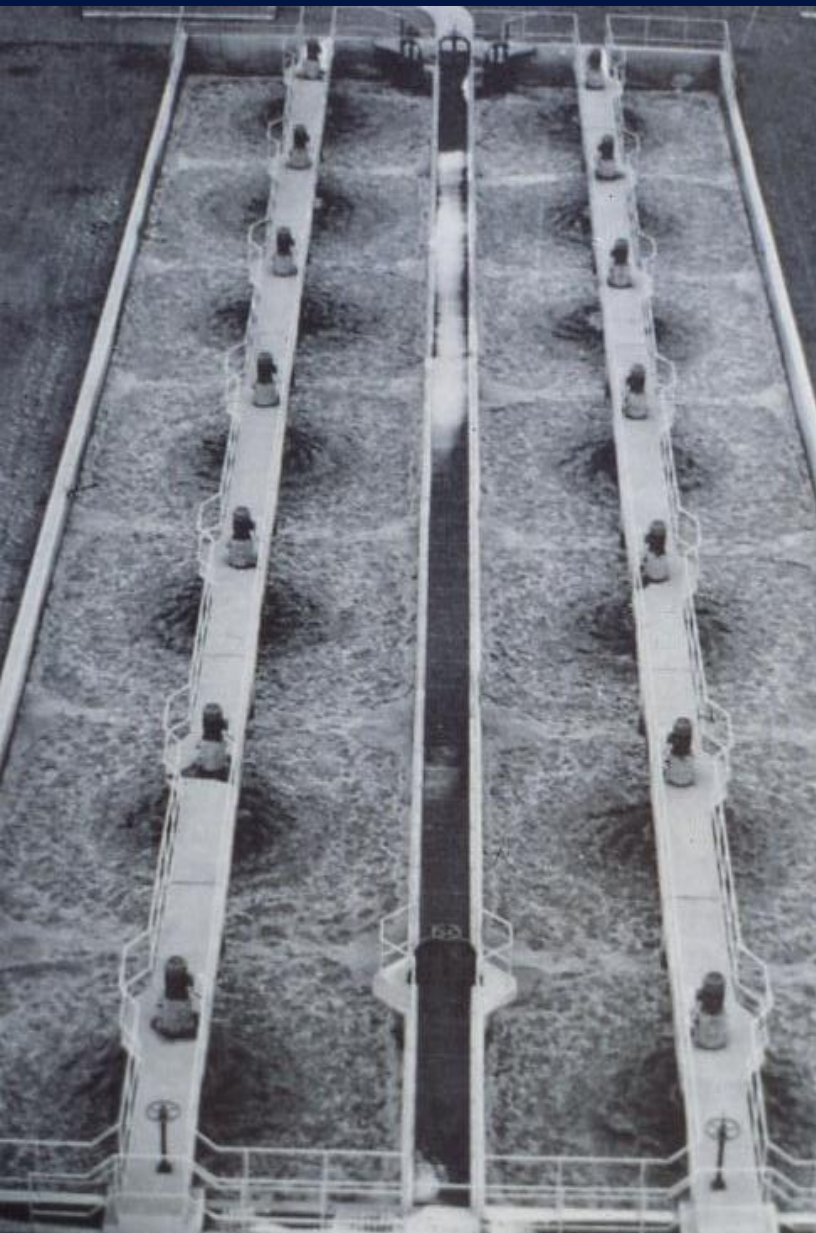
# Αντιδραστήρας πλήρους ανάμιξης



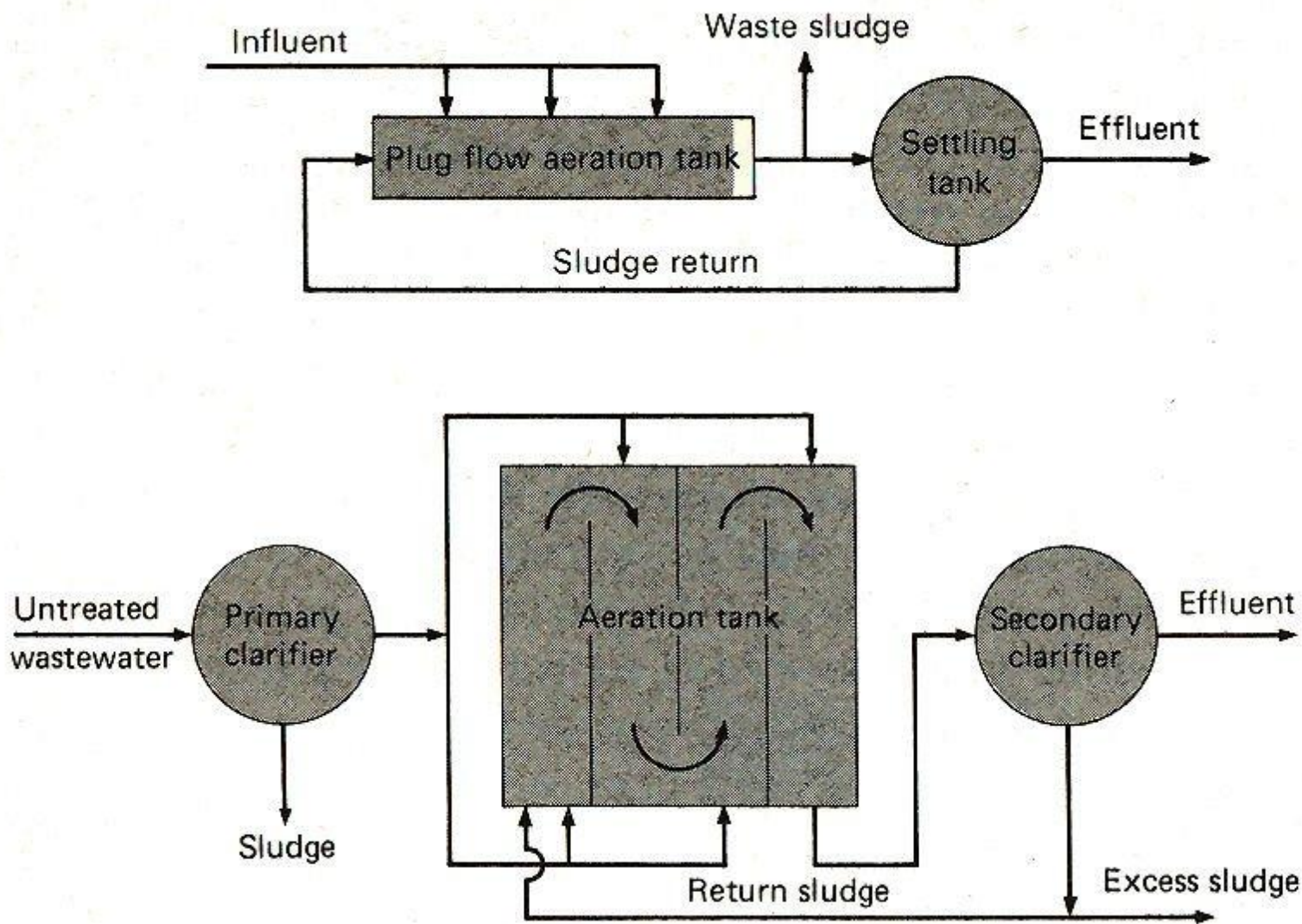
# Αντιδραστήρας εμβολικής ροής [Conventional