

OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW

Procesy Biologiczne

Dr inż. Kamil Janiak

Kontakt

- budynek D-2, p.317
- kom: 697 286 553
- e-mail: kamil.janiak@pwr.edu.pl

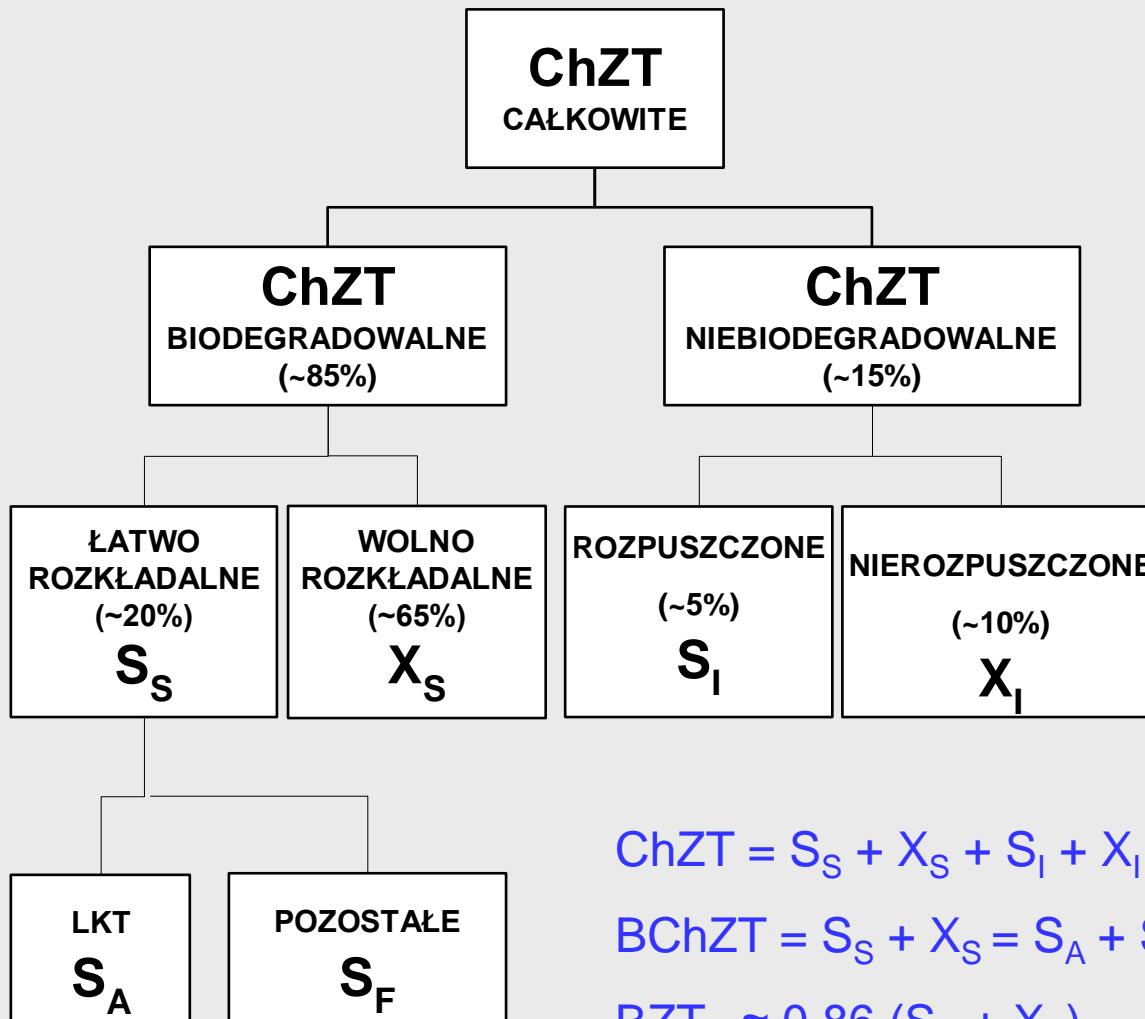
Forma zaliczenia kursu

- **Egzamin**
 - obowiązuje materiał z wykładu i objęty pracą własną
- **Praca własna**
 - uzupełnienie tematyki objętej wykładem, na podstawie literatury przedmiotu

Literatura przedmiotu

1. **Metcalf & Eddy, Inc. (2003), Wastewater Engineering: Treatment Reuse, McGraw-Hill, Inc.**
2. **Metcalf & Eddy, Inc. (1991), Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill, Inc.**
3. **Henze M., Harremoës P., Jansen la Cour J., Arvin E. (2000) „Oczyszczanie ścieków. Procesy biologiczne i chemiczne”, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce. (JEST W BIBLIOTECIE I-15).**
4. **J. Łomotowski, A. Szpindor, Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Arkady, 1999.**
5. B. Cywiński i in., Oczyszczanie ścieków miejskich (t.1,2). Arkady, Warszawa 1972.
6. B. Cywiński i in., Oczyszczanie ścieków, t.1. Oczyszczanie mechaniczne i chemiczne, Arkady, Warszawa 1983.
7. Praca zbiorowa, Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków, PZITS Poznań, 1997.
8. K. Bartoszewski, E. Kempa, R. Szpadt, Systemy oczyszczania ścieków., Politechnika Wrocławska, Wrocław 1981.
9. W. Błaszczyk i in., Kanalizacja t.2., Arkady, Warszawa 1974.
10. Praca zbiorowa, Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów. (praca zbiorowa), Politechnika Wrocławska, 1990.
11. K. Imhoff, Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik. Arkady, Warszawa 1982 (lub nowsze wydanie).
12. I. Piotrowski, M. Roman, Urządzenia do oczyszczania wody i ścieków, PWN, Warszawa 1974.
13. J. Suschka, Urządzenia do natleniania ścieków. Podstawy teoretyczne i projektowanie, Arkady, Warszawa 1979.
14. J. Beaver, A. Stein, H. Teichman, Zaawansowane metody oczyszczania ścieków, Projprzem-EKO, Bydgoszcz, 1997.

Związki organiczne w ściekach miejskich



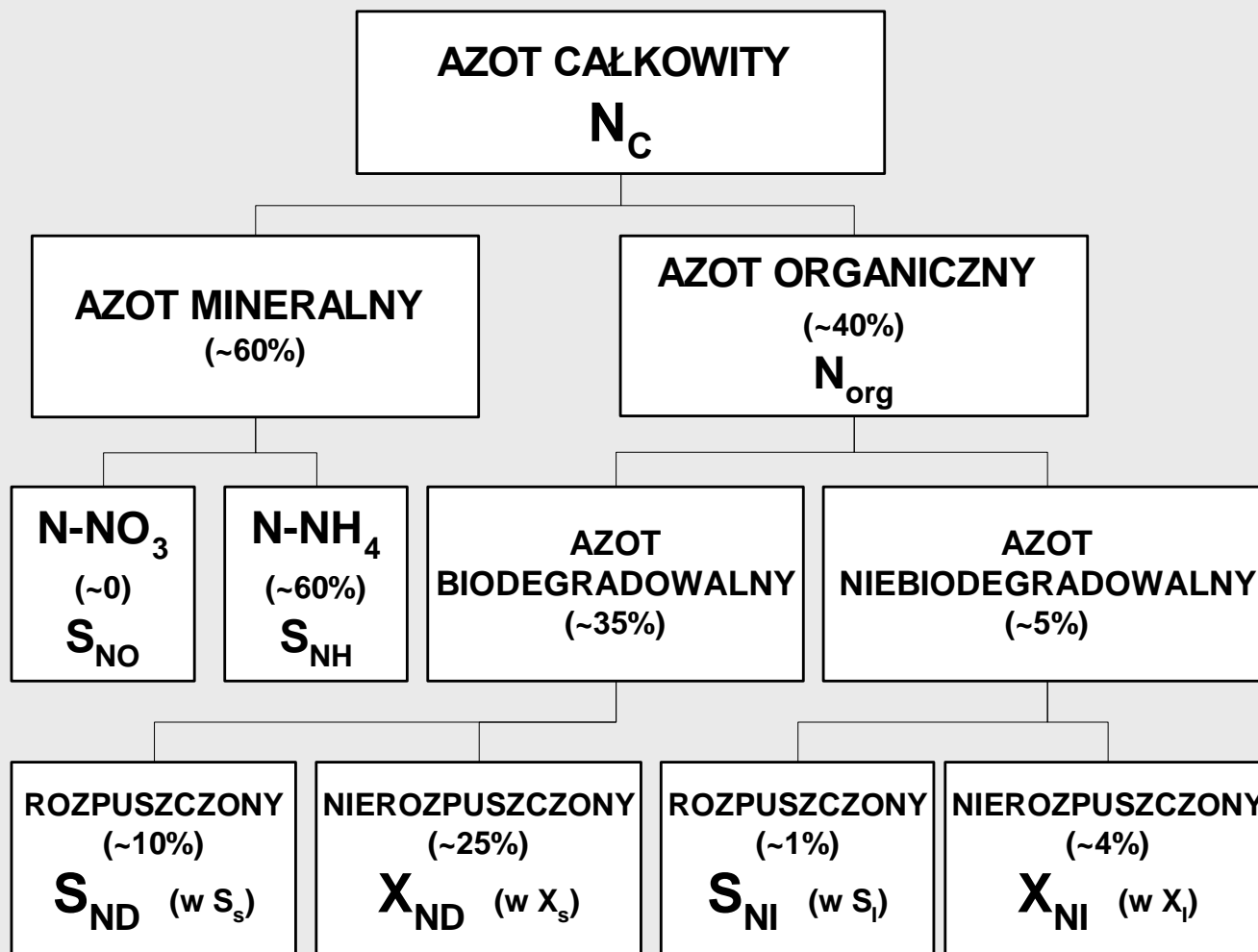
$$\text{ChZT} = S_S + X_S + S_I + X_I = S_A + S_F + X_S + S_I + X_I$$

$$\text{BChZT} = S_S + X_S = S_A + S_F + X_S$$

$$\text{BZT}_C \approx 0.86 (S_S + X_S)$$

$$\text{BZT}_5 \approx (0.5 \div 0.9) \text{BZT}_C$$

Azot w ściekach miejskich



$$\text{TKN} = S_{\text{NH}} + S_{\text{ND}} + X_{\text{ND}} + S_{\text{NI}} + X_{\text{NI}}$$

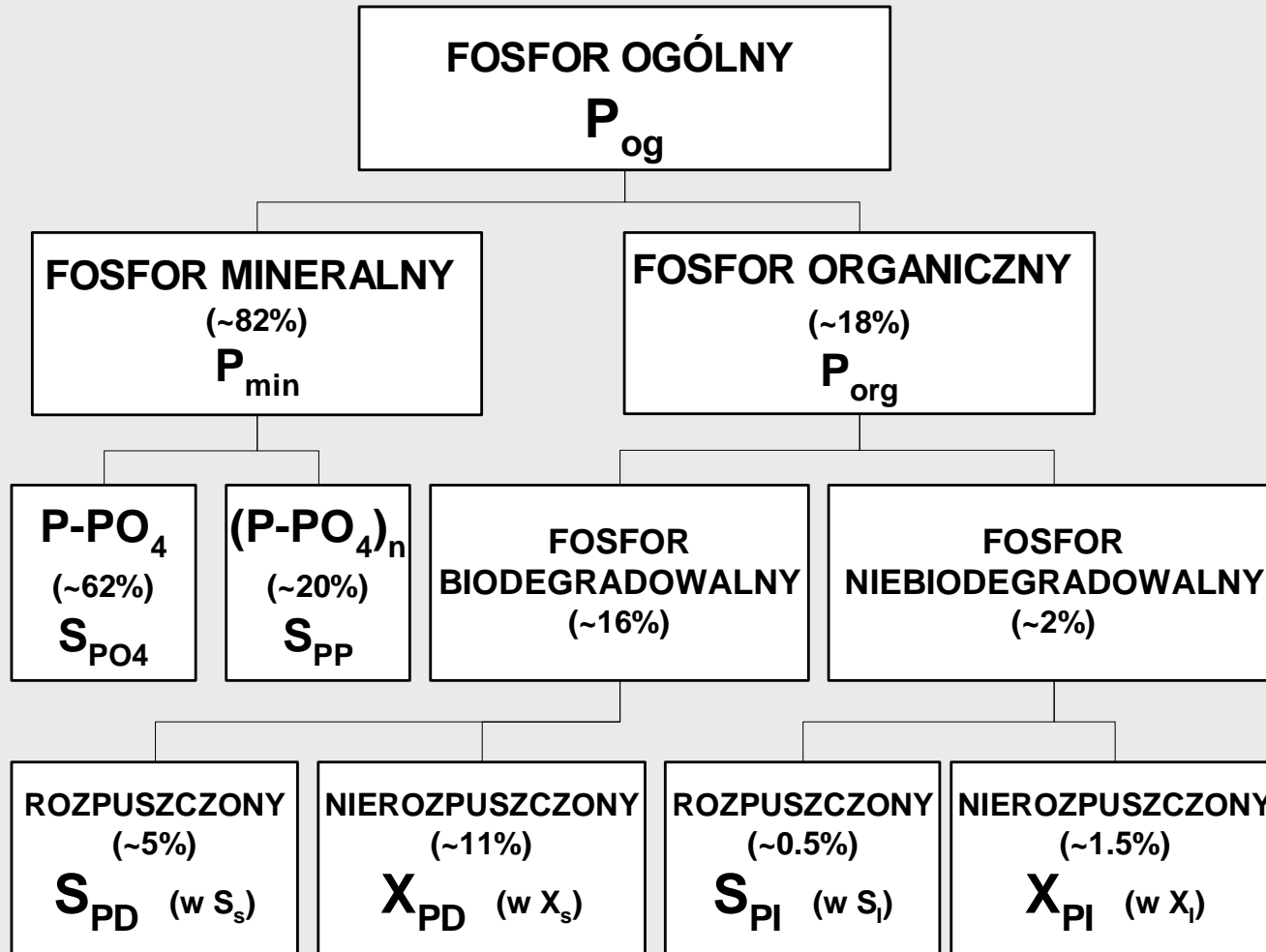
$$\text{TKN} = N_{\text{og}} \text{ (tradycja inżynierska)}$$

$$N_{\text{c}} = S_{\text{NH}} + S_{\text{ND}} + X_{\text{ND}} + S_{\text{NO}} + S_{\text{NI}} + X_{\text{NI}}$$

$$N_{\text{c}} = N_{\text{og}} \text{ (przepisy)}$$

$$N_{\text{org}} = S_{\text{ND}} + X_{\text{ND}} + S_{\text{NI}} + X_{\text{NI}}$$

Fosfor w ściekach miejskich

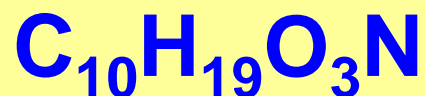


$$P_{og} = S_{PO4} + S_{PP} + S_{PD} + X_{PD} + S_{PI} + X_{PI}$$

$$P_{min} = S_{PO4} + S_{PP}$$

$$P_{org} = S_{PD} + X_{PD} + S_{PI} + X_{PI}$$

Empiryczna formuła zanieczyszczeń organicznych



(średni stopień utlenienia atomów węgla -1)

„Masa cząsteczkowa” $M_{cz} = 200 \text{ g smo/mol}$



Empiryczna formuła zanieczyszczeń organicznych c.d.

Przykład

Glukoza - $C_6H_{12}O_6$ ($M_{cz} = 180 \text{ g smo/mol}$)

90 g/m³ (0.5 mol/m³)

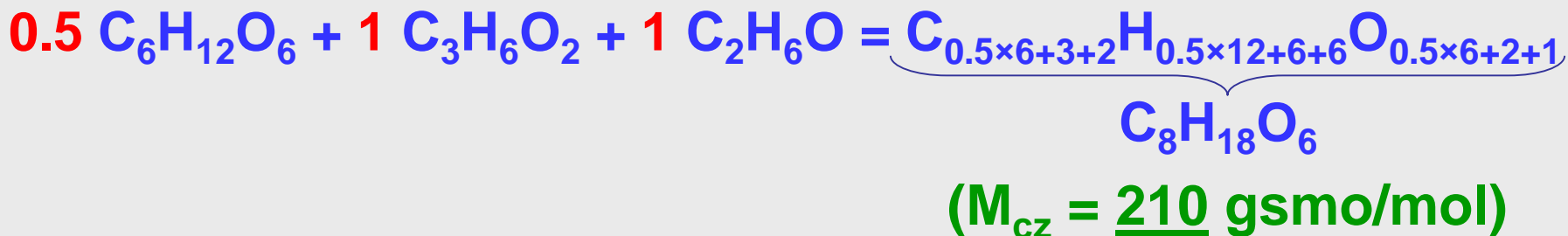
Kwas propionowy - $C_3H_6O_2$ (CH_3CH_2COOH) ($M_{cz} = 74 \text{ g smo/mol}$)

74 g/m³ (1 mol/m³)

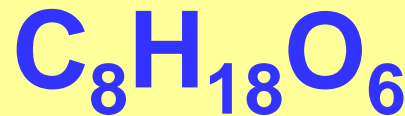
Etanol - C_2H_6O (C_2H_5OH) ($M_{cz} = 46 \text{ g smo/mol}$)

46 g/m³ (1 mol/m³)

90 + 74 + 46 = 210 g smo/m³



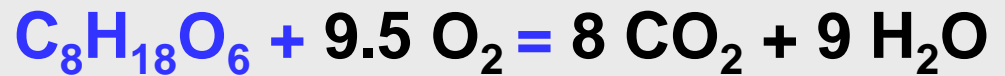
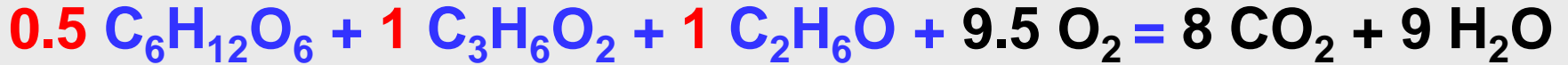
Empiryczna formuła zanieczyszczeń organicznych c.d.



($M_{\text{cz}} = \underline{210}$ g smo/mol)

Stężenie = 1 mol/m³ = 210 g smo/m³

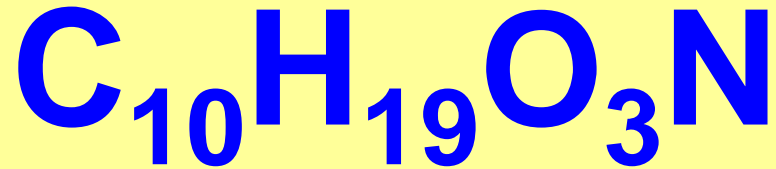
Empiryczna formuła zanieczyszczeń organicznych c.d.



$$\text{ChZT}_{\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_6} = 9.5 \cdot 32 = 304 \text{ g O}_2/\text{mol}$$

$$\text{ChZT} = 304 \text{ g O}_2/\text{mol} \cdot 1 \text{ mol}/\text{m}^3 = 304 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

ChZT umownego mola zanieczyszczeń organicznych



ChZT = ?

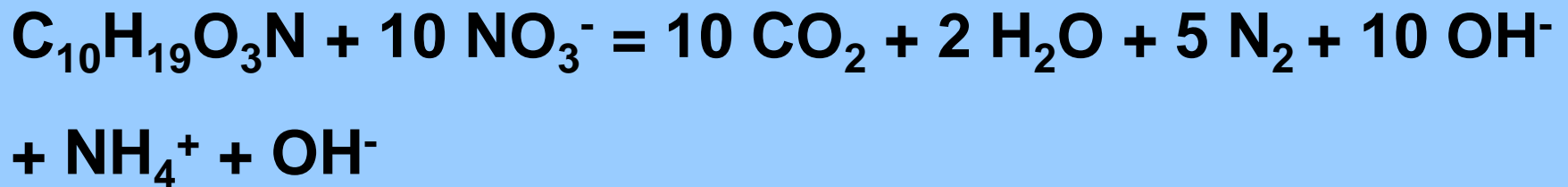
ChZT umownego mola zanieczyszczeń organicznych



$$\text{ChZT}_{\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}} = 12.5 \cdot 32 = 400 \text{ g O}_2 / \text{mol}$$

$$\text{ChZT}_{\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}} = 400 / 200 = 2 \text{ g O}_2 / \text{g smo}$$

Utlenianie azotem azotanowym (N-NO₃)



$$\Delta N - \text{NO}_3^- = 400 \text{ g ChZT} / (10 \cdot 14 \text{ g N}) \approx 2.86 \text{ g ChZT} / \text{g N}$$

$$\Delta \text{ChZT} = 10 \cdot 14 \text{ g N} / 400 \text{ g ChZT} \approx 0.35 \text{ g N} / \text{g ChZT}$$

Charakterystyka ścieków bytowo-gospodarczych

Biochemiczne Zapotrzebowanie na Tlen - BZT

Parametr ścieków	Symbol	Jednostka	Charakter ścieków			
			Stężone	Średnie	Rozcieńczone	Bardzo rozcieńczone
BZT_c = BZT_∞	C_{BZT∞}	g O ₂ /m ³	530	380	230	150
BZT₅	C_{BZT5}	g O ₂ /m ³	350	250	150	100
BZT₇	C_{BZT7}	g O ₂ /m ³	400	290	170	115
Rozpuszczone	S_{BZT5}	g O ₂ /m ³	140	100	60	40
- LKT	S_{BZT5,A}	g O ₂ /m ³	70	50	30	20
Nierozpuszczone	X_{BZT5}	g O ₂ /m ³	210	150	90	60
BZT₅ po 2h sed.	S_{BZT5} (2h)	g O ₂ /m ³	250	175	110	70

Charakterystyka ścieków bytowo-gospodarczych

Chemiczne Zapotrzebowanie na Tlen - ChZT

Parametr ścieków	Symbol	Jednostka	Charakter ścieków			
			Stężone	Średnie	Rozcieńczone	Bardzo rozcieńczone
Całkowite	C_{ChZT}	$g\ O_2/m^3$	740	530	320	210
- rozpuszczone	S_{ChZT}	$g\ O_2/m^3$	300	210	130	80
- w zawiesinie	X_{ChZT}	$g\ O_2/m^3$	440	320	190	130
Po 2h sedymentacji	$C_{ChZT}\ (2h)$	$g\ O_2/m^3$	530	370	230	150
Biologicznie nierozkładalne	C_I	$g\ O_2/m^3$	180	130	80	50
- rozpuszczone	S_I	$g\ O_2/m^3$	30	20	15	10
- w zawiesinie	X_I	$g\ O_2/m^3$	150	110	65	40
Biologicznie rozkładalne		$g\ O_2/m^3$	560	400	240	160
- łatwo rozkładalne	S_S	$g\ O_2/m^3$	180	130	75	50
- LKT	S_A	$g\ O_2/m^3$	90	60	40	25
- wolnorozkładalne	X_S	$g\ O_2/m^3$	290	210	125	85
- biomasa heterotroficzna	X_H	$g\ O_2/m^3$	120	90	55	35
- biomasa denitryfikująca	$X_{H,D}$	$g\ O_2/m^3$	80	60	40	25
- biomasa autotroficzna	X_A	$g\ O_2/m^3$	1	1	0.5	0.5

Charakterystyka ścieków bytowo-gospodarczych

Utlenialność i Ogólny Węgiel Organiczny (OWO)

Parametr ścieków	Symbol	Jednostka	Charakter ścieków			
			Stężone	Średnie	Rozcieńczone	Bardzo rozcieńczone
Utlenialność - UTL						
- całkowita	C_{UTL}	$g\ O_2/m^3$	210	150	90	60
- rozpuszczona	S_{UTL}	$g\ O_2/m^3$	80	60	35	25
Ogólny węgiel organiczny - OWO						
- całkowity	C_{OWO}	$g\ C/m^3$	250	180	110	70
- cukry		$g\ C/m^3$	40	25	15	10
- białka		$g\ C/m^3$	25	18	11	7
- kwasy tłuszcz.		$g\ C/m^3$	65	45	25	18
- tłuszcze		$g\ C/m^3$	25	18	11	7
- detergenty		$g\ C/m^3$	15	10	6	4

Charakterystyka ścieków bytowo-gospodarczych

Związki azotowe - N

Parametr ścieków	Symbol	Jednostka	Charakter ścieków			
			Stężone	Średnie	Rozcieńczone	Bardzo rozcieńczone
- azot całkowity (ogólny) ¹⁾	N_C (N_{og})	g N/m ³	~80	~50	~30	~20
- azot amonowy ²⁾	S_{NH}	g N/m ³	50	30	18	12
- azot organiczny	N_{org}	g N/m ³	30	20	12	8
- azot ogólny (TKN) ³⁾	N_{og} (TKN)	g N/m ³	80	50	30	20
- azot azotynowy	S_{NO2}	g N/m ³	0.1	0.1	0.1	0.1
- azot azotanowy	S_{NO3}	g N/m ³	0.5	0.5	0.5	0.5

1) $N_C = S_{NH} + N_{org} + S_{NO2} + S_{NO3}$

2) $S_{NH} = NH_3 + NH_4^+$

3) $N_{og} = TKN = S_{NH} + N_{org}$

Charakterystyka ścieków bytowo-gospodarczych

Związki fosforowe - P

Parametr ścieków	Symbol	Jednostka	Charakter ścieków			
			Stężone	Średnie	Rozcieńczone	Bardzo rozcieńczone
- fosfor ogólny	P_{og}	g P/m ³	23 (14) ⁴⁾	16 (10)	10 (6)	6 (4)
- fosfor ortofosforanowy	S_{PO4}	g P/m ³	14 (10)	10 (7)	6 (4)	4 (3)
- fosfor polifosforanowy	S_{p-PO4}	g P/m ³	5 (0)	3 (0)	2 (0)	1 (0)
- fosfor organiczny	P_{Porg}	g P/m ³	4 (4)	3 (3)	2 (2)	1 (1)

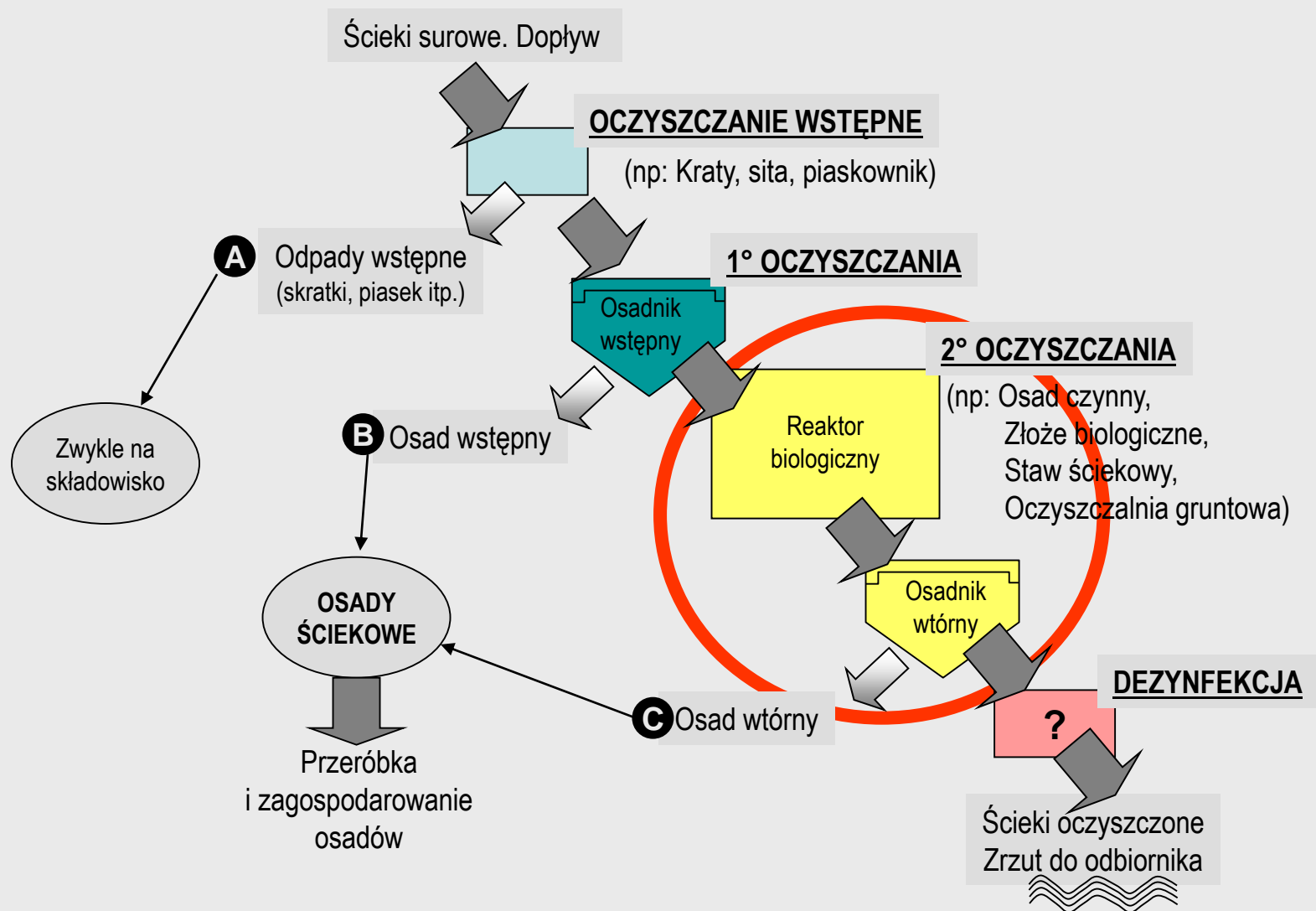
⁴⁾ wartości w nawiasach dotyczą zlewni kanalizacyjnych, w których nie stosuje się detergentów fosforanowych

Charakterystyka ścieków bytowo-gospodarczych

Składniki specyficzne

Parametr ścieków	Jednostka	Charakter ścieków			
		Stężone	Średnie	Rozcieńczone	Bardzo rozcieńczone
Oleje i tłuszcze	g/m^3	100	70	40	30
Fenole	g/m^3	0.20	0.15	0.10	0.05
Detergenty anionowe	g/m^3	15	10	6	4

Ogólny przegląd elementów oczyszczalni



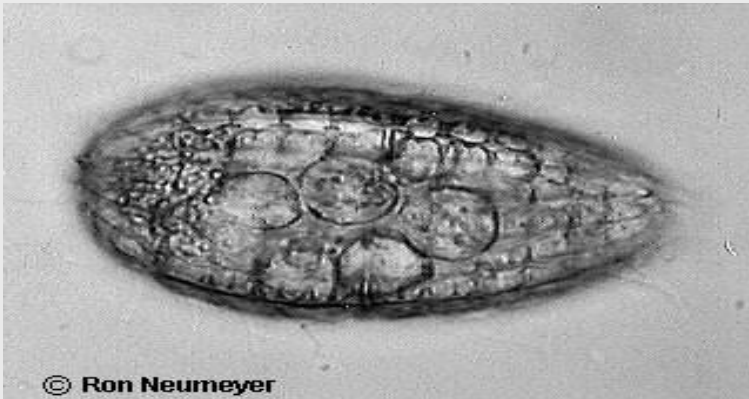
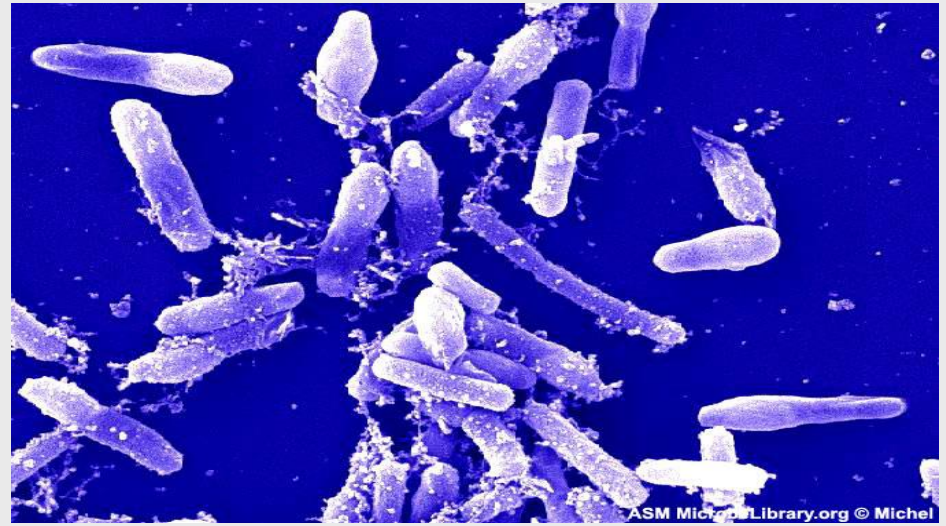
Biologiczne oczyszczanie ścieków

Celem jest usunięcie zanieczyszczeń:

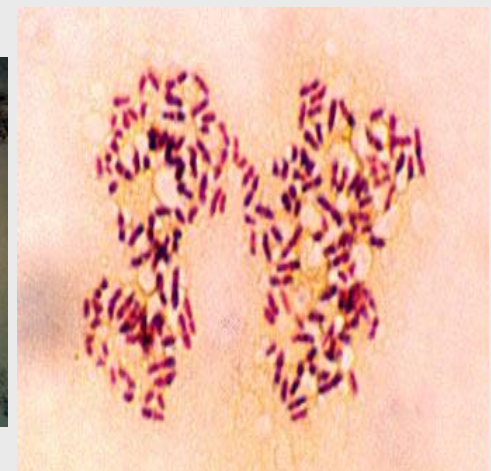
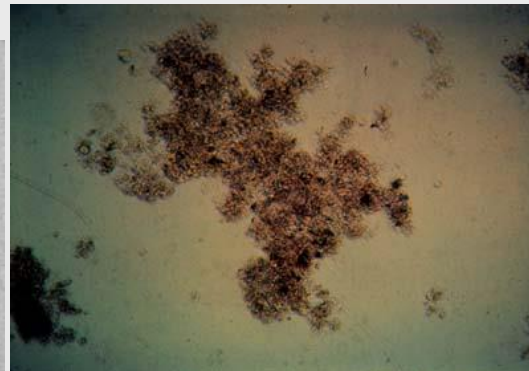
- rozpuszczonych
- koloidalnych
- zawiesin (nieopadających)

Jak zrealizować biologiczne oczyszczanie ?

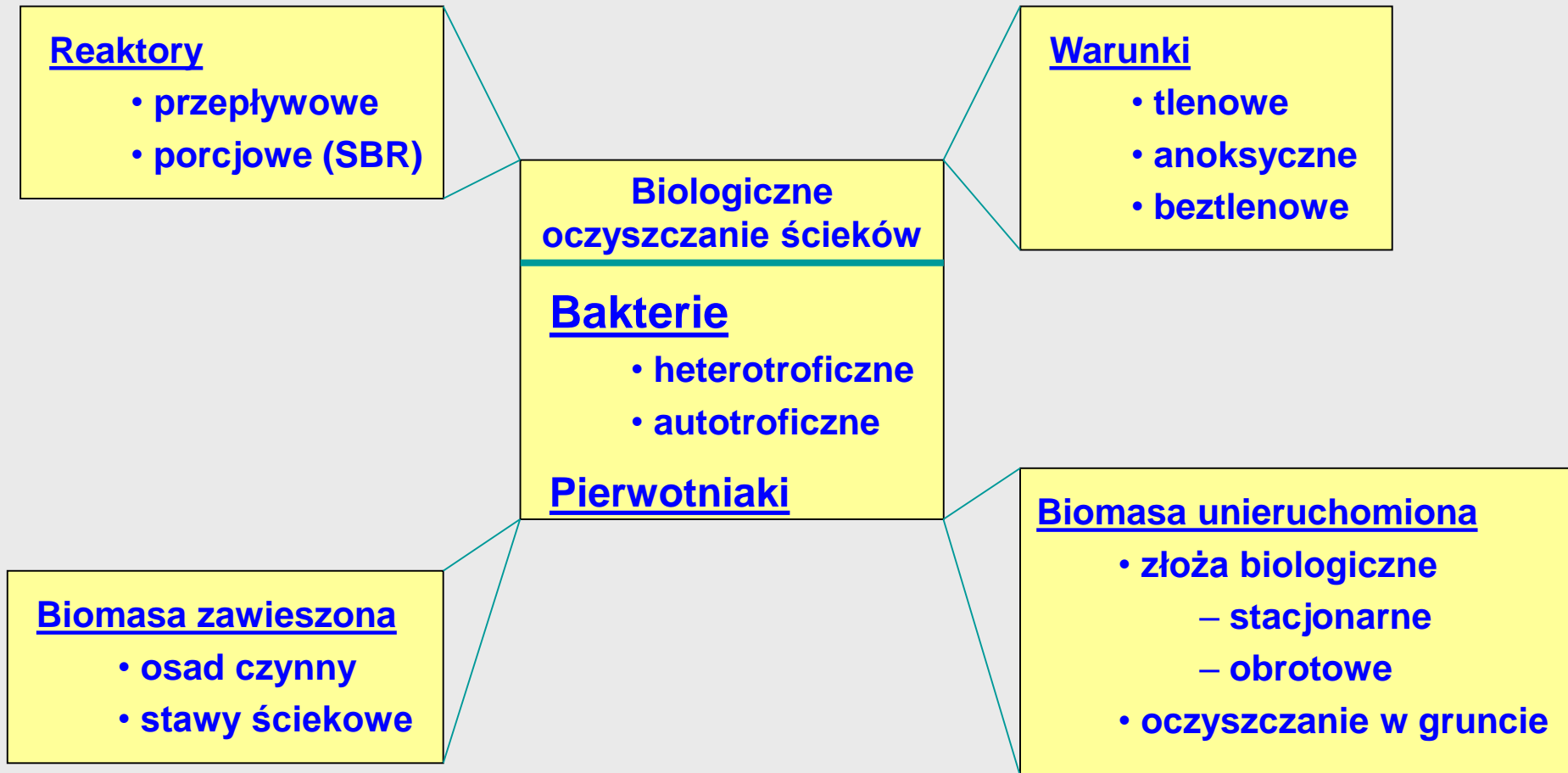
Stworzyć w reaktorze warunki do wzrostu zróżnicowanych populacji mikroorganizmów



© Ron Neumeier



Alternatywne sposoby biologicznego oczyszczania ścieków



OSAD CZYNNY



Napowietrzanie sprężonym powietrzem

STAW ŚCIEKOWY (tlenowy)



STAW ŚCIEKOWY (napowietrzany)



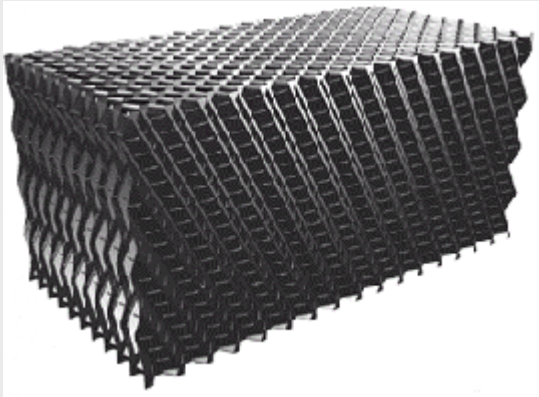
BŁONA BIOLOGICZNA



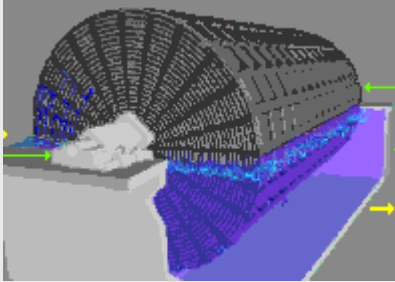
ZŁOŻE BIOLOGICZNE (stacjonarne) (wypełnienie z tłuźnia kamiennego)



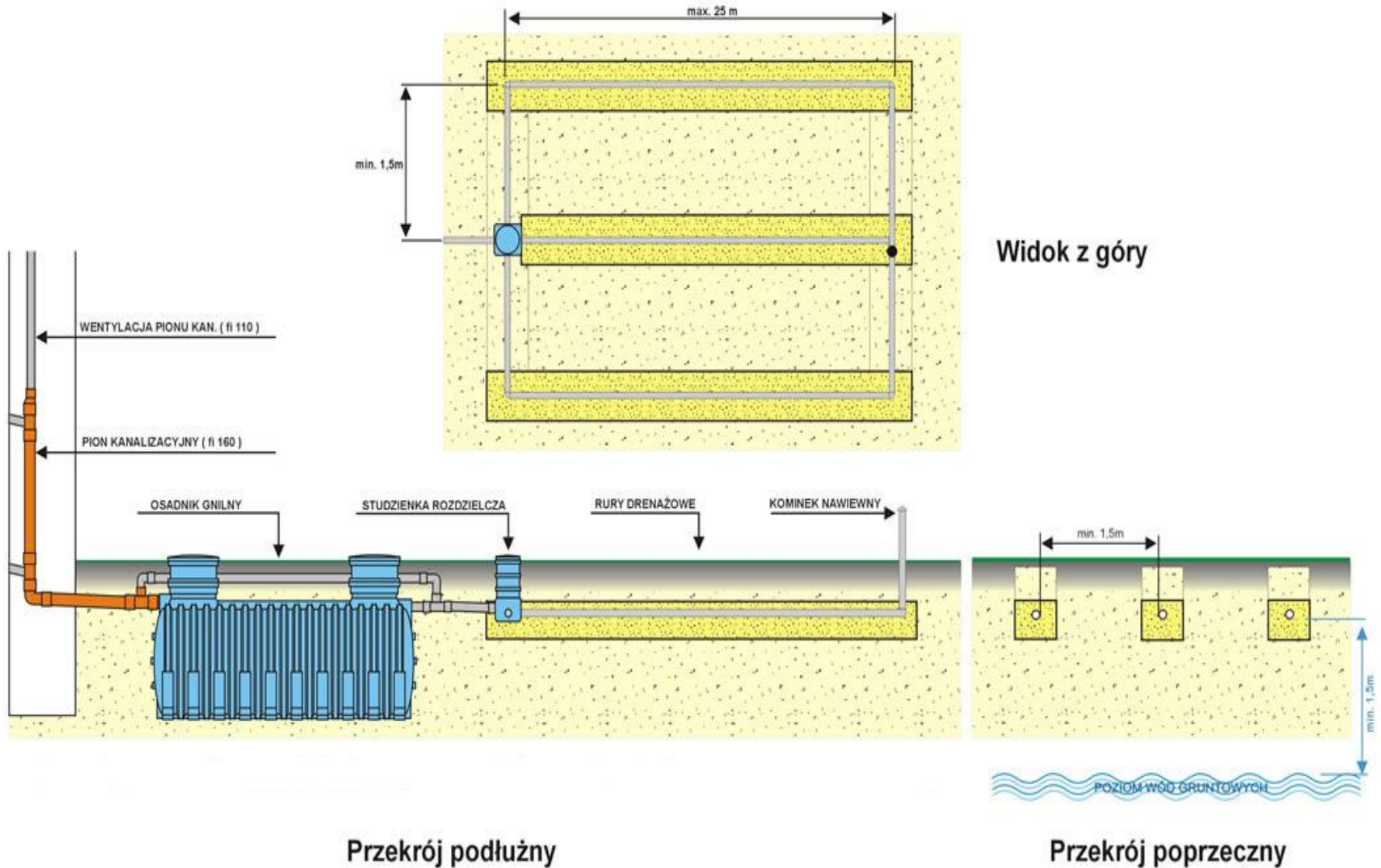
ZŁOŻE BIOLOGICZNE (stacjonarne) (wypełnienie z tworzywa sztucznego)



ZŁOŻE TARCZOWE



DRENAŻ ROZSĄCZAJĄCY



Szybkość przyrostu bakterii

$$r_{X_B} = \mu \cdot X_B \quad [\text{g } X_B/\text{m}^3\text{d}]$$

$$\mu = \hat{\mu} \prod_{i=1}^n \frac{c_i}{K_i + c_i} \quad \text{- stała szybkości przyrostu bakterii } [\text{d}^{-1}]$$

X_{BH} – stężenie bakterii

$[\text{g}/\text{m}^3]$

Stała szybkości przyrostu bakterii

$$r_{X_B} = \mu \cdot X_B$$

$$[\text{g } X_B/\text{m}^3\text{d}]$$

$$\mu = \hat{\mu} \prod_{i=1}^n \frac{c_i}{K_i + c_i} = \hat{\mu} \frac{c_1}{K_1 + c_1} \frac{c_2}{K_2 + c_2} \dots \frac{c_n}{K_n + c_n} \quad [\text{d}^{-1}]$$

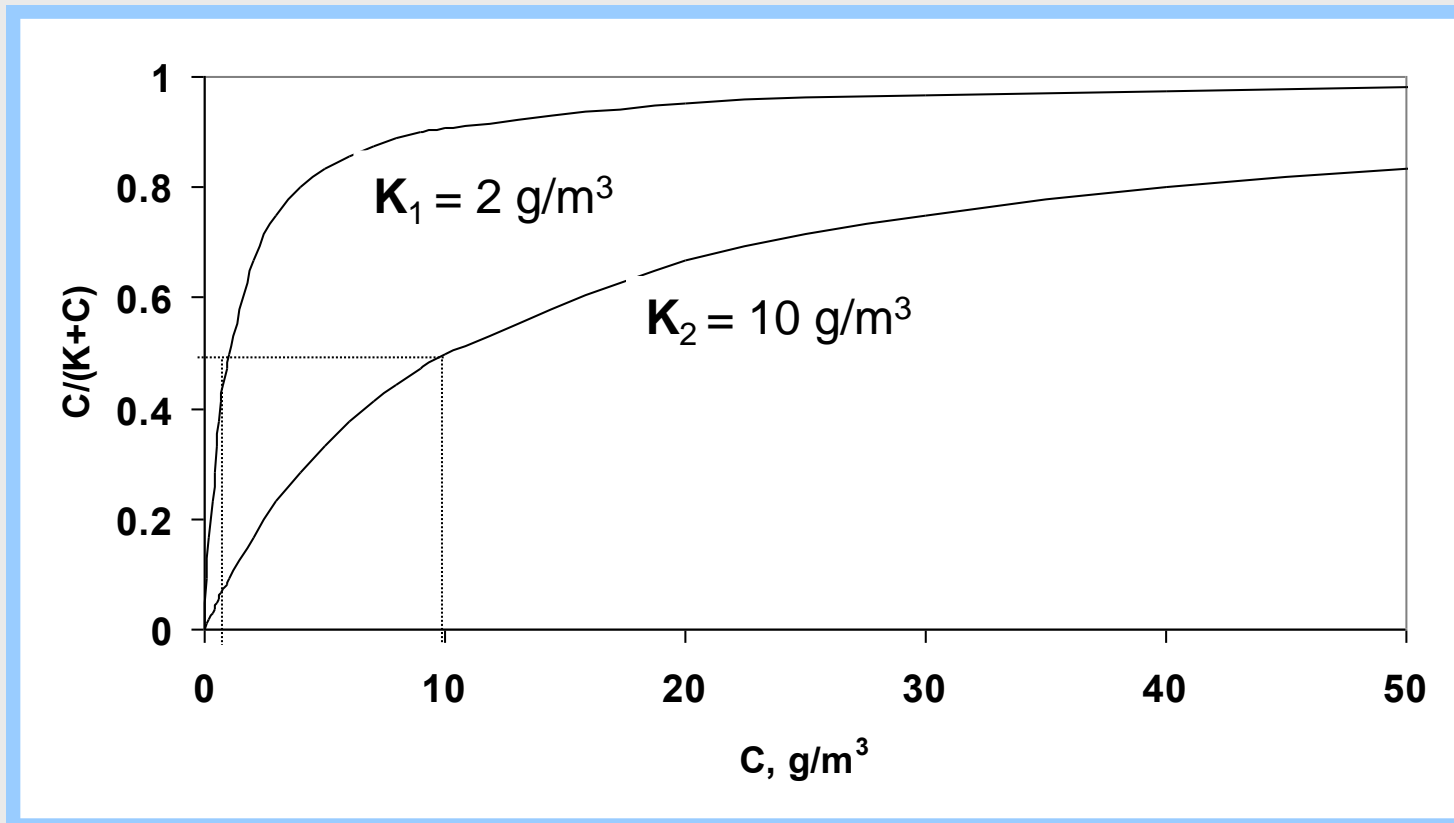
$\hat{\mu}$ - maksymalna wartość μ [d⁻¹]

c_i – stężenie i-tego substratu [g/m³]

K_i – stała nasycenia dla i-tego substratu [g/m³]

Stała szybkość przyrostu bakterii

$$\mu = \hat{\mu} \prod_{i=1}^n \frac{c_i}{K_i + c_i} = \hat{\mu} \frac{c_1}{K_1 + c_1} \frac{c_2}{K_2 + c_2} \dots \frac{c_n}{K_n + c_n} \quad [d^{-1}]$$



Szybkość ubytku substratu (S)

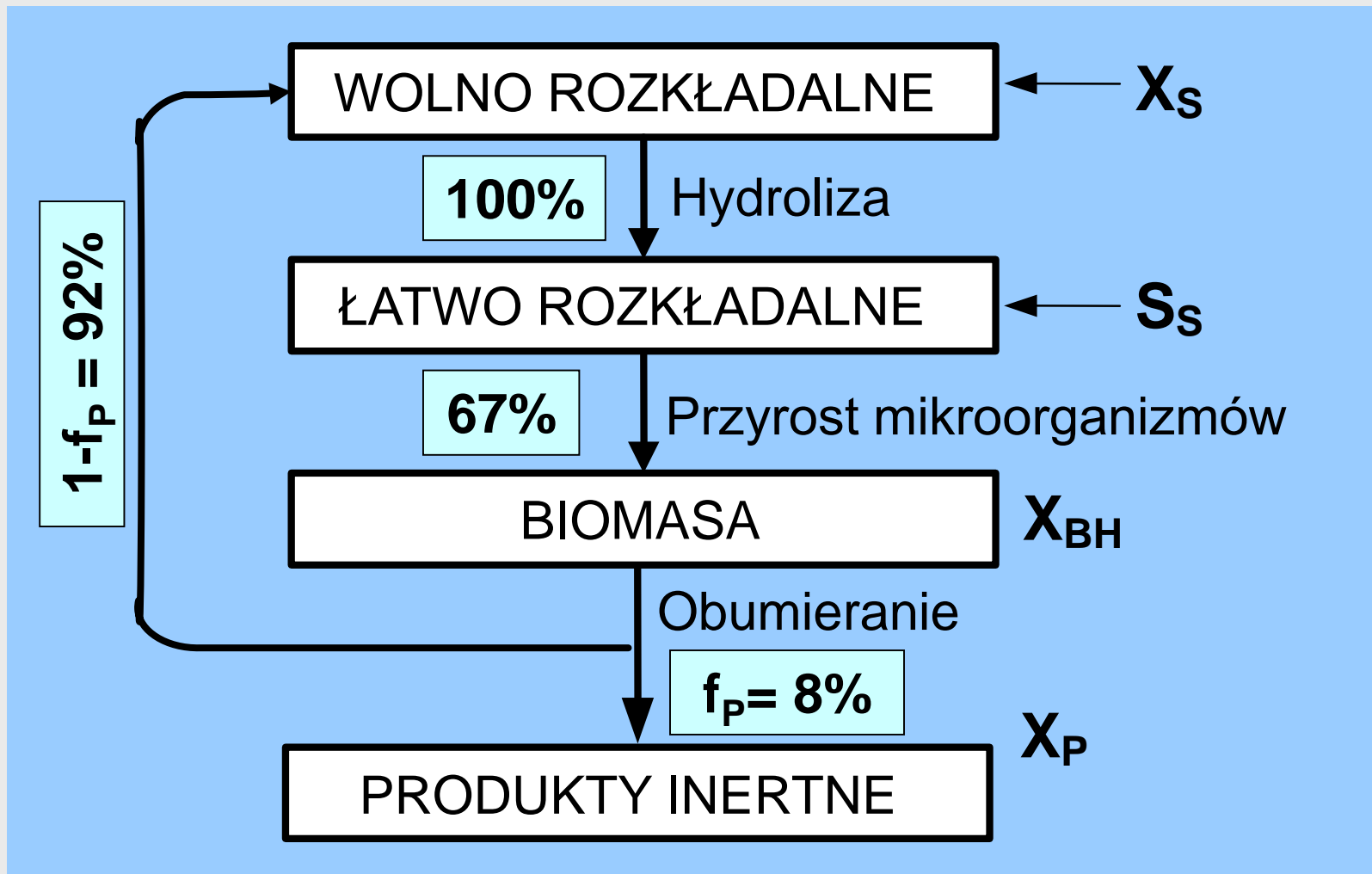
$$r_S = - \frac{r_{X_B}}{Y_{B,obs}} = - \frac{\mu \cdot X_B}{Y_{B,obs}} \quad [\text{g S/m}^3\text{d}]$$

$Y_{B,obs}$ – obserwowany wsp. wydajności przyrostu [g B/g S]

μ - stała szybkości przyrostu bakterii [d⁻¹]

X_B – stężenie bakterii [g/m³]

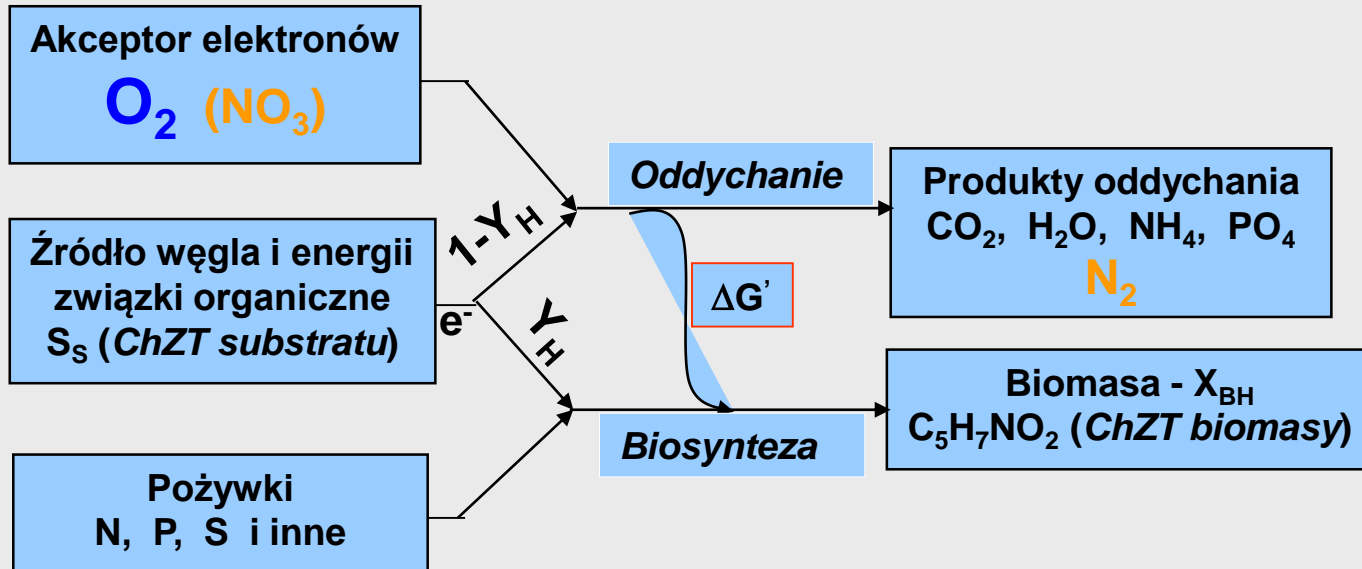
PRZEMIANY ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH



WO rośnie to Y_{obs} maleje

Przyrost mikroorganizmów heterotroficznych

w warunkach tlenowych - OX (lub anoksyicznych - AX)



$$\Delta G'_{O_2} \approx -3.3 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$

$$\Delta H'_{O_2} \approx -3.4 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$

$$Y_{H,O_2} \approx 0.67 \text{ g ChZT}_{X_{BH}} / \text{g ChZT}_{usun}$$

$$\Delta G'_{NO_3} \approx -3.0 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$

$$\Delta H'_{NO_3} \approx -3.1 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$

$$Y_{H,NO_3} \approx 0.60 \text{ g ChZT}_{X_{BH}} / \text{g ChZT}_{usun}$$

Rozkładowi związków organicznych zawierających N i P towarzyszy wydzielanie:

- azotu amonowego (S_{NH}) - amonifikacja
- fosforanów (S_{PO4})

Szybkość przyrostu bakterii heterotroficznych

(w warunkach tlenowych - OX)

$$r_{X_{BH}} = \mu_H \cdot X_{BH} \quad [g X_{BH}/m^3d]$$

X_{BH} – stężenie bakterii heterotroficznych $[g/m^3]$

Stała szybkości przyrostu bakterii heterotroficznych $[d^{-1}]$

$$\mu_H = \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \frac{S_{NH}}{\underbrace{K_{NH} + S_{NH}}_{\approx 1}} \frac{S_{PO_4}}{\underbrace{K_{PO_4} + S_{PO_4}}_{\approx 1}} \dots$$

$$\mu_H \approx \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} \frac{S_O}{K_{OH} + S_O}$$

Stała szybkości przyrostu bakterii heterotroficznych

(w warunkach tlenowych - OX)

$$\mu_H \approx \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \quad [\text{d}^{-1}]$$

$\hat{\mu}_H$ – maksymalna wartość μ_H

$$\hat{\mu}_H^{20^\circ \text{C}} \sim 6 \text{ d}^{-1}$$

$$\hat{\mu}_H^{10^\circ \text{C}} \sim 3 \text{ d}^{-1}$$

K_S – stała nasycenia dla ChZT (S_S)

$$K_S^{20^\circ \text{C}} \sim 20 \text{ g ChZT/m}^3$$

$$K_S^{10^\circ \text{C}} \sim 20 \text{ g ChZT/m}^3$$

K_{OH} – stała nasycenia dla tlenu rozpuszczonego

$$K_{OH}^{20^\circ \text{C}} \sim 0.2 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

$$K_{OH}^{10^\circ \text{C}} \sim 0.2 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

Szybkość ubytku S_s (ChZT)

w warunkach tlenowych

$$r_{S_s} = - \frac{r_{X_{BH}}}{Y_{H,obs}} = - \frac{\mu_H \cdot X_{BH}}{Y_{H,obs}} \quad [\text{g ChZT/m}^3\text{d}]$$

$Y_{H,obs}$ – wsp. wydajności przyrostu heterotrofów $[\text{g ChZT/g ChZT}]$

μ_H – stała szybkości przyrostu heterotrofów $[\text{d}^{-1}]$

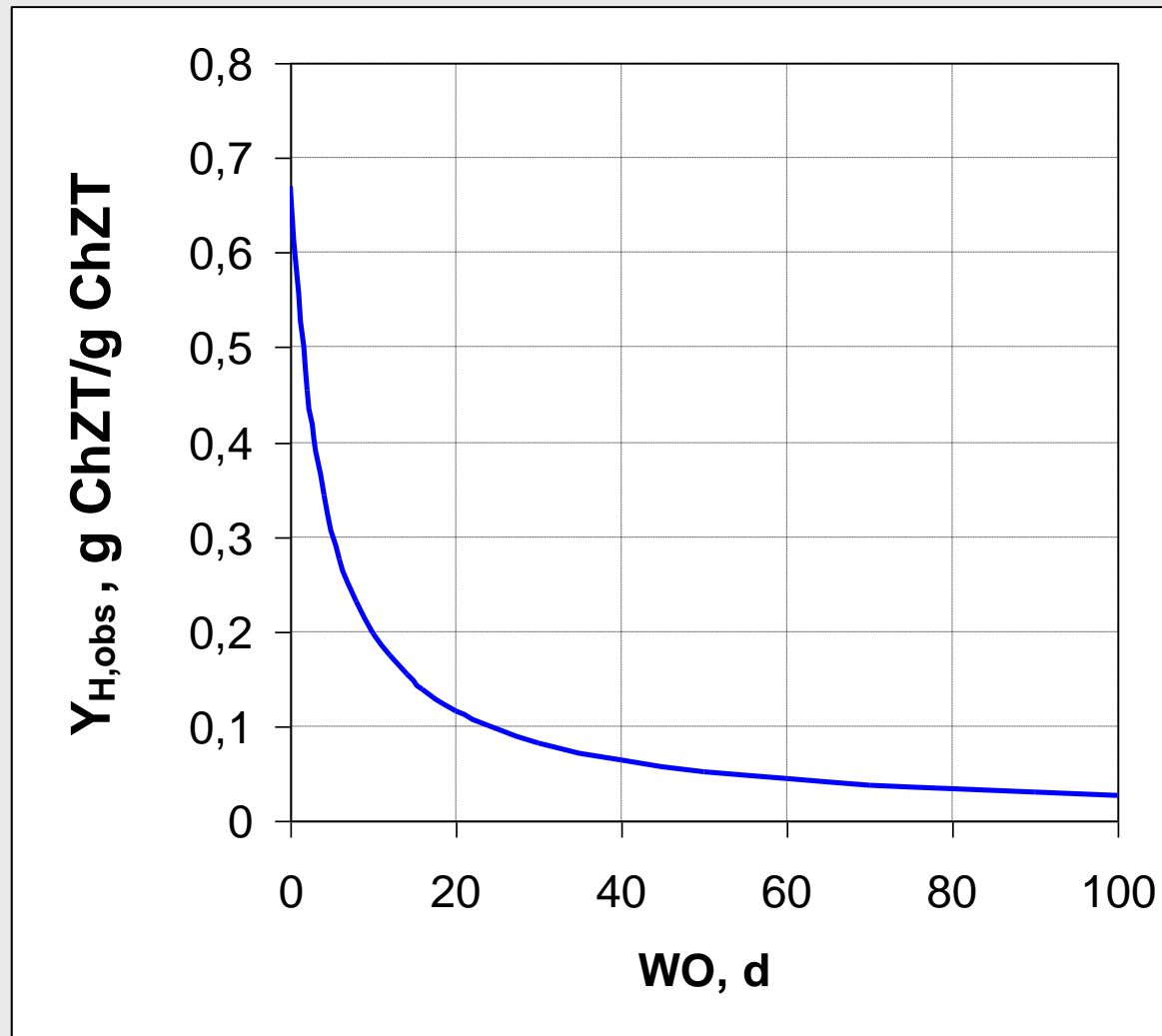
X_{BH} – stężenie heterotrofów $[\text{g ChZT/m}^3]$

$Y_{H,obs} = 0 \div 0.67 \text{ g ChZT } X_{BH} / \text{g ChZT } S_s \text{ usuniętego}$

gdy $W_x \rightarrow \infty$

gdy $W_x \rightarrow 0$

Zależność $Y_{H,obs}$ od czasu przebywania (WO) heterotrofów w układzie (warunki tlenowe)

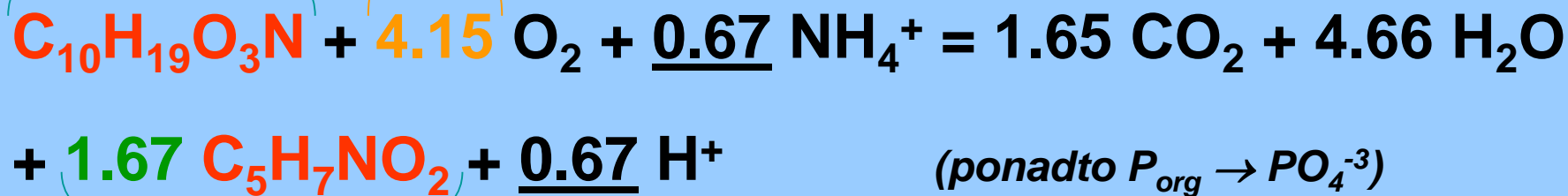


Rozkład związków organicznych w warunkach tlenowych - OX

Dla $Y_{H,obs} = 0.67$ g ChZT X_{BH} /g ChZT S_s (tzn. gdy $WO \rightarrow 0$)

$$\text{ChZT} = 400 \text{ g O}_2$$

$$\text{ZO}_2 = 400 - 267 = 133 \text{ g O}_2 = 133/32 = 4.15 \text{ mol O}_2$$



$$\Delta\text{ChZT}_{\text{biomasy}} = 0.67 \cdot 400 \text{ g O}_2 = 267 \text{ g O}_2$$

$$267 \text{ g O}_2 / (160 \text{ g O}_2 / \text{mol C}_5\text{H}_7\text{NO}_2) = 1.67 \text{ mol C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$$



$$\Delta\text{smo}_{\text{biomasy}} = 1.67 \cdot 113 = 189 \text{ g smo}$$

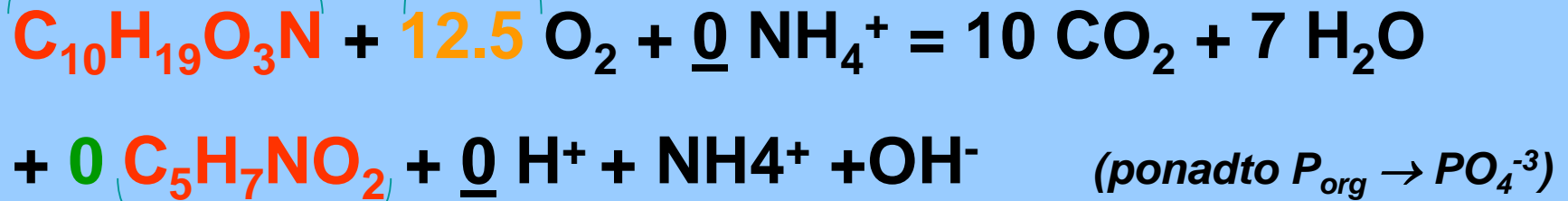
$$M_{\text{CZ}} \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 = 5 \cdot 12 + 7 + 14 + 2 \cdot 16 = 113 \text{ g smo/mol}$$

Rozkład związków organicznych w warunkach tlenowych - OX

Dla $Y_{H,obs} = 0$ g ChZT X_{BH} /g ChZT S_s (tzn. gdy $WO \rightarrow \infty$)

$$\text{ChZT} = 400 \text{ g O}_2$$

$$\text{ZO}_2 = 400 - 0 = 400 \text{ g O}_2 = 400/32 = 12.5 \text{ mol O}_2$$



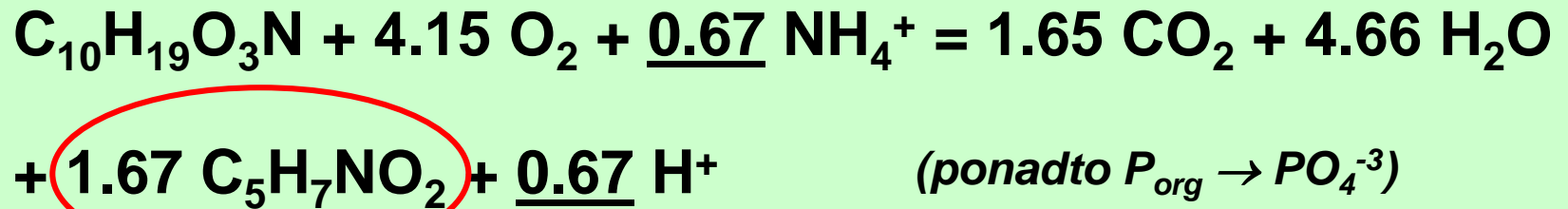
$$\Delta\text{ChZT}_{\text{biomasy}} = 0 * 400 = 0 \text{ g O}_2$$

$$\Delta\text{smo}_{\text{biomasy}} = 0 * 113 = 0 \text{ g smo}$$

$$M_{\text{CZ}} \text{ C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 = 5 * 12 + 7 + 14 + 2 * 16 = 113 \text{ g smo/mol}$$



Zużycie tlenu



Jednostkowe zużycie tlenu = 1 g O₂/g ChZT_{utl} (utlenionych zw. org.)

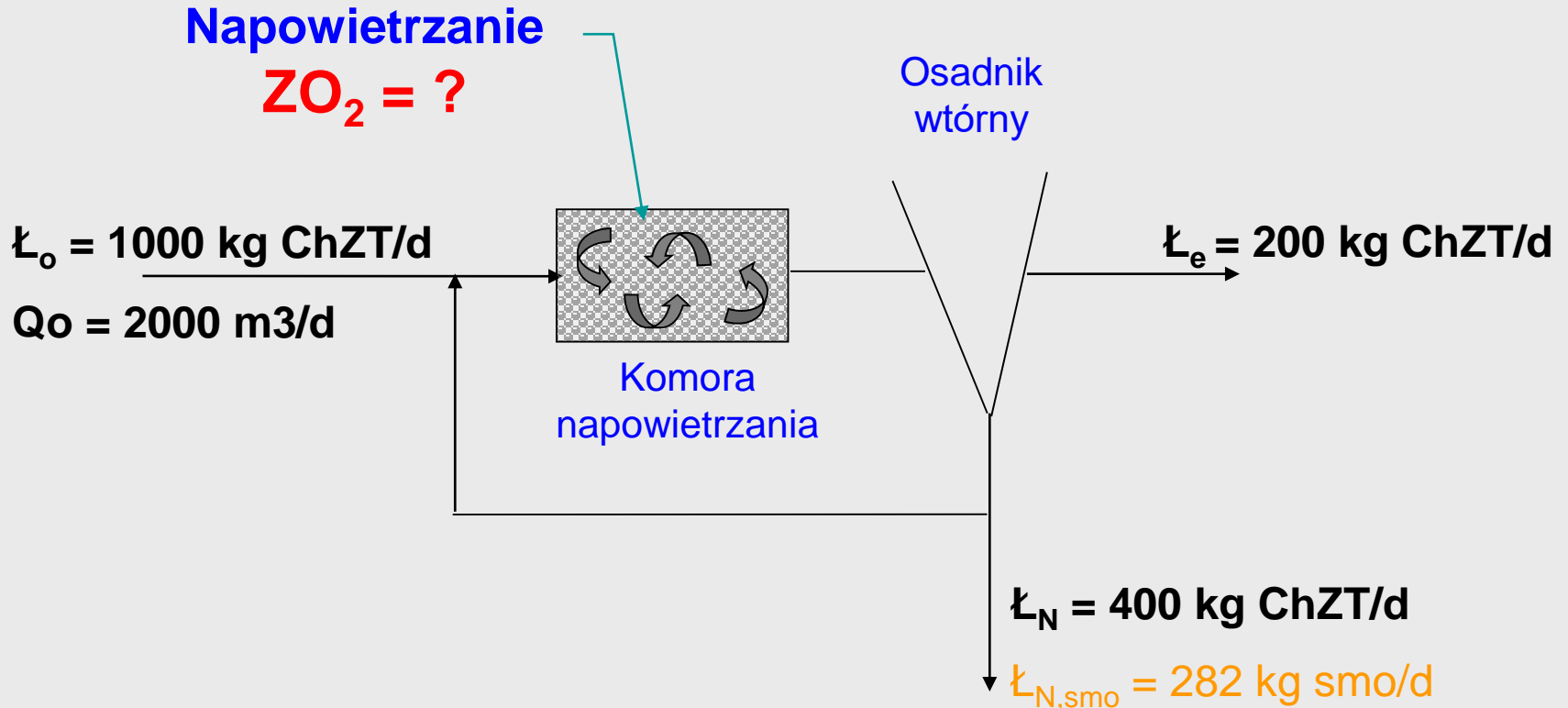


Zużycie tlenu (ZO₂) = ChZT związków organicznych utlenionych tlenem



$$\underbrace{\text{ZO}_2}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{\text{ChZT}_{\text{utl}}}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{\Delta\text{ChZT}_{\text{substratu}}}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} - \underbrace{\Delta\text{ChZT}_{\text{biomasy}}}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}}$$

Zużycie tlenu - przykład

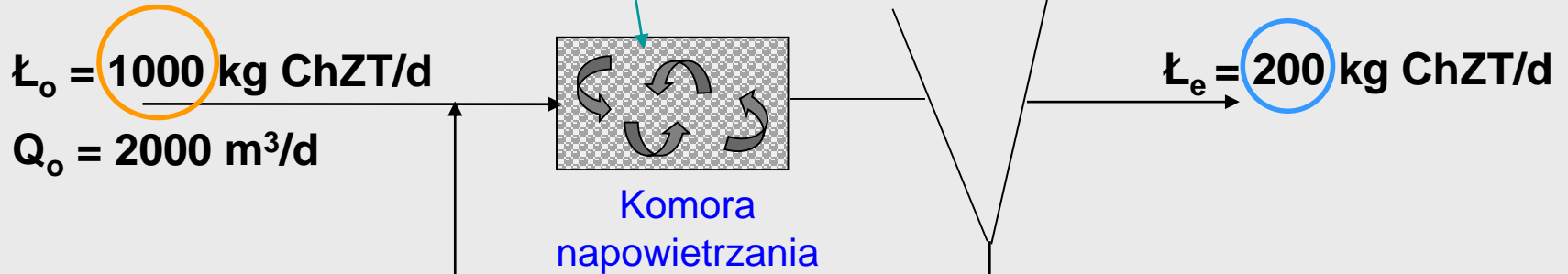


$$\underbrace{ZO_2}_{\substack{\text{kg } O_2/\text{d} \\ \text{g } O_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{ChZT_{utl}}_{\substack{\text{kg } O_2/\text{d} \\ \text{g } O_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{\Delta ChZT_{substratu}}_{\substack{\text{kg } O_2/\text{d} \\ \text{g } O_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} - \underbrace{\Delta ChZT_{biomasy}}_{\substack{\text{kg } O_2/\text{d} \\ \text{g } O_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}}$$

Zużycie tlenu – przykład c.d.

Napowietrzanie

$ZO_2 = ?$



$$\underbrace{ZO_2}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{ChZT_{utl}}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{\Delta ChZT_{substratu}}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}} - \underbrace{\Delta ChZT_{biomasy}}_{\substack{\text{kg O}_2/\text{d} \\ \text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}}$$

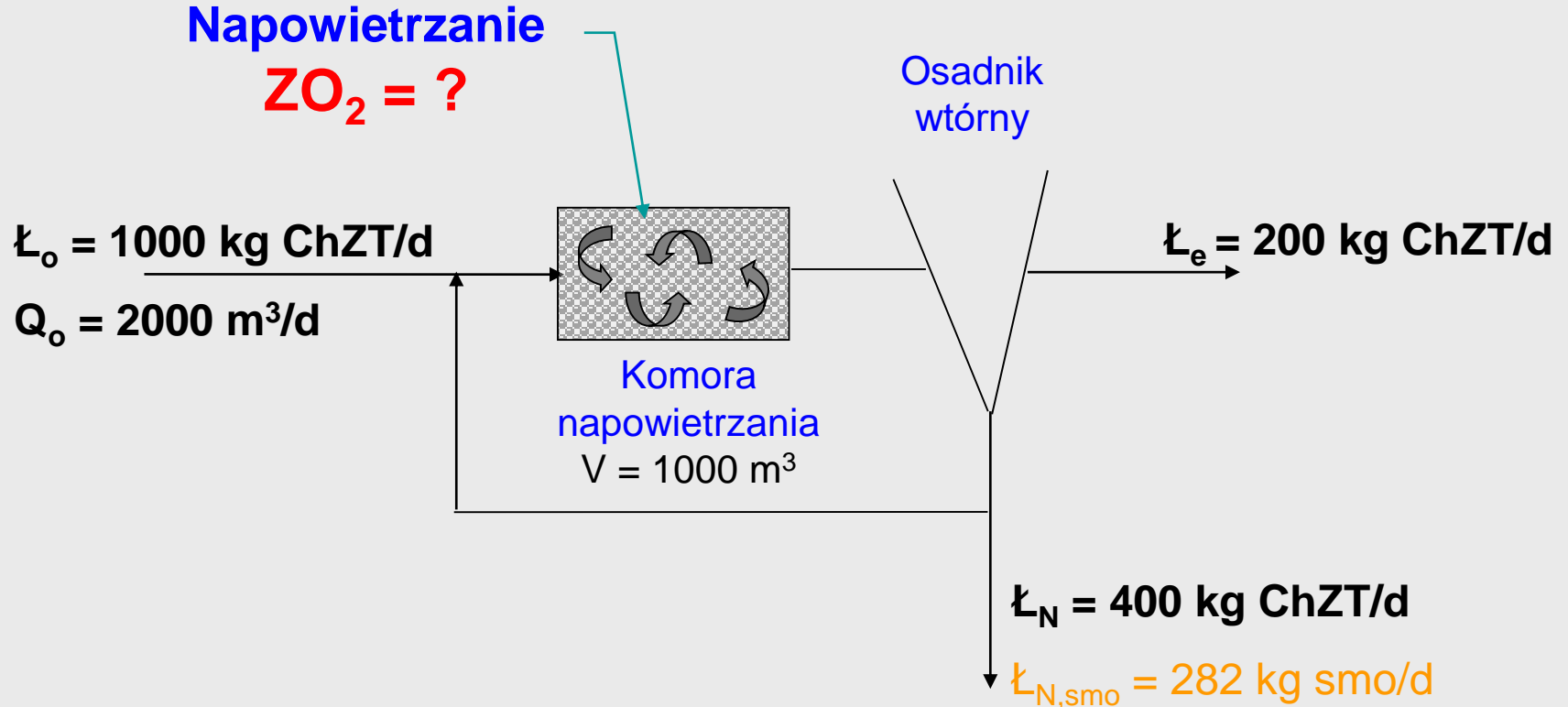
$$\Delta ChZT_{substratu} = 1000 - 200 = 800 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

$$\Delta ChZT_{biomasy} = 400 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

$$ChZT_{utl} = 800 - 400 = 400 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

$$ZO_2 = ChZT_{utl} = 400 \text{ kg O}_2/\text{d} = 400 \cdot 10^3 / 2000 = 200 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

Zużycie tlenu – przykład c.d.



$$ZO_2 = ChZT_{utl} \text{ (w ciągu doby)} = 400 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

$$ZO_2 = ChZT_{utl} \text{ (na } 1 \text{ m}^3 \text{ dopływu)} = 400 \cdot 10^3 / 2000 = 200 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

$$ZO_2 = ChZT_{utl} \text{ (na } 1 \text{ m}^3 \text{ komory)} = 400 \cdot 10^3 / 1000 = 400 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \text{ d}$$

Zużycie tlenu c.d.

$$\underbrace{ZO_2}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{ChZT_{utl}}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{\Delta ChZT_{substratu}}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}} - \underbrace{\Delta ChZT_{biomasy}}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}}$$

$$\underbrace{ZO_2}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{ChZT_{utl}}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}} = \underbrace{\Delta ChZT_{substratu}}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}} - \underbrace{1.42 \Delta smo_{biomasy}}_{\substack{\text{kg } O_2/d \\ \text{g } O_2/m^3 \text{ ścieków}}}$$

ChZT biomasy $C_5H_7NO_2$



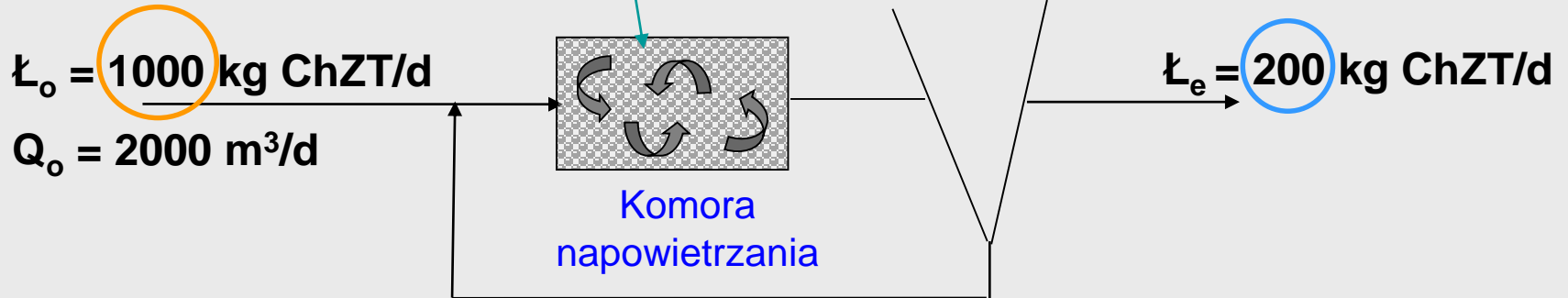
$$ChZT_{biomasy} = \frac{5 \cdot 32}{5 \cdot 12 + 7 + 14 + 2 \cdot 16 = 113} \approx 1.42 \text{ g } O_2 / \text{g } smo$$

Zużycie tlenu – przykład c.d.

Napowietrzanie

$ZO_2 = ?$

Osadnik
wtórnny



$$ZO_2 = ChZT_{utl} = \Delta ChZT_{substratu} - 1.42 \Delta smo_{biomasy}$$

$\frac{\text{kg O}_2/\text{d}}{\text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}} = \frac{\text{kg O}_2/\text{d}}{\text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}} = \frac{\text{kg O}_2/\text{d}}{\text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}} - \frac{\text{kg O}_2/\text{d}}{\text{g O}_2/\text{m}^3 \text{ ścieków}}$

$$\Delta ChZT_{substratu} = 1000 - 200 = 800 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

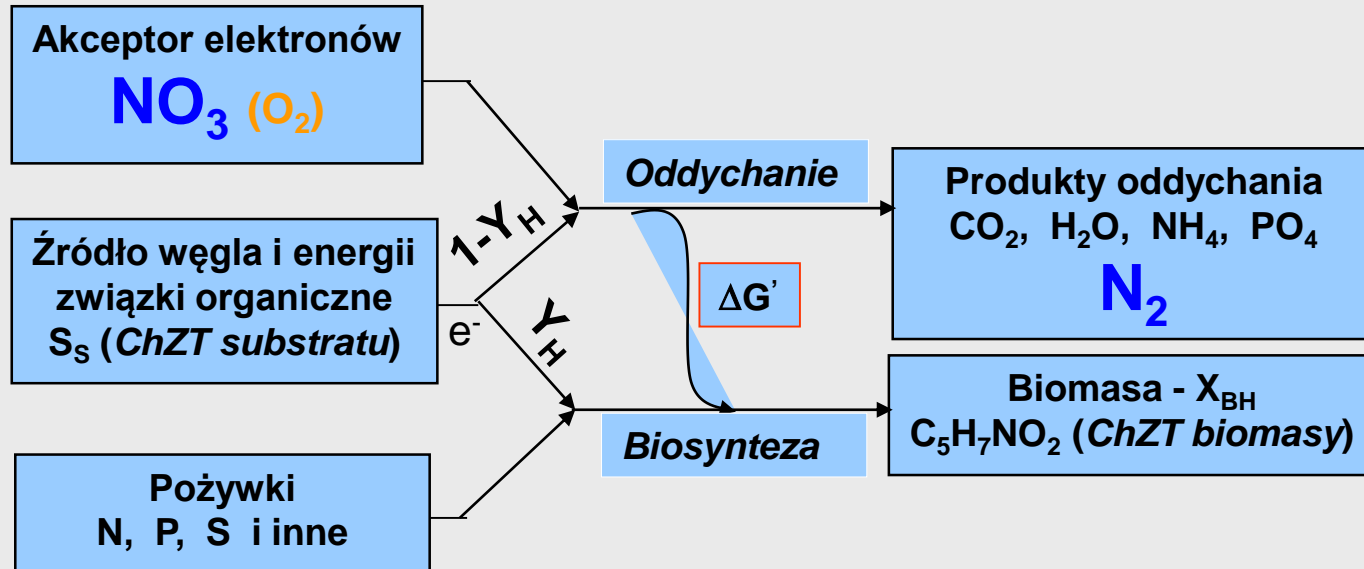
$$ChZT_{utl} = 800 - 400 = 400 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

$$1.42 \Delta smo_{biomasy} = 1.42 * 282 = 400 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

$$ZO_2 = ChZT_{utl} = 400 \text{ kg O}_2/\text{d} = 400 * 10^3 / 2000 = 200 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

Przyrost mikroorganizmów heterotroficznych

w warunkach anoksyicznych (lub tlenowych)



$$\Delta G'_{NO_3} \approx -3.0 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$
$$\Delta H'_{NO_3} \approx -3.1 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$
$$Y_{H,NO_3} \approx 0.60 \text{ g ChZT}_{X_{BH}} / \text{g ChZT}_{usun}$$

$$\Delta G'_{O_2} \approx -3.3 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$
$$\Delta H'_{O_2} \approx -3.4 \text{ kcal/g ChZT}_{utl}$$
$$Y_{H,O_2} \approx 0.67 \text{ g ChZT}_{X_{BH}} / \text{g ChZT}_{usun}$$

Rozkładowi związków organicznych zawierających N i P towarzyszy wydzielanie:

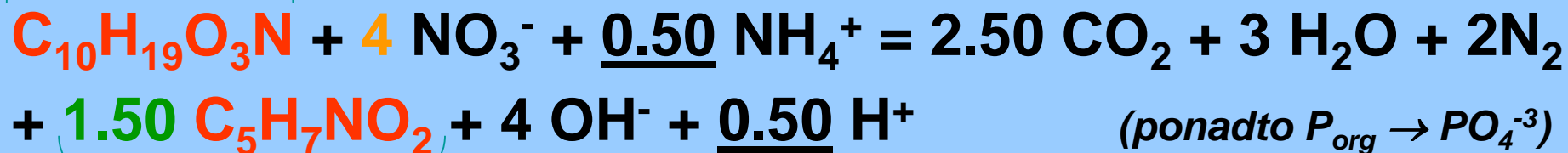
- azotu amonowego (S_{NH}) - amonifikacja
- fosforanów (S_{PO4})

Rozkład związków organicznych w warunkach anoksydacyjnych - AX

Dla $Y_{H,obs} = 0.60$ g ChZT X_{BH} /g ChZT S_s (tzn. gdy $WO \rightarrow 0$)

$$\text{ChZT} = 400 \text{ g O}_2$$

$$\begin{aligned}\Delta\text{NO}_3 &= (400 - 240) \text{ g ChZT} * 0.35 \text{ g N/g ChZT} \\ &= 160 * 0.35 \text{ g N} = 56 \text{ g N} = 56/14 = 4 \text{ mol NO}_3^-\end{aligned}$$



$$\Delta\text{ChZT}_{\text{biomasy}} = 0.60 * 400 \text{ g O}_2 = 240 \text{ g O}_2$$

$$240 \text{ g O}_2 / (160 \text{ g O}_2 / \text{mol C}_5\text{H}_7\text{NO}_2) = 1.50 \text{ mol C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$$



$$\Delta\text{smo}_{\text{biomasy}} = 1.50 * 113 = 169 \text{ g smo}$$

$$M_{\text{CZ}} \text{ C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 = 5 * 12 + 7 + 14 + 2 * 16 = 113 \text{ g smo/mol}$$

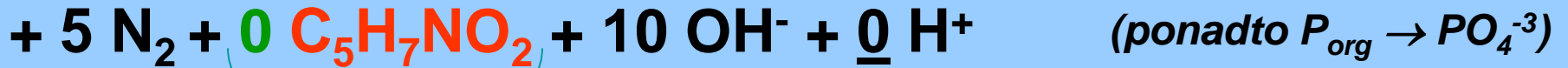
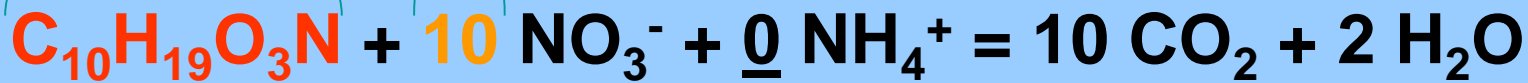
Zapotrzebowanie na ChZT = $400/4 * 14 = 7.14$ g ChZT/g N-NO₃

Rozkład związków organicznych w warunkach anoksydacyjnych -AX

Dla $Y_{H,obs} = 0$ g ChZT X_{BH} /g ChZT S_s (tzn. gdy $WO \rightarrow \infty$)

ChZT = 400 g O_2

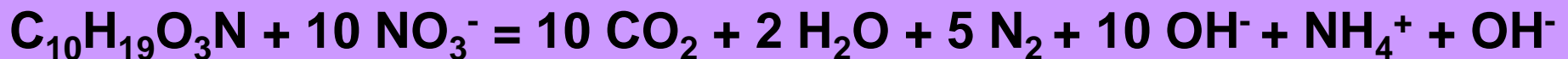
$$\Delta NO_3 = (400 - 0) \text{ g ChZT} * 0.35 \text{ g N/g ChZT} \\ = 400 * 0.35 \text{ g N} = 140 \text{ g N} = 140/14 = 10 \text{ mol } NO_3^-$$



$$\Delta ChZT_{biomasy} = 0 * 400 = 0 \text{ g } O_2$$

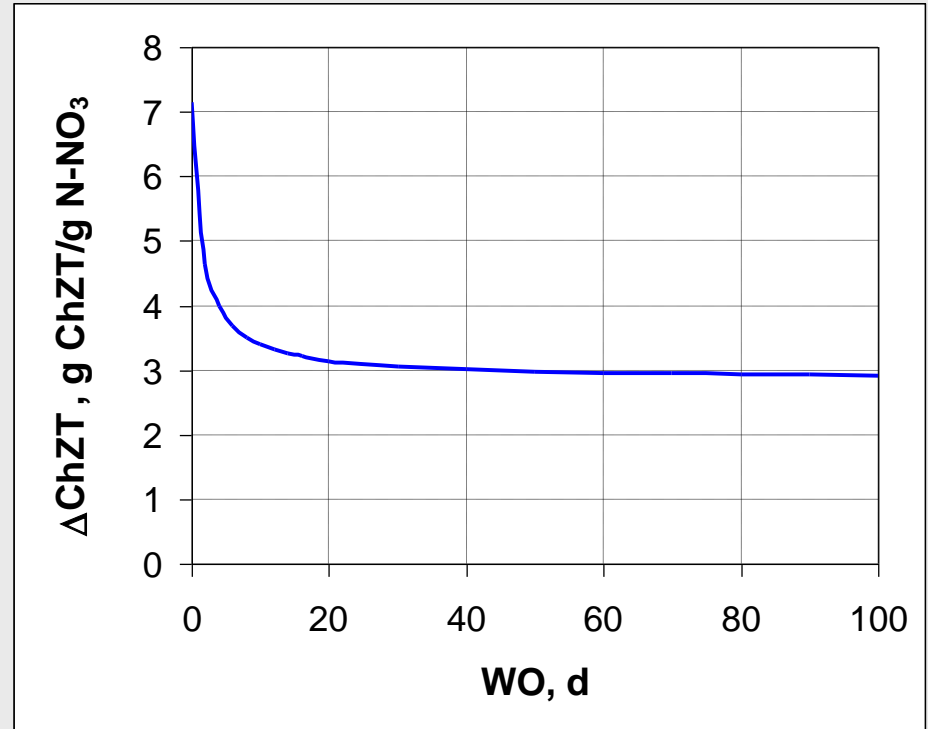
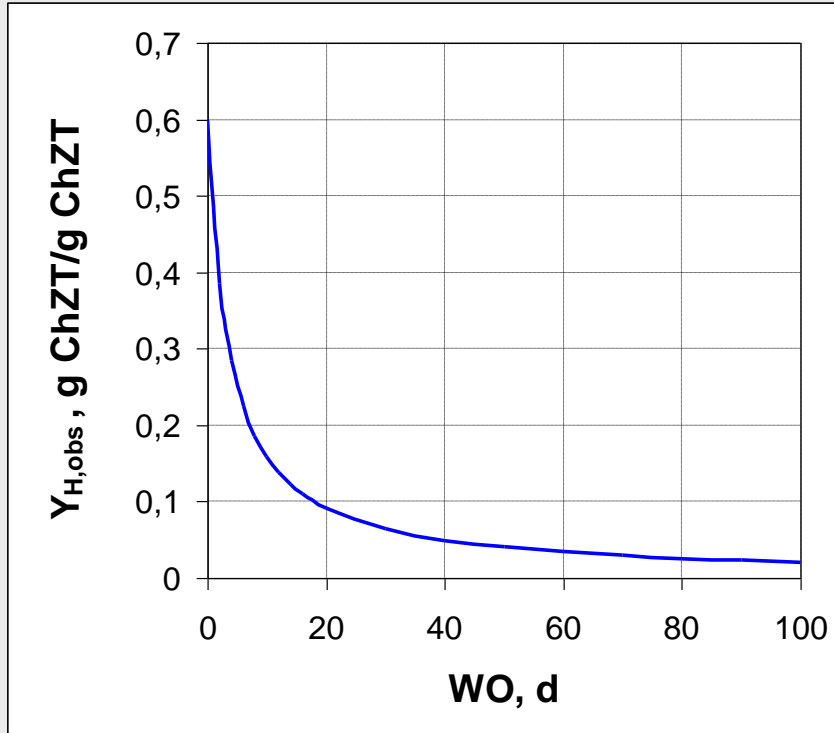
$$\Delta smo_{biomasy} = 0 * 113 = 0 \text{ g smo}$$

$$M_{CZ} C_5H_7NO_2 = 5 * 12 + 7 + 14 + 2 * 16 = 113 \text{ g smo/mol}$$



$$\text{Zapotrzebowanie na ChZT} = 400/10 * 14 = 2.86 \text{ g ChZT/g N-NO}_3$$

Zależność jednostkowego zapotrzebowania na ChZT do denitryfikacji (ΔChZT) od WO



$$\Delta\text{ChZT} = 2.86 / (1 - Y_{H,obs}) \text{ g ChZT/g N-NO}_3$$

$$\Delta\text{NO}_3 = (1 - Y_{H,obs}) / 2.86 \text{ g N-NO}_3/\text{g ChZT}$$

Szybkość przyrostu heterotrofów w warunkach anoksyicznych - AX

$$\mu_H \approx \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \quad [\text{d}^{-1}]$$

$$\hat{\mu}_H^{20^\circ \text{C}} \sim 6 \text{ d}^{-1}$$

$$\hat{\mu}_H^{10^\circ \text{C}} \sim 3 \text{ d}^{-1}$$

$$K_S^{20^\circ \text{C}} \sim 20 \text{ g ChZT/m}^3$$

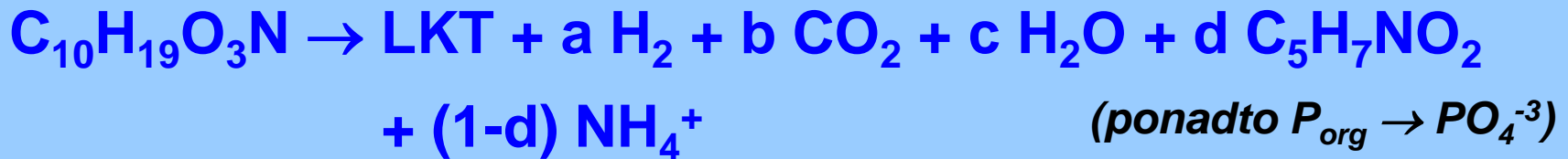
$$K_S^{10^\circ \text{C}} \sim 20 \text{ g ChZT/m}^3$$

$$K_{NO}^{20^\circ \text{C}} \sim 0.5 \text{ g NO}_3 / \text{m}^3$$

$$K_{NO}^{10^\circ \text{C}} \sim 0.5 \text{ g NO}_3 / \text{m}^3$$

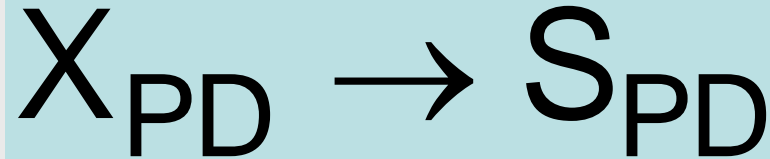
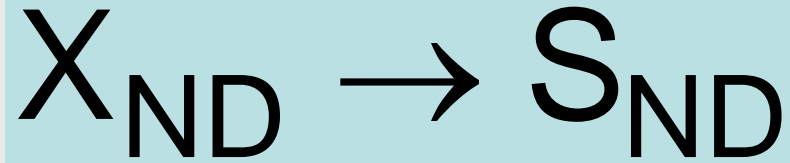
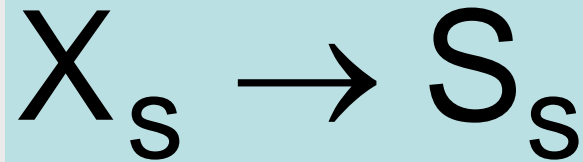
Rozkład związków organicznych w warunkach beztlenowych - AN (brak tlenu i azotanów)