PF]



# Αντιδραστήρας εμβολικής ροής [Conventional PF]



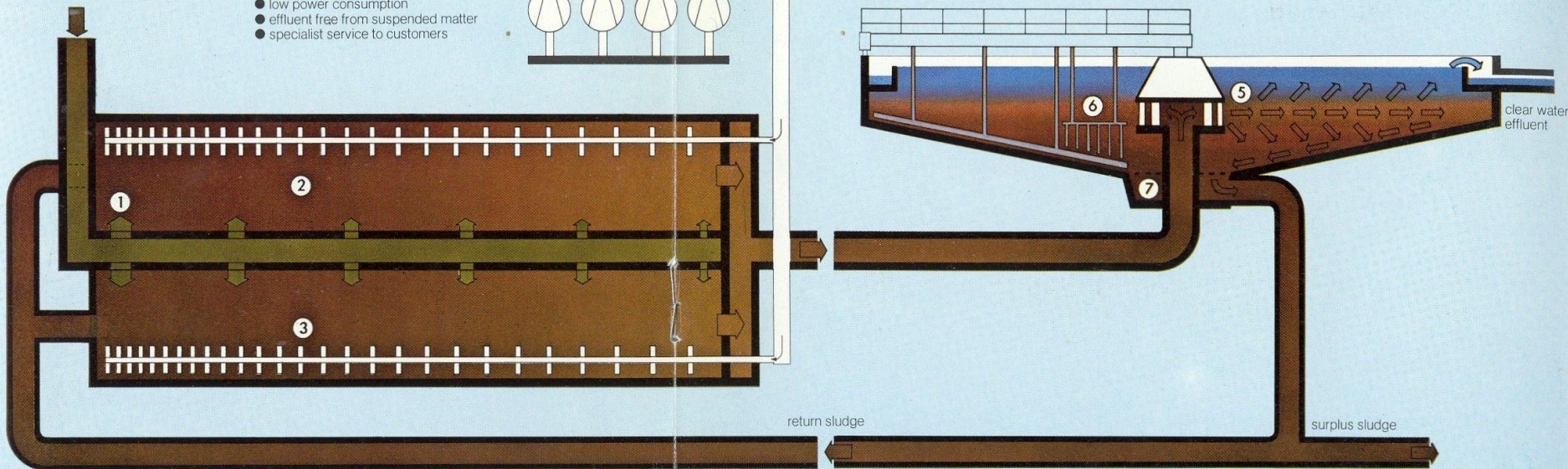
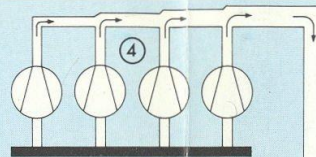
# Step Aeration