SF → LKT (kwasy: octowy, propionowy, mlekowy...)



$$\mu_F \approx \hat{\mu}_F \frac{S_F}{K_{SF} + S_F} \quad [\text{d}^{-1}]$$

Hydroliza substratów wolno rozkładalnych (X_s)



Hydroliza substratów wolno rozkładalnych (X_s)

Szybkość procesu

$$r_{X_s} = -k_h \frac{X_s / X_{BH}}{K_x + X_s / X_{BH}} X_{BH}$$

[g ChZT X_s /m³d]

Stała szybkości hydrolizy

$$k_h^{20^\circ C} \sim 3 \text{ g ChZT/g ChZT d}$$

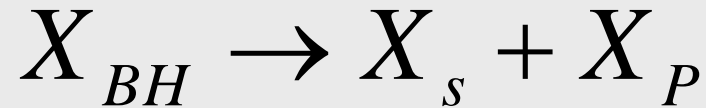
$$k_h^{10^\circ C} \sim 1 \text{ g ChZT/g ChZT d}$$

- największa wartość w warunkach tlenowych
- mniejsza w anoksydacyjnych
- najmniejsza w beztlenowych

$$K_X^{20^\circ C} \sim 0.03 \text{ g ChZT/ChZT}$$

$$K_X^{10^\circ C} \sim 0.01 \text{ g ChZT/ChZT}$$

Obumieranie heterotrofów



Szybkość procesu

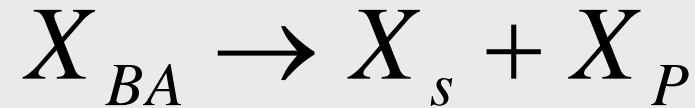
$$r_{X_{BH}} = -b_H \cdot X_{BH} \quad [\text{g } X_{BH}/\text{m}^3\text{d}]$$

Stała szybkości obumierania heterotrofów

$$b_H^{20^\circ\text{C}} \sim 0.62 \text{ d}^{-1}$$

$$b_H^{10^\circ\text{C}} \sim 0.20 \text{ d}^{-1}$$

Obumieranie autotrofów (nitryfikantów)



Szybkość procesu

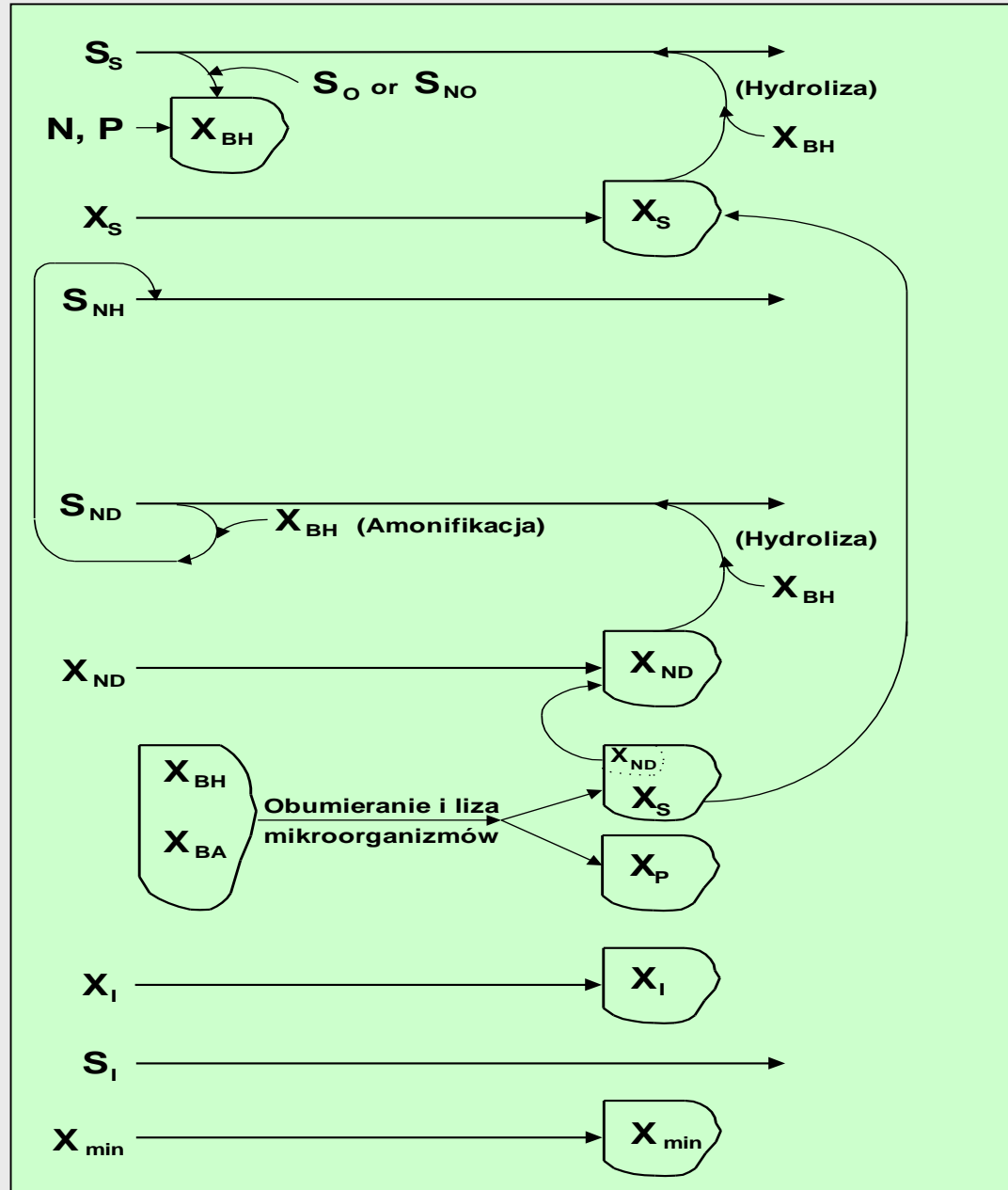
$$r_{X_{BA}} = -b_A \cdot X_{BA} \quad [\text{g } X_{BH}/\text{m}^3\text{d}]$$

Stała szybkości obumierania autotrofów

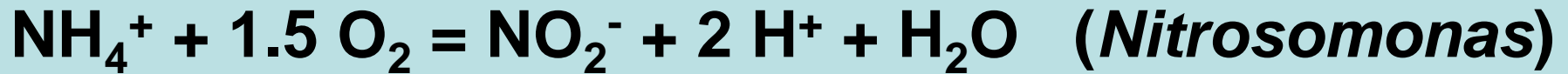
$$b_A^{20^\circ C} \sim 0.15 \text{ d}^{-1}$$

$$b_A^{10^\circ C} \sim 0.05 \text{ d}^{-1}$$

Ogólny schemat przemian związków organicznych



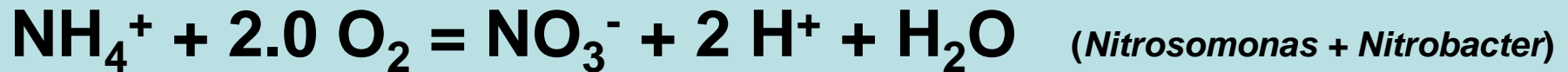
NITRYFIKACJA



Zużycie tlenu (~3.43 g O₂/g utlenionego N-NH₄)

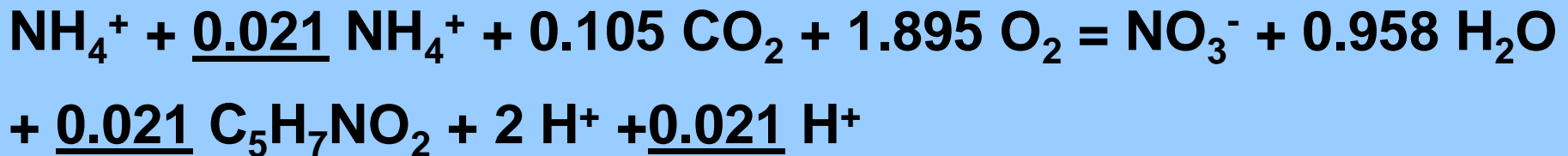


Zużycie tlenu (~1.14 g O₂/g utlenionego N-NO₂)

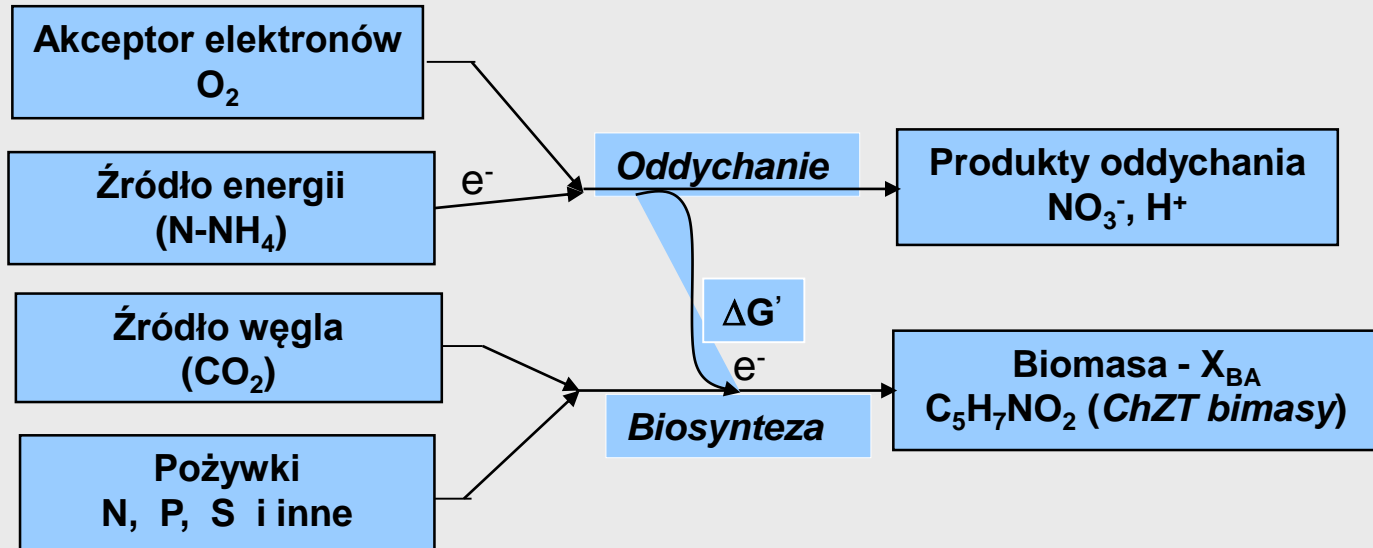


Zużycie tlenu (~4.57 g O₂/g utlenionego N-NH₄)

Dla $Y_{A,obs} = 0.24$ g ChZT X_{BA} /g N-NH₄ (tzn. gdy WO → 0)



Przyrost mikroorganizmów autotroficznych (nitryfikantów)



$$Y_A \approx 0.24 \text{ g ChZT}_{X_{BA}} / \text{g N - NH}_{4,utl}$$

Szybkość przyrostu nitryfikantów

$$r_{X_{BA}} = \mu_A \cdot X_{BA} \quad [\text{g } X_{BA}/\text{m}^3\text{d}]$$

X_{BH} – stężenie nitryfikantów $[\text{g}/\text{m}^3]$

Stała szybkości przyrostu bakterii autotroficznych

$$\mu_A \approx \hat{\mu}_A \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \cdot \frac{S_o}{K_{OA} + S_o} \quad [\text{d}^{-1}]$$

$$\hat{\mu}_A^{20^\circ C} \sim 1 \text{ d}^{-1}$$

$$\hat{\mu}_A^{10^\circ C} \sim 0.35 \text{ d}^{-1}$$

$$K_{NH}^{20^\circ C} \sim 1 \text{ g N-NH}_4/\text{m}^3$$

$$K_{NH}^{10^\circ C} \sim 1 \text{ g N-NH}_4/\text{m}^3$$

$$K_{OA}^{20^\circ C} \sim 0.5 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

$$K_{OA}^{10^\circ C} \sim 0.5 \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

Szybkość ubytku azotu amonowego

$$r_{S_{NH}} = -\frac{r_{X_{BA}}}{Y_{A,obs}} = -\frac{\mu_A}{Y_{A,obs}} \cdot X_{BA} \quad [\text{g N-NH}_4/\text{m}^3\text{d}]$$

$Y_{A,obs}$ – wsp. wydajności przyrostu nitryfikantów $[\text{g ChZT/g N-NH}_4]$

μ_A – stała szybkości przyrostu nitryfikantów $[\text{d}^{-1}]$

X_{BA} – stężenie nitryfikantów $[\text{g ChZT/m}^3]$

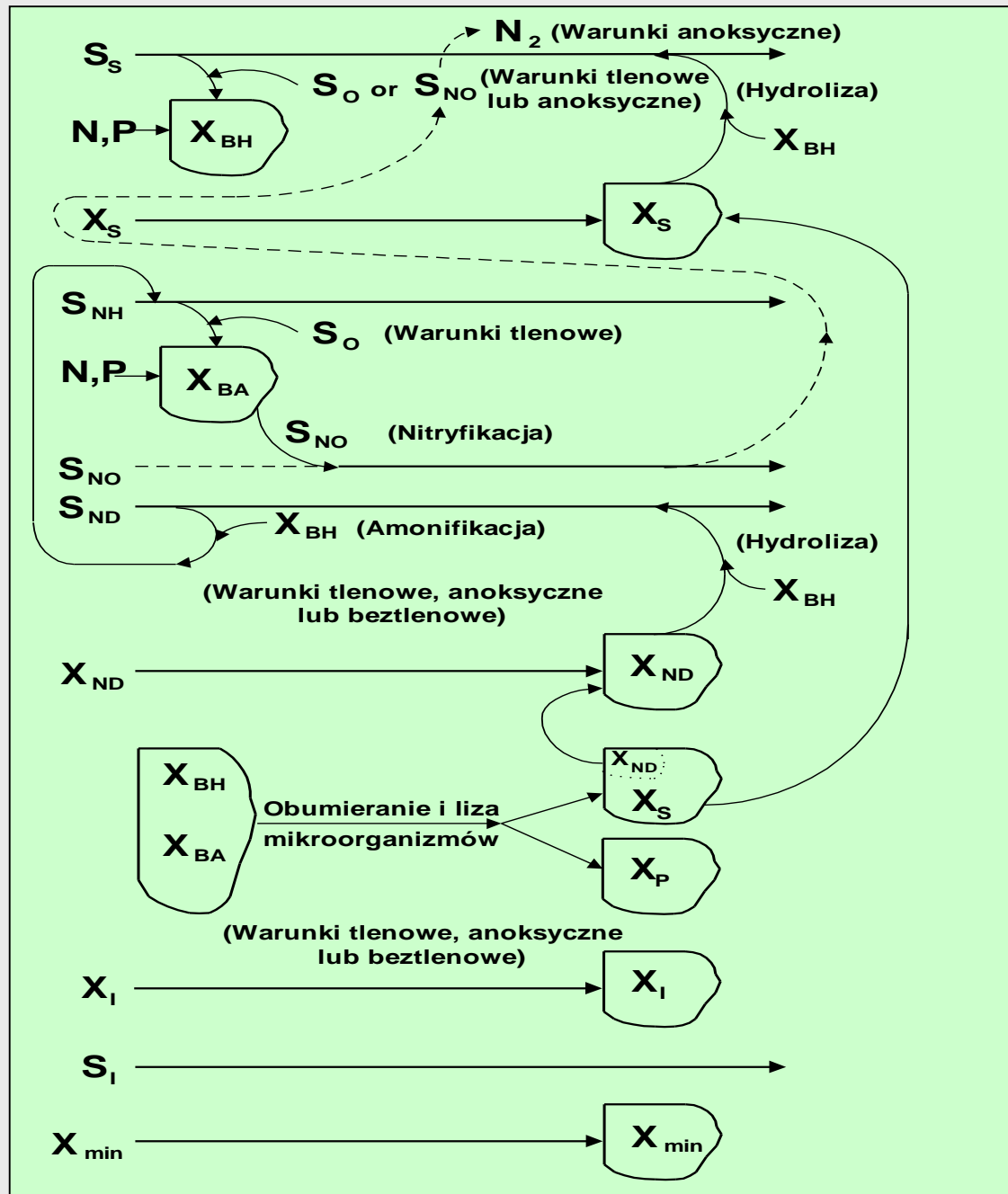
$Y_{A,obs} = 0 \div 0.24 \text{ g ChZT } X_{BA} / \text{g N-NH}_4 \text{ utlenionego}$

gdy $W_x \rightarrow \infty$

gdy $W_x \rightarrow 0$

$$r_{S_{NO}} = -r_{S_{NH}} \quad [\text{g N-NO}_3/\text{m}^3\text{d}]$$

Ogólny schemat przemian związków organicznych i azotowych



Przyrost netto bakterii heterotroficznych

$$Y_{H,Net} = Y_H \frac{1}{1 + b_H [1 - Y_H (1 - f_P)] W_X} \quad [\text{g ChZT/g ChZT}]$$

Y_H – maksymalna wartość wydajności przyrostu heterotrofów

$$Y_{H,OX} \sim 0.67 \text{ g ChZT/g ChZT} \quad Y_{H,AX} \sim 0.60 \text{ g ChZT/g ChZT}$$

b_H – stała szybkości obumierania heterotrofów, d^{-1}

$$b_H^{20^\circ C} \sim 0.62 \text{ d}^{-1} \quad b_H^{10^\circ C} \sim 0.20 \text{ d}^{-1}$$

f_P – udział X_P w produktach obumierania mikroorganizmów

$$f_P \sim 0.08 \text{ g ChZT } X_P / \text{g ChZT } X_{BH}$$

W_X – średni czas przebywania mikroorganizmów w układzie, d

Przyrost netto bakterii autotroficznych

$$Y_{A,Net} = Y_A \frac{1}{1 + b_A W_X} \quad [\text{g ChZT/g ChZT}]$$

Y_A – maksymalna wartość wydajności przyrostu autotrofów

$$Y_A \sim 0.24 \text{ g ChZT/g N-NH}_4$$

b_A – stała szybkości obumierania autotrofów, d^{-1}

$$b_A^{20^\circ C} \sim 0.15 \text{ d}^{-1}$$

$$b_A^{10^\circ C} \sim 0.05 \text{ d}^{-1}$$

W_X – średni czas przebywania mikroorganizmów w układzie, d

Przyrost netto bakterii

$$Y_{H,Net} = Y_H \frac{1}{1 + b_H [1 - Y_H (1 - f_P)] W_X}$$

$$Y_{A,Net} = Y_A \frac{1}{1 + b_A W_X}$$

$W_X \uparrow \Rightarrow Y_{NET} \downarrow$

Przemiany azotu a zasadowość

Amonifikacja azotu organicznego



$$21 \text{ g } N_{\text{org}}/\text{m}^3 \Rightarrow + 1.5 \text{ val/m}^3$$

Asymilacja azotu amonowego



$$14 \text{ g } N\text{-NH}_4/\text{m}^3 \Rightarrow - 1 \text{ val/m}^3$$

Nitryfikacja amoniaku



$$35 \text{ g } N\text{-NH}_4/\text{m}^3 \Rightarrow - 5 \text{ val/m}^3$$

Denitryfikacja azotanów



$$28 \text{ g } N\text{-NO}_3/\text{m}^3 \Rightarrow + 2 \text{ val/m}^3$$

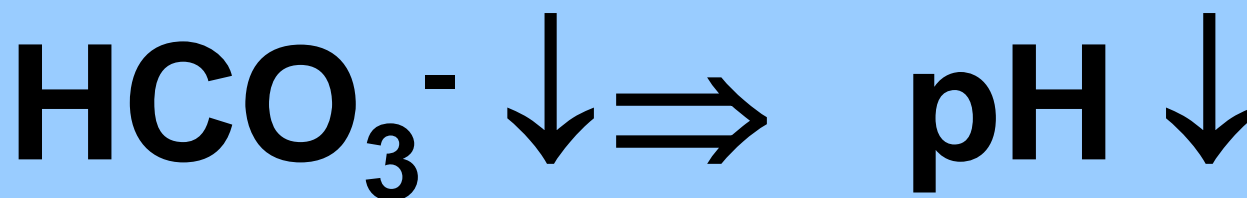
Bilans zasadowości (wpływa na pH w reaktorze)

$$\text{Bez denitryfikacji} \quad + 1.5 - 1 - 5 = - 4.5 \text{ val/m}^3$$

$$\text{Z denitryfikacją} \quad + 1.5 - 1 - 5 + 2 = - 2.5 \text{ val/m}^3$$

Zasadowość a pH

$$\text{pH} = \text{pK}_1 - \log \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]}$$



Powinno zostać co najmniej 1 val/m³

(0.5 val/m³)

Warunki obecności mikroorganizmów w biomacie układu biologicznego oczyszczania ścieków

Efektywny czas przebywania mikroorganizmów w układzie (W_x)



Efektywny czas niezbędny do mnożenia się mikroorganizmów (T_{gen})

Heterotrofy w 10°C

$$W_x > \frac{1}{\dot{\mu}_H - b_H} \approx \frac{1}{\hat{\mu}_H - b_H} = \frac{1}{3 - 0.2} = 0.36 \text{ d}$$

(0.19 d w 20°C)

Nitryfikanty w 10°C (przy braku inhibicji)

$$W_x > \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \approx \frac{1}{\hat{\mu}_A - b_A} = \frac{1}{0.35 - 0.05} = 3.33 \text{ d}$$

(1.18 d w 20°C)

$$T_{gen} \approx \frac{1}{\dot{\mu} - b}$$

$$\dot{\mu} \downarrow \Rightarrow T_{gen} \uparrow$$

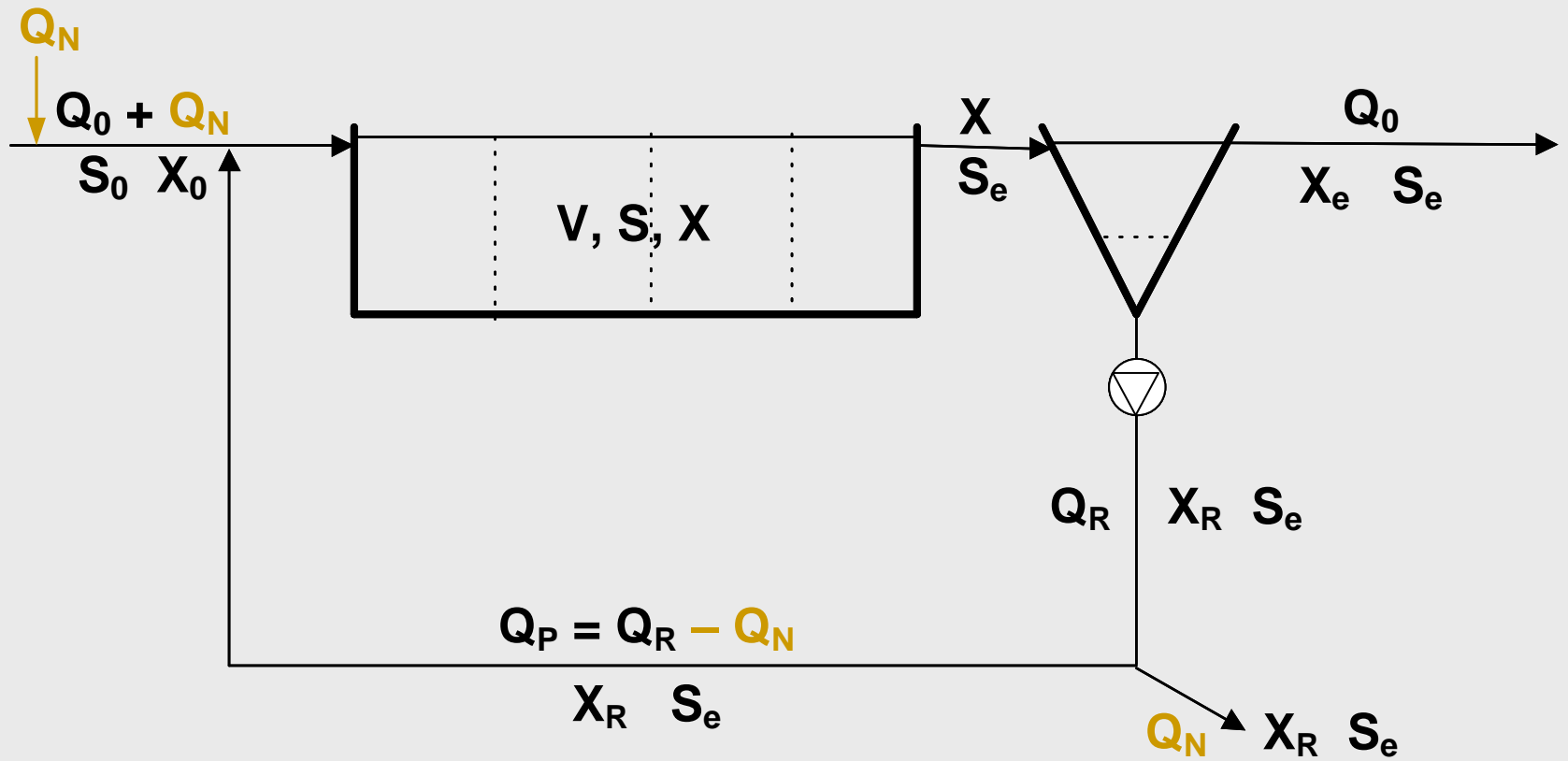


Niezbędny W_x rośnie

OSAD CZYNNY

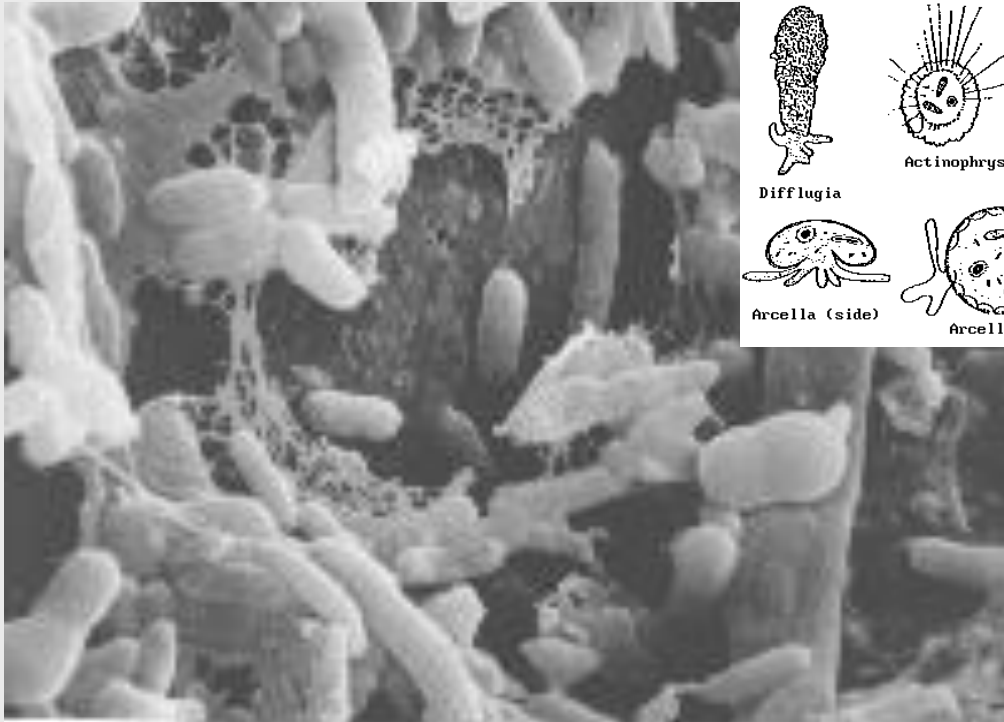
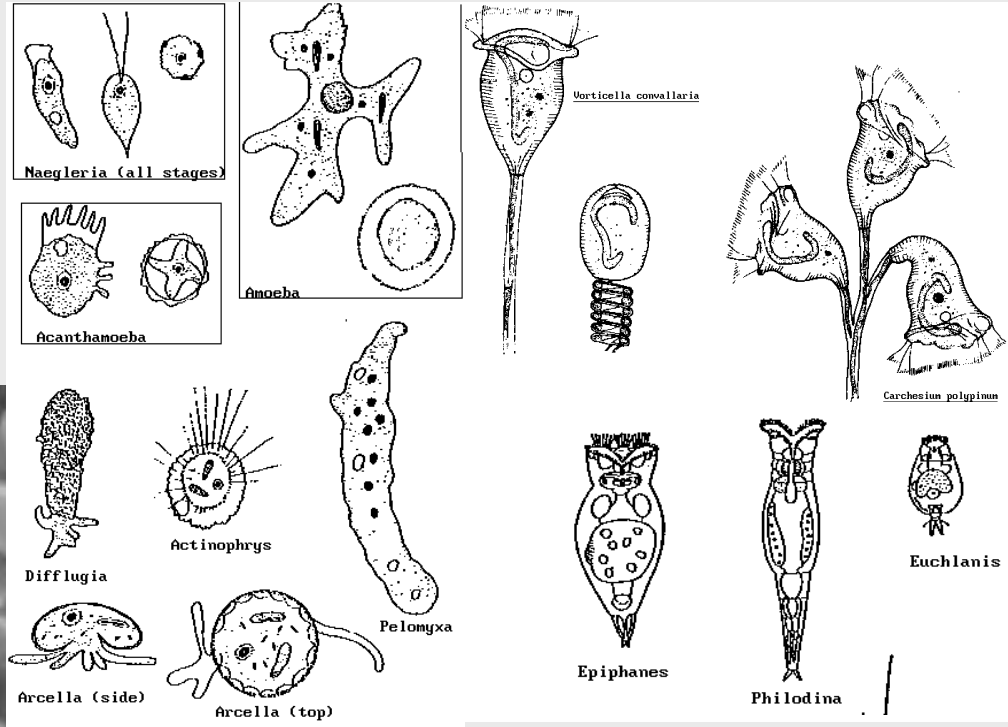


IDEA PROCESU OSADU CZYNNEGO



Mikroorganizmy osadu czynnego

Pierwotniaki



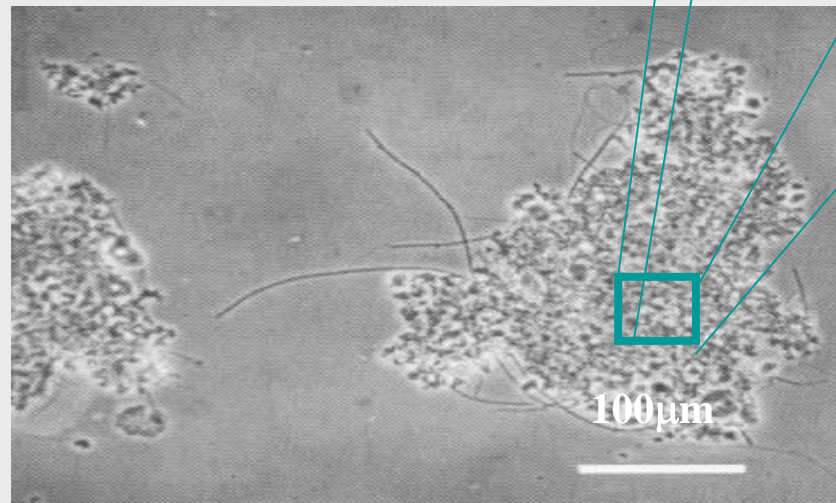
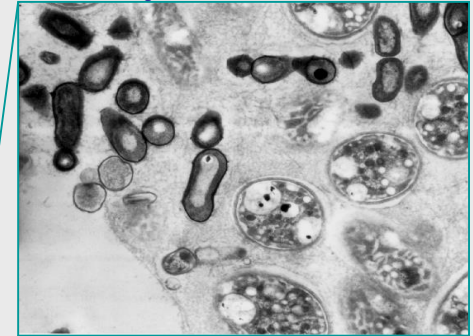
Bakterie



Czym jest osad czynny ?

- Sflokulowana masa mikroorganizmów (głównie bakterii) oraz martwej materii organicznej i nieorganicznej
- Wielkość kłaczków $\sim 10\text{-}300\mu\text{m}$
- Bakterie otoczone substancją polimerową
- Złożony system heterogeniczny

Powiększenie 15000 x



OSAD CZYNNY



Można oddzielić od ścieków przez sedymentację

KOMORA OSADU CZYNNEGO



Napowietrzanie sprężonym powietrzem

KOMORA OSADU CZYNNEGO



Napowietrzanie sprężonym powietrzem

KOMORA OSADU CZYNNEGO



Napowietrzanie aeratorem mechanicznym o wale pionowym

KOMORA OSADU CZYNNEGO



Napowietrzanie aeratorem mechanicznym o wale poziomym

SEDYMENTACJA WTÓRNA



Oddzielenie osadu czynnego od oczyszczonych ścieków

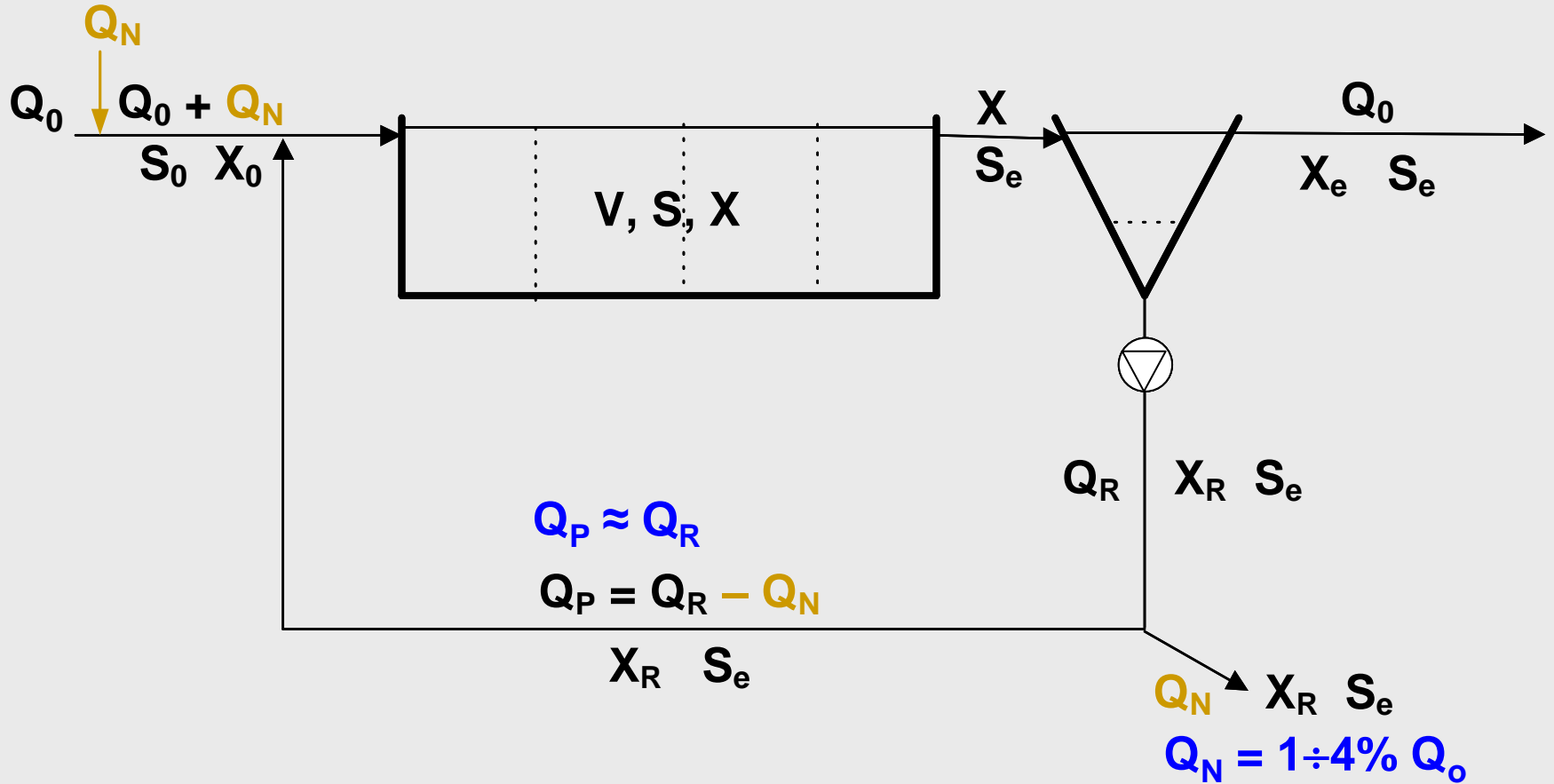
OSADNIK WTÓRNY - radialny



PROCES OSADU CZYNNEGO



ISTOTA PROCESU OSADU CZYNNEGO



$$Q_R = 50 \div 100\% Q_0 \quad (150\%)$$

$$\alpha = Q_R / Q_0$$

V – objętość KOCZ, m³

Q₀, Q_R, Q_N – natężenia przepływu, m³/d

S₀ – stężenia zanieczyszczeń rozpuszczonych w ściekach surowych, g/m³ (BZT₅^{rozp}, ChZT^{rozp}, N^{rozp}, P^{rozp}, ...)

S_e – stężenia zanieczyszczeń rozpuszczonych w ściekach oczyszczonych, g/m³ (BZT₅^{rozp}, ChZT^{rozp}, N^{rozp}, P^{rozp}, ...)

X₀ – stężenia zanieczyszczeń nierozpuszczonych (zawiesiny i koloidy) w ściekach surowych, g/m³ (BZT₅^{zaw}, ChZT^{zaw}, N^{zaw}, P^{zaw}, ...)

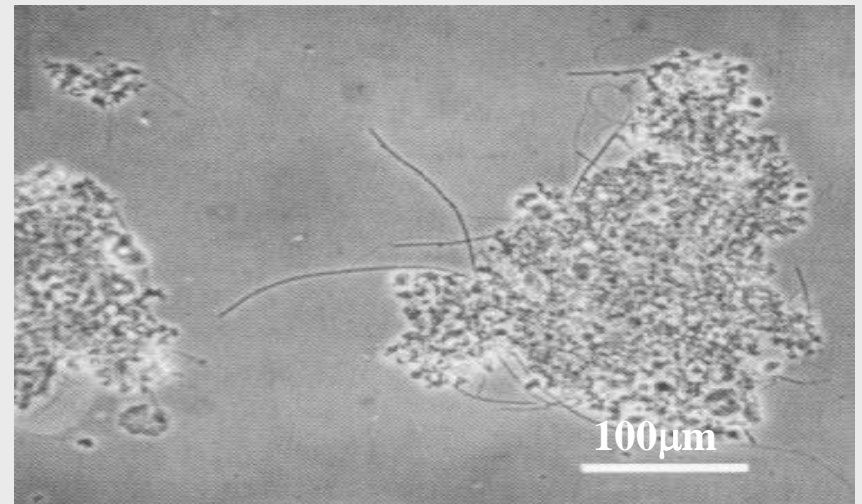
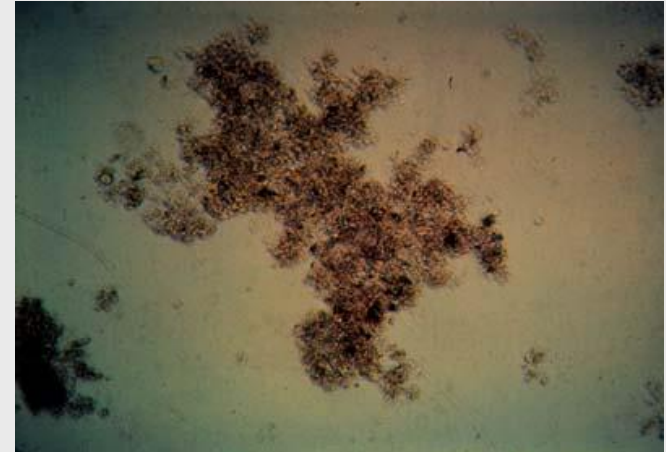
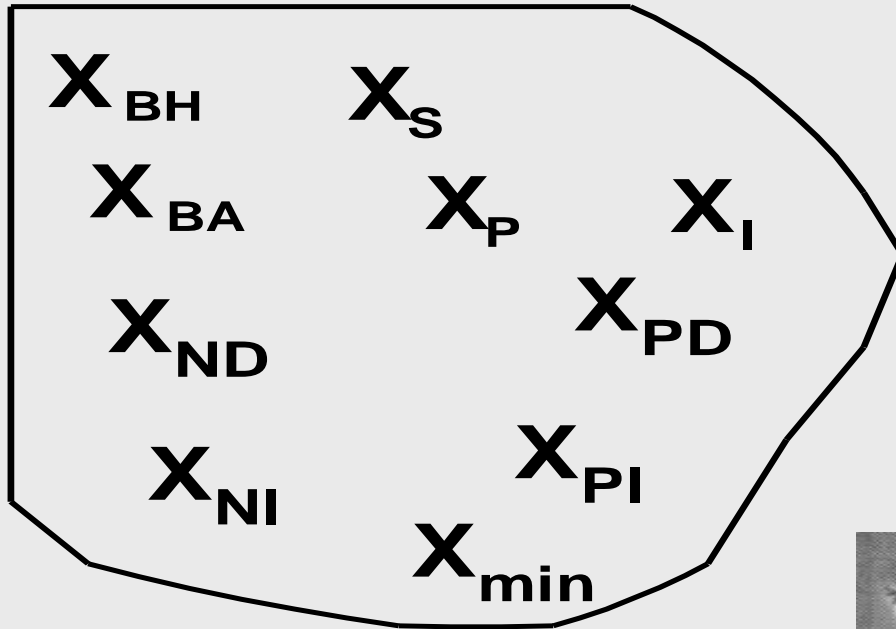
X – stężenie osadu czynnego w KOCZ, g sm/m³

X_R – stężenie osadu recyrkulowanego (powrotnego, nadmierne), g sm/m³

X_e – stężenia zawiesin w ściekach oczyszczonych, g/m³

α – stopień recyrkulacji, (α = Q_R/Q₀) (x 100 to w %)

STRUKTURA OSADU CZYNNRGO

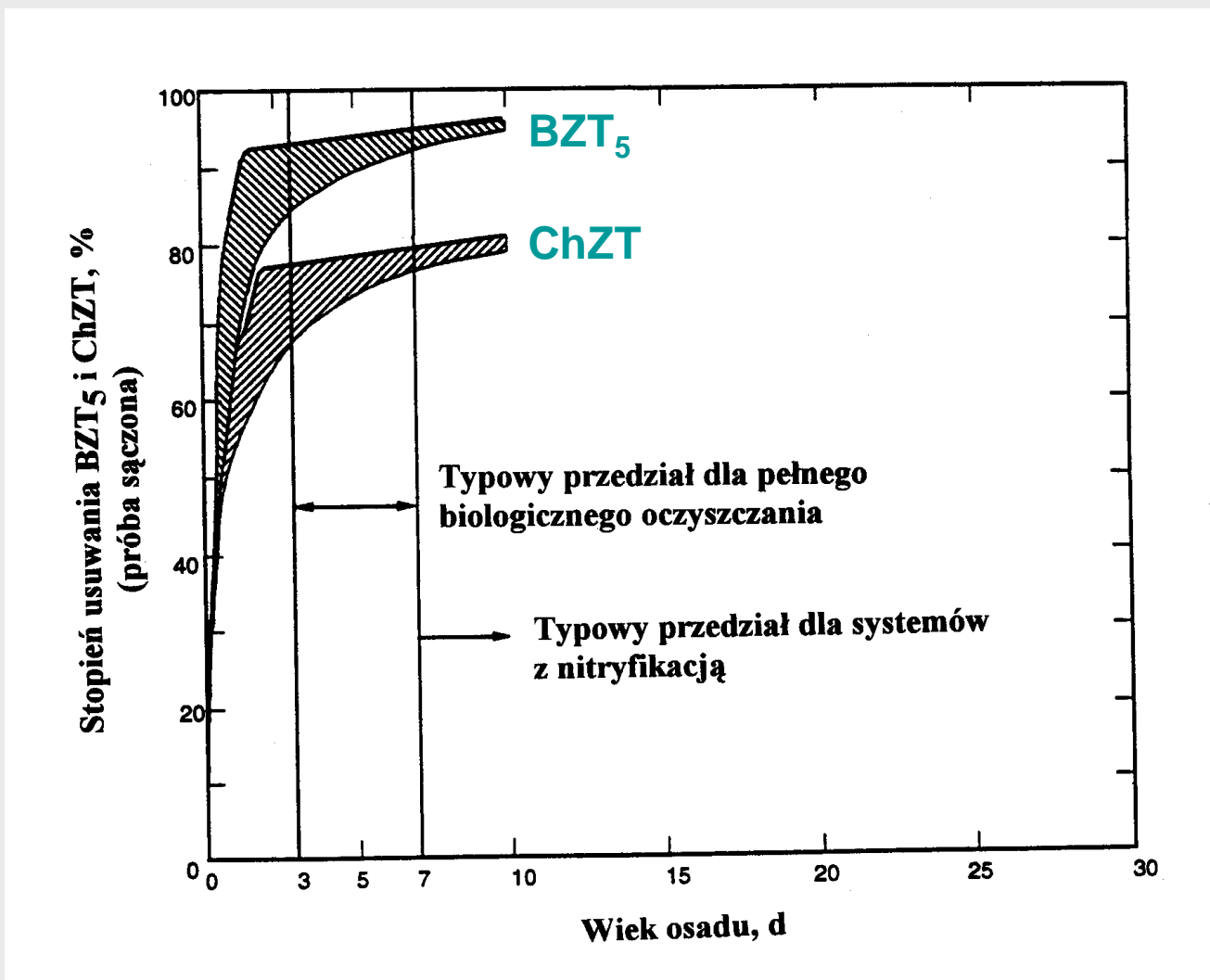


WIEK OSADU

- Średni czas przebywania kłaczków osadu czynnego w komorach osadu czynnego

$$WO = \frac{M_x}{\Delta X} = \frac{V \cdot X}{\Delta X}, d$$

Efekty oczyszczania są funkcją WO



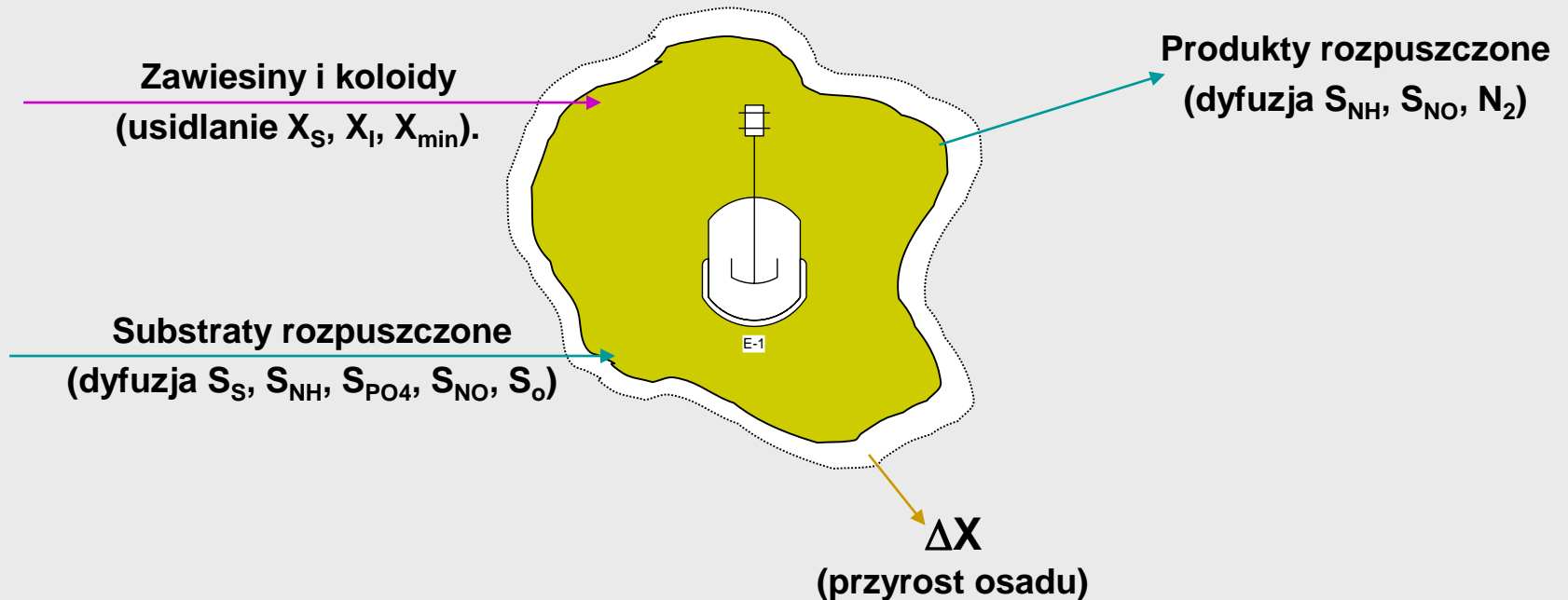
Wiek osadu (WO) przyjmuje się zależnie od niezbędnych efektów oczyszczania ścieków.