# Step Aeration

Proven advantages:

- optimum synchronization of all operational characteristics
- reduction of tank size
- low power consumption
- effluent free from suspended matter
- specialist service to customers



Activation:

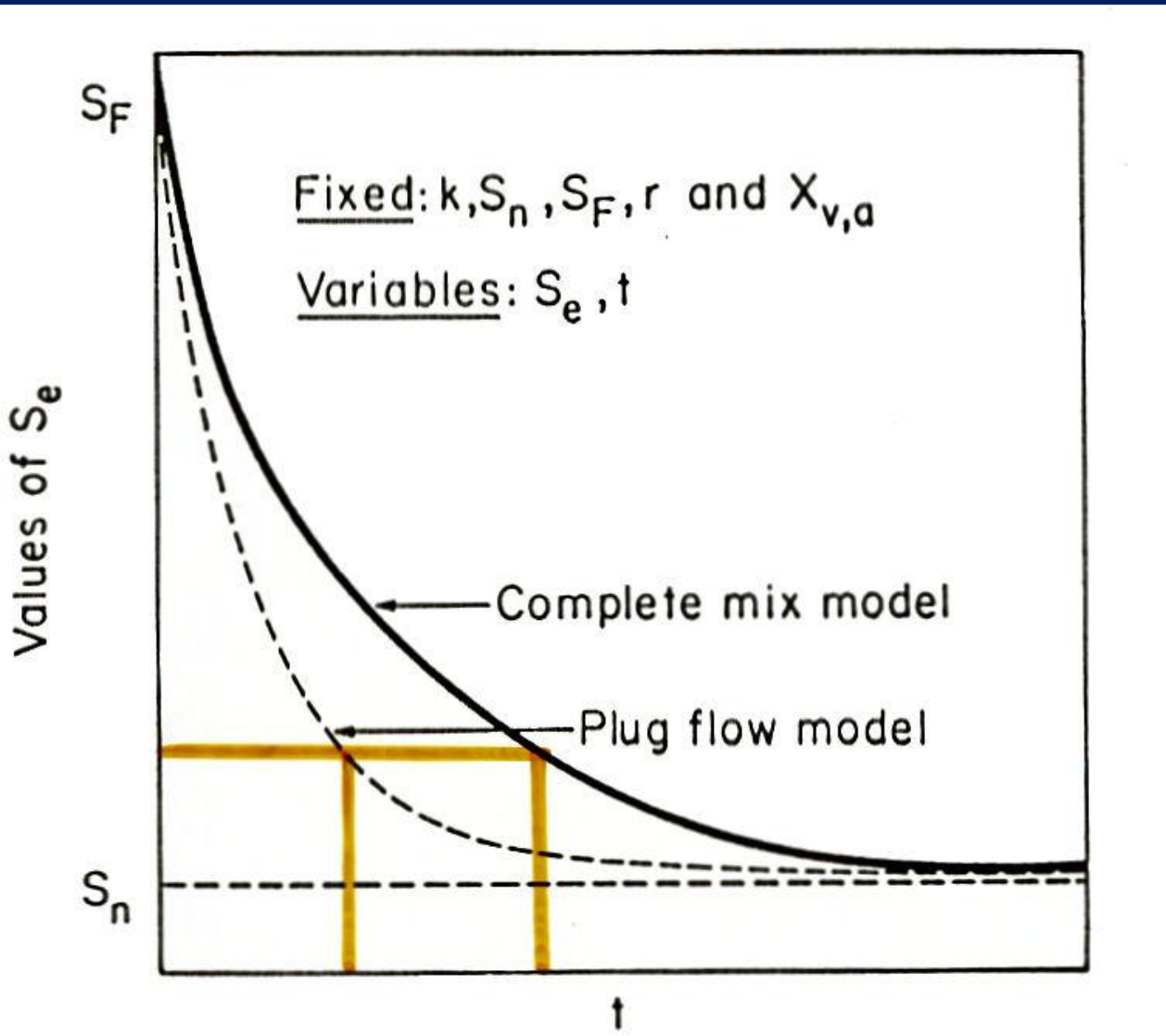
- ① High solids concentration due to incremental feed – consequently high purification efficiency.
- ② Constant sludge loading throughout the tank – therefore uniform residual pollution throughout the tank.