HYDRAULICZNY CZAS PRZETRZYMANIA

- Średni czas przebywania ścieków w komorach osadu czynnego

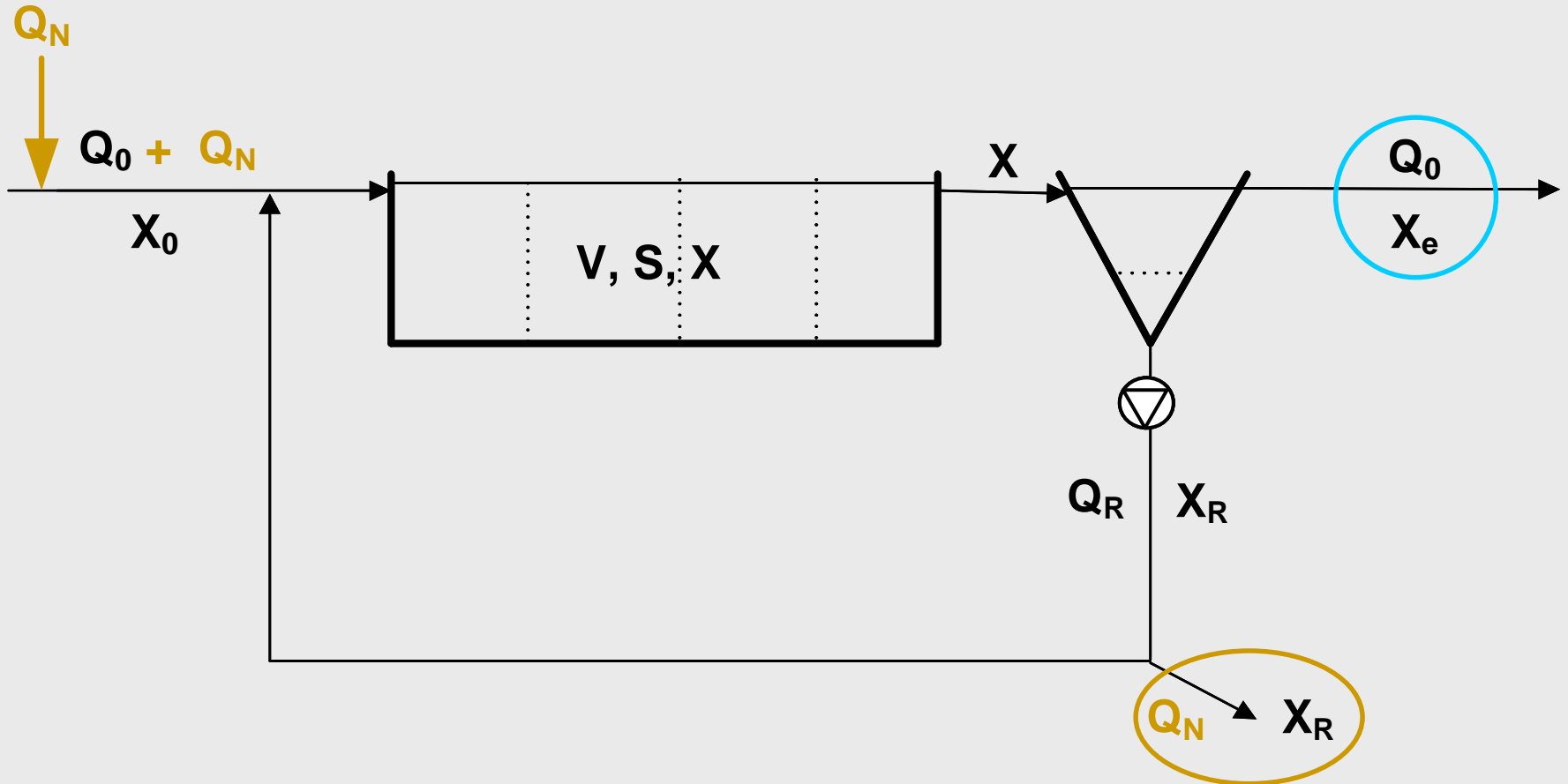
$$T = \frac{V}{Q_0}, d$$

Kłaczek osadu to „minireaktor”



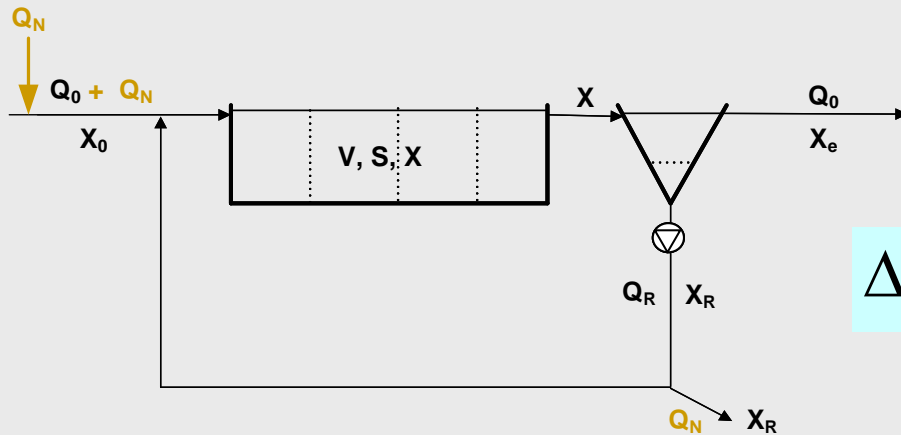
**Kłaczek działa tak długo aż zostanie usunięty z układu
(wiek osadu – wartości rzędu dób)**

Produkcja osadu nadmiernego



$$WO = \frac{M_X}{\Delta X} = \frac{V \cdot X}{\Delta X}, \text{ d} \quad \Delta X = Q_N \cdot X_R + Q_0 \cdot X_e, \text{ kg sm/d}$$

Produkcja frakcji organicznej osadu



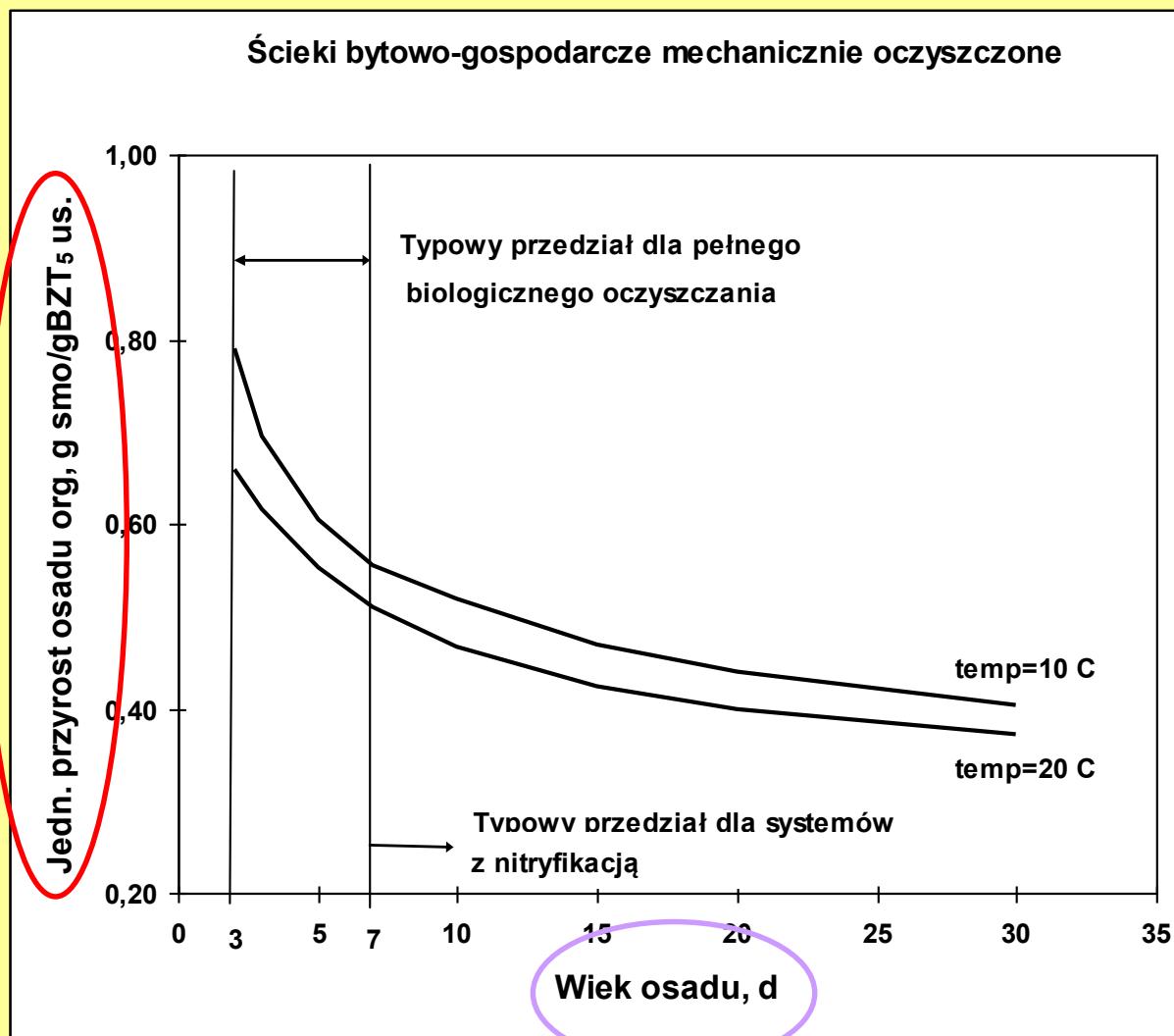
$$\Delta X = Q_N \cdot X_R + Q_0 \cdot X_e, \text{ kg sm/d}$$

$$\underbrace{\Delta X}_{\text{kg sm/d}} = \underbrace{\Delta X_{BH} + \Delta X_{BA} + \Delta X_S}_{\substack{\text{frakcja biologicznie rozkladalna} \\ \text{kg sm/d} \\ \text{kg smo/d} \\ \text{kg ChZT/d} \\ \text{kg BZT}_5/\text{d}}} + \underbrace{\Delta X_{org}}_{\substack{\text{frakcja biologicznie nierozkladalna} \\ \text{kg sm/d} \\ \text{kg smo/d} \\ \text{kg ChZT/d}}} + \underbrace{\Delta X_{\min}}_{\substack{\text{frakcja mineralna} \\ \text{kg sm/d}}}$$

$$\Delta X_{org} = \underbrace{\Delta X_{j,org}}_{\text{kg smo/kg BZT}_{5,us}} \cdot \underbrace{f_{us,BZT_5}}_{\text{kg BZT}_5/\text{d}}, \text{ kg smo/d}$$

Produkcja frakcji organicznej zależy od WO

$$\Delta X_{org} = \Delta X_{j,org} \cdot L_{us,BZT_5}, \text{ kg smo/d}$$



$$\Delta X_{j,org} = f(WO)$$

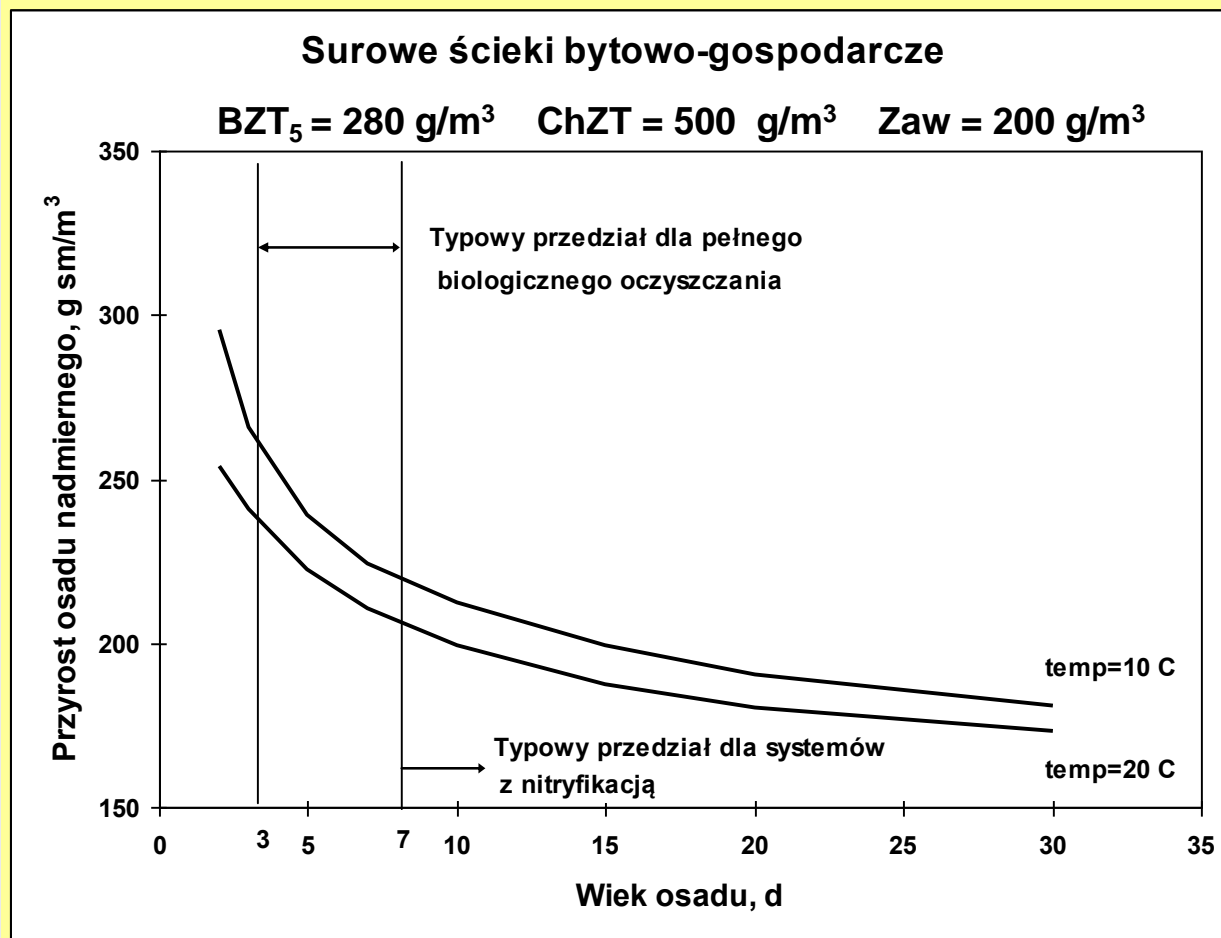
Produkcja frakcji organicznej osadu c.d.

$$\underbrace{\Delta X}_{\text{kg sm/d}} = \underbrace{\Delta X_{BH} + \Delta X_{BA} + \Delta X_S}_{\substack{\text{frakcja biologicznie rozkladalna} \\ \text{kg sm/d} \\ \text{kg smo/d} \\ \text{kg ChZT/d} \\ \text{kg BZT}_5/\text{d}}} + \overbrace{\underbrace{\Delta X_P + \Delta X_I}_{\substack{\text{frakcja biologicznie nierozkladalna} \\ \text{kg sm/d} \\ \text{kg smo/d} \\ \text{kg ChZT/d}}}}^{\Delta X_{org}} + \underbrace{\Delta X_{min}}_{\substack{\text{frakcja mineralna} \\ \text{kg sm/d}}}$$

$$\Delta X_I = \underbrace{Q_0}_{\text{m}^3/\text{d}} \cdot \underbrace{X_I}_{\text{g smo/m}^3}, \text{ g smo/d}$$

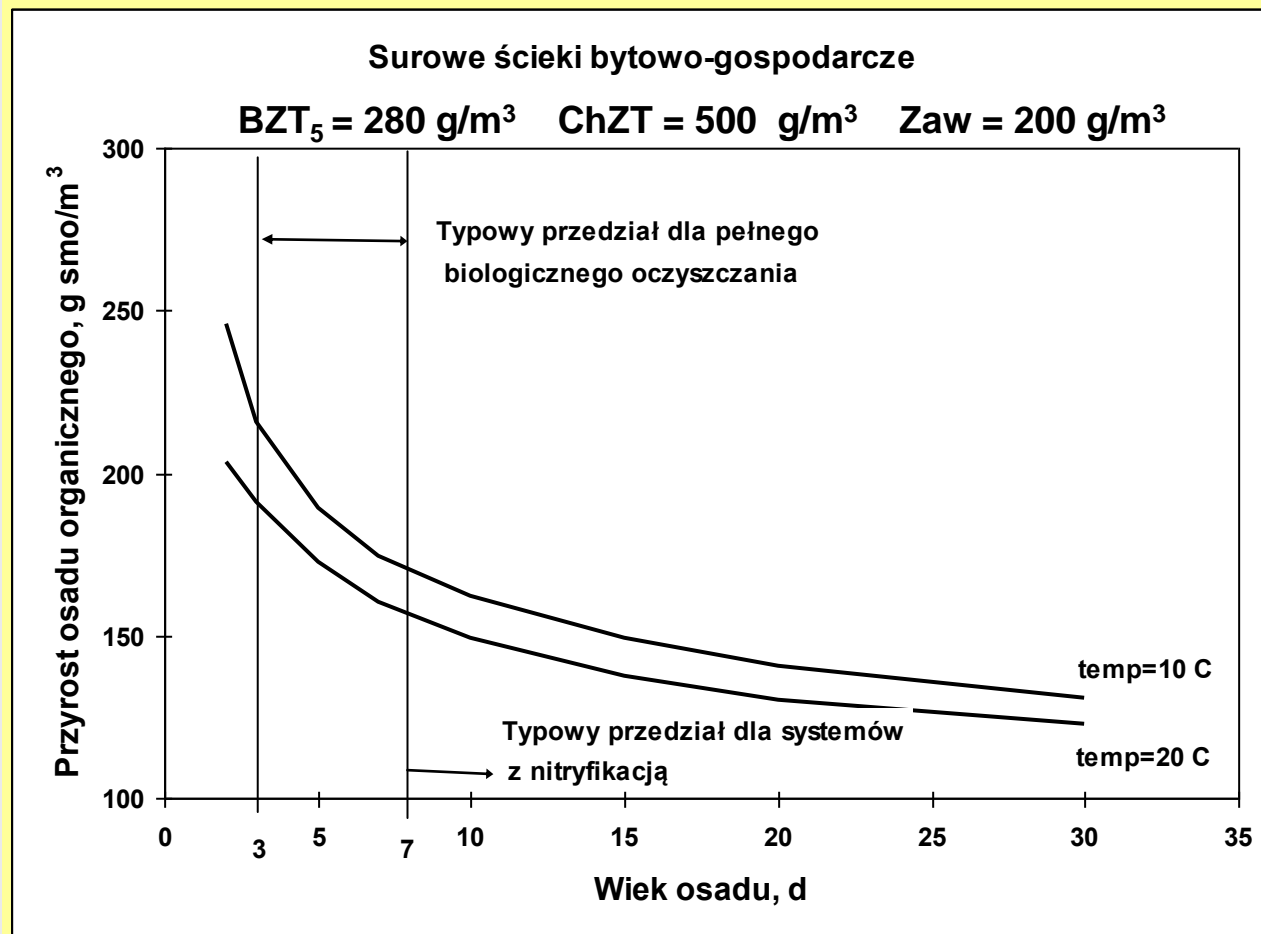
$$\Delta X_{min} = \underbrace{Q_0}_{\text{m}^3/\text{d}} \cdot \underbrace{X_{min}}_{\text{g sm/m}^3}, \text{ g sm/d}$$

Przyrost osadu jest malejącą funkcją WO



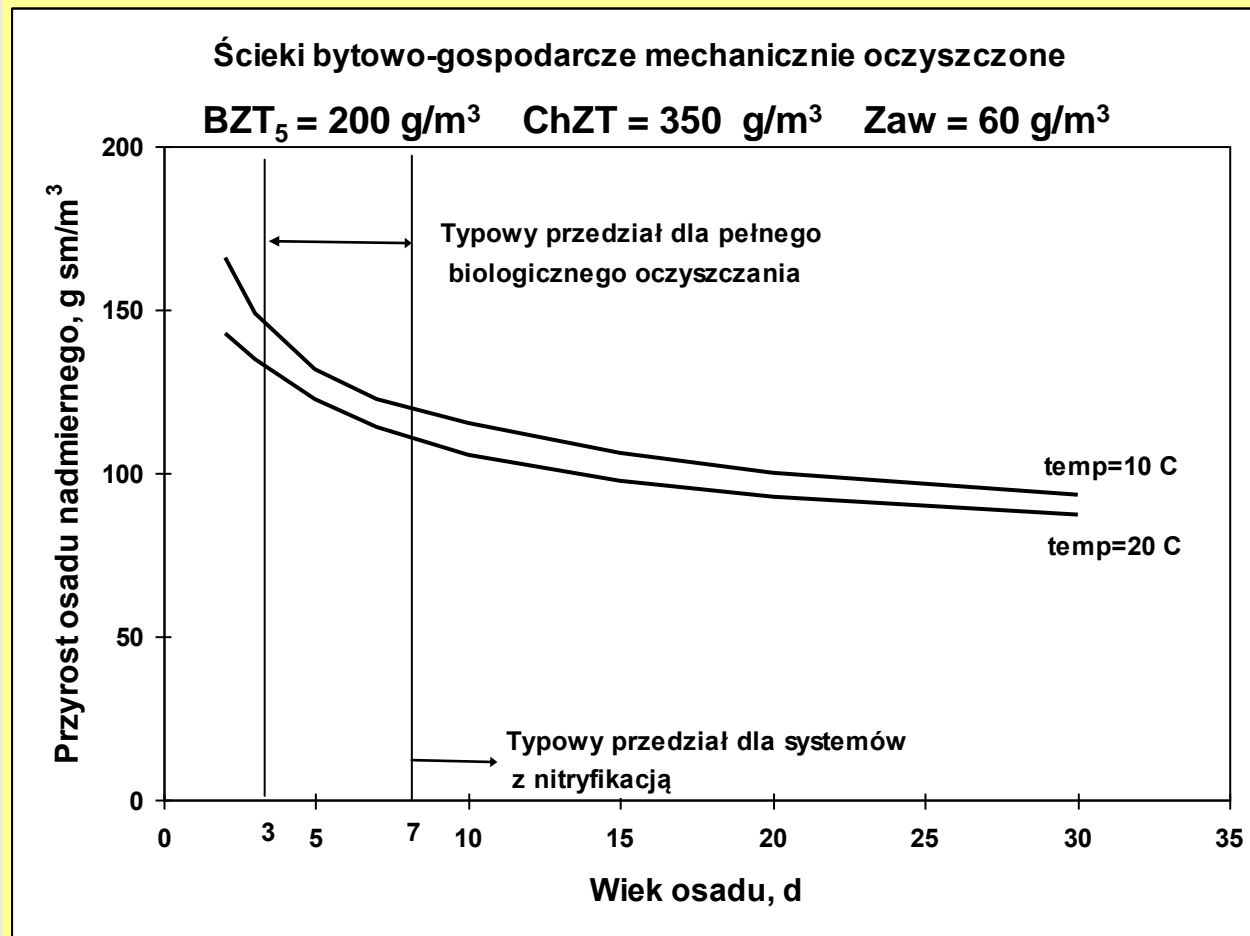
Przyrost przeliczony na 1 m^3 ścieków oczyszczonych

Przyrost frakcji organicznej osadu jest malejącą funkcją WO



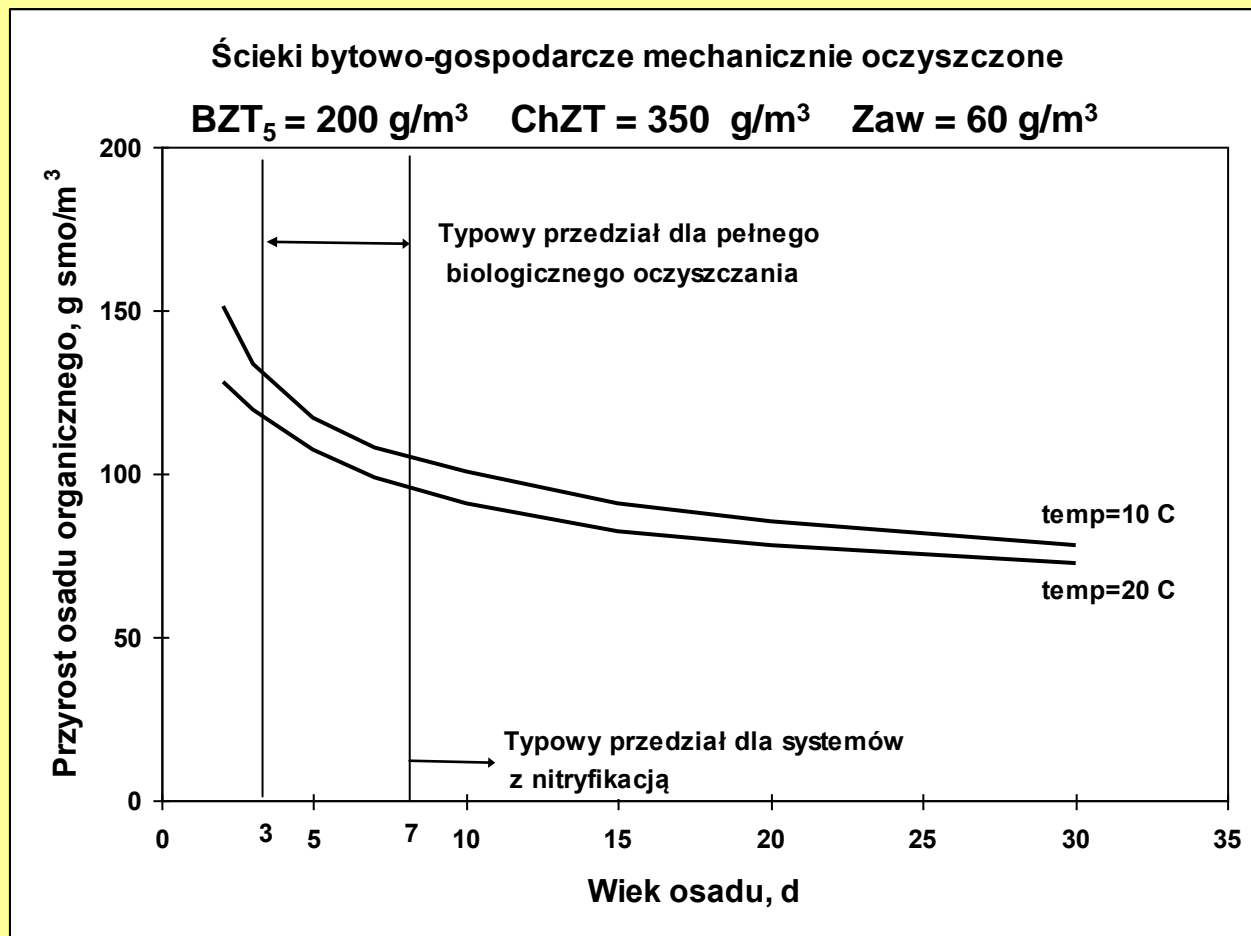
Przyrost przeliczony na 1 m^3 ścieków oczyszczonych

Przyrost osadu jest malejącą funkcją WO



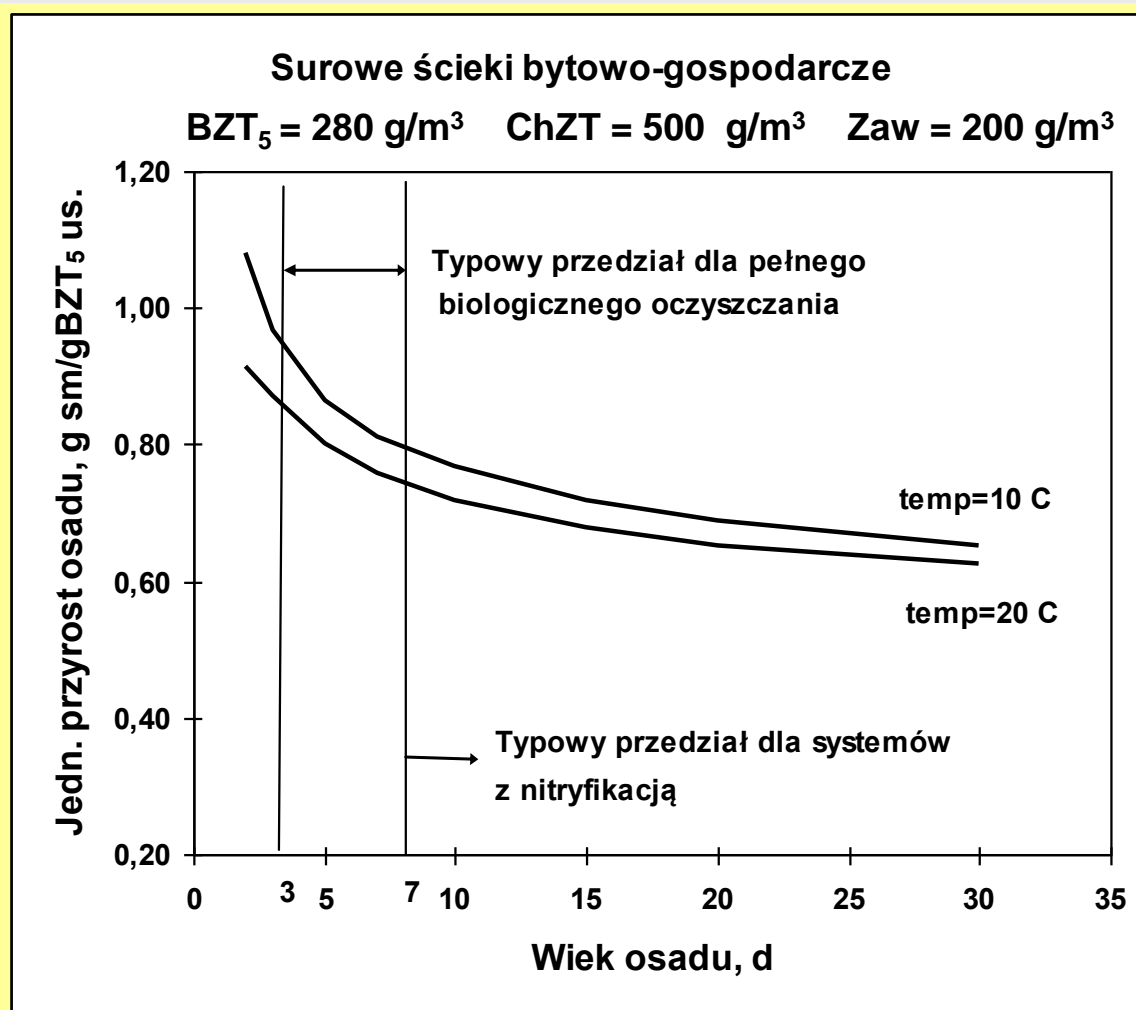
Przyrost przeliczony na 1 m³ ścieków oczyszczonych

Przyrost frakcji organicznej osadu jest malejącą funkcją WO



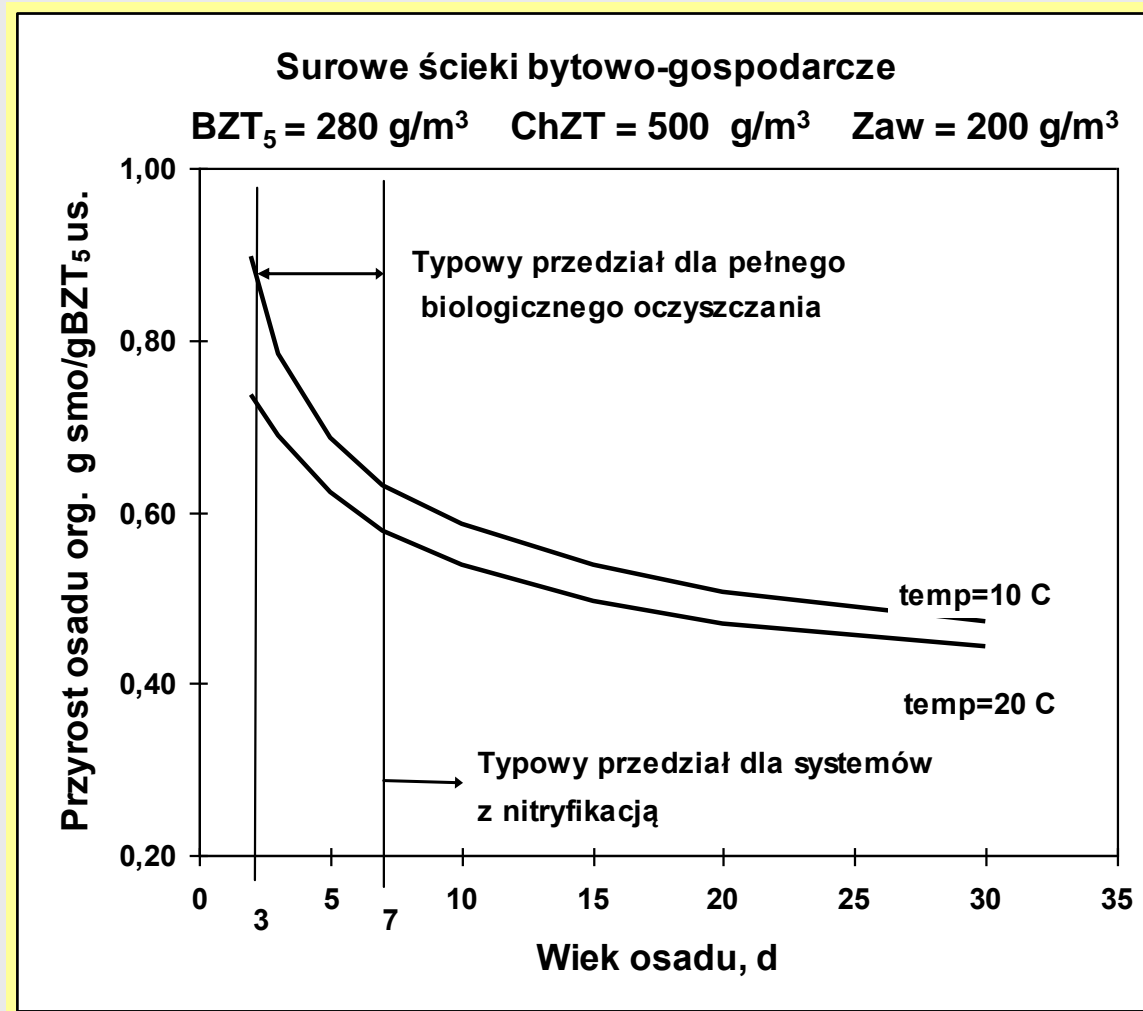
Przyrost przeliczony na 1 m^3 ścieków oczyszczonych

Przyrost osadu jest malejącą funkcją WO



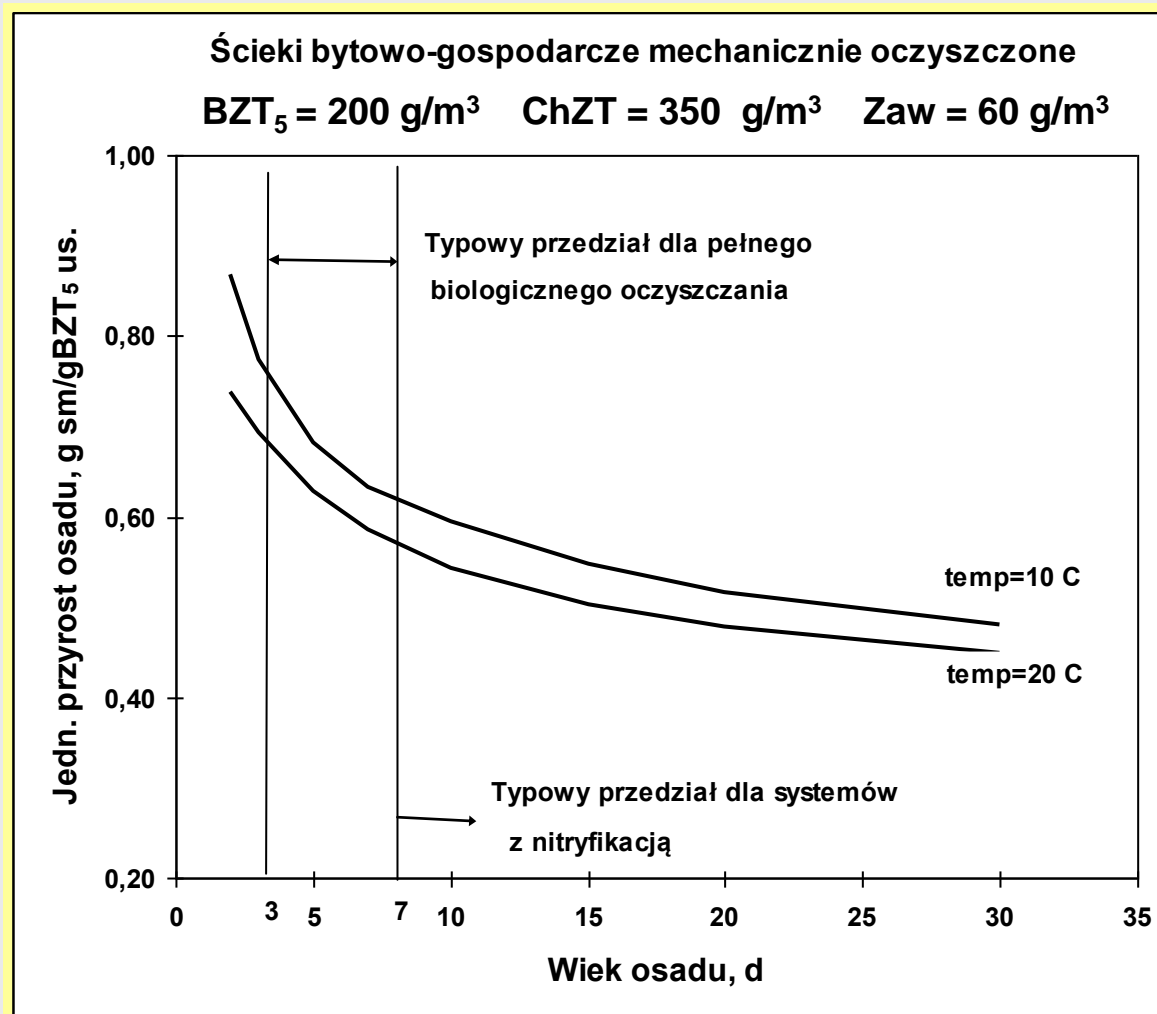
Przyrost przeliczony na 1 g usuniętego BZT₅

Przyrost frakcji organicznej osadu jest malejącą funkcją WO



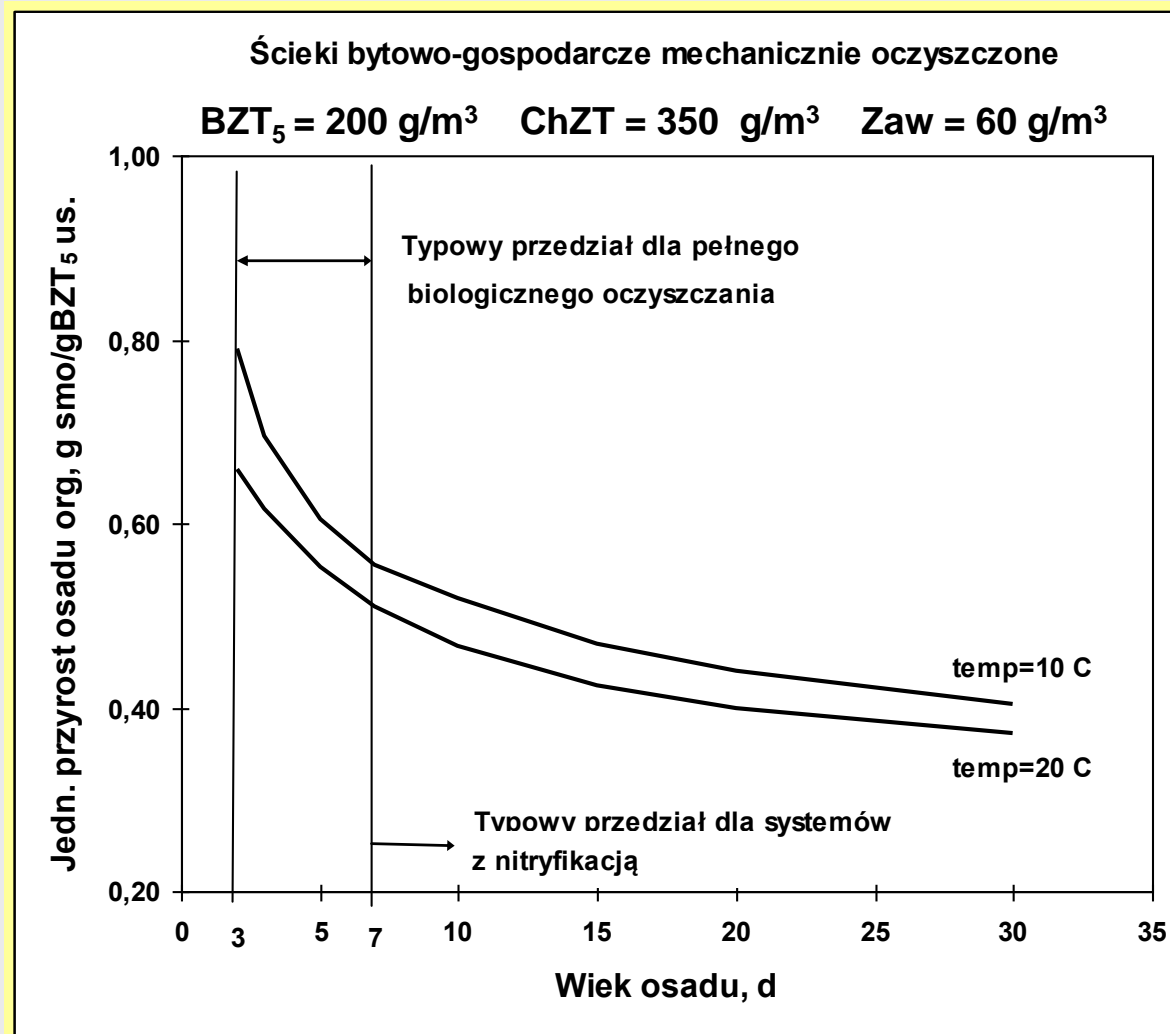
Przyrost przeliczony na 1 g usuniętego BZT₅

Przyrost osadu jest malejącą funkcją WO



Przyrost przeliczony na 1 g usuniętego BZT₅

Przyrost frakcji organicznej osadu jest malejącą funkcją WO



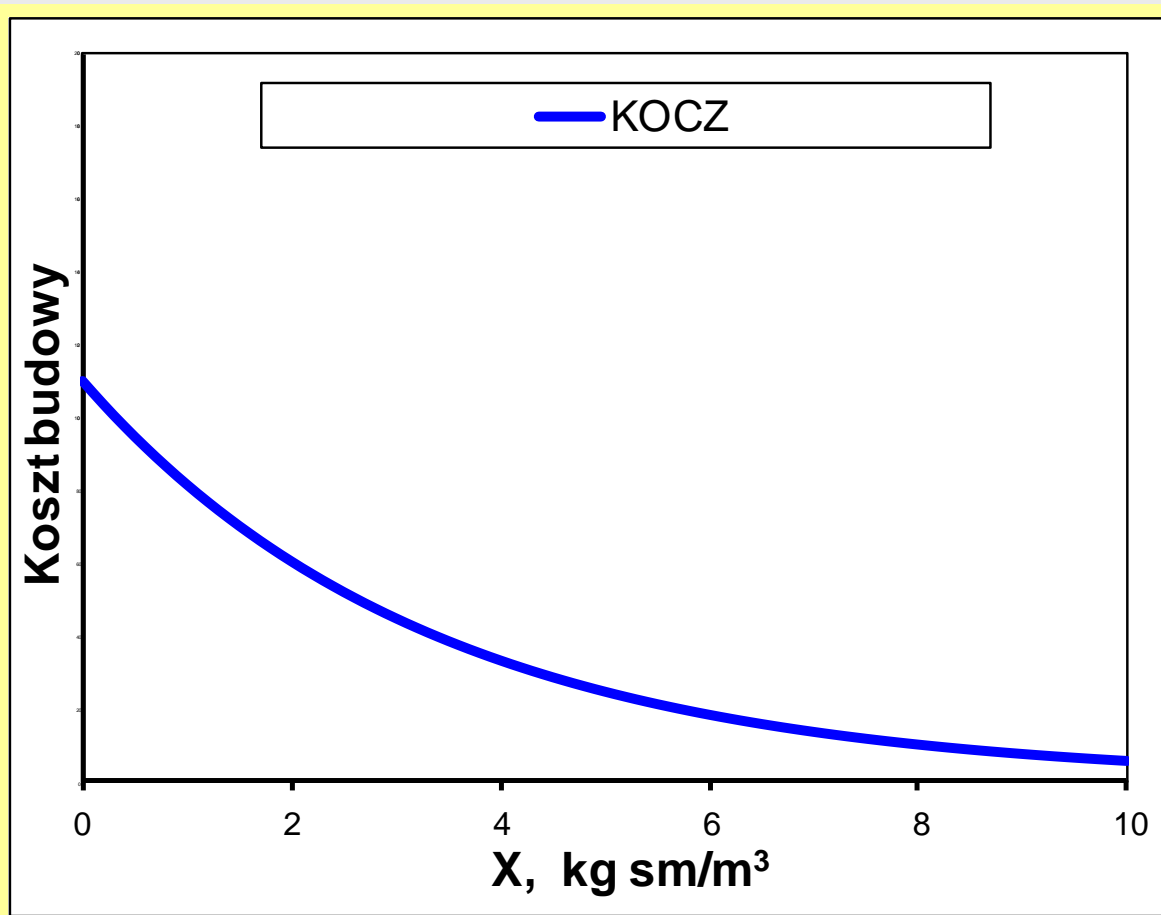
Przyrost przeliczony na 1 g usuniętego BZT₅

Niezbędna masa osadu czynnego w KOCZ

$$M_X = WO \cdot \Delta X = V \cdot X$$

Małe V \Rightarrow duże X

Duże V \Rightarrow małe X

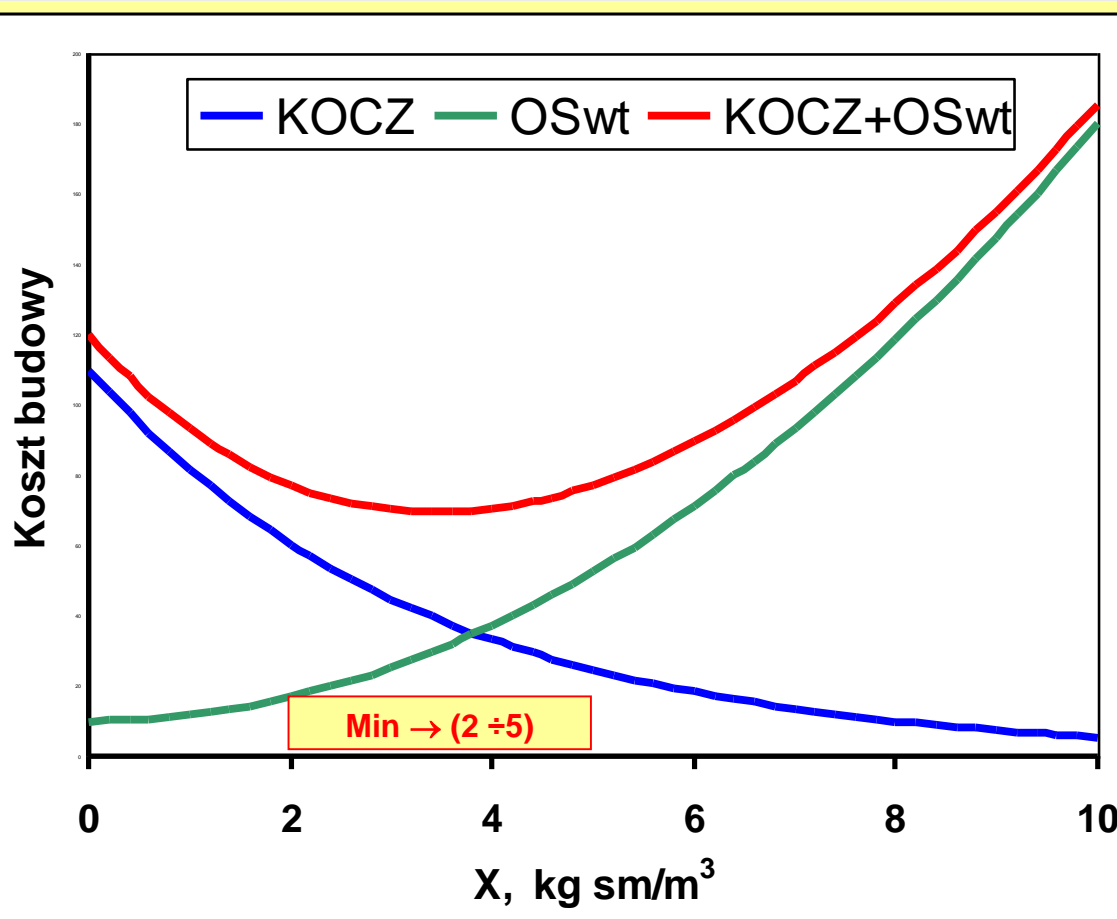


Niezbędna masa osadu czynnego w KOCZ

$$M_X = WO \cdot \Delta X = V \cdot X$$

Małe V \Rightarrow duże X

Duże V \Rightarrow małe X



$$A_{wt} = \frac{(Q_0 + Q_P)X}{G_L} \quad [m^2]$$

G_L - limitujący strumień zawiesin
(obciążenie pow. zawiesiną)
 $\sim (1500 \div 3000) \text{ g sm/m}^2 \text{ h}$

Minimum kosztów w przedziale
 $\sim (2 \div 5) \text{ kg sm/m}^3$

Najczęściej przyjmujemy
3 kg sm/m³

Niezbędna objętość KOCZ

$$V = \frac{M_X}{X} = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \quad [m^3]$$

[d] [kg sm/d]

[kg sm/m³]

Hydrauliczny czas przetrzymania w KOCZ

$$T = \frac{V}{Q_0}$$

[d] [m³]

[h]

[m³/h]

Kilka do kilkunastu (kilkudziesięciu) godzin

- zależnie od WO i przyjętego X
- nie powinien być krótszy od ~3h

Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń

$$O_{os} = \frac{Q_0 \cdot BZT_{5,0}}{M_X} = \frac{\mathcal{L}_{BZT_{5,0}}}{M_X}$$

[m³/ d] [kg BZT₅/m³] [kg BZT₅/d]

$$O_{os} = \frac{\mathcal{L}_{BZT_{5,0}}}{WO \cdot \Delta X}$$

[kg BZT₅/kg sm d]

[kg sm] = WO · ΔX

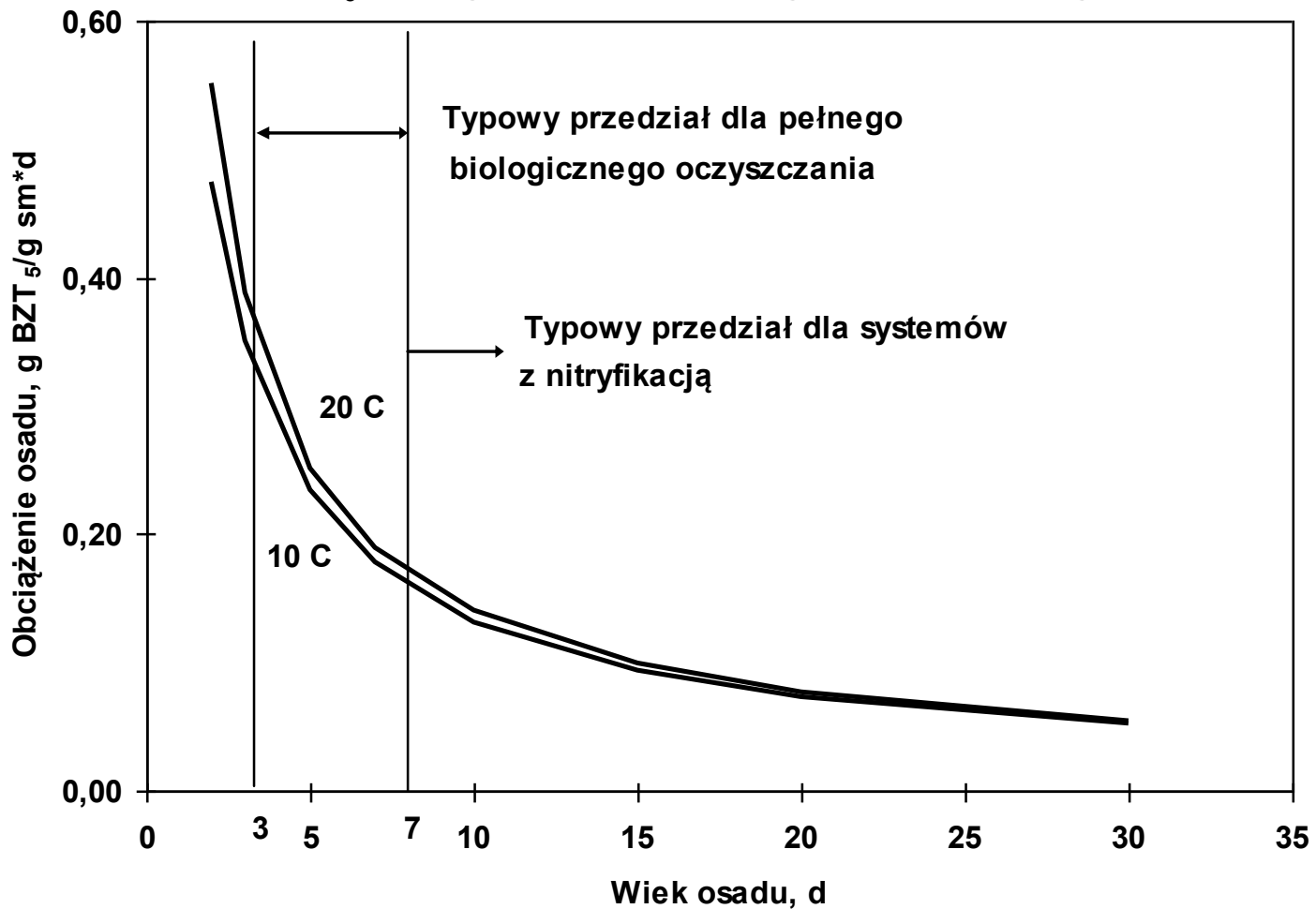
Ilość zanieczyszczeń organicznych (BZT₅) doprowadzanych do KOCZ w jednostce czasu (d), na jednostkę masy osadu w komorze (sm).

Jest to parametr wynikowy - jego wartość wynika z przyjęcia określonego wieku osadu (WO).

$$O_{os} = f(WO)$$

Surowe ścieki bytowo-gospodarcze

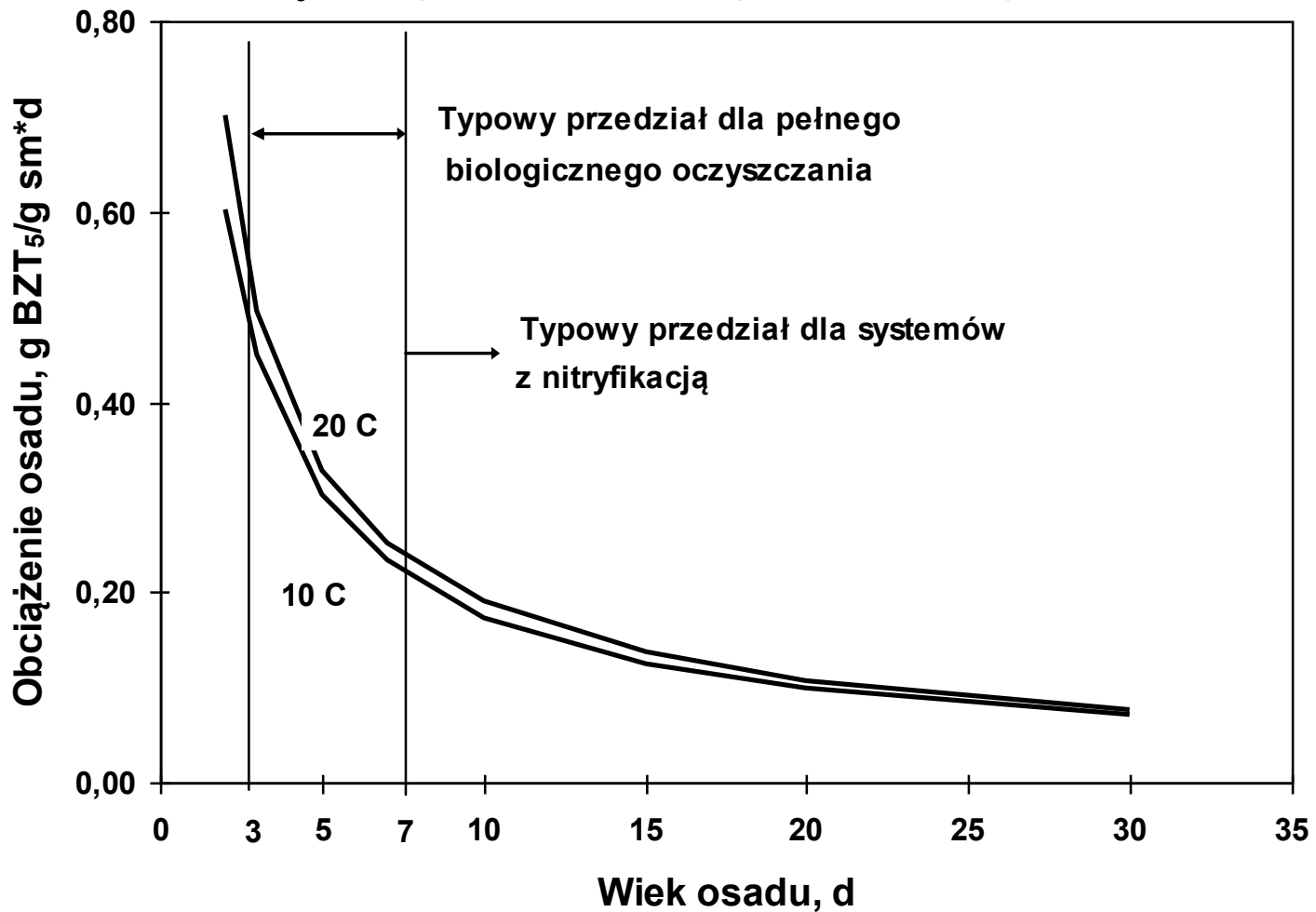
$BZT_5 = 280 \text{ g/m}^3$ $ChZT = 500 \text{ g/m}^3$ $Zaw = 200 \text{ g/m}^3$



$$O_{os} = f(WO)$$

Ścieki bytowo-gospodarcze mechanicznie oczyszczone

$BZT_5 = 200 \text{ g/m}^3$ $ChZT = 350 \text{ g/m}^3$ $Zaw = 60 \text{ g/m}^3$



Obciążenie objętości komory ładunkiem zanieczyszczeń

[m³/ d] [kg BZT₅ /m³] [kg BZT₅ /d]

$$O_K = \frac{Q_0 \cdot BZT_{5,0}}{V} = \frac{L_{BZT_{5,0}}}{V}$$

[m³]

$$= \frac{WO \cdot \Delta X}{X}$$

$$O_K = \frac{L_{BZT_{5,0}}}{\underbrace{WO \cdot \Delta X}_{O_{os}}} \cdot X$$

[g BZT₅/m³ d]

Ilość zanieczyszczeń organicznych (BZT₅) doprowadzanych do KOCZ w jednostce czasu (d), na jednostkę objętości KOCZ (m³).

Jest to parametr wynikowy - jego wartość wynika z przyjęcia określonej objętości KOCZ (V), która zależy od przyjętego wieku osadu (WO) i stężenia osadu w KOCZ (X): $V=WO \cdot \Delta X/X$

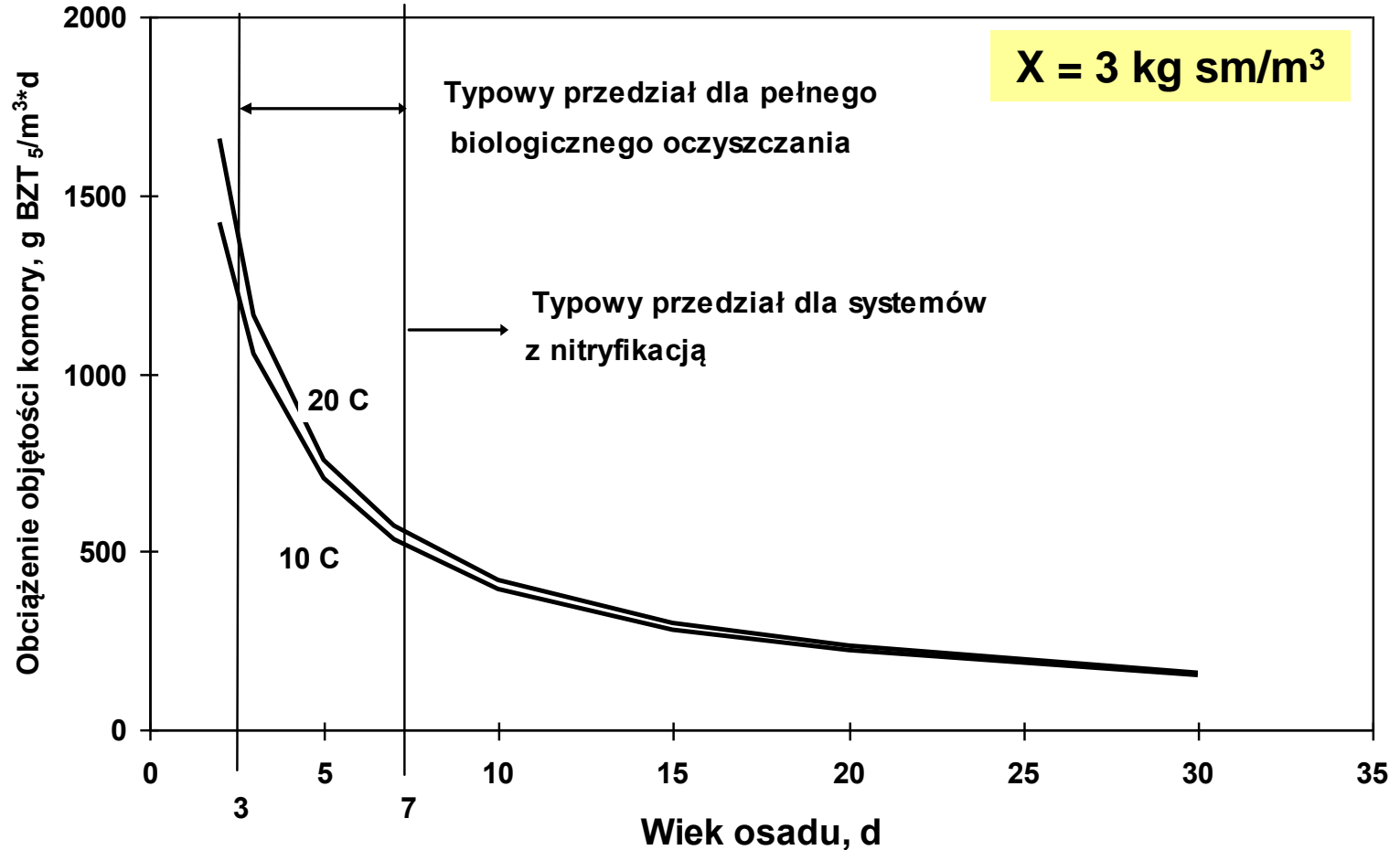
$$O_K = O_{os} \cdot X$$

[g BZT₅/m³ d]

$$O_K = f(WO)$$

Surowe ścieki bytowo-gospodarcze

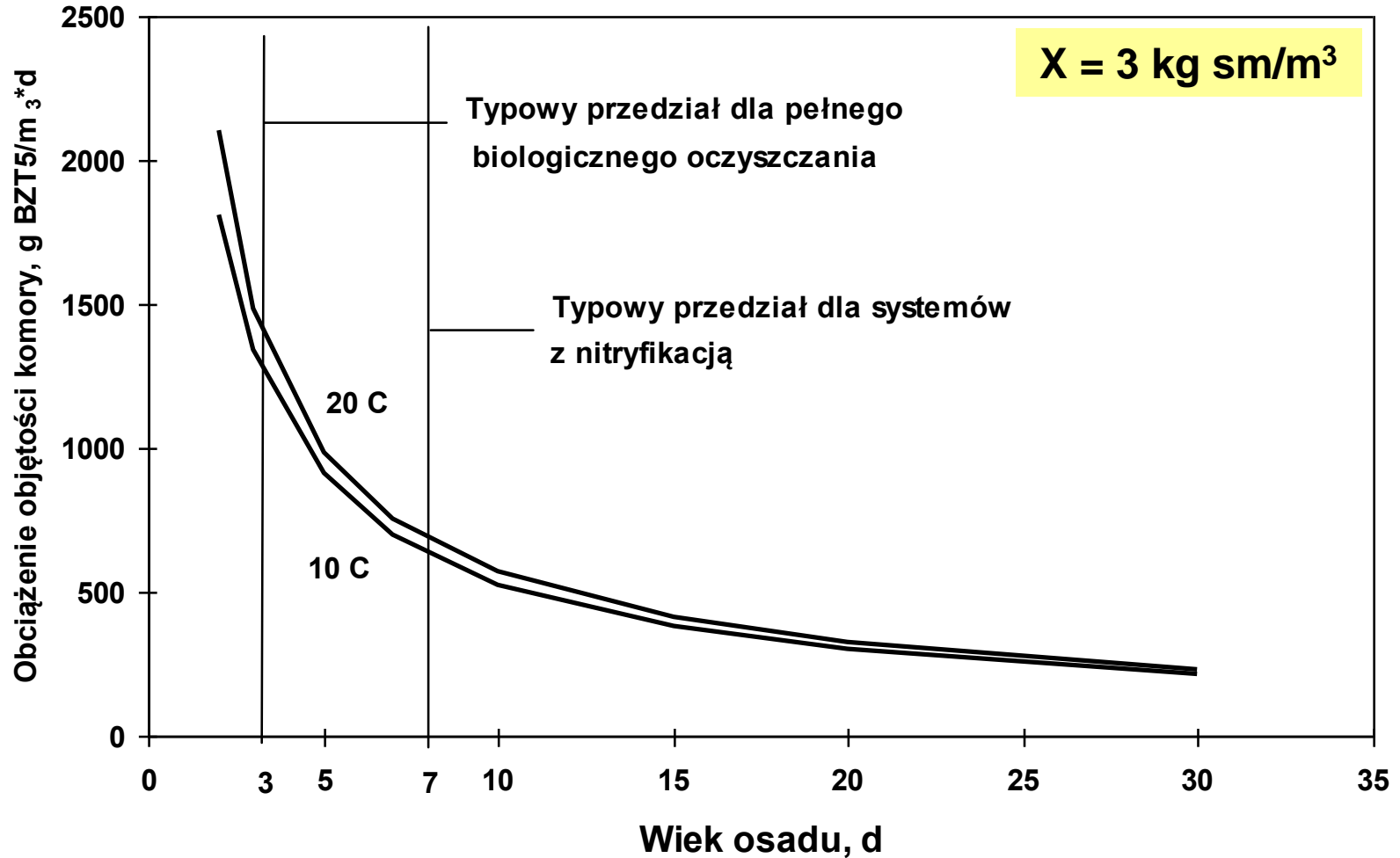
$BZT_5 = 280 \text{ g/m}^3$ $ChZT = 500 \text{ g/m}^3$ $Zaw = 200 \text{ g/m}^3$



$$O_K = f(WO)$$

Ścieki bytowo-gospodarcze mechanicznie oczyszczone

$BZT_5 = 200 \text{ g/m}^3$ $ChZT = 350 \text{ g/m}^3$ $Zaw = 60 \text{ g/m}^3$

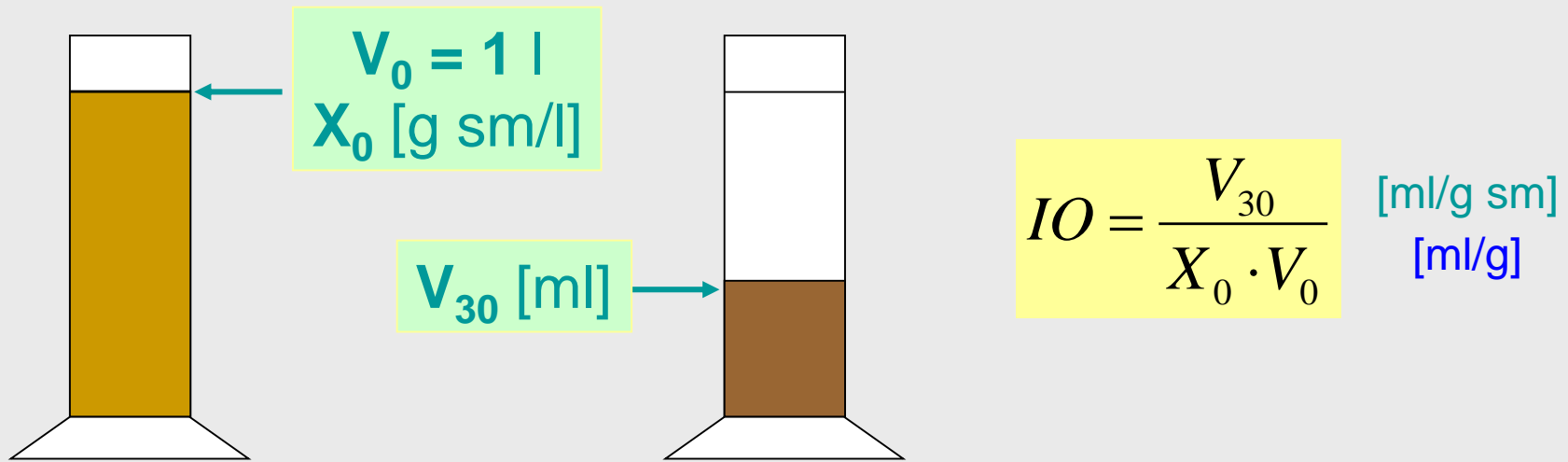


Właściwości sedymentacyjne osadu czynnego

- Działanie procesu osadu czynnego krytycznie zależy od możliwości separacji biomasy od ścieków oczyszczonych w celu uzyskania klarownego odpływu i zawrócenia biomasy do reaktora.
- Znacznie częściej proces osadu czynnego szwankuje z powodu niewydolnej separacji osadu niż kiepskiej pracy komór osadu czynnego.
- Właściwości sedymentacyjne osadu są często słabe i ciągle się zmieniają.

Właściwości sedymentacyjne osadu

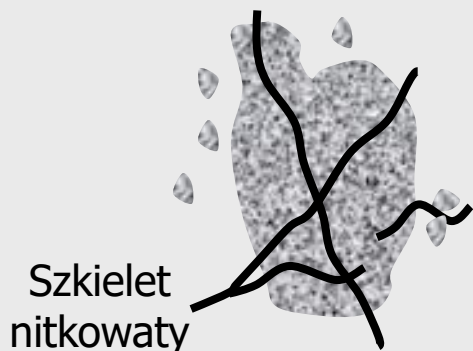
Indeks Oadu (*IO*)



Im lepsze właściwości sedymentacyjne osadu tym mniejszy *IO*

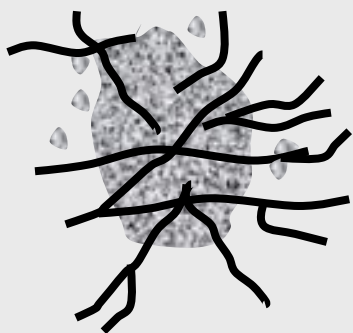
- $IO = < 80 \text{ ml/g} \Rightarrow$ bardzo dobre właściwości sedymentacyjne
- $IO = 80 \div 100 \text{ ml/g} \Rightarrow$ dobre właściwości sedymentacyjne
- $IO = 100 \div 150$ (200) $\text{ ml/g} \Rightarrow$ średnie właściwości sedymentacyjne
- $IO > 150$ (200) $\text{ ml/g} \Rightarrow$ złe właściwości sedymentacyjne

„Idealny”, nie spęczniały (nie nitkowaty) kłaczek osadu czynnego



- Zrównoważona ilość bakterii nitkowatych i zooglealnych
- Silne, duże kłaczk
- Bakterie nitkowate nie przeszkadzają w sedymentacji, zagęszczaniu
- Klarowne ścieki oczyszczone
- **Niski IO**

Spęczniały (nitkowaty) kłaczek osadu czynnego



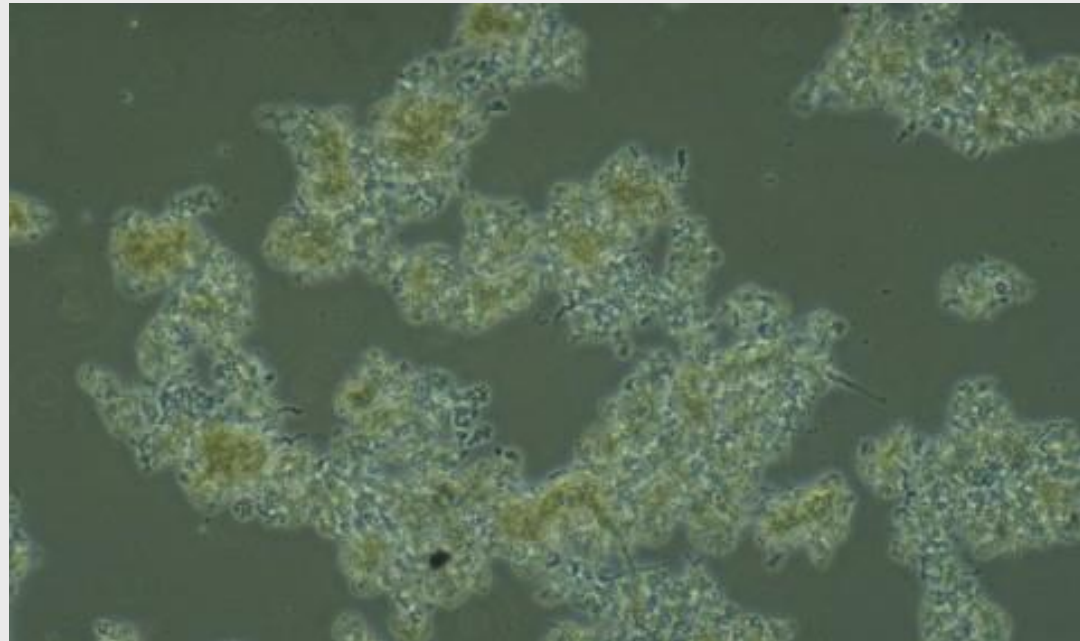
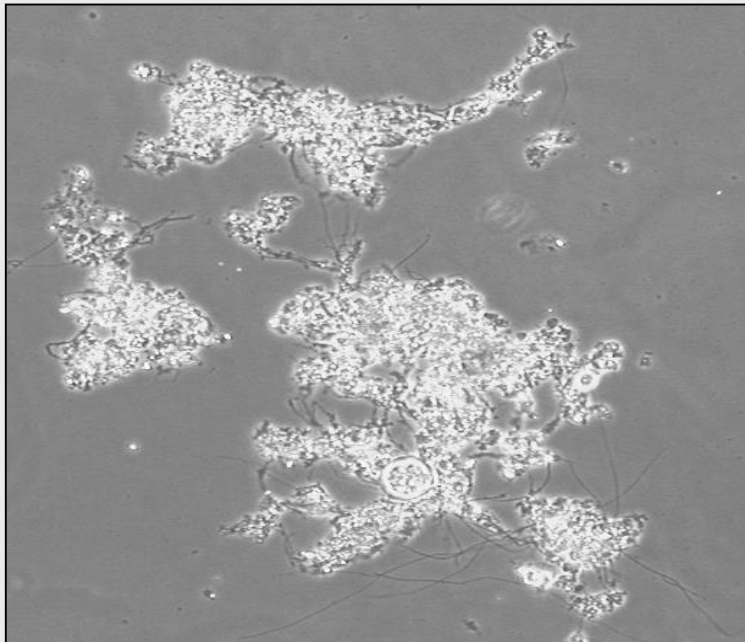
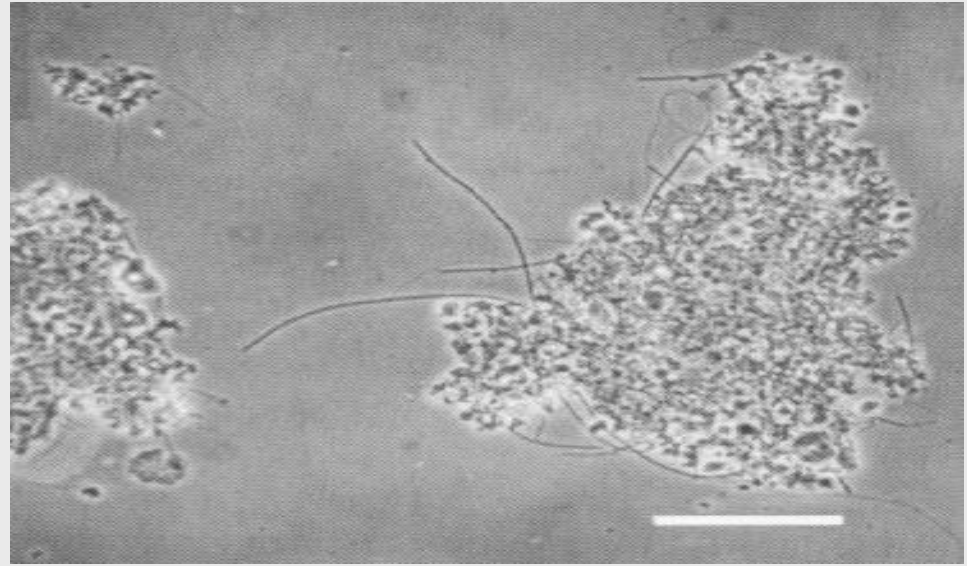
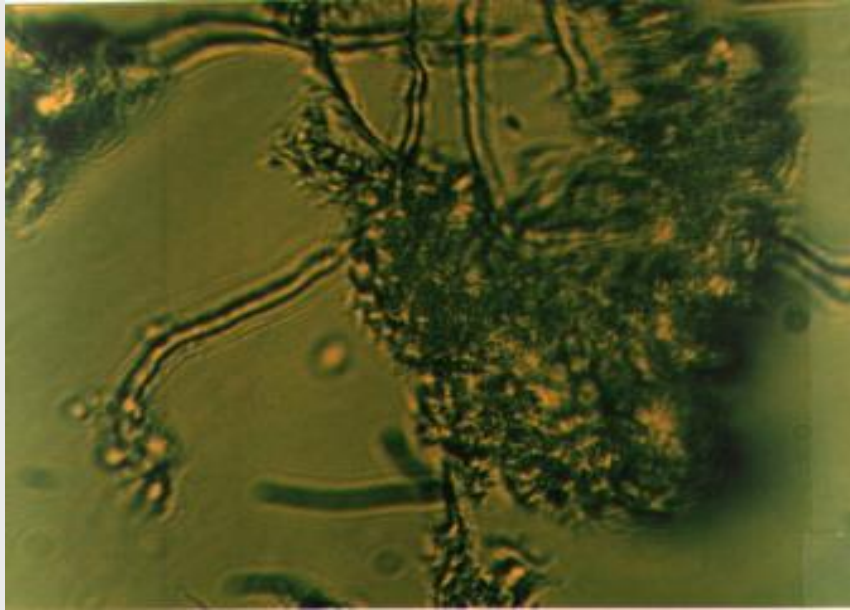
- Dominują bakterie nitkowate
- Silne, duże kłaczk
- Bakterie nitkowate przeszkadzają w sedymentacji, zagęszczaniu
- Klarowne ścieki oczyszczone
- **Wysoki IO**

Kłaczk

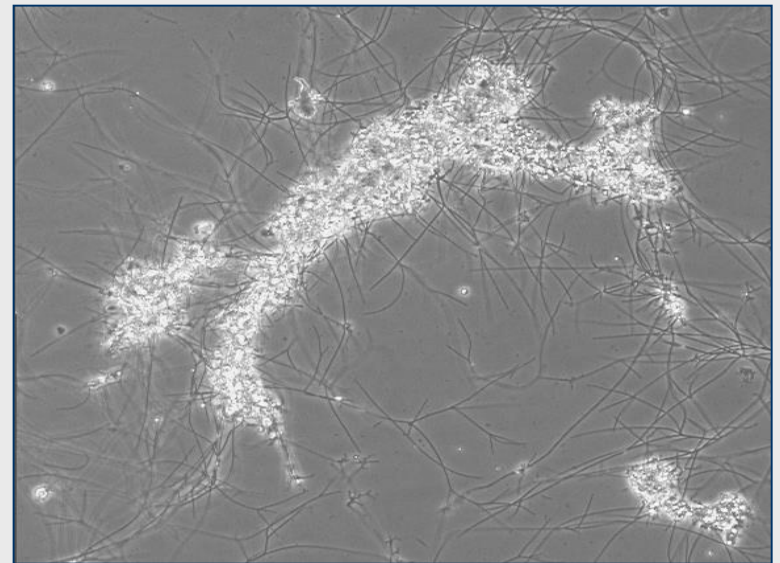
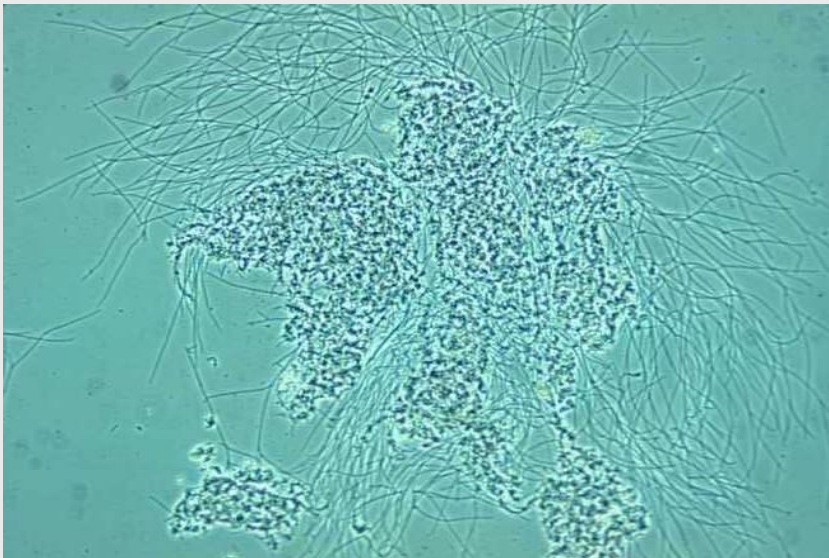
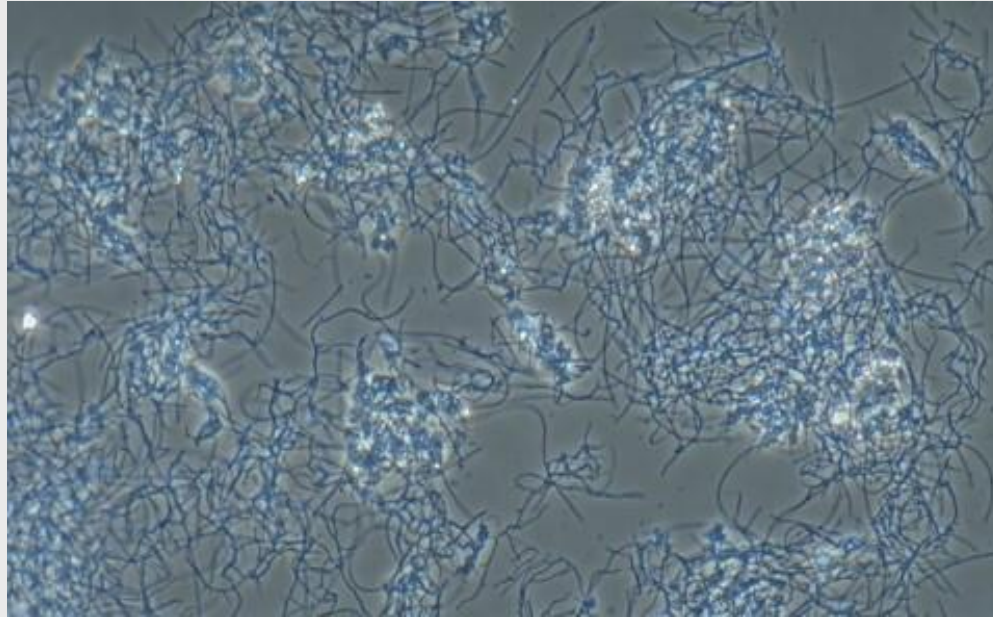


- Mało bakterii nitkowatych
- Słabe, małe kłaczk
- Mętne ścieki oczyszczone
- **Wysoki IO**

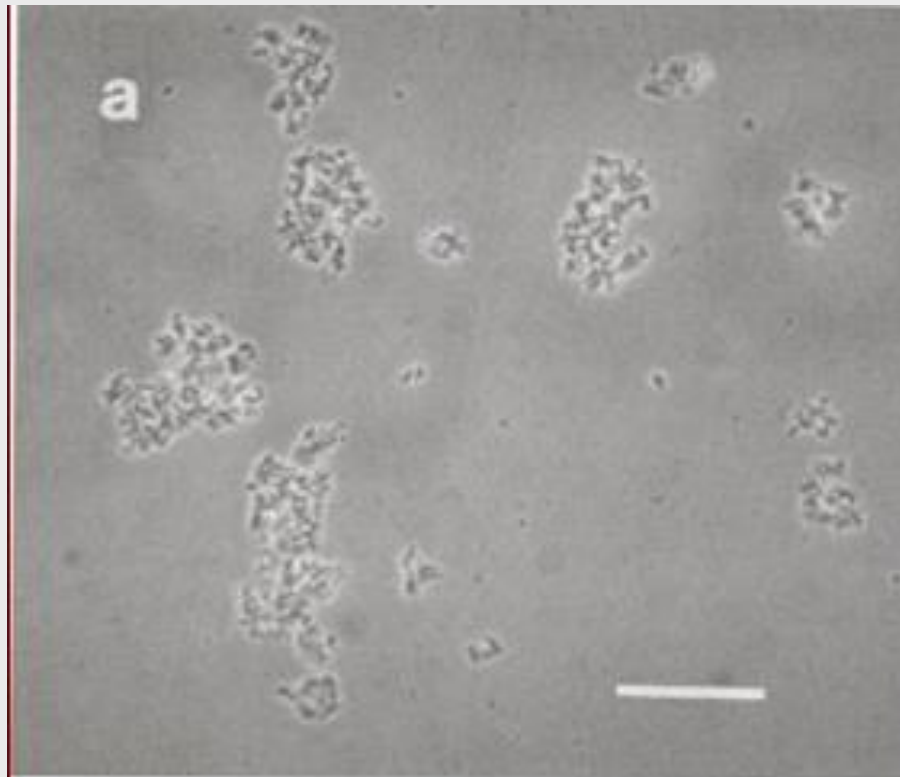
Osad nie spęczniały (zooglealny)