- ③ Constant oxygen concentration throughout the tank due to step aeration – consequently optimum oxygen utilisation.
- ④ Excellent adjustment of oxygen supply to pollution load variations by central control of blowers – consequently minimum power consumption.

Sedimentation tank:

- ⑤ Low inlet velocity due to large inlet – therefore no turbulence in clear water zone and consequently effluent free from suspended matter.
- ⑥ Improved thickening of sludge by tubular rakes – therefore increased solids concentration in return sludge
- ⑦ Sludge removal over perforated plates – therefore uniform sludge removal at the entire circumference; low sludge depth.

# Συγκριτικό διάγραμμα απόδοσης με το χρόνο αντιδραστήρων CSTR και PF



$$V_{CSTR} = \frac{Q}{k' X_v} \frac{1}{S} (S_0 - S)$$

$$V_{PFR} = \frac{Q}{k' X_v} \ln \frac{S_0}{S}$$

Για απόδοση 95%

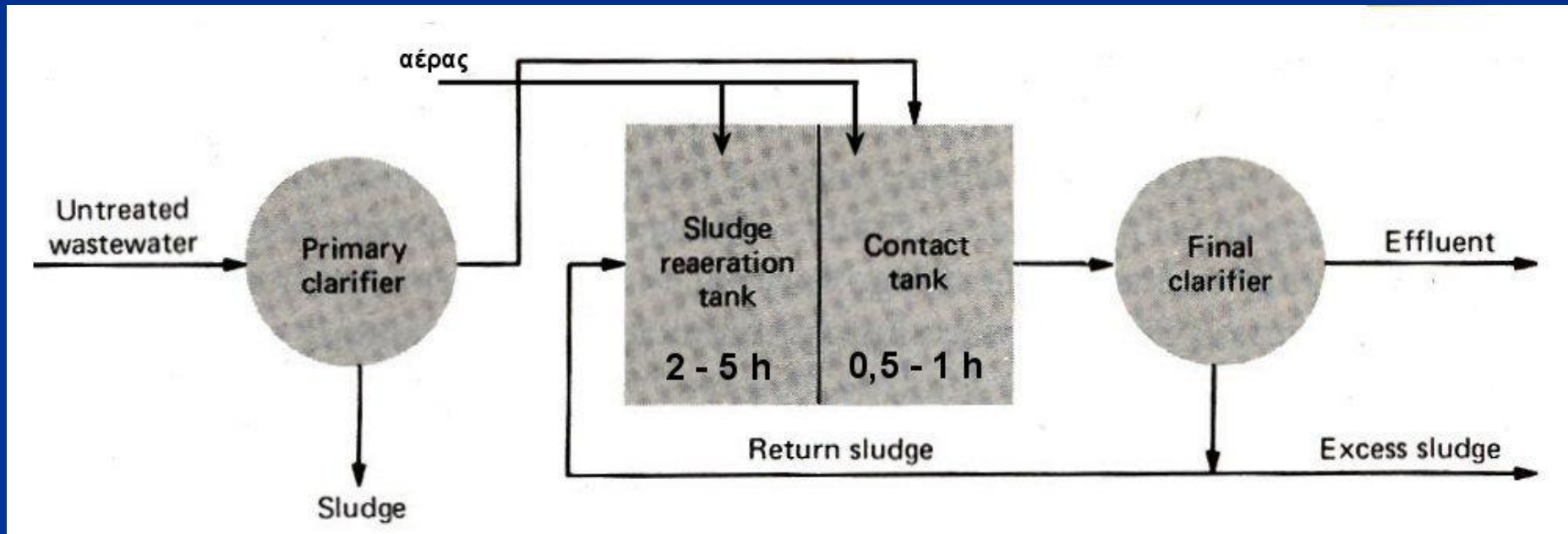
$$\frac{V_{CSTR}}{V_{PFR}} = \frac{19}{3} = \frac{\lambda}{\lambda'} = 6,3$$