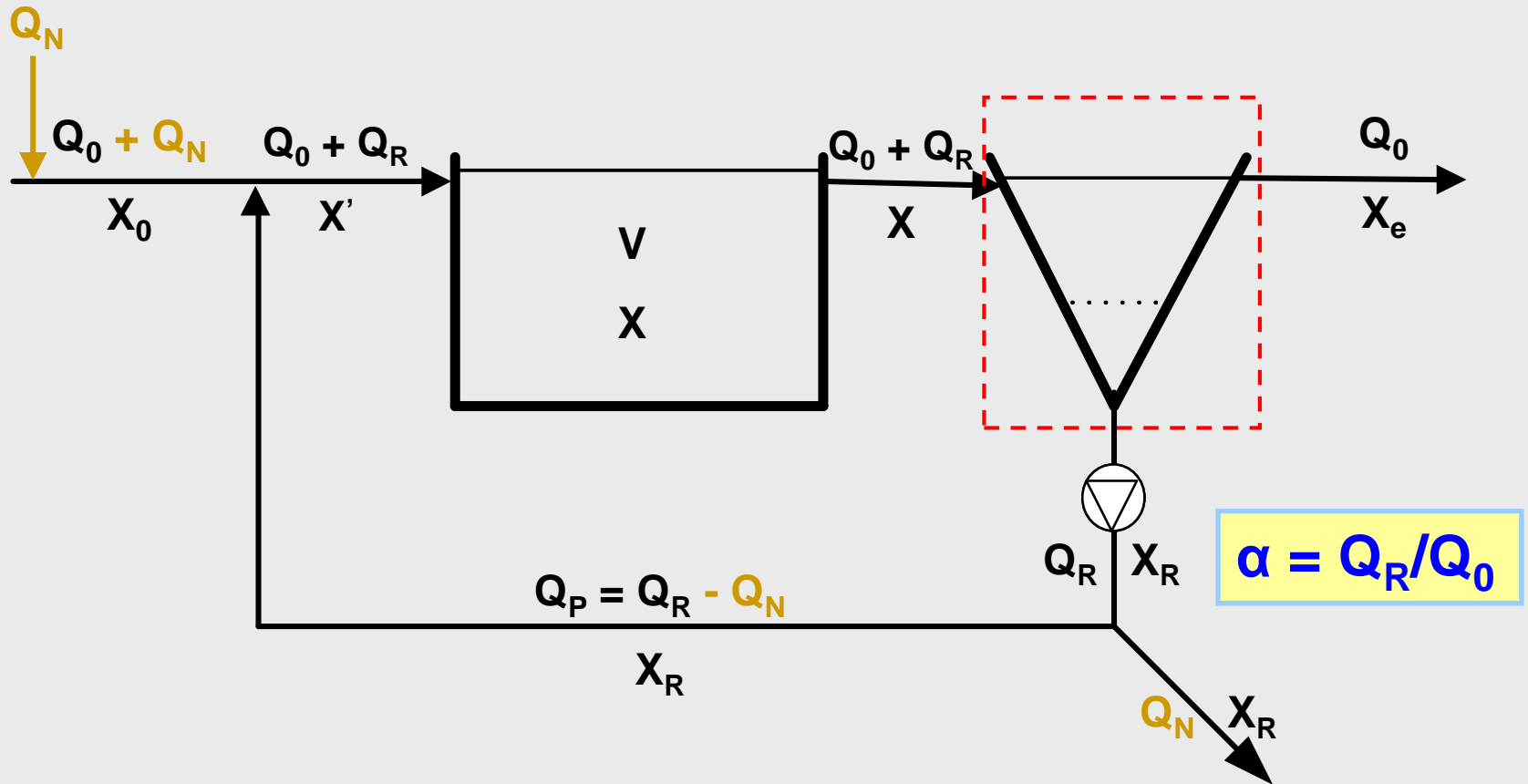
Osad spęczniały (nitkowaty)



Osad rozdrobniony



Stopień recyrkulacji osadu (α) i stężenie osadu recyrkulowanego (X_R)

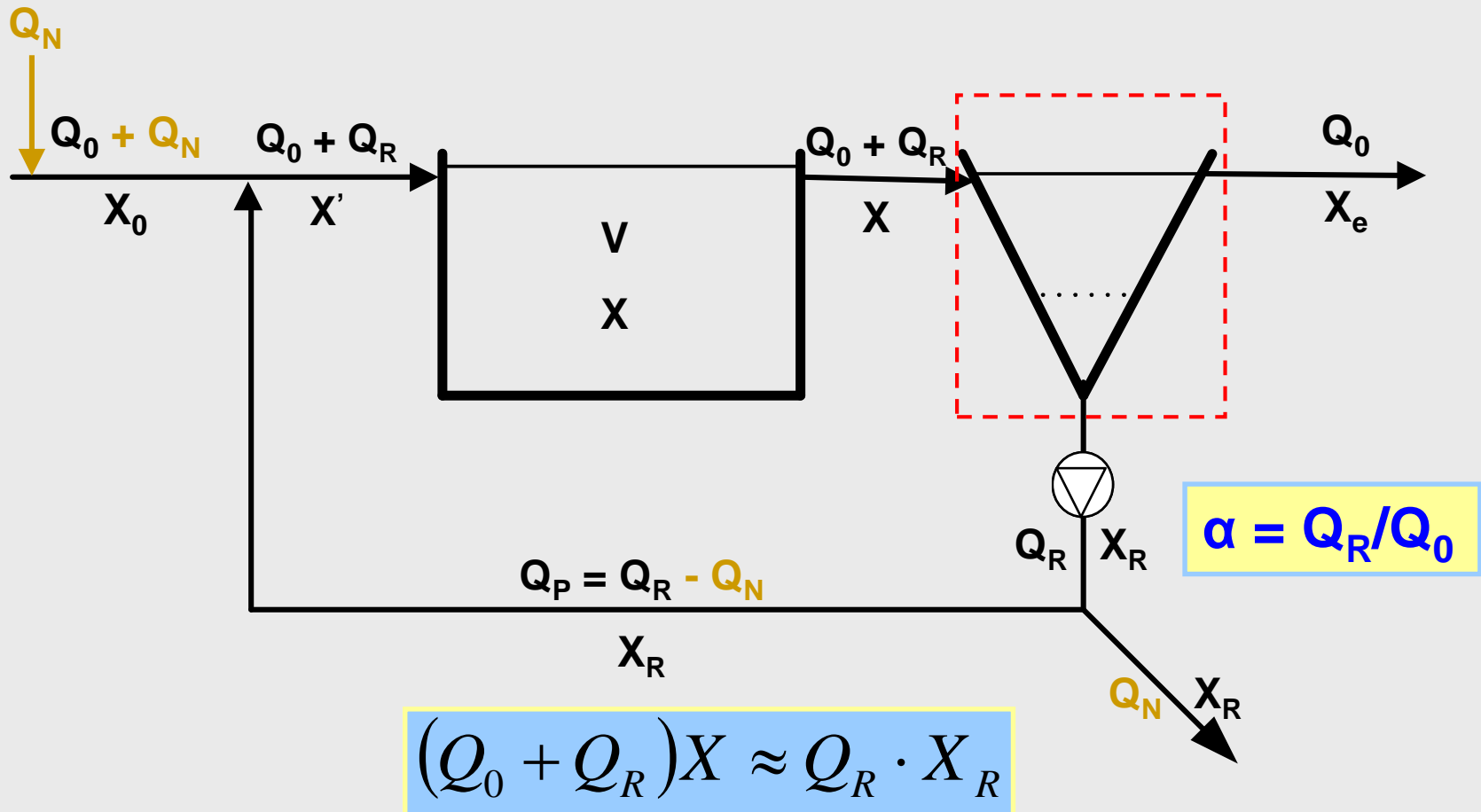


$$(Q_0 + Q_R)X = Q_0 \cdot X_e + Q_R \cdot X_R$$

$$Q_0 \cdot X_e \ll Q_R \cdot X_R$$

$$(Q_0 + Q_R)X \approx Q_R \cdot X_R$$

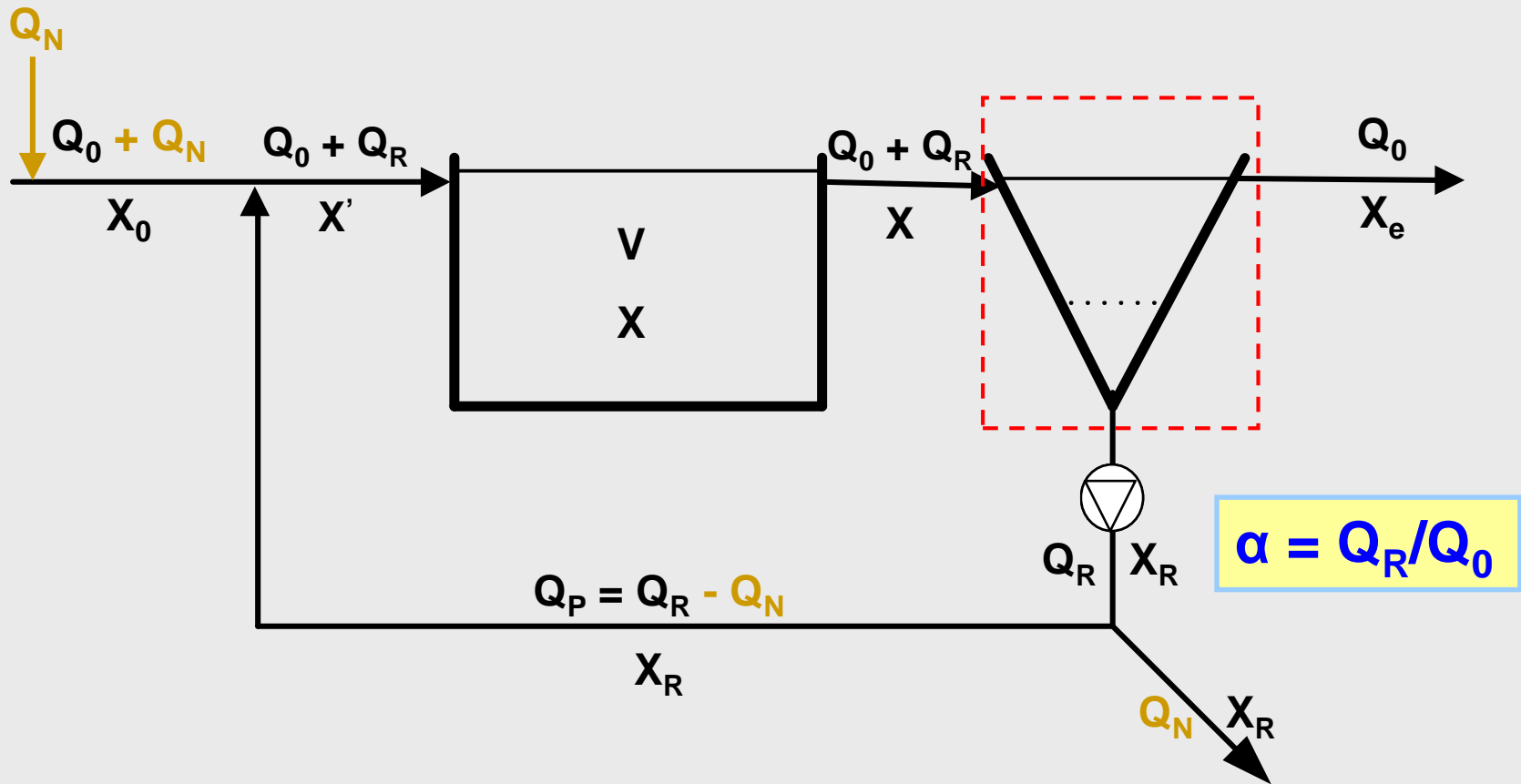
Stopień recyrkulacji osadu (α) i stężenie osadu recyrkulowanego (X_R) c.d.



$$X \approx \frac{Q_R}{Q_0 + Q_R} \cdot X_R = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \cdot X_R$$

$$X_R = X \frac{1 + \alpha}{\alpha}$$

Stopień recyrkulacji osadu (α) i stężenie osadu recyrkulowanego (X_R) c.d.



$$X_R = X \frac{1 + \alpha}{\alpha}$$



$$\alpha = \frac{X}{X_R - X}$$

Stopień recyrkulacji osadu (α) i stężenie osadu recyrkulowanego (X_R) c.d.

$$X_R = X \frac{1 + \alpha}{\alpha}$$

Stężenie osadu recyrkulowanego (X_R) jest w praktyce ograniczone do $\sim(2\div 4)$ krotności stężenia w KOCZ (X)

$X_{R,\max} = 10 \sim 14$ g/l dla dobrze sedymentującego osadu

$X_{R,\max} = 3 \sim 6$ g/l dla osadu spęczniałego



$$X_{\max} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} X_{R,\max}$$

Objętość osadu nadmiernego (Q_N)

W strumieniu Q_N (m^3/d) o stężeniu X_R ($kg\ sm/m^3$) musimy odprowadzić cały przyrost osadu w układzie ΔX ($kg\ sm/d$), pomniejszony o ilość osadu odprowadzanego z układu jako zawiesiny pozostałe w odpływie z osadnika wtórnego – $Q_0 X_e$ ($kg\ sm/d$)

$$Q_N \cdot X_R = \Delta X - Q_0 \cdot X_e \quad [kg\ sm/d]$$

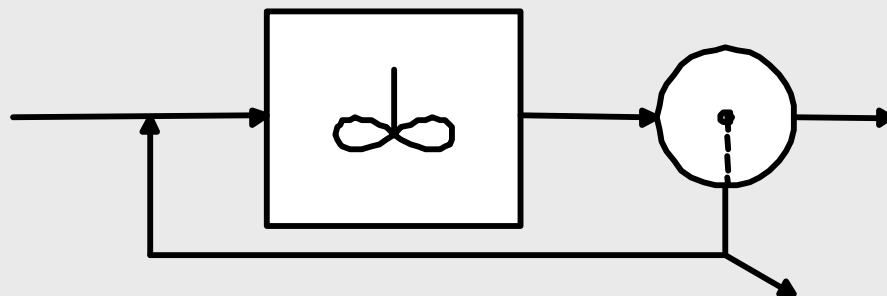


$$Q_N = \frac{\Delta X - Q_0 \cdot X_e}{X_R} \quad [m^3/d]$$

$$Q_N / Q_0 = \frac{\Delta X / Q_0 - X_e}{X_R} \quad (1 \div \text{kilka}) \%$$

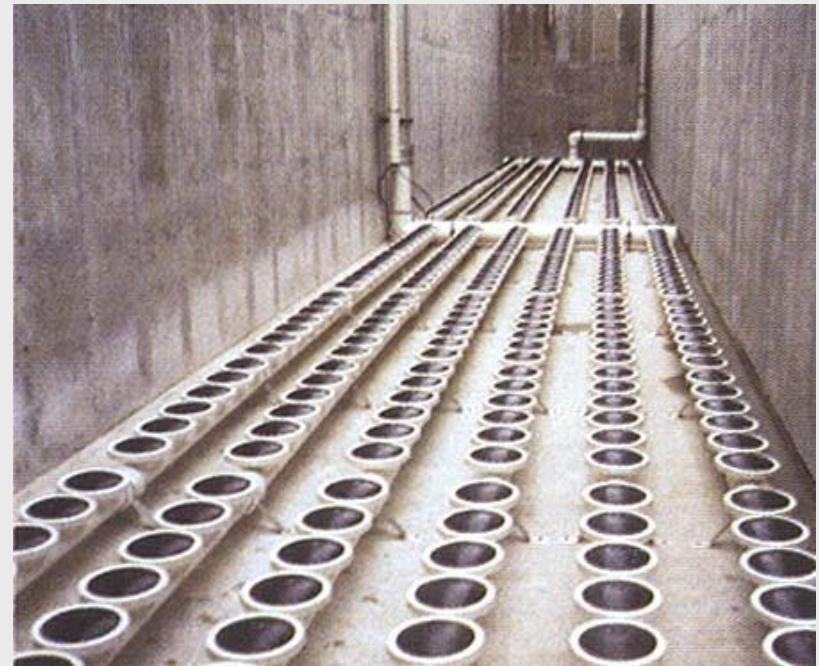
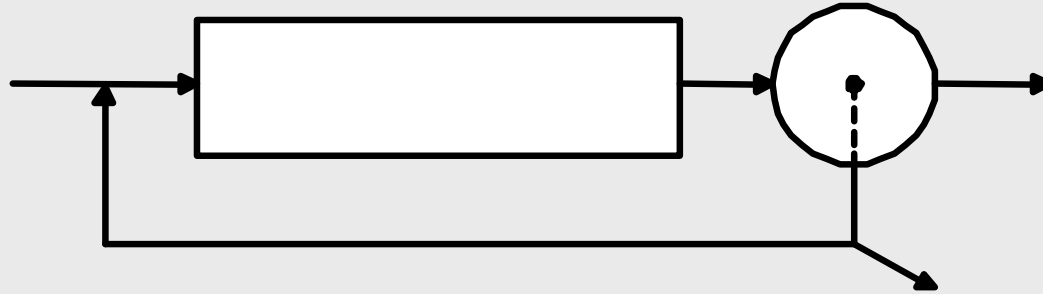
Stosowane typy komór osadu czynnego

Komora o pełnym wymieszaniu



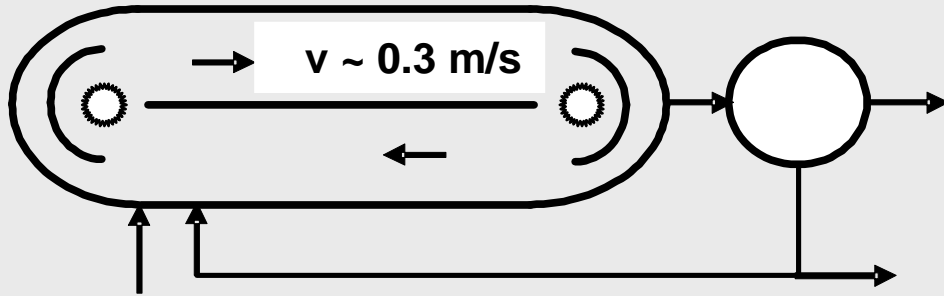
Stosowane typy komór osadu czynnego c.d.

Komora o przepływie tłokowym

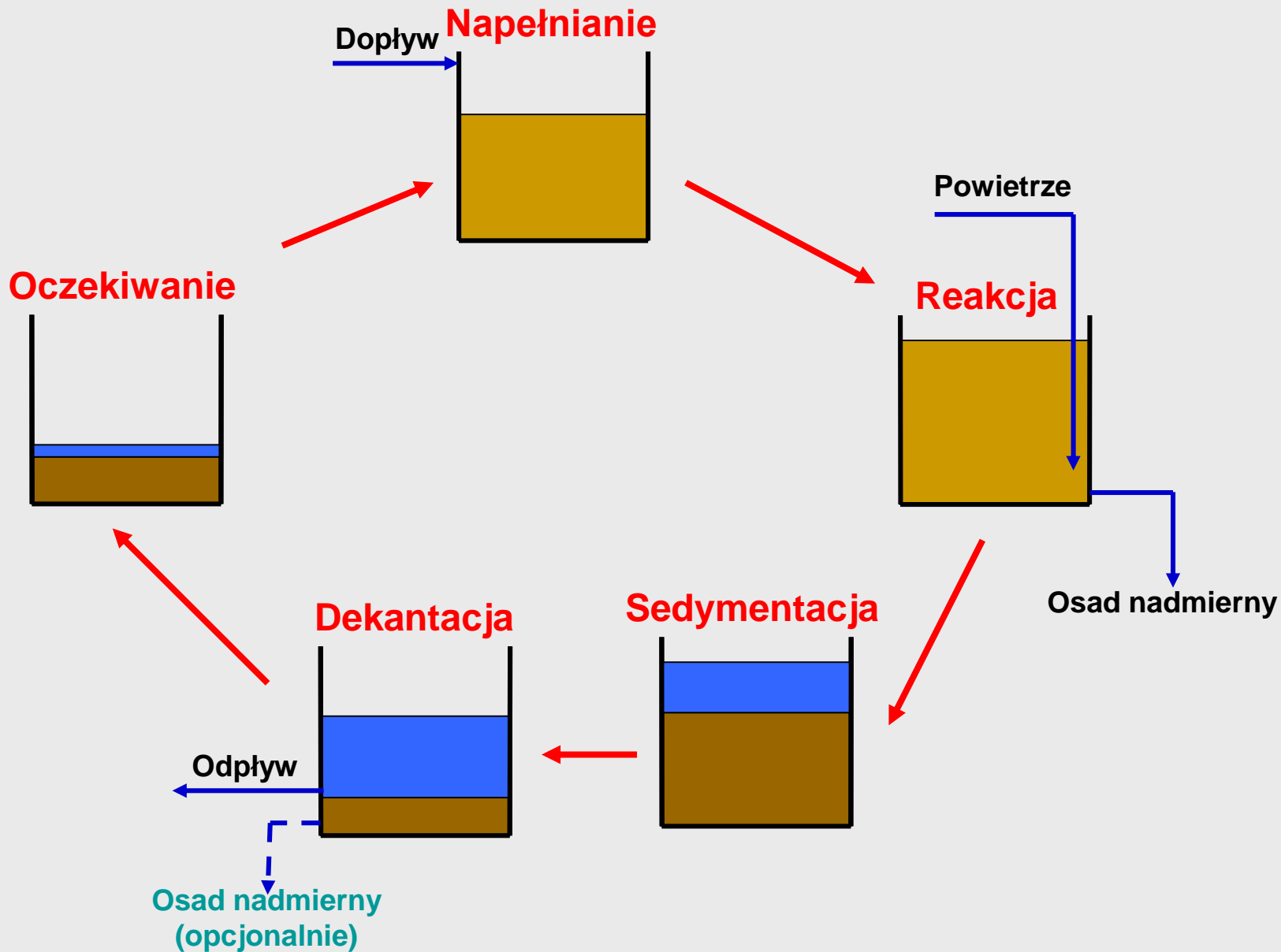


Stosowane typy komór osadu czynnego c.d.

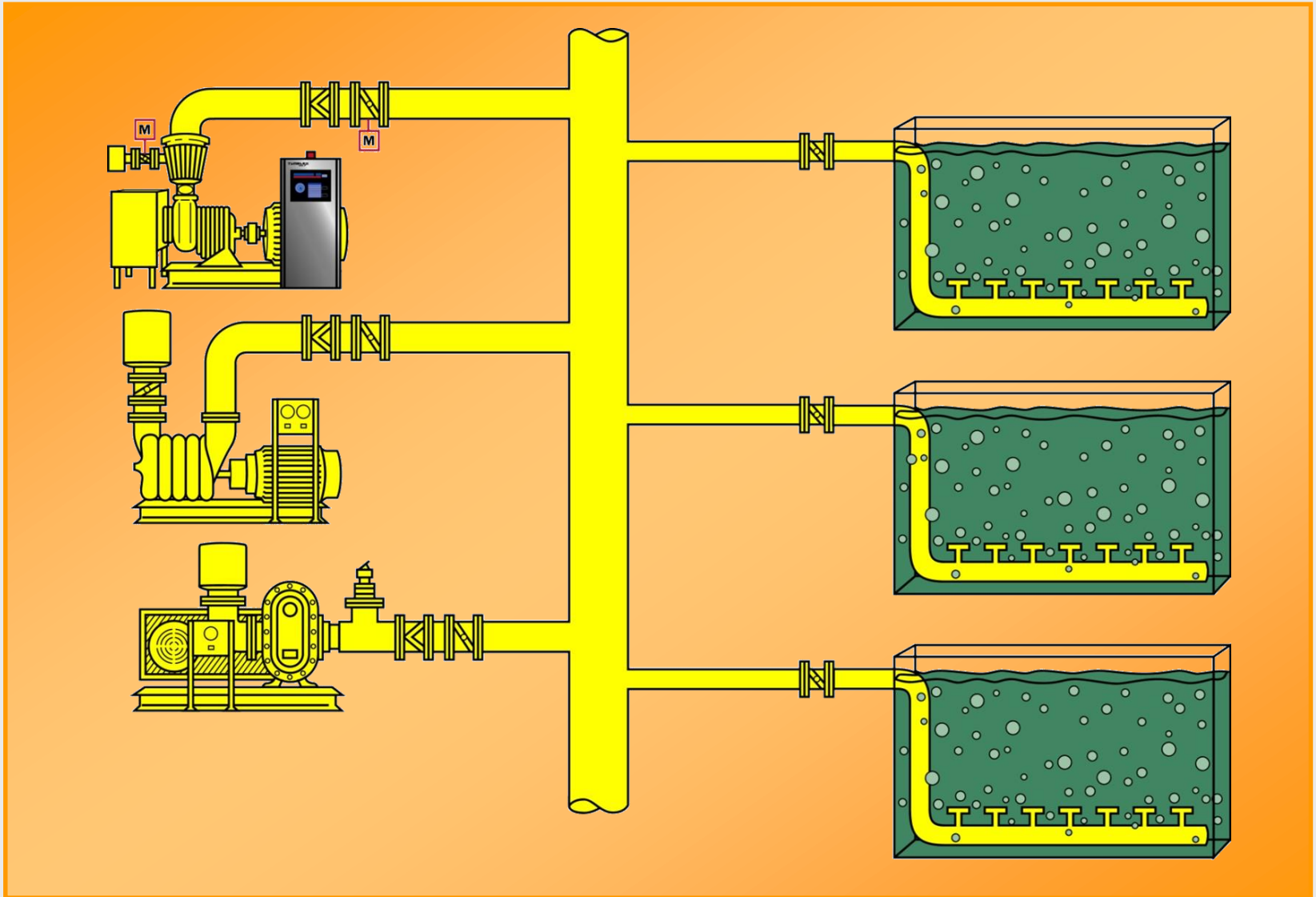
Komora cyrkulacyjna



Sekwencyjny reaktor wsadowy (SBR)



Napowietrzanie komór osadu czynnego sprężonym powietrzem



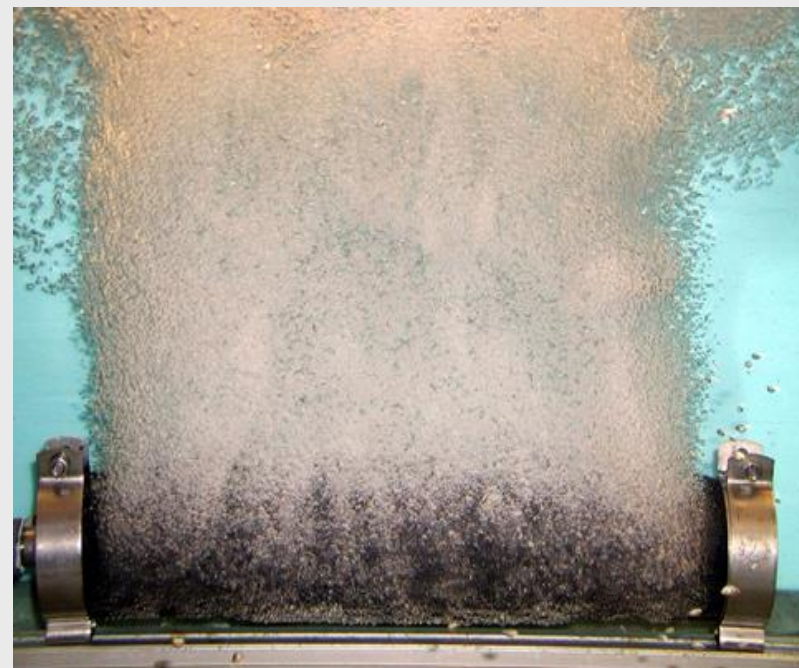
Napowietrzanie komór osadu czynnego sprężonym powietrzem c.d.



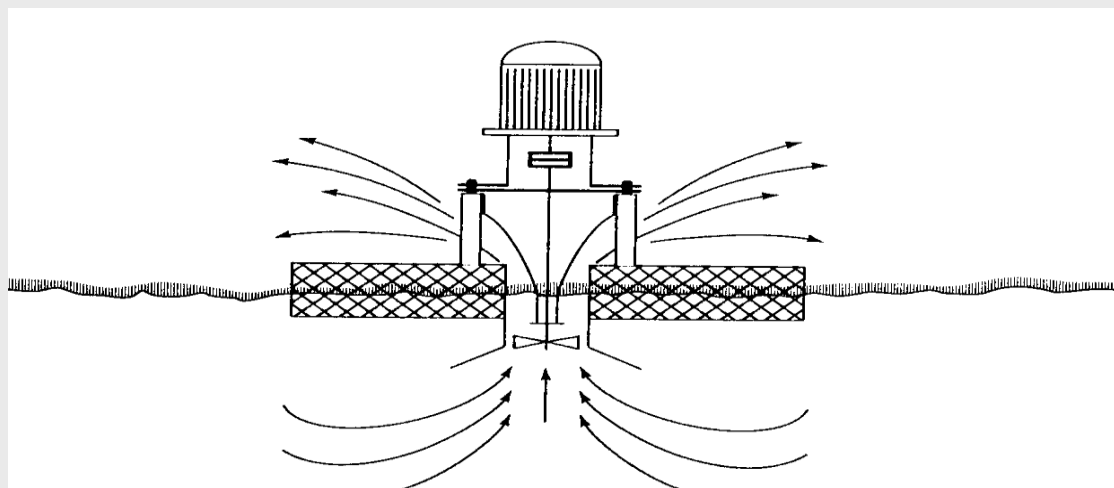
Napowietrzanie komór osadu czynnego sprężonym powietrzem c.d.



Napowietrzanie komór osadu czynnego sprężonym powietrzem c.d.



Napowietrzanie komór osadu czynnego aeratorami mechanicznymi



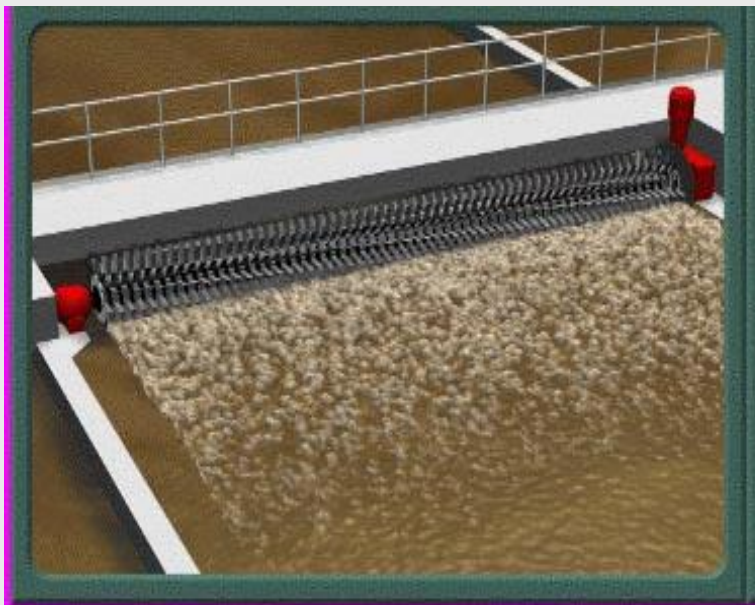
Napowietrzanie aeratorem mechanicznym o wale pionowym

Napowietrzanie komór osadu czynnego aeratorami mechanicznymi c.d



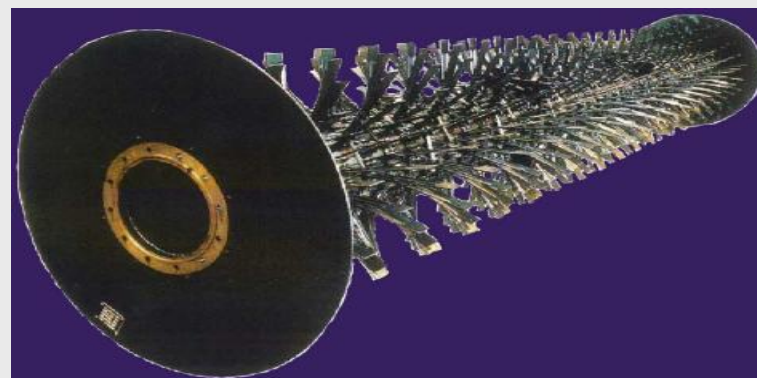
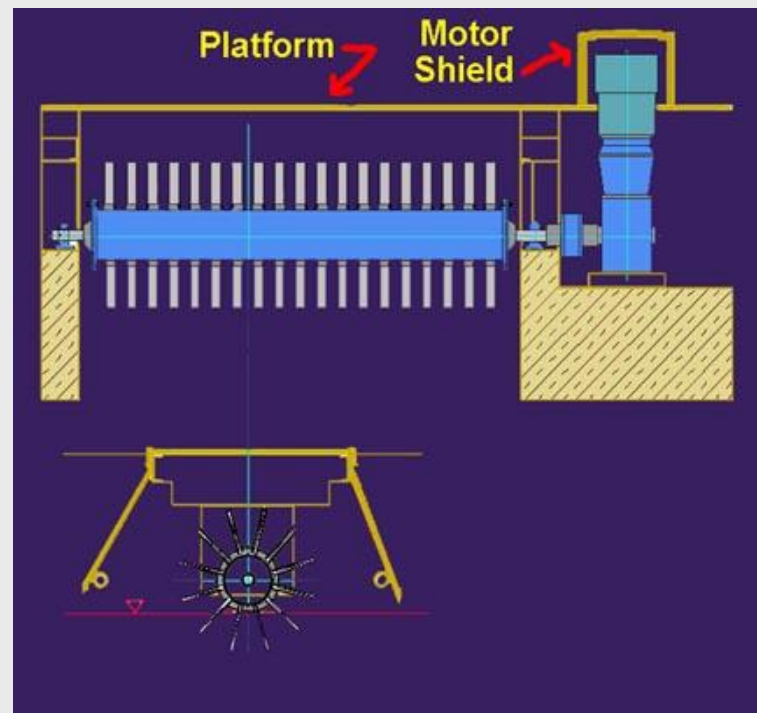
Napowietrzanie aeratorem mechanicznym o wale pionowym

Napowietrzanie komór osadu czynnego aeratorami mechanicznymi c.d



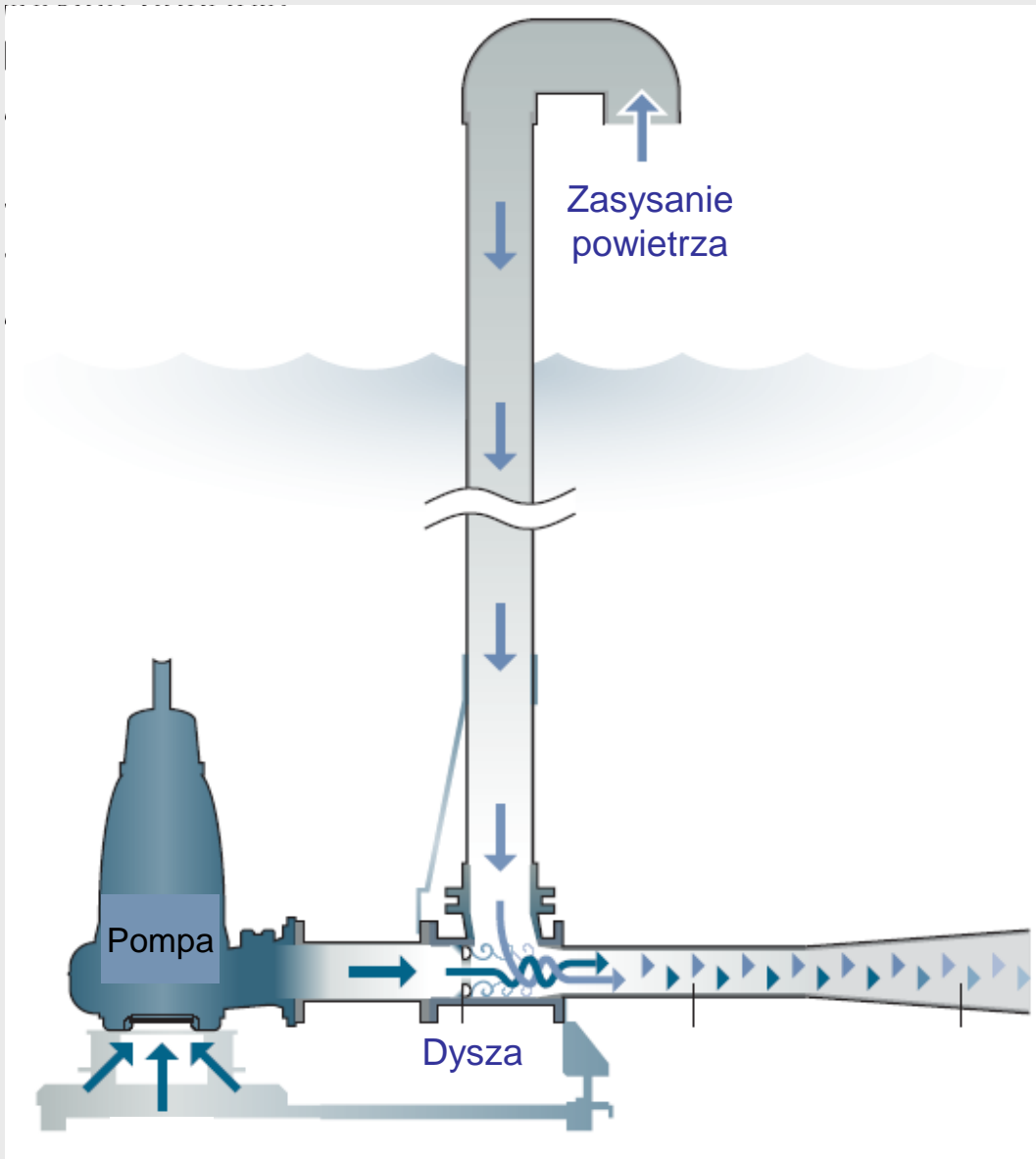
Napowietrzanie aeratorem mechanicznym o wale poziomym

Napowietrzanie komór osadu czynnego aeratorami mechanicznymi c.d



Napowietrzanie aeratorem mechanicznym o wale poziomym

Napowietrzanie komór osadu czynnego c.d.



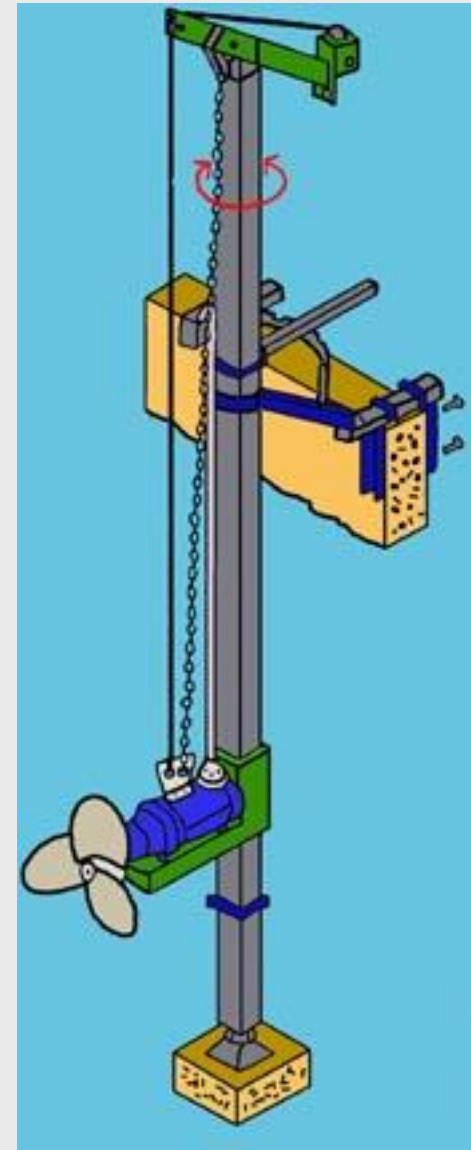
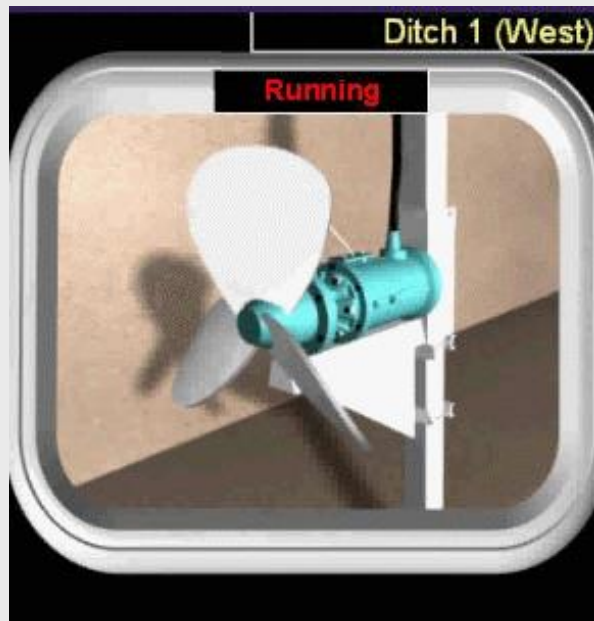
Napowietrzanie aeratorem strumieniowym

Napowietrzanie komór osadu czynnego c.d.



Napowietrzanie aeratorem strumienicowym c.d

Mieszanie w komorach (fazach) nie napowietrzanych



Mieszanie w komorach (fazach) nie napowietrzanych



UKŁADY TECHNOLOGICZNE TLENOWEGO OSADU CZYNNEGO

Główny cel: zmniejszenie zapotrzebowania tlenowego (C, N)

Warunek nitryfikacji: $WO_{OX} \geq WO_{min}^{Nit} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A}$ (funkcja temp.)

$$\dot{\mu}_A = \hat{\mu}_A \frac{S_o}{K_{OA} + S_o} \quad [d-1]$$

S_o - stężenie tlenu rozpuszczonego = 2÷3 g O₂/m³

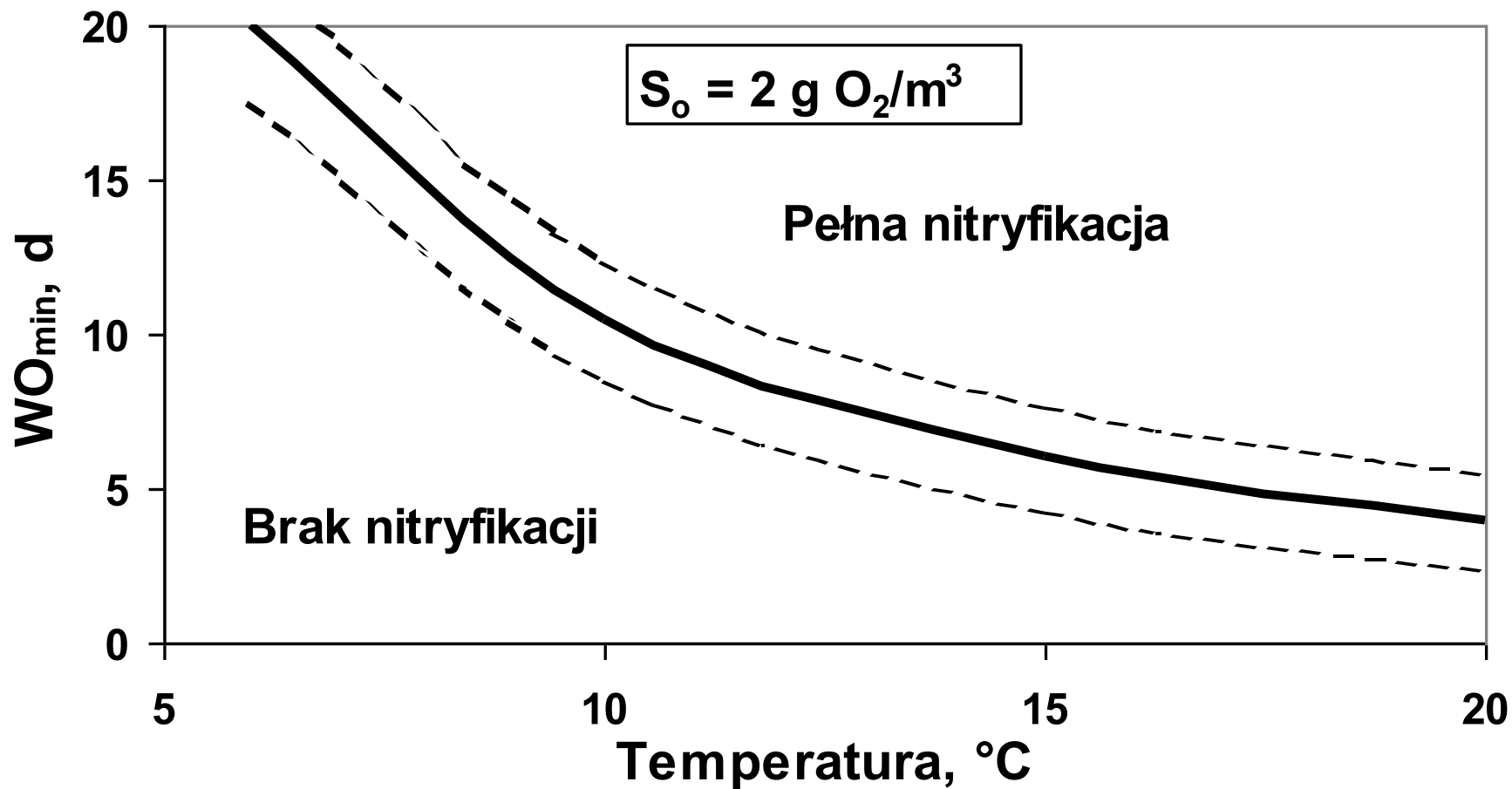
$K_{OA} = 0.5$ g O₂/m³

$S_o \downarrow \Rightarrow WO_{min} \uparrow \Rightarrow V_K \uparrow$

$S_o \uparrow \Rightarrow WO_{min} \downarrow \Rightarrow$ Zużycie energii na napowietrzanie \uparrow

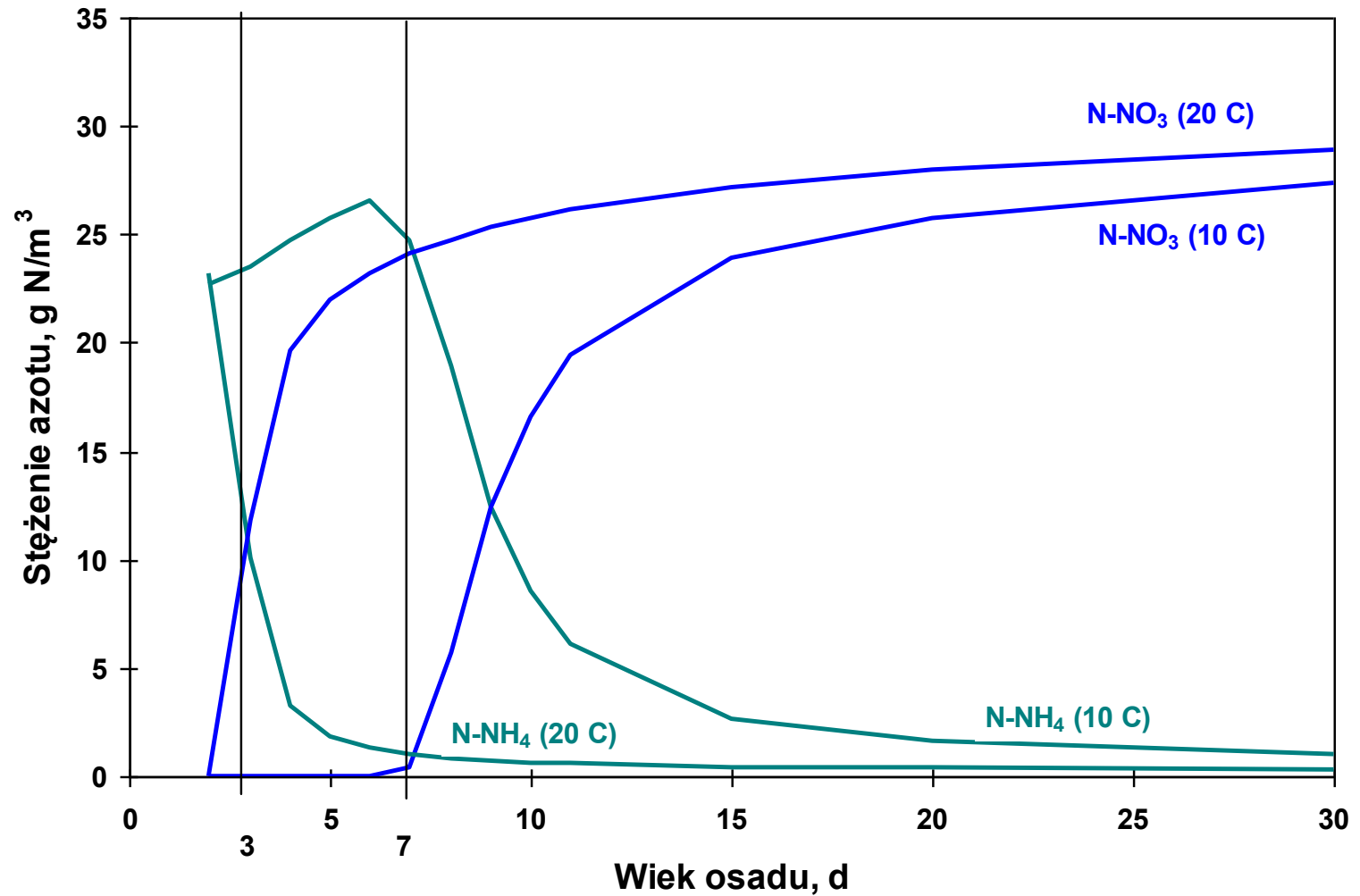
SF – współczynnik bezpieczeństwa

Minimalny WO dla utrzymania nitryfikacji



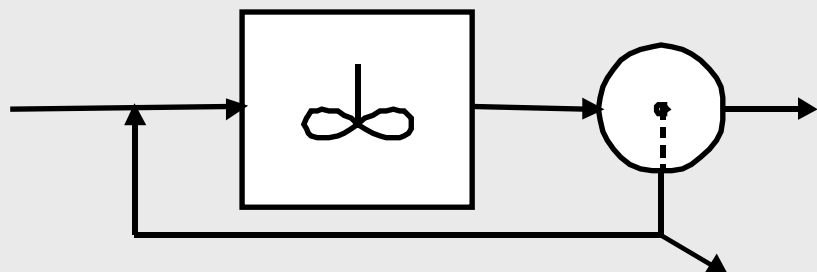
Efekty niryfikacji

Surowe ścieki bytowo-gospodarcze

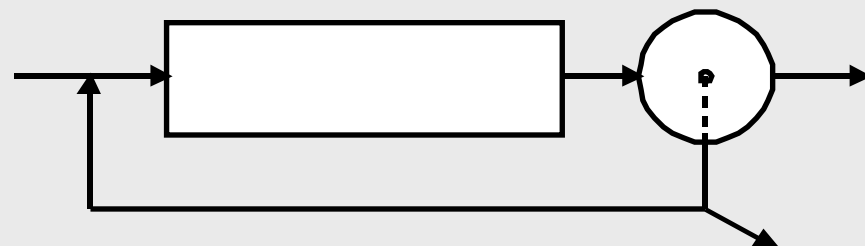


Podstawowe typy tlenowych komór osadu czynnego

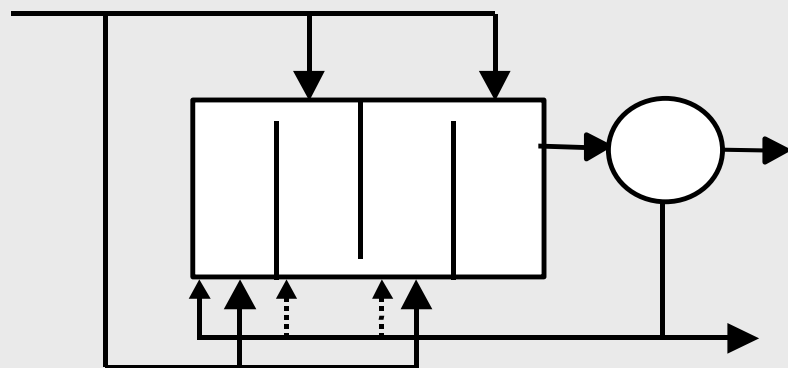
(a) komora o pełnym wymieszaniu



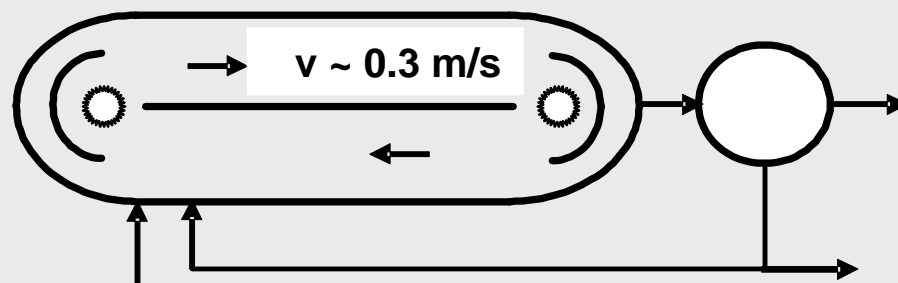
(b) komora tłokowa



(c) komora o stopniowym zasilaniu



(d) komora cyrkulacyjna



Tlenowe komory osadu czynnego

Przemiany w KOCZ

Usidlanie, hydroliza i rozkład zanieczyszczeń org.

Amonifikacja azotu organicznego

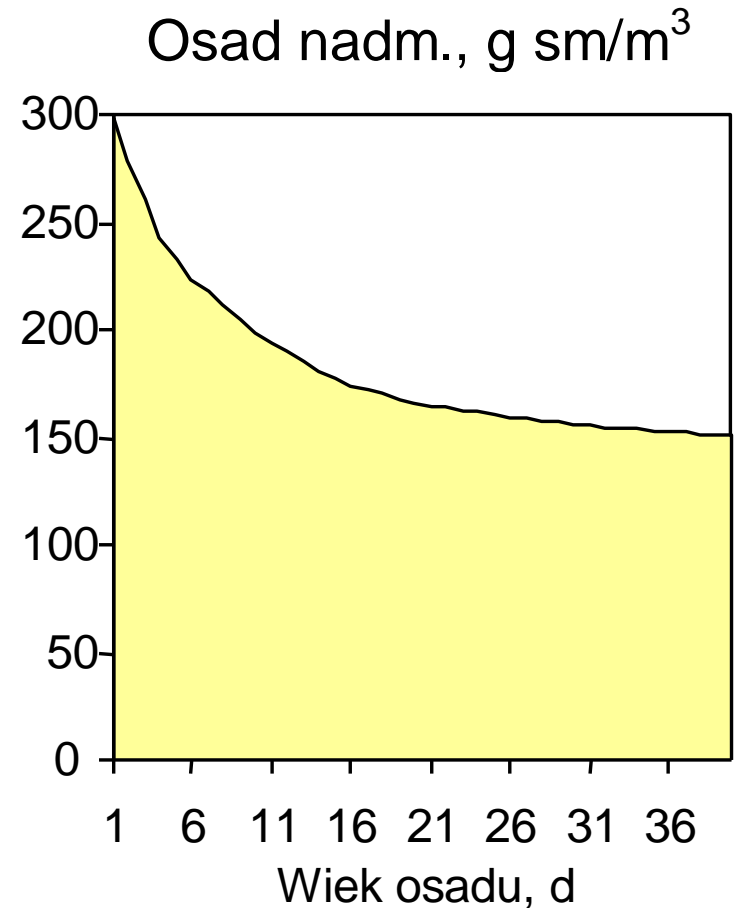
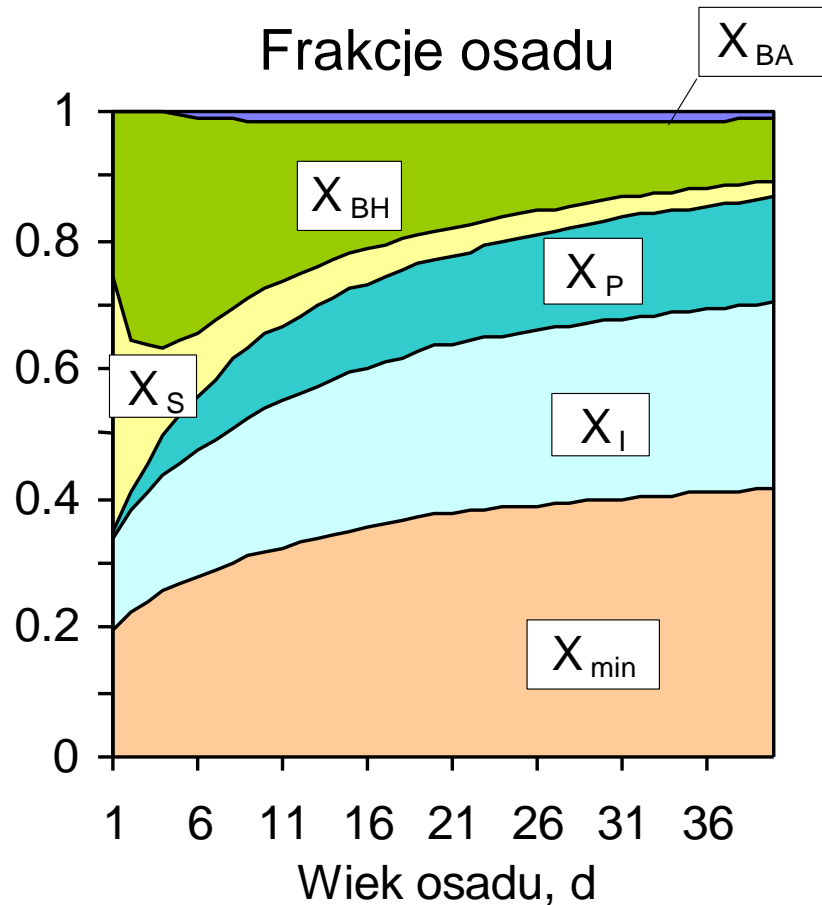
Nitryfikacja NH_4^+ (WO_{min})

Efekty oczyszczania

Zbliżone przy jednakowym wieku osadu (WO)

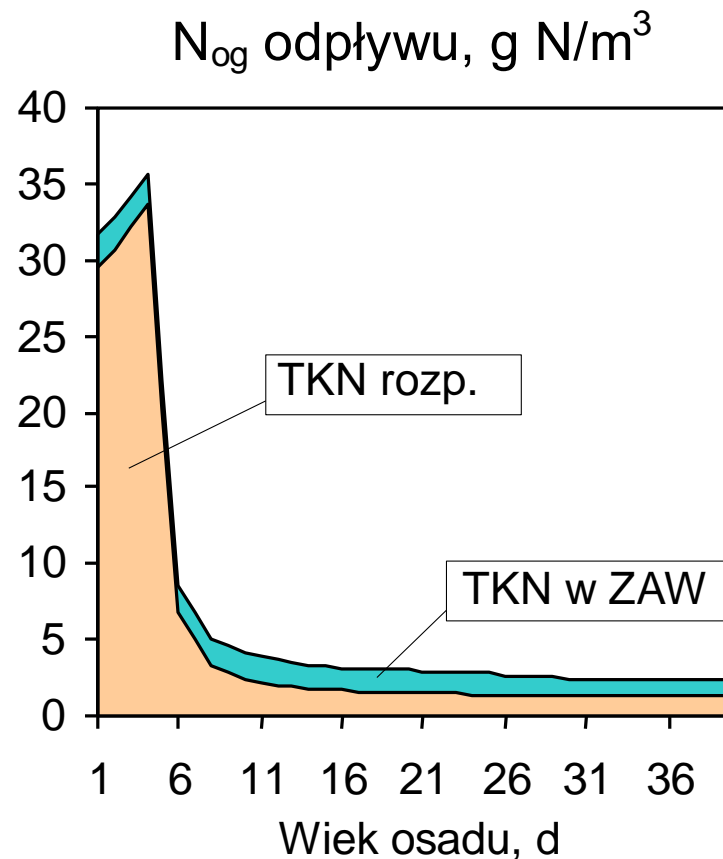
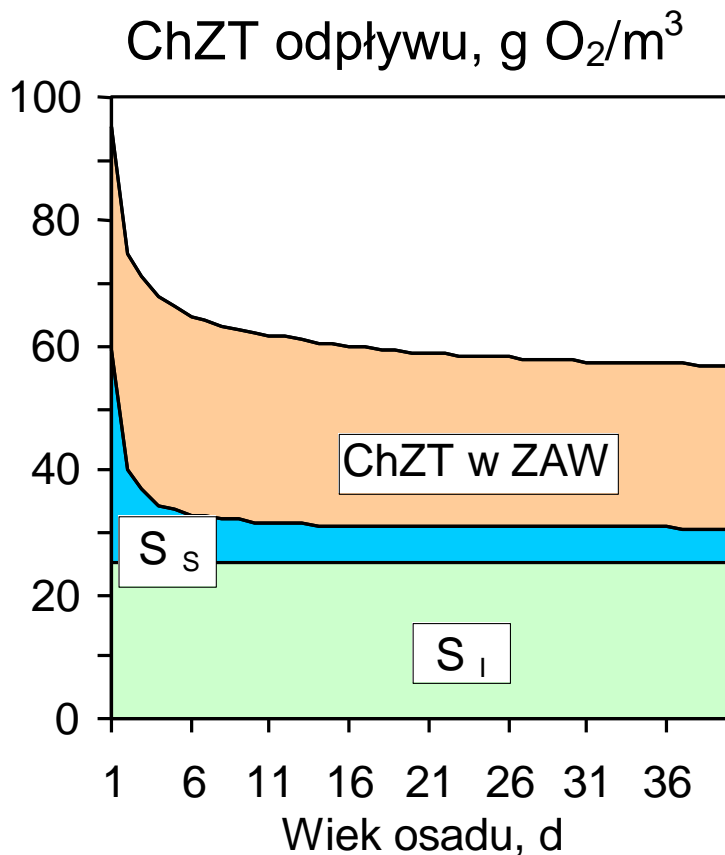
W układach zbliżonych do tłokowego większa sprawność nitryfikacji i mniejszy indeks osadu (IO)

Skład osadu czynnego jest funkcją wieku osadu



Przykładowe wartości dla typowych ścieków miejskich oczyszczanych tlenowym osadem czynnym ($X_e = 30 \text{ g sm/m}^3$, Temperatura = 15°C)

Skład osadu czynnego jest funkcją wieku osadu c.d.



Przykładowe wartości dla typowych ścieków miejskich oczyszczanych tlenowym osadem czynnym ($X_e = 30 \text{ g sm/m}^3$, Temperatura = 15°C)

Parametry projektowe układów tlenowego osadu czynnego

$WO = WO_{OX} \sim 4 \div 15$ d (już przy $WO \sim 5$ d, w temp. $> 15^\circ\text{C}$ może mieć miejsce znacząca nitryfikacja)

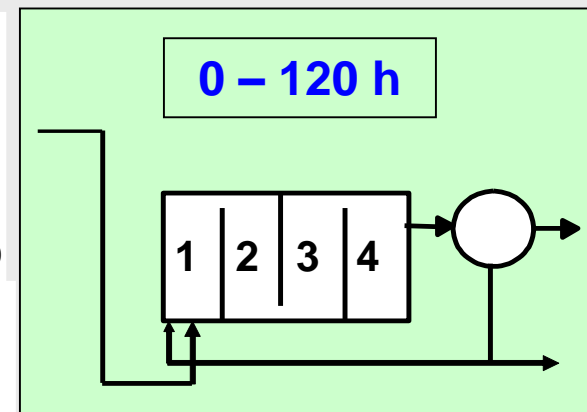
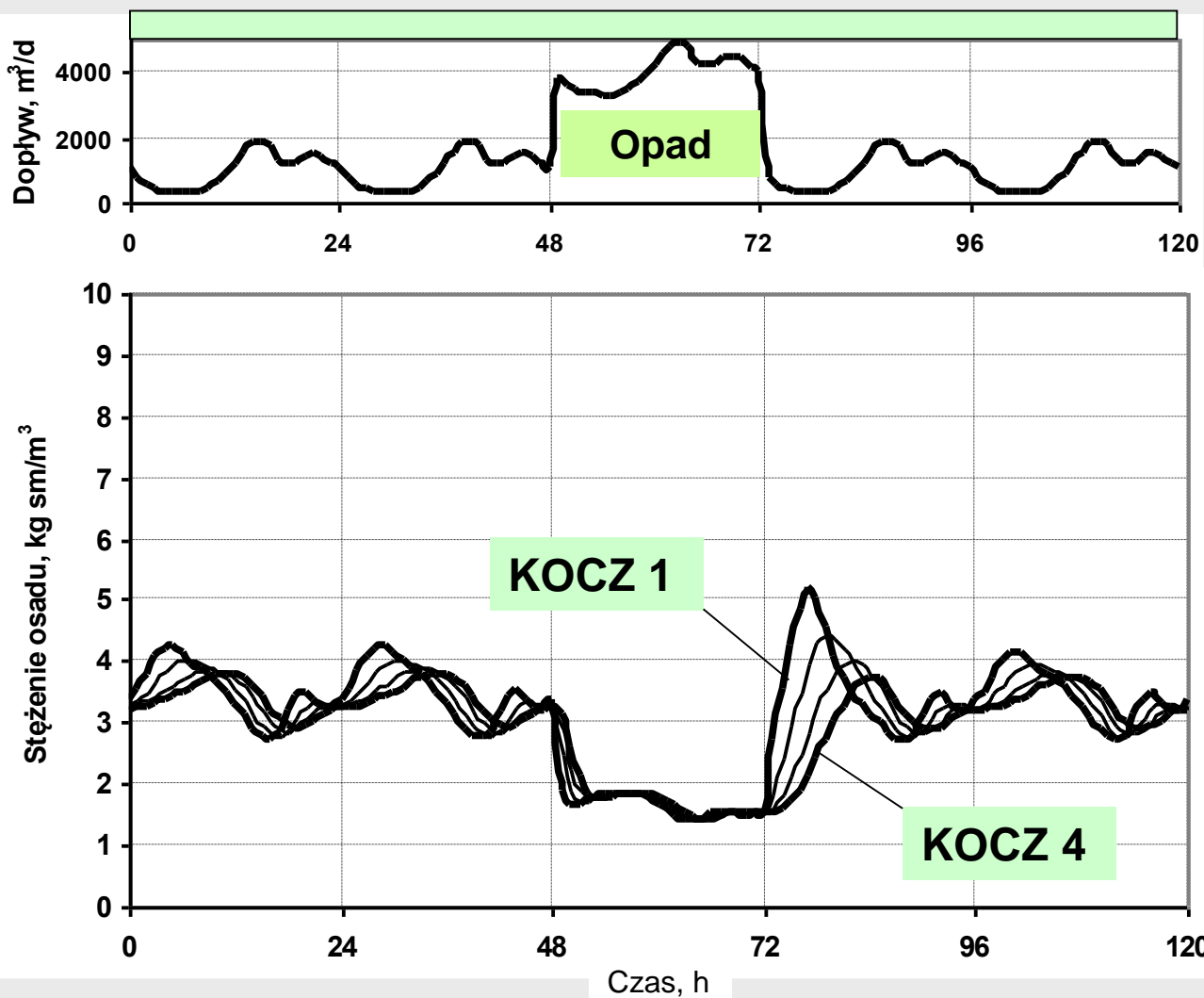
$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \quad [\text{m}^3] \quad X \sim 1.5 \div 4 \quad [\text{kg sm/m}^3] \quad G_L \sim 1.5 \quad [\text{kg sm/m}^2 \text{ h}]$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \quad [\text{h}] \quad T_K \sim \text{kilka do kilkunastu (kilkudziesięciu) godzin}$$

$$ZO_2 = ZO_{2,C} + ZO_{2,Nit}$$

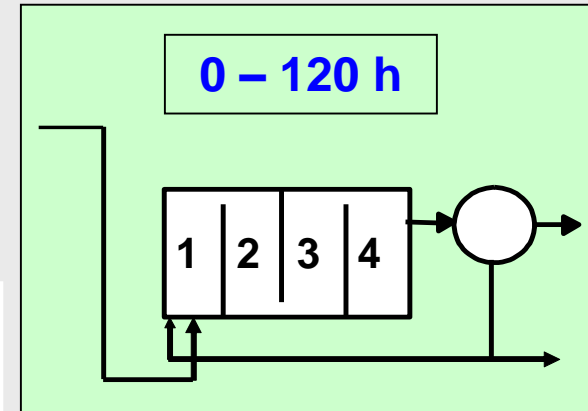
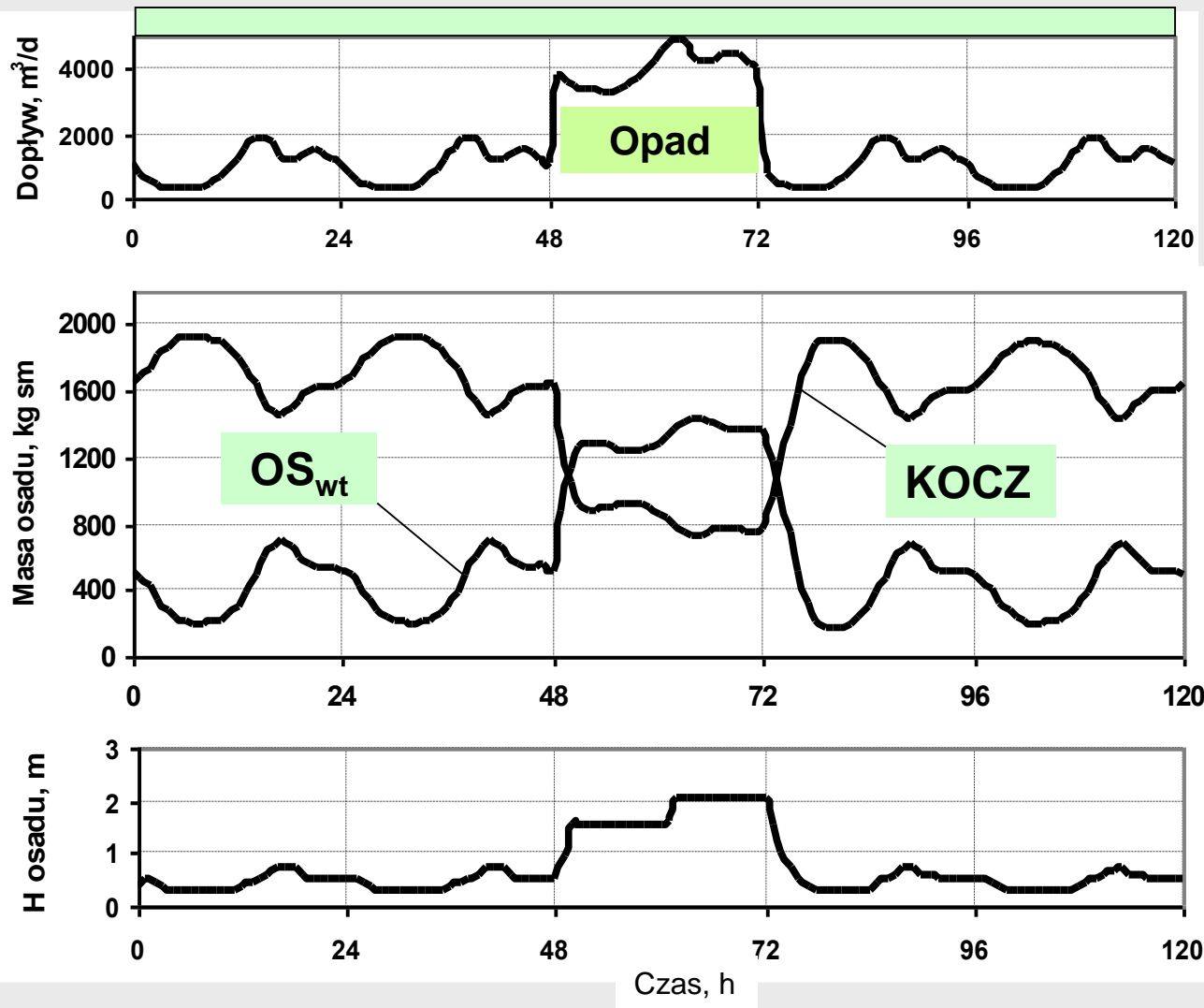
$$ZO_2 = Q(\text{ChZT}_o - \text{ChZT}_{e_rozp}) - 1.42\Delta X_{org} + 4.6QS_{NO,e} \quad [\text{g O}_2/\text{d}]$$

Wpływ przeciążenia hydraulicznego na proces



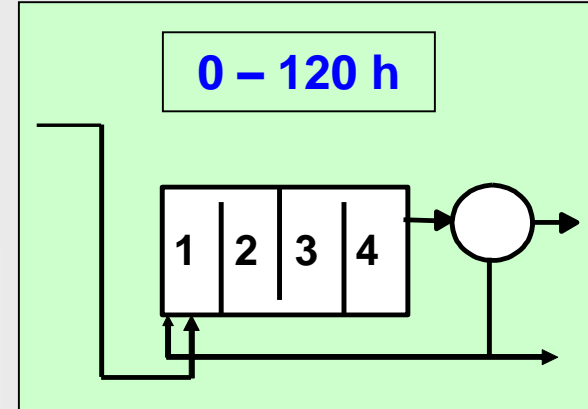
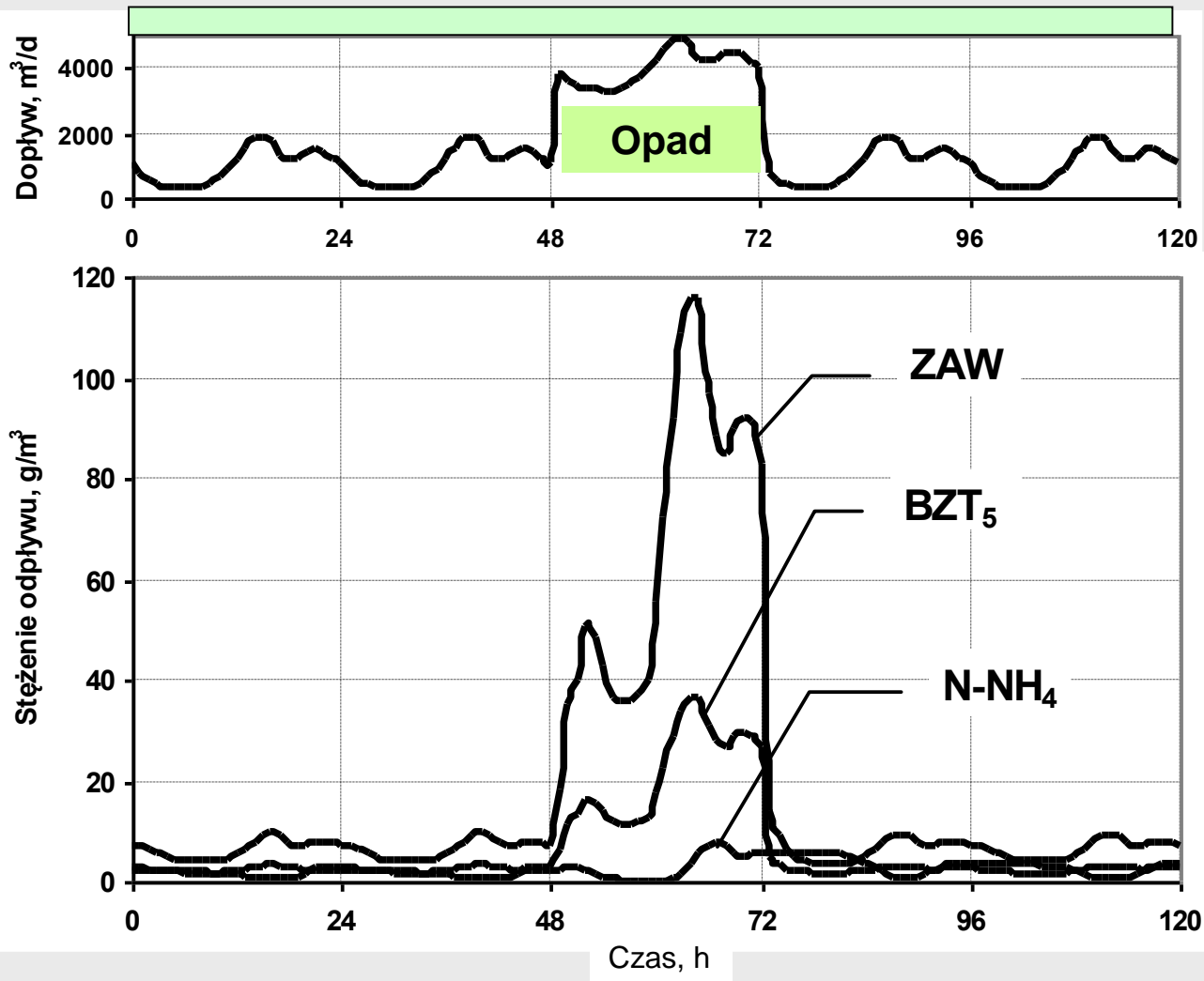
Zasilanie ściekami mechanicznie oczyszczonymi

Wpływ przeciążenia hydraulicznego na proces c.d.



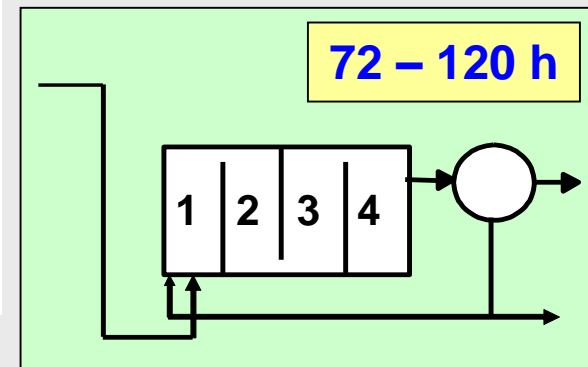
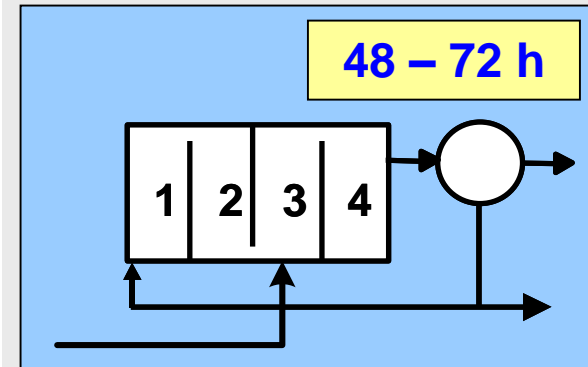
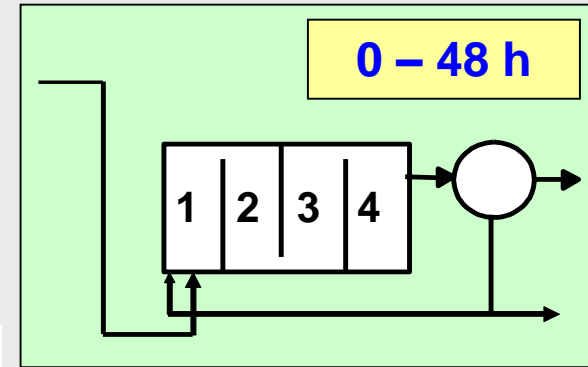
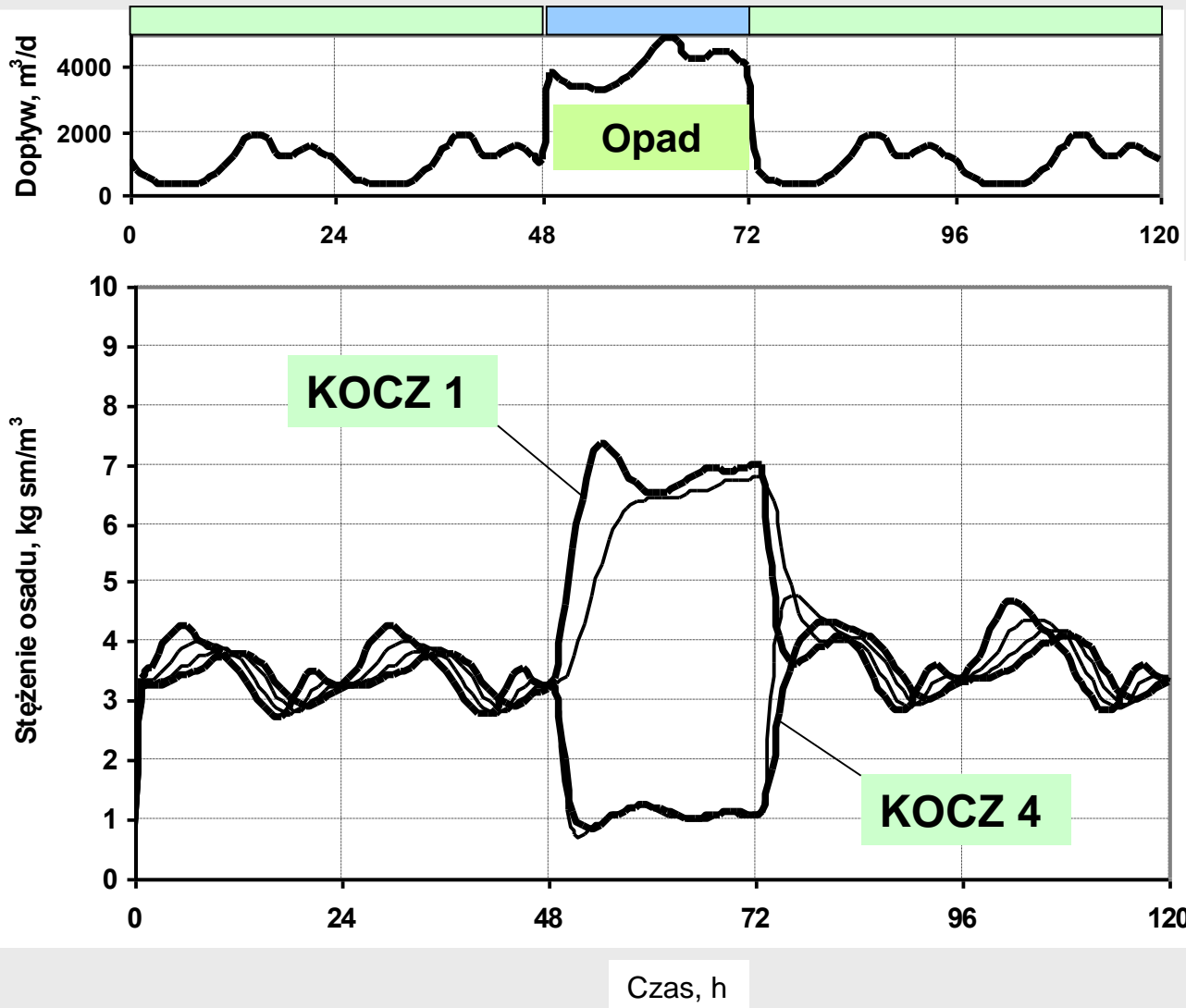
Zasilanie ściekami mechanicznie oczyszczonymi

Wpływ przeciążenia hydraulicznego na proces c.d.



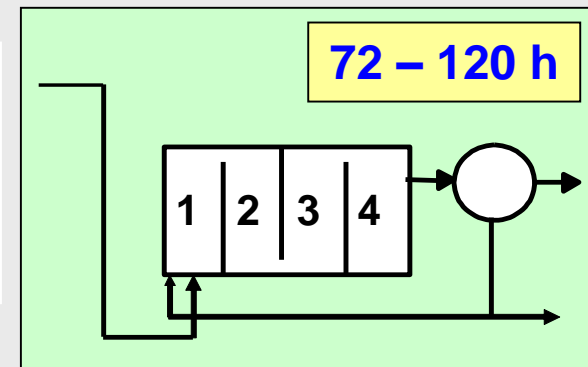
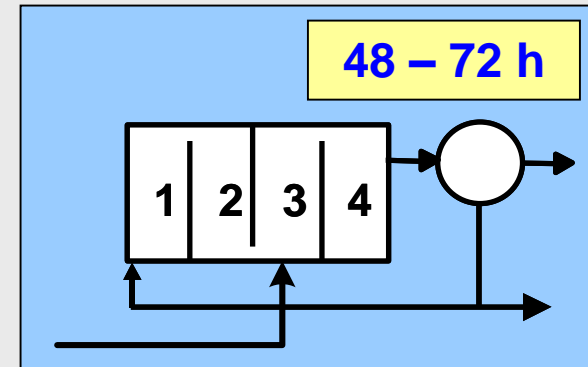
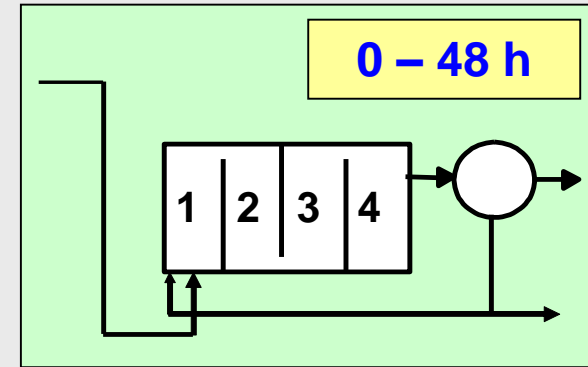
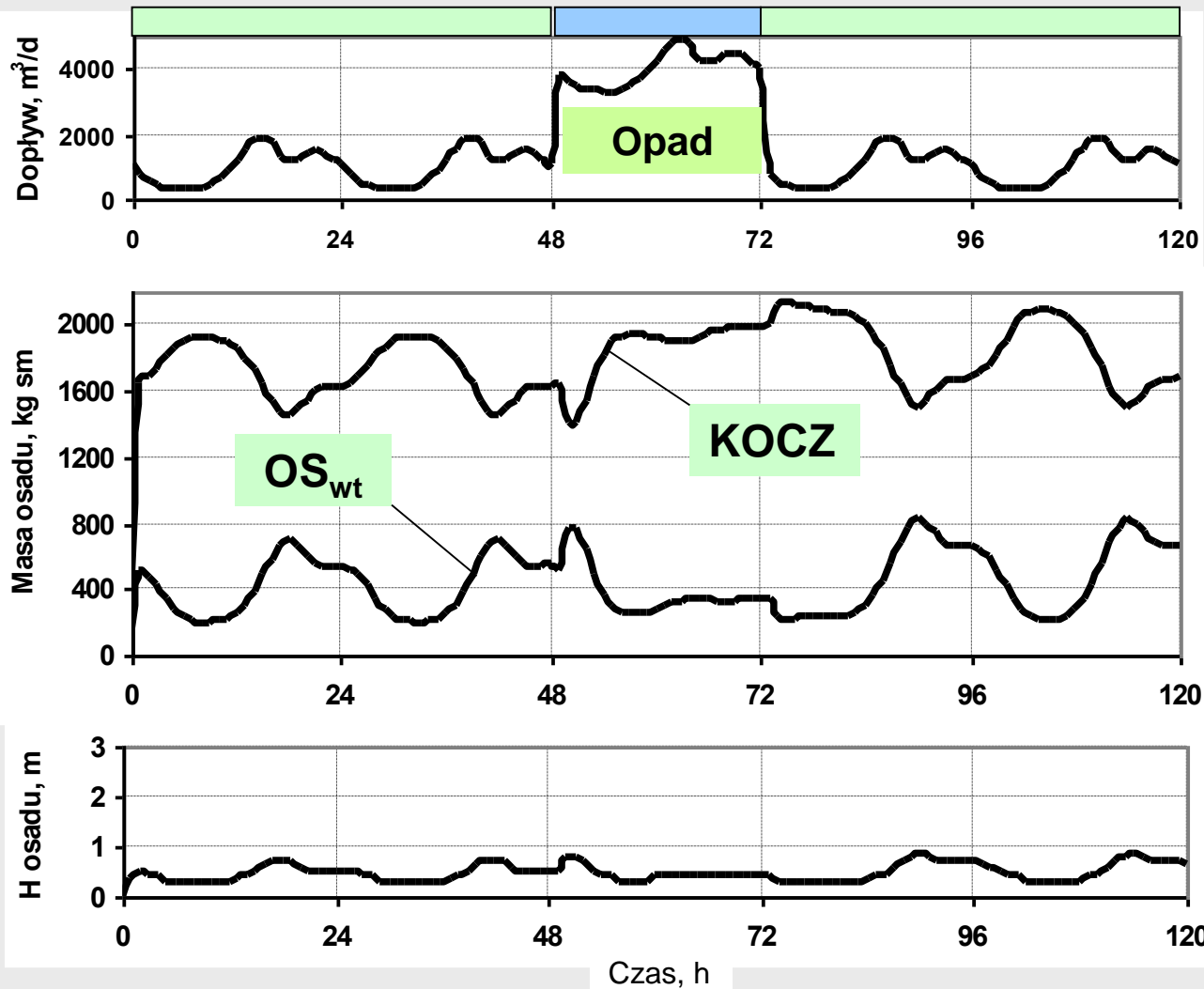
Zasilanie ściekami mechanicznie oczyszczonymi

Wpływ przeciążenia hydraulicznego na proces c.d.



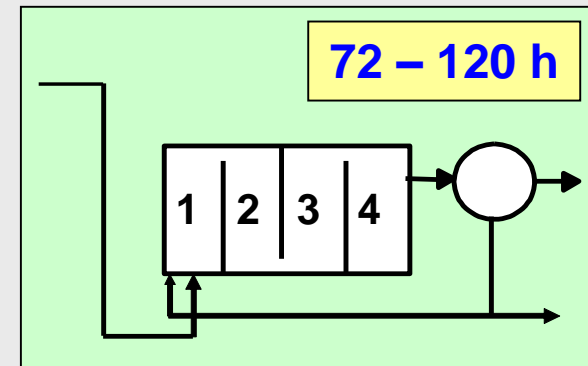
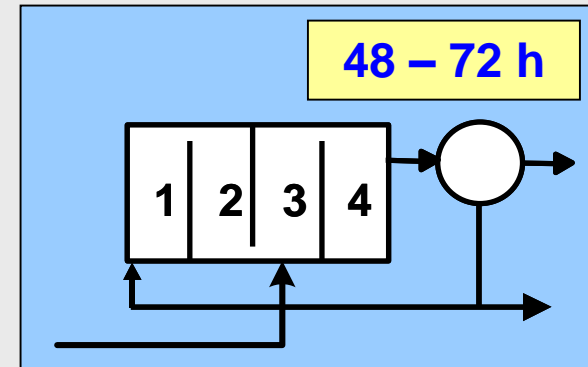
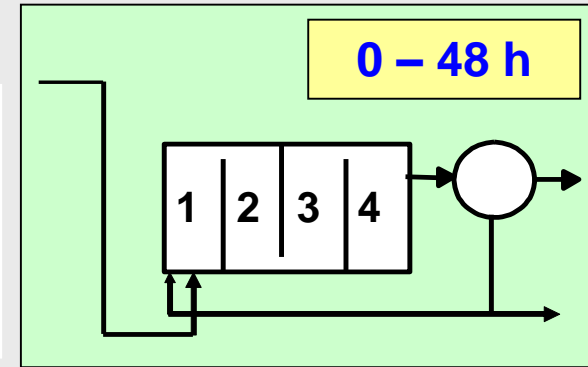
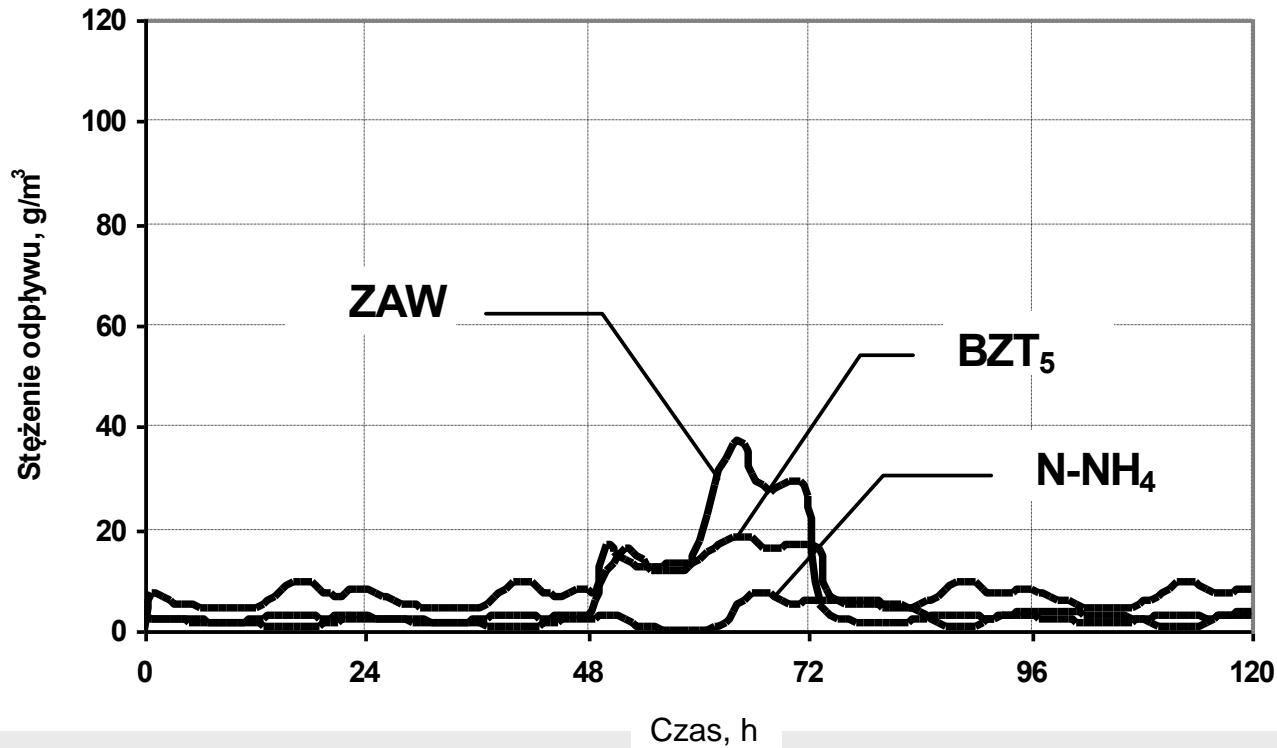
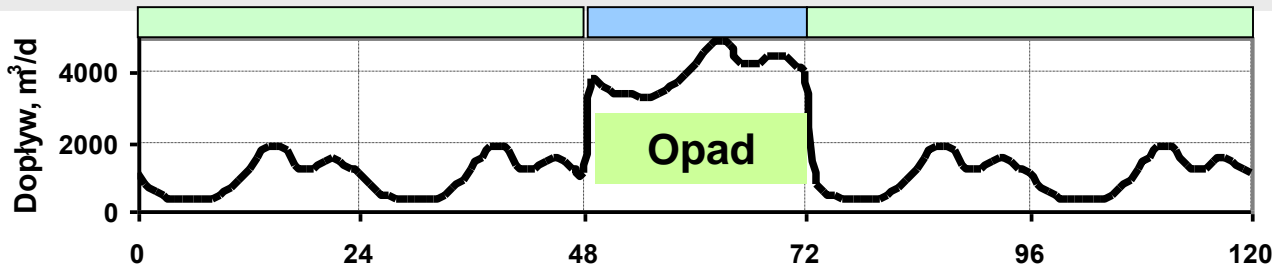
Zasilanie ściekami mechanicznie oczyszczonymi

Wpływ przeciążenia hydraulicznego na proces c.d.