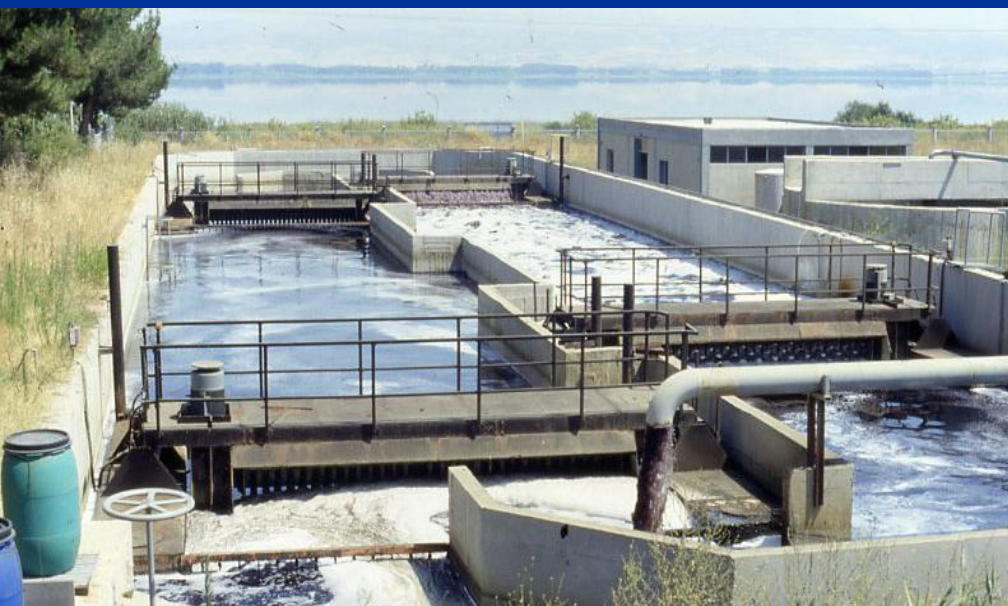
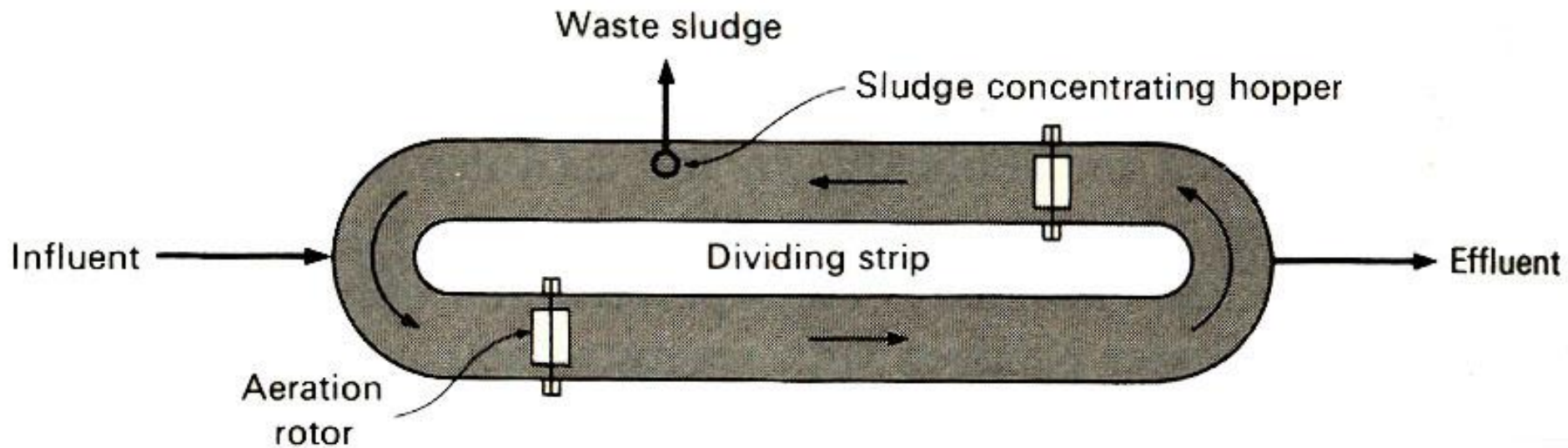
## Θεωρητική προσέγγιση απαιτούμενων όγκων μεταξύ ενός αντιδραστήρα CSTR, πολλούς CSTR σε σειρά και PFR

Αριθμός αντιδραστήρων	Απαιτούμενος όγκος αντιδραστήρα $V=\lambda Q/k^*$			
	Απόδοση			
	85 %	90 %	95 %	98 %
1	$\lambda = 5,67$	$\lambda = 9,00$	$\lambda = 19,00$	$\lambda = 49,00$
2	3,18	4,32	6,96	12,14
4	2,48	3,10	4,48	6,64
5	2,30	2,93	4,10	5,95
6	2,22	2,82	3,90	5,50
8	2,16	2,64	3,60	5,04
10	2,10	2,60	3,50	4,80
Ροή βύσματος	$\lambda' = 1,90$	2,30	3,00	3,91
$*\lambda = \eta ((S_0/S)^{1/\eta} - 1), \quad \lambda' = \ln(S_0/S)$				

# Contact - Stabilization



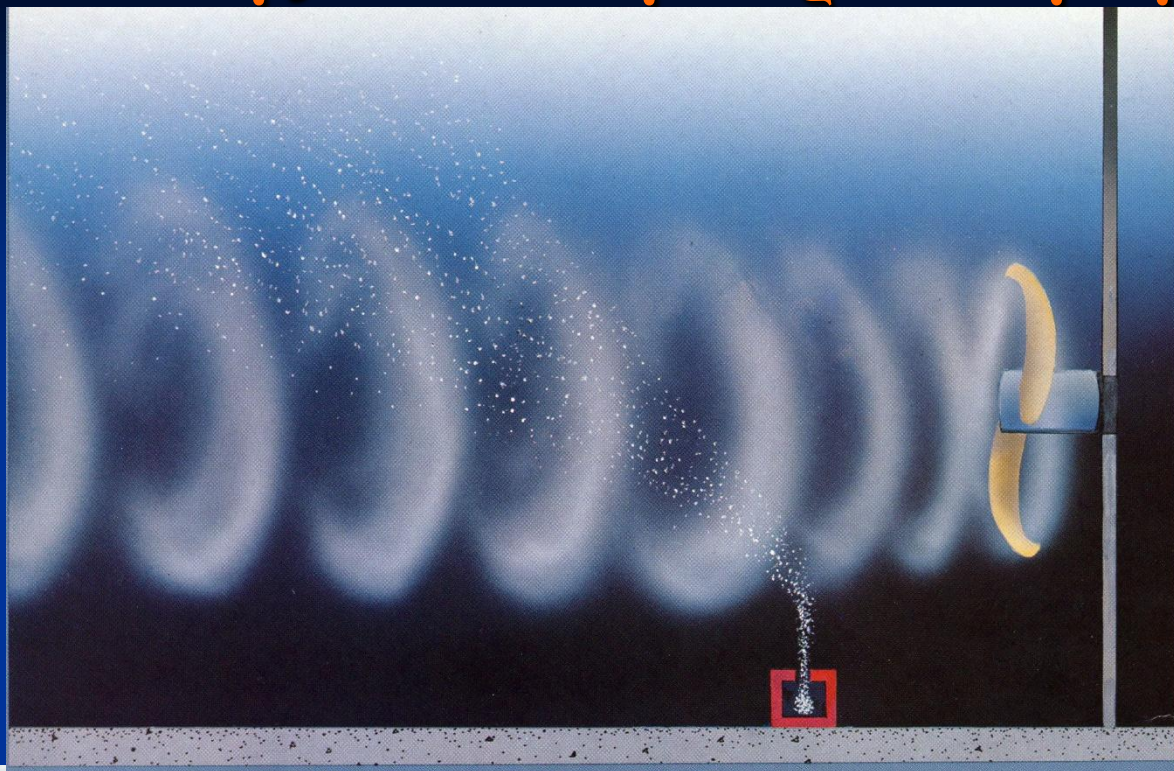
# Oxidation ditch - Arbitrary flow



# Επιφανειακός αερισμός με προώθηση



# Αύξηση της οξυγόνωσης κατά την προώθηση



# Συγκριτική απόδοση διαφόρων τύπων βιολογικών αντιδραστήρων

Συστήματα	Σχηματική παράσταση συστημάτων ενεργοποιημένης βιομάζας	Μειονεκτήματα	Πλεονεκτήματα	Αποτελέσματα λειτουργίας σε πραγμ. συνθήκες $Q_R = 100\%$ και $\frac{BOD_5}{MLSS} \cdot T$ επί $Q_R$															
				<table border="1"> <tr> <th>δεξαμενή (M<sup>3</sup>)</th> <th>φόρτιση ρύπανσης (BOD<sub>5</sub>/d)</th> <th>συμβιόμαζα (t)</th> <th>Μέση φόρτιση βιομάζας (Kg BOD S / Kg MLSS.d)</th> <th>Υπολειμ. ρύπανση (Mg BODS/l)</th> </tr> </table>	δεξαμενή (M <sup>3</sup> )	φόρτιση ρύπανσης (BOD <sub>5</sub> /d)	συμβιόμαζα (t)	Μέση φόρτιση βιομάζας (Kg BOD S / Kg MLSS.d)	Υπολειμ. ρύπανση (Mg BODS/l)										
δεξαμενή (M <sup>3</sup> )	φόρτιση ρύπανσης (BOD <sub>5</sub> /d)	συμβιόμαζα (t)	Μέση φόρτιση βιομάζας (Kg BOD S / Kg MLSS.d)	Υπολειμ. ρύπανση (Mg BODS/l)															
1α) <b>Ολική ανάμειξη</b> Αερισμός με λεπτές φυσαλίδες		Χαμηλή περιεκτικότητα βιομάζας (MLSS) στη δεξαμενή αερισμού (α.τ.).	Ενίαια φόρτιση βιομάζας, σταθερή συγκέντρωση O <sub>2</sub> και υγρών εξόδου, ιδανικό περιβάλλον για τη βιομάζα	<table border="1"> <tr> <td>2.000</td> <td>2.8</td> <td>8</td> <td>0.35</td> <td>~20</td> </tr> </table>	2.000	2.8	8	0.35	~20										
2.000	2.8	8	0.35	~20															
1β) <b>Ολική ανάμειξη</b> επιφανειακός αερισμός		Χαμηλή περιεκτικότητα βιομάζας (MLSS) στη δεξαμενή αερισμού (α.τ.). Ανεπαρκής ανάδευση, ανισοκατανομή O <sub>2</sub> , μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.	Σταθερή φόρτιση βιομάζας. Μικρότερο κατασκευαστικό κόστος εξοπλισμού στη δεξαμενή αερισμού.	<table border="1"> <tr> <td>2.000</td> <td>2.8</td> <td>8</td> <td>0.35</td> <td>20-25</td> </tr> </table>	2.000	2.8	8	0.35	20-25										
2.000	2.8	8	0.35	20-25															
2) <b>piston flow</b> Αερισμός με λεπτές φυσαλίδες		Χαμηλή περιεκτικότητα βιομάζας (MLSS) στη δεξαμενή (α.τ.). Ανισοκατανομή O <sub>2</sub> , ανελαστικότητα οξυγόνωσης	Μείωση του υπολοιπούμενου ρυπαντικού φορτίου στη δεξαμενή αερισμού	<table border="1"> <tr> <td>2.000</td> <td>2.8</td> <td>8</td> <td>0.35</td> <td>~25</td> </tr> </table>	2.000	2.8	8	0.35	~25										
2.000	2.8	8	0.35	~25															
3) <b>Μέθοδος Gould</b> Αερισμός με λεπτές φυσαλίδες		Αυξημένη φόρτιση βιομάζας και υπολ. ρύπανσης προς την έξοδο. Ανισοκατανομή O <sub>2</sub> στην ρύθμιση κατανάλωσης.	Αυξημένη συγκέντρωση βιομάζας στη δεξαμενή αερισμού. Χαμηλός όρος φόρτισης βιομάζας. Μεγαλύτερος βαθμός καθαρισμού.	<table border="1"> <tr> <td>2.000</td> <td>2.8</td> <td>~11</td> <td>0.25</td> <td>15</td> </tr> </table>	2.000	2.8	~11	0.25	15										
2.000	2.8	~11	0.25	15															
4) <b>ΜΟΧΟΝ</b> Αερισμός με λεπτές φυσαλίδες	<p>D&amp;P Νε 1584954 κ. 1609002</p>	Μεγαλύτερο κατασκευαστικό κόστος εξοπλισμού δεξαμενής αερισμού προς την δεξαμενή αερισμού	Αυξημένη συγκέντρωση. Χαμηλός και σταθερός μέσος όρος φόρτισης βιομάζας στη δεξαμενή αερισμού εκοκατόνημένη O <sub>2</sub> . Μεγαλύτερος βαθμός καθαρισμού.	<table border="1"> <tr> <td>2.000</td> <td>2.8</td> <td>~11</td> <td>0.25</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>2.000</td> <td>3.85</td> <td>~11</td> <td>0.35</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>1.500</td> <td>2.8</td> <td>8</td> <td>0.35</td> <td>20</td> </tr> </table>	2.000	2.8	~11	0.25	10	2.000	3.85	~11	0.35	20	1.500	2.8	8	0.35	20
2.000	2.8	~11	0.25	10															
2.000	3.85	~11	0.35	20															
1.500	2.8	8	0.35	20															

- Αποτελέσματα:
1. Μικρότερος όγκος δεξαμενής αερισμού (1500m<sup>3</sup>)
  2. Μεγαλύτερες δυνατότητες επεξεργασίας ρυπαντικού φορτίου (3.85t BOD/ημέρα)
  3. Μεγαλύτερος βαθμός καθαρισμού (10-15 MgBOD5/L)

# Σχεδιαστικές παράμετροι για διεργασίες ενεργού λάσπης

Διεργασία	$\theta_c, d$	F/M, Kg BOD <sub>5</sub> applied/Kg MLVSS d	Ογκομετρικό φορτίο Kg BOD <sub>5</sub> applied m <sup>3</sup> d	MLSS, mg/L	V/Q, h	Q <sub>r</sub> /Q
Conventional (Τυπική εμβολική ροή)	5-15	0,2-0,4	0,3-0,6	1500-3000	4-8	0,25-0,5
Tapered aeration (μεταβλητή τροφοδοσία αέρα ανάλογα με τη ζήτηση στον PF)	5-15	0,2-0,4	0,3-0,6	1500-3000	4-8	0,25-0,5
Continuous flow stirred tank reactor (πλήρης ανάμιξη)	5-15	0,2-0,6	0,8-2,0	3000-6000	3-5	0,25-1,0
Step aeration (εισαγωγή κατά μήκος των προς επεξεργασία αποβλήτων σε PF)	5-15	0,2-0,4	0,6-1,0	2000-3500	3-5	0,25-0,75
Modified aeration (υψηλή φόρτιση με αναλογική ρύθμιση αέρα και τροφοδοσίας)	0,2-0,5	1,5-5,0	1,2-2,4	200-500	1,3-36	0,05-0,15
Contact stabilization (προαερισμός λάσπης)	5-15	0,2-0,6	1,0-1,2	1000-3000 contact	0,5-1,0	0,25-1,0
				4000-10000 solid stabilization	3-6	
Extended aeration (πλήρης ανάμιξη με ιδιαίτερα χαμηλή φόρτιση)	20-30	0,05-0,15	0,1-0,4	3000-6000	18-36	0,75-1,50
Kraus process	5-15	0,3-0,8	0,6-1,6	2000-3000	4-8	0,5-1,0
High rate aeration (υψηλή φόρτιση με αναλογική ρύθμιση αέρα και τροφοδοσίας)	5-10	0,4-1,5	1,6-1,6	4000-10000	0,5-2	1,0-5,0
Pure oxygen systems	8-20	0,25-1,0	1,6-3,3	6000-8000	1-3	0,25-0,5

## Λειτουργικά χαρακτηριστικά διεργασιών ενεργού λάσπης

Process modification	Flow model	Aeration system	BOD removal efficiency, %	Remarks
Conventional	Plug flow	Diffused air, mechanical aerators	85-95	Use for low-strength domestic wastes. Process is susceptible to shock loads.
Tapered aeration	Plug flow	Diffused air	85-95	Air supply tapered to match organic loading demand.
Continuous-flow stirred-tank reactor	Continuous-flow stirred-tank reactor	Diffused air mechanical aerators	85-95	Use for general application. Process is resistant to shock loads.
Step aeration	Plug flow	Diffuse air	85-95	Use for general application to wide range of wastes.
Modified aeration	Plug flow	Diffused air	60-75	Use for intermediate degree of treatment where cell tissue in the effluent is not objectionable.
Contact stabilization	Plug flow	Diffused air, mechanical aerators	80-90	Use for expansion of existing systems, package plants. Process is flexible.
Extended aeration	Continuous-flow stirred-tank reactor	Diffused air, mechanical aerators	75-95	Use for small communities, package plants. Process is flexible.
Kraus process	Plug flow	Diffused air	85-95	Use for low-nitrogen, high-strength wastes.
High-rate aeration	Continuous-flow stirred-tank reactor	Mechanical aerators	75-90	Use for general applications with turbine aerators to transfer oxygen and control the floc size.
Pure-oxygen systems	Continuous-flow stirred-tank reactors in series	Pure oxygen with mechanical dispersion	85-95	Use for general application where limited volume is available, near economical source of oxygen (turbine or surface aerators).



# Θερμοκρασιακές σταθερές για διάφορες βιολογικές διεργασίες

Διεργασία	Εύρος	Τυπική τιμή
Ενεργός λάσπη	1,00-1,04	1,02
Αεριζόμενες δεξαμενές ( <b>lagoons</b> )	1,06-1,12	1,08
Βιολογικό φίλτρο	1,02-1,14	1,08

$$K_T = K_{20} \times \Theta^{T-20}$$

# Κινητικές σταθερές για διεργασίες ενεργού λάσπης

Συντελεστής	Μονάδες	Εύρος	Τυπική τιμή
$k$	$d^{-1}$	2-10	5,0 [mgBOD <sub>5</sub> removed/mgMLVSS. d]
$K_s$	mg/L BOD <sub>5</sub>	25-100	60
	mg/L COD	15-70	40
$Y$	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	0,4-0,8	0,6
	mg VSS/mg COD	0,25-0,4	0,4
$k_d$	$d^{-1}$	0,04-0,075	0,06

# Κινητικές σταθερές για αναερόβια χώνευση σε διάφορα υποστρώματα

	Συντελεστής	Μονάδες	Εύρος	Τυπική τιμή
Domestic sludge	Y	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	0,040-0,100	0,06
	k <sub>d</sub>	d <sup>-1</sup>	0,020-0,040	0,03
Fatty acid	Y	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	0,040-0,070	0,050
	k <sub>d</sub>	d <sup>-1</sup>	0,030-0,050	0,040
Carbohydrate	Y	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	0,020-0,040	0,024
	k <sub>d</sub>	d <sup>-1</sup>	0,025-0,035	0,03
Protein	Y	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	0,050-0,090	0,075
	k <sub>d</sub>	d <sup>-1</sup>	0,010-0,020	0,014