Zasilanie ściekami mechanicznie oczyszczonymi

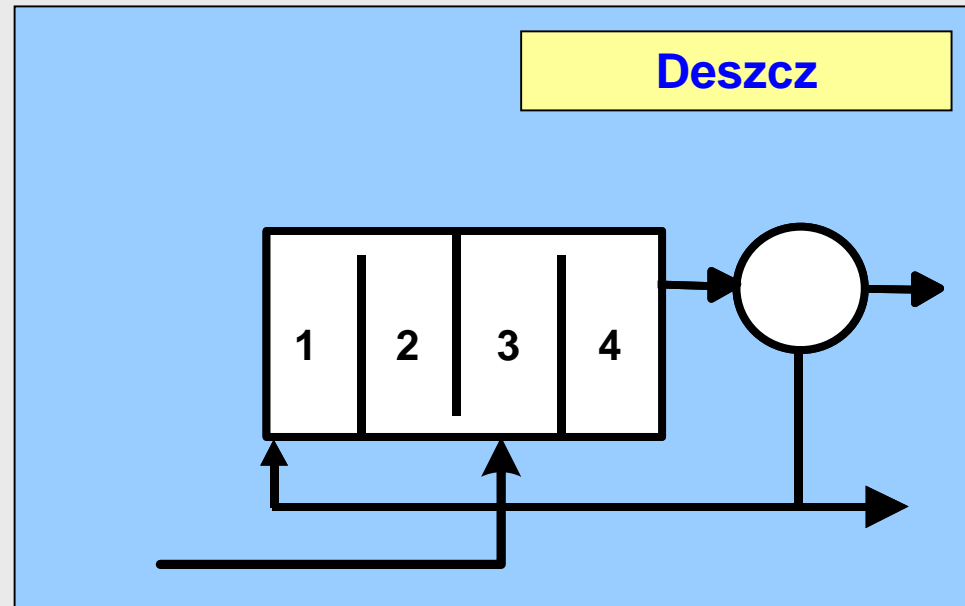
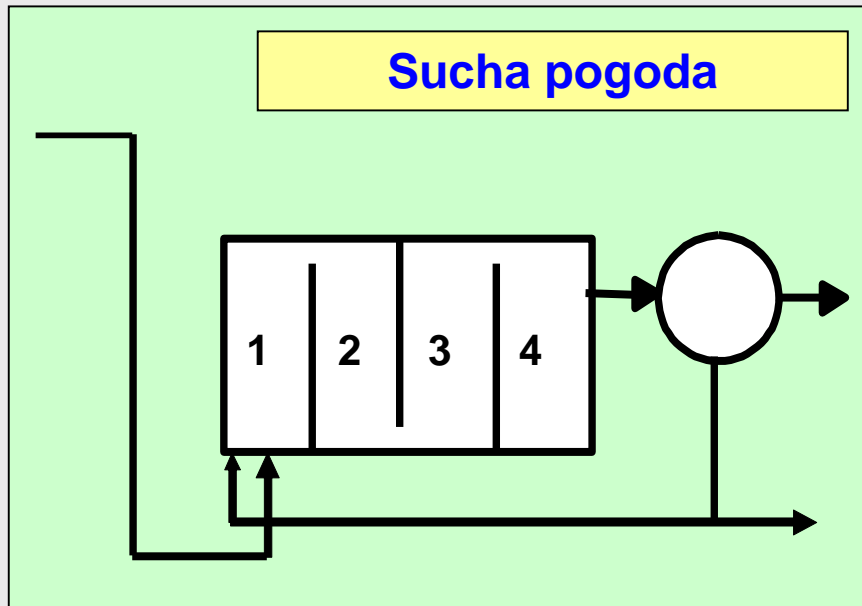
Wpływ przeciążenia hydraulicznego na proces c.d.



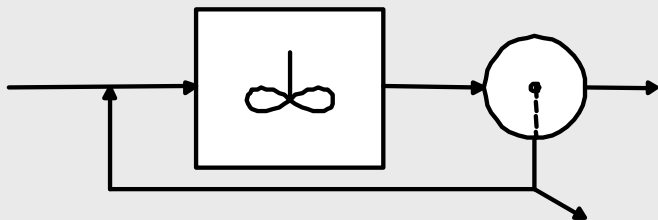
Zasilanie ściekami mechanicznie oczyszczonymi

Komora o stopniowym zasilaniu ma elastyczność na wypadek mokrej pogody

Zmiana punktu zasilania można zapobiec gromadzeniu osadu w osadniku wtórnym podczas mokrej pogody, a w konsekwencji znacznemu pogorszeniu jakości odpływu z oczyszczalni.



Komory o pełnym wymieszaniu

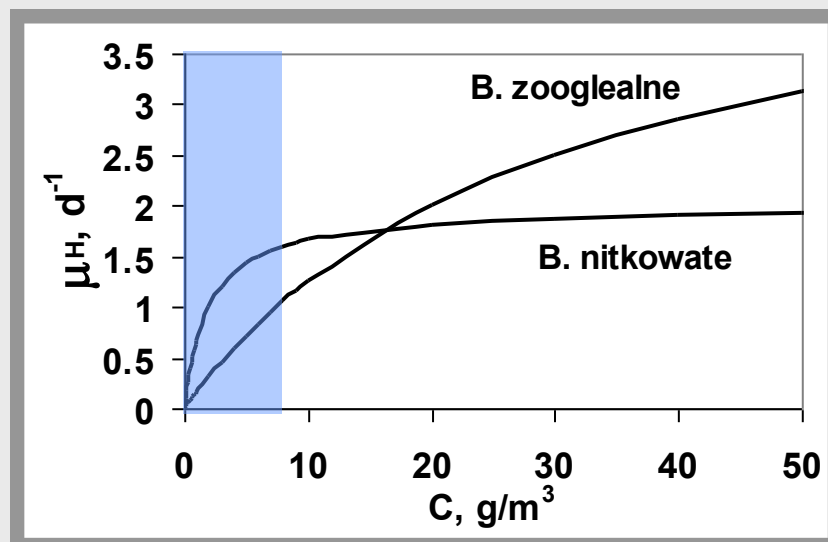


- Stężenia zanieczyszczeń jednakowe w całej KOCZ (uśrednione)
 - Lepsza odporność na „piki” substancji toksycznych
 - Zapotrzebowanie na tlen jednakowe w całej KOCZ (uśrednione)
- ⇓
- Względnie łatwe sterowanie systemem napowietrzania

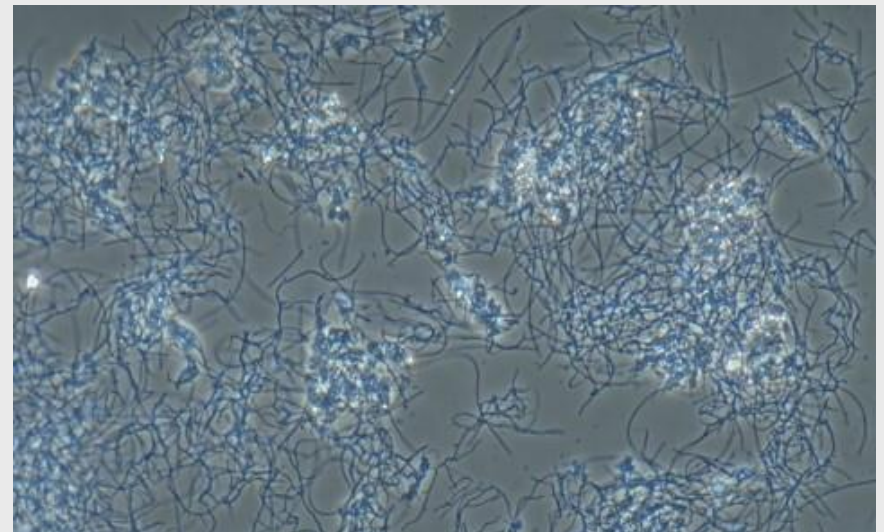
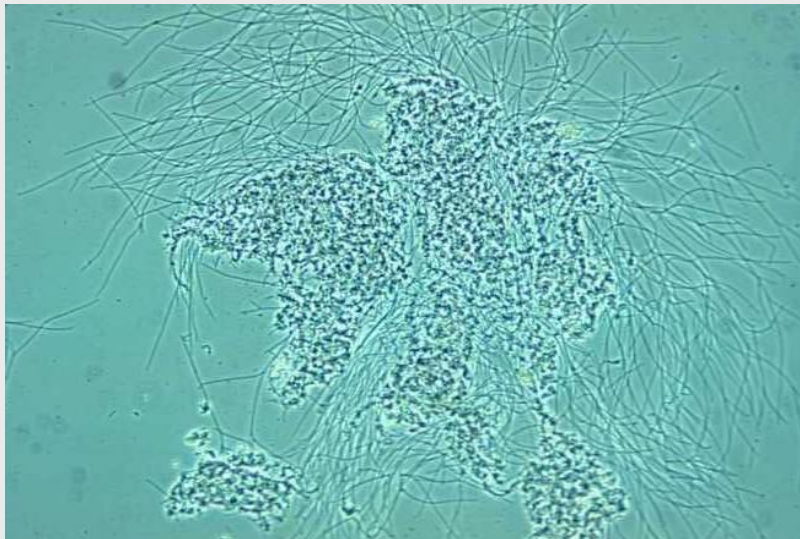
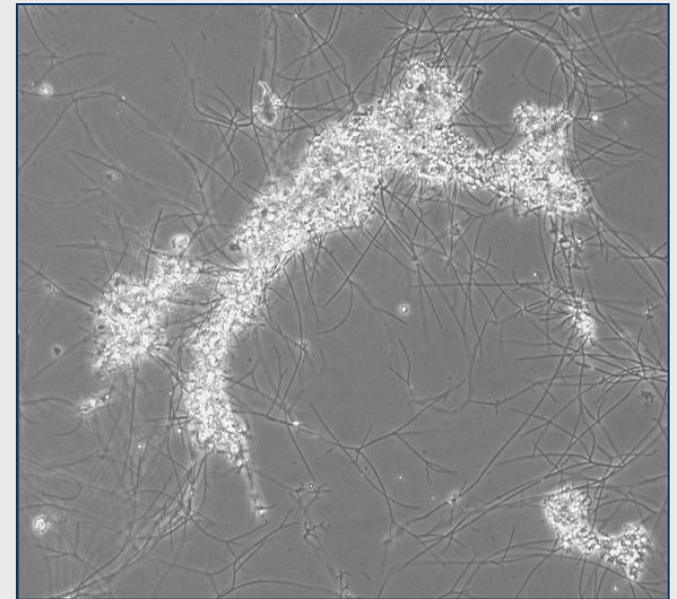
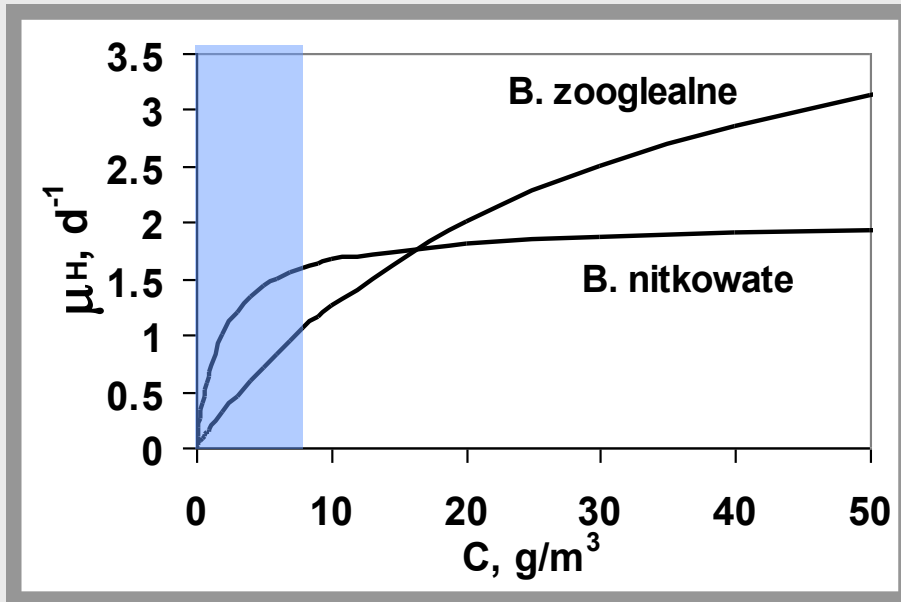
Niskie stężenia substratów



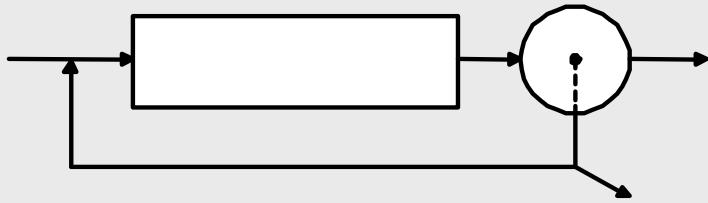
skłonność do pęcznienia osadu



Komory o pełnym wymieszaniu – osad nitkowaty



Komory o przepływie tłokowym

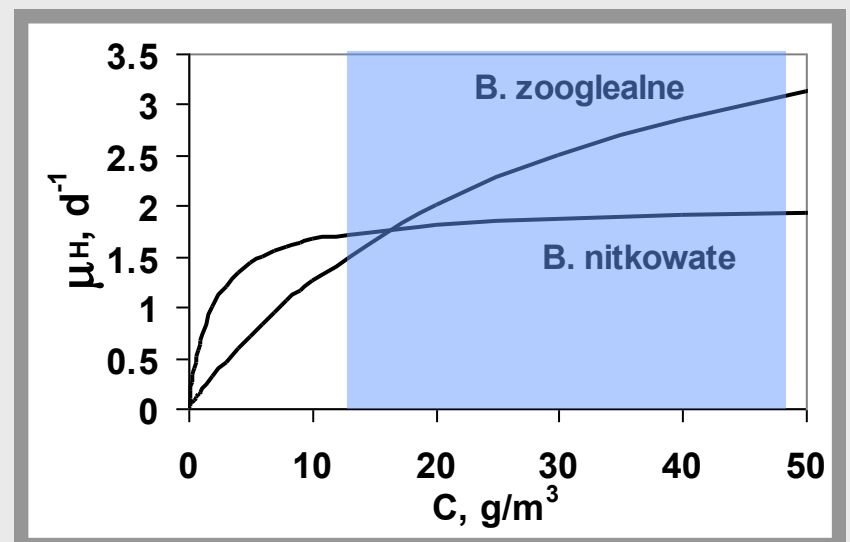


- Stężenia substratów maleją na długości KOCZ
- Stężenia produktów rosną na długości KOCZ
- Zapotrzebowanie na tlen bardzo nierównomierne na długości KOCZ (*trudny do sterowania system napowietrzania !!*)

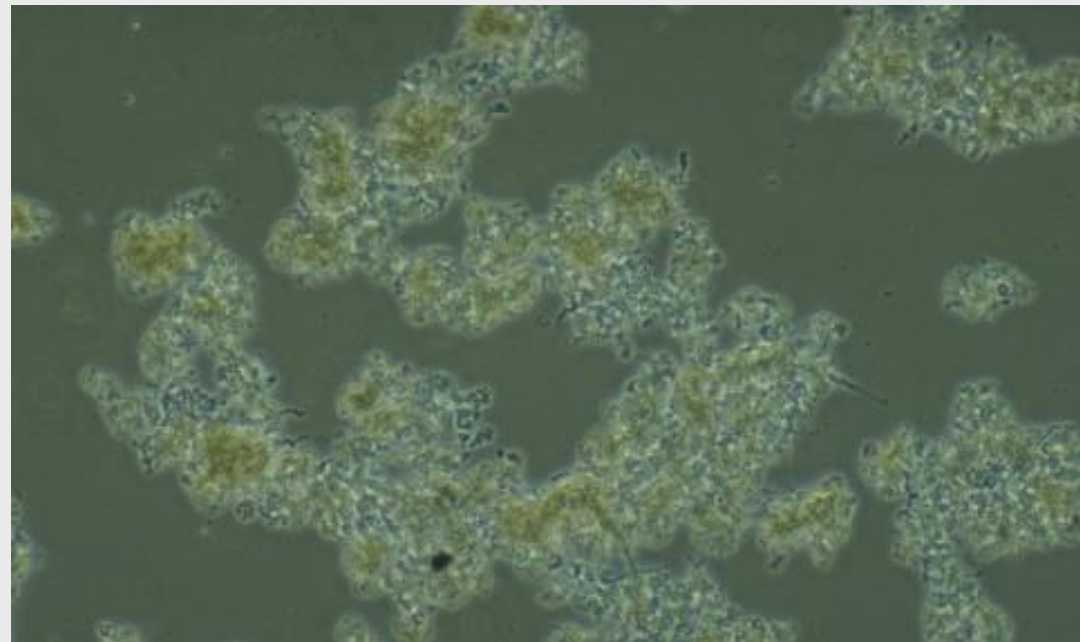
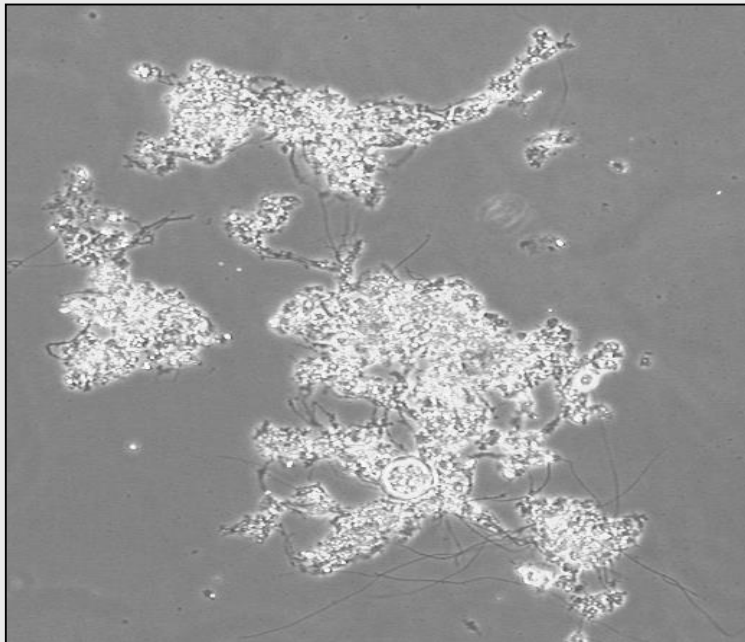
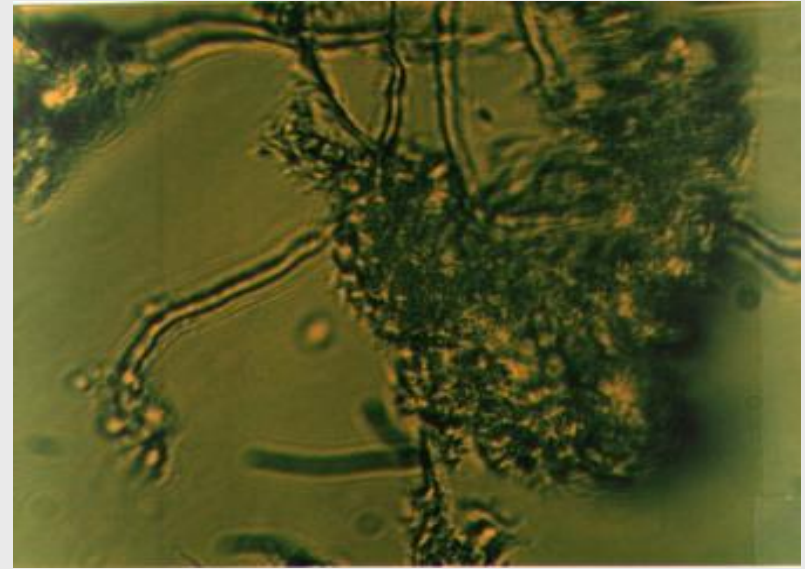
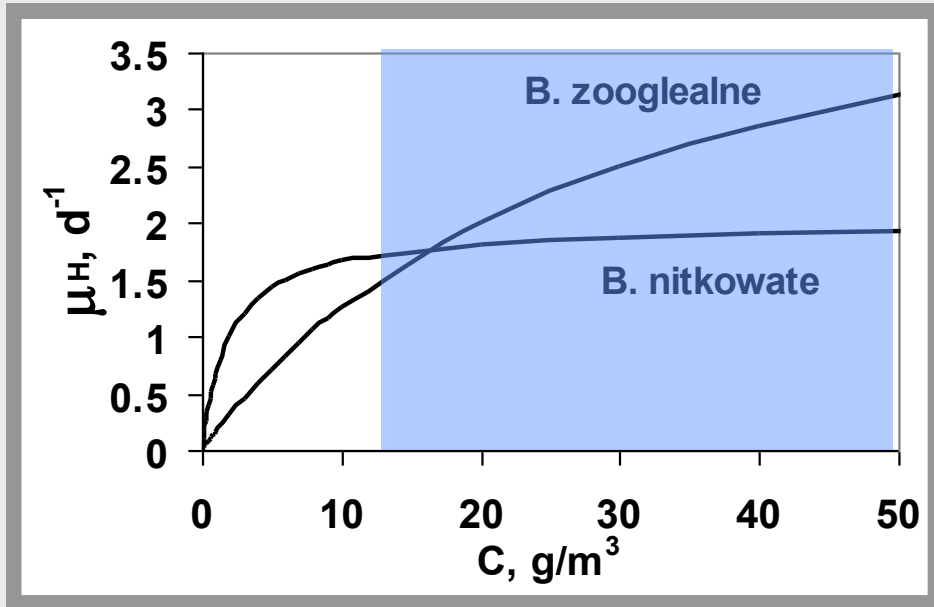
Gradient stężenia substratów



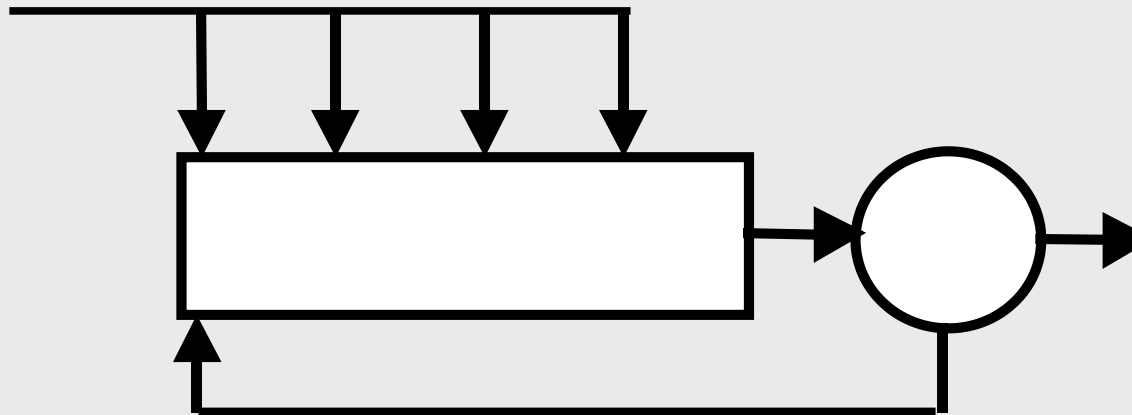
Mniejsza skłonność do pęcznienia osadu



Komory o przepływie tłokowym – osad zooglealny

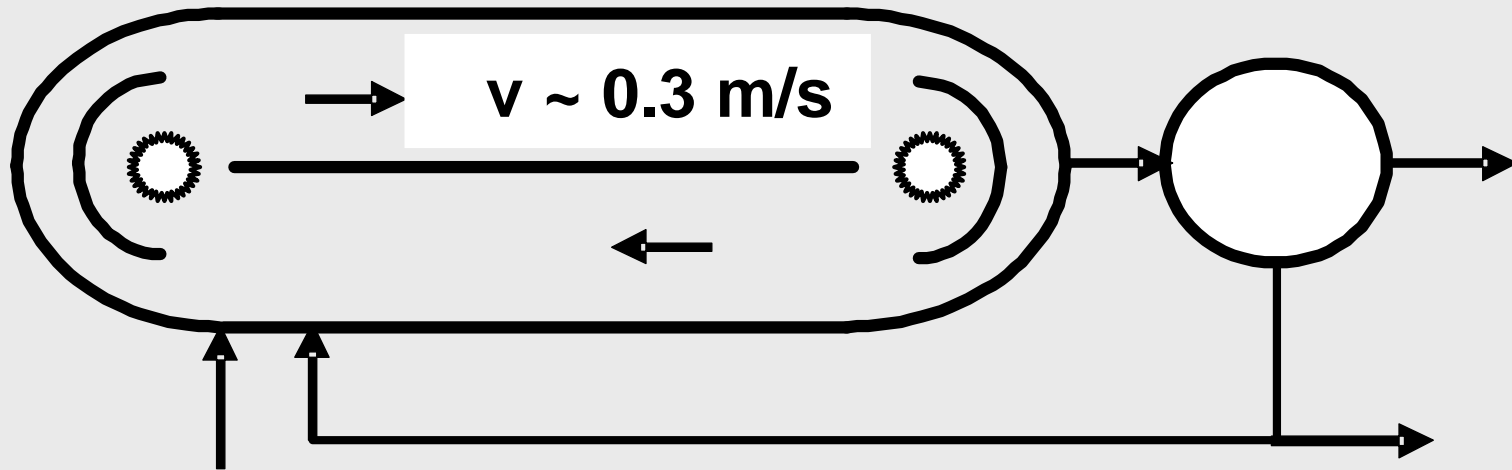


Komora o stopniowym zasilaniu



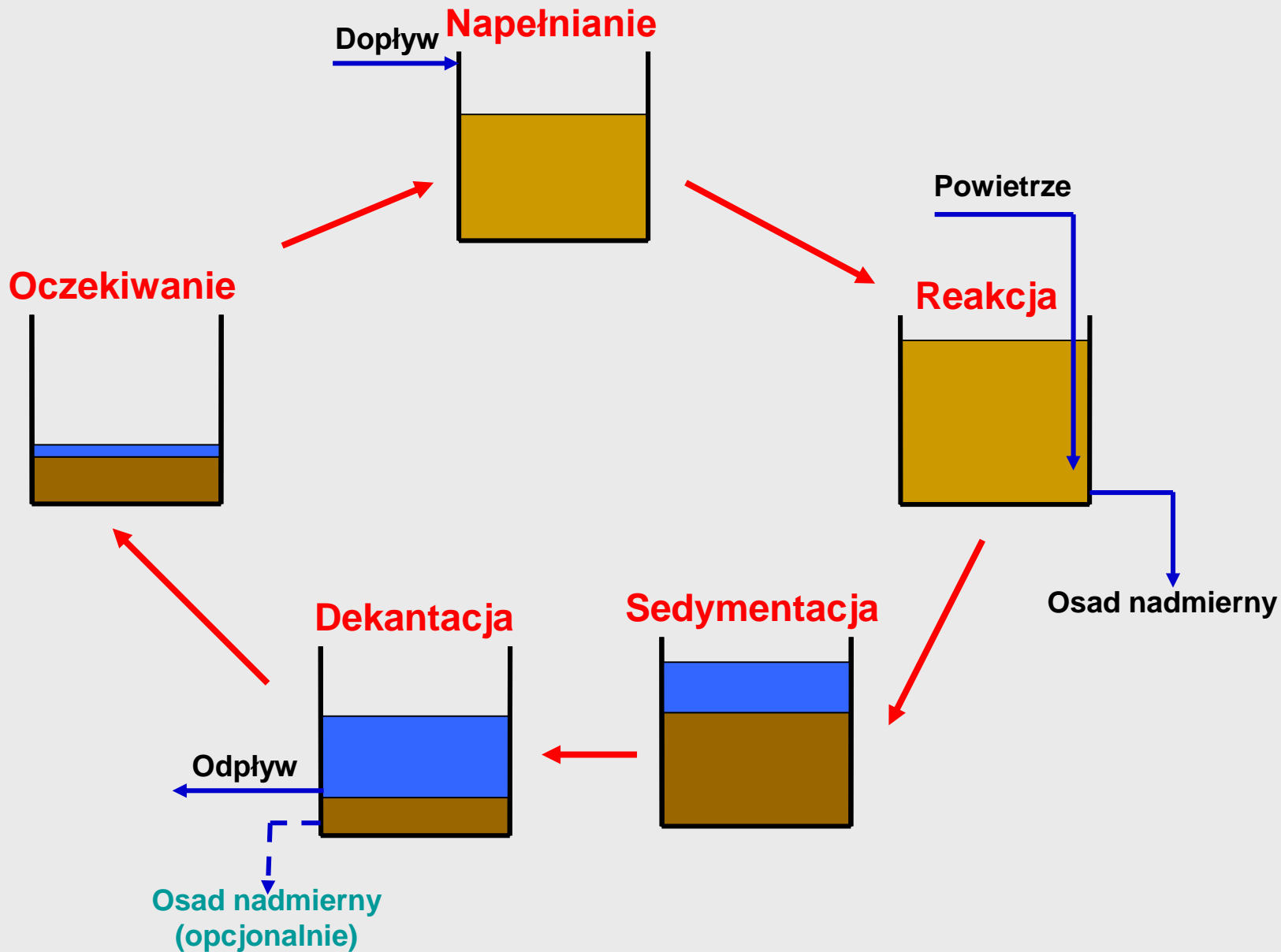
- Stężenia substratów skokowo rosną w miejscach zasilania KOCZ
- Stężenia produktów rosną na długości KOCZ
- Zapotrzebowanie na tlen bardziej równomierne na długości KOCZ (*łatwiejszy do sterowania system napowietrzania !!*)

Komora cyrkulacyjna



- Stężenia zanieczyszczeń ~ jednakowe w całej KOCZ (*jak w odpływie*)
- Zapotrzebowanie na tlen ~ jednakowe w całej KOCZ
- Stężenie tlenu maleje między aeratorami (*denitryfikacja ??*)

Sekwencyjny reaktor wsadowy (SBR)



UKŁADY TECHNOLOGICZNE ANOKSYCZNO (AX) TLENOWEGO (OX) OSADU CZYNNEGO

Główny cel: zmniejszenie zapotrzebowania tlenowego (C, N)
usunięcie azotu (nityfikacja/denitryfikacja)

Warunek nityfikacji: $WO_{OX} \geq WO_{min}^{Nit} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A}$ (funkcja temp.)

$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}}$$

- U_{OX} – ułamek masy osadu czynnego w warunkach tlenowych (OX)

- $U_{OX} \downarrow \Rightarrow$ niezbędny w danej temp. $WO \uparrow$



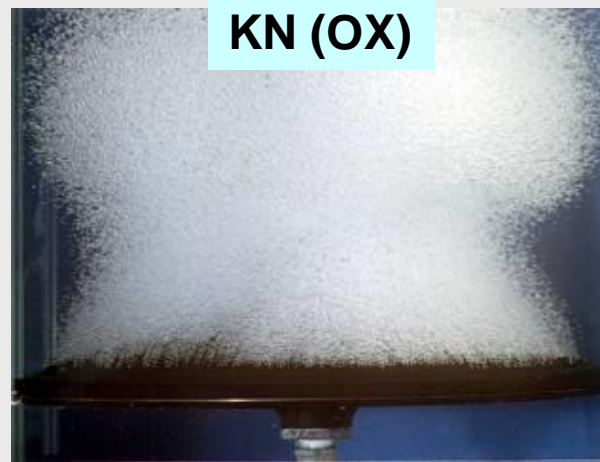
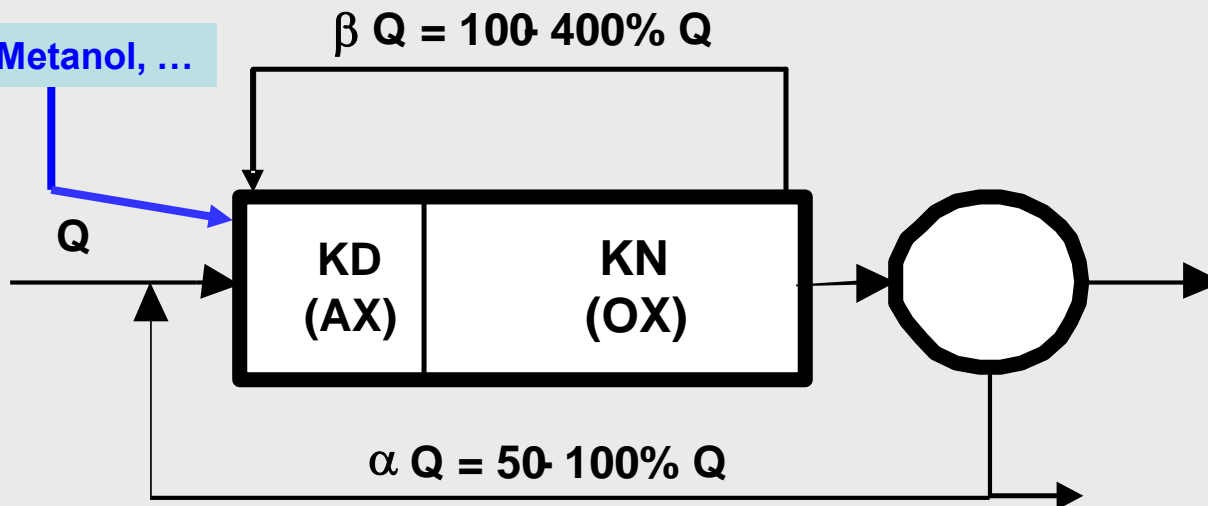
Niezbędna $V_K \uparrow$



Koszt budowy KOCZ \uparrow

Układ z predenitryfikacją (MLE)

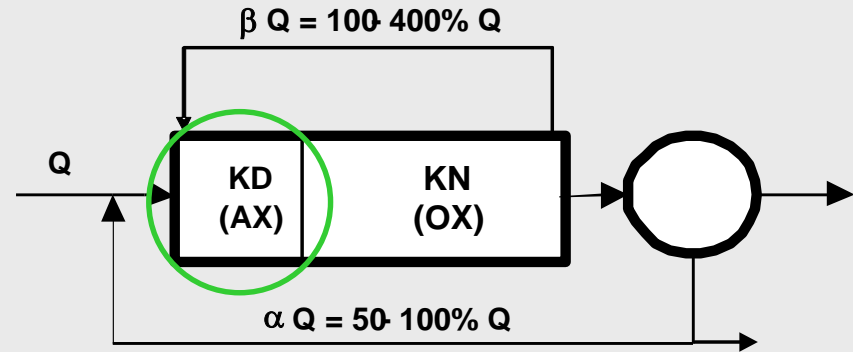
Ewentualnie Metanol, ...



Układ z predenitryfikacją (MLE) c.d.

Komora denitryfikacji (KD)

- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)



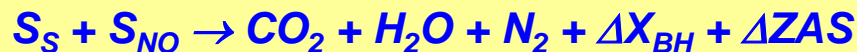
- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany doprowadzane recyrkulacją wewnętrzną (βQ) i zewnętrzną (αQ)**

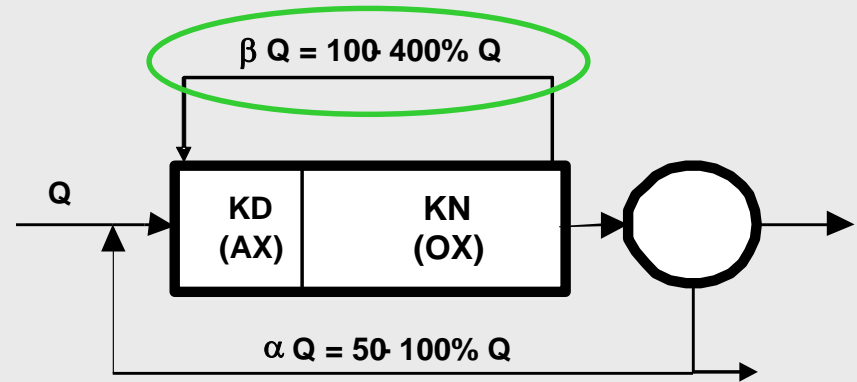


$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Recyrkulacja wewnętrzna

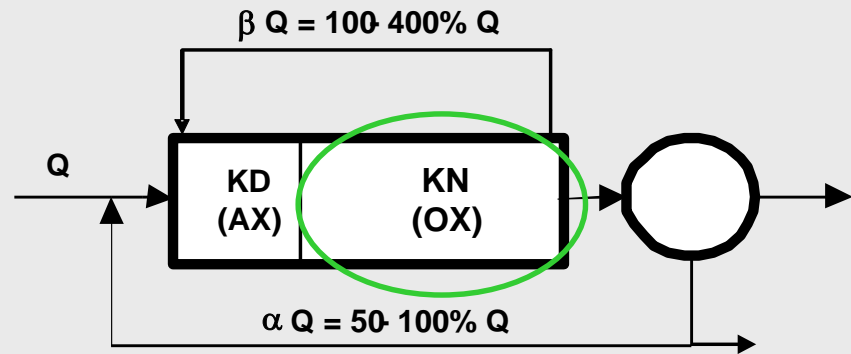
$$\beta Q = 100-400\% Q$$



- **im większa recyrkulacja wewnętrzna tym:**
 - **więcej azotanów do denitryfikacji (jest sens gdy mogą być zdenitryfikowane)**
 - **większy ładunek tlenu doprowadzany z KN (źle, bo niepotrzebne zużycie S_s)**
 - **w okresie letnim można zwiększyć udział KD kosztem KN, co daje lepszą denitryfikację, a w konsekwencji mniejsze zużycie tlenu – oszczędność energii**

Komora nitryfikacji (KN)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



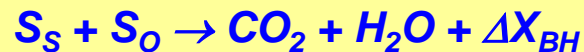
- *trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)*

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- *utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w KD (tzn. z wykorzystaniem azotanów)*



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ *asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}*

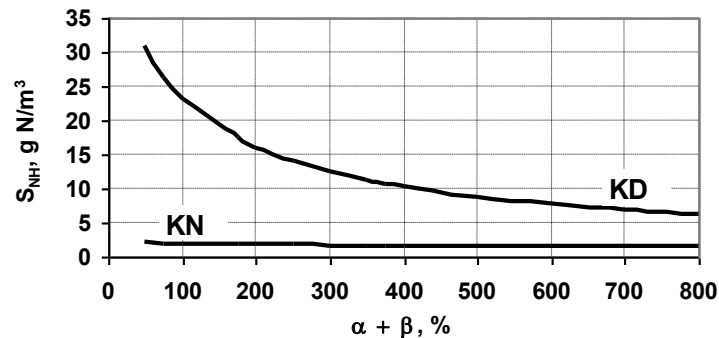
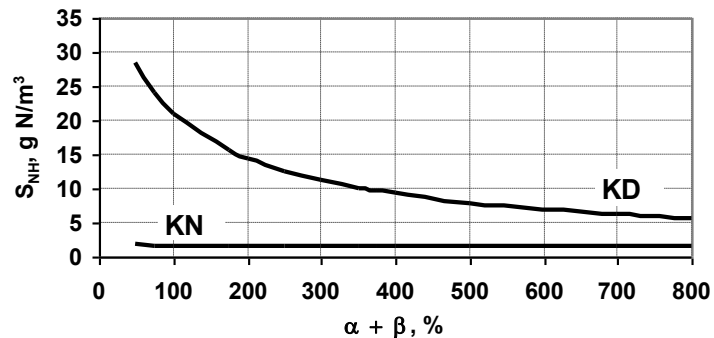
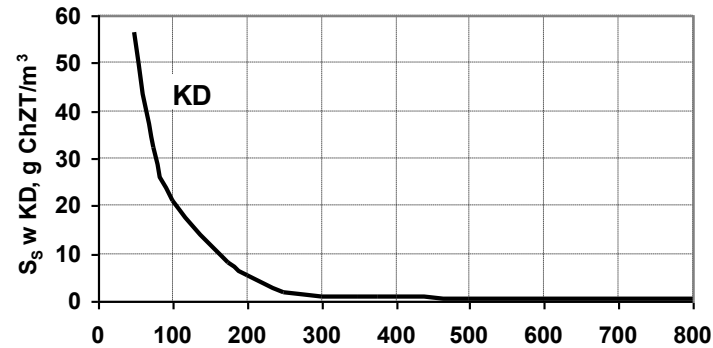
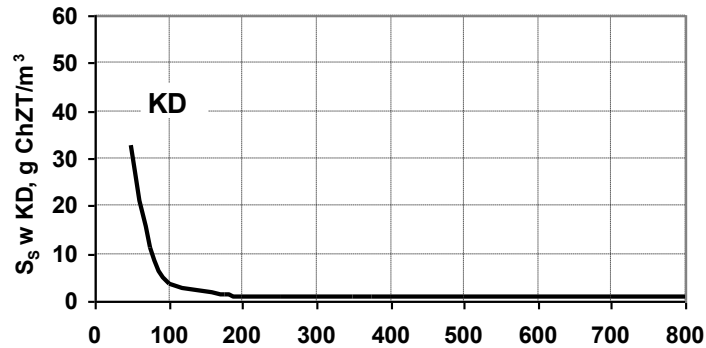
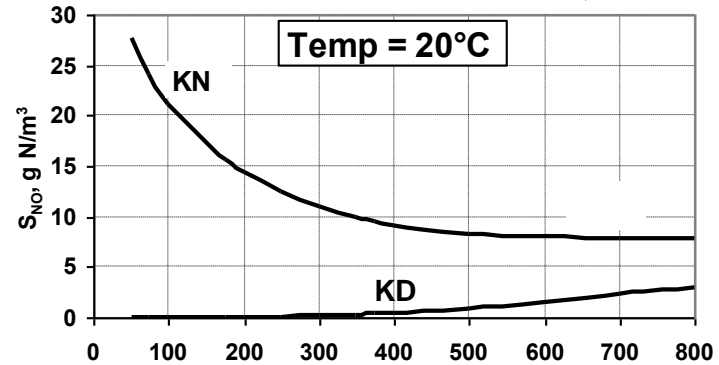
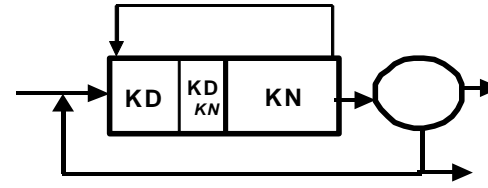
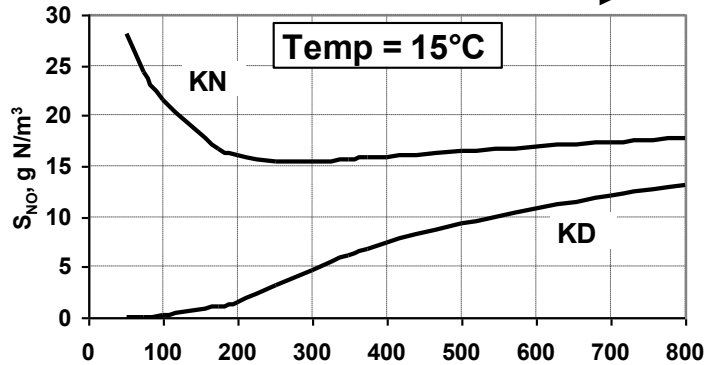
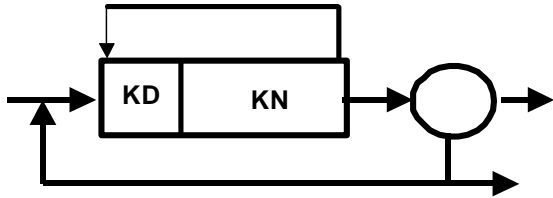
- *utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} dopływa z komory denitryfikacji (KD) oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)*



asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- *obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S*

Możliwość rekonfiguracji układu MLE – lato/zima



Parametry projektowe układu z predenitryfikacją (MLE)

$$WO = \sim 12 \div 20 \text{ d}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]} \quad X \sim 1.5 \div 4 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{KD} + V_{KN} \quad V_{KD} \sim 30 \div 60\% V_K$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]} \quad T_K \sim \text{rzędu kilkunastu godzin}$$

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{\min}^{\text{Nit}} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \text{ [d]} \quad (\text{funkcja temp.})$$

$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]}$$

$$U_{OX} = \frac{V_{KN}}{V_{KD} + V_{KN}}$$

Parametry projektowe układu z predenitryfikacją (MLE) – zużycie tlenu

$$ZO_2 = \text{łChZT}_{\text{utl},O_2} + ZO_{2,\text{Nit}} \quad [\text{g O}_2/\text{d}]$$

$$\text{łChZT}_{\text{utl},O_2} = \text{łChZT}_{\text{utl}} - \text{łChZT}_{\text{utl},NO_3} \quad [\text{g O}_2/\text{d}]$$

$$ZO_{2,\text{Nit}} = 4.57 \text{łN}_{\text{Nit}} \quad [\text{g O}_2/\text{d}]$$

[g O₂/g N-NH₄]

$$\text{łChZT}_{\text{utl}} = Q_0(\text{ChZT}_o - \text{ChZT}_{e_rozp}) - 1.42 \Delta X_{\text{smo}} \quad [\text{g O}_2/\text{d}]$$

[g ChZT/g smo]

[g smo/d]

ΔX_{ChZT}

$$\text{łN}_{\text{Nit}} = Q_0(\text{TKN}_o - \text{TKN}_{e_rozp}) - 0.1 \Delta X_{\text{smo}} \quad [\text{g N/d}]$$

[g N/g smo]

[g smo/d]

$$\text{łChZT}_{\text{utl},NO_3} = 2.86(\text{łN}_{\text{Nit}} - Q_0 * \text{N-NO}_{3,e}) \quad [\text{g O}_2/\text{d}]$$

[g ChZT/g N-NO₃]

Parametry projektowe układu z predenitryfikacją – zużycie tlenu c.d.

$$\begin{aligned} \text{ZO}_2 = & Q_0(\text{ChZT}_o - \text{ChZT}_{e,\text{rozp}}) - 1.42 \Delta X_{\text{smo}} \\ & - 2.86 \{Q_0(\text{TKN}_o - \text{TKN}_{e,\text{rozp}}) - 0.1 \Delta X_{\text{smo}} - Q_0 * \text{N-NO}_{3,e}\} \\ & + 4.57 \{Q_0(\text{TKN}_o - \text{TKN}_{e,\text{rozp}}) - 0.1 \Delta X_{\text{smo}}\} \end{aligned}$$

ZO_2 (zużycie tlenu) - g O_2/d

Q_0 (natężenie dopływu ścieków) – m^3/d

$\text{ChZT}_o, \text{ChZT}_{e,\text{rozp}}$ – g O_2/m^3

$\text{TKN}_o, \text{TKN}_{e,\text{rozp}}$ – g N/m^3

ΔX_{smo} – g smo/d

ΔX_{ChZT} – g O_2/d

$\text{N-NO}_{3,e}$ – g N/m^3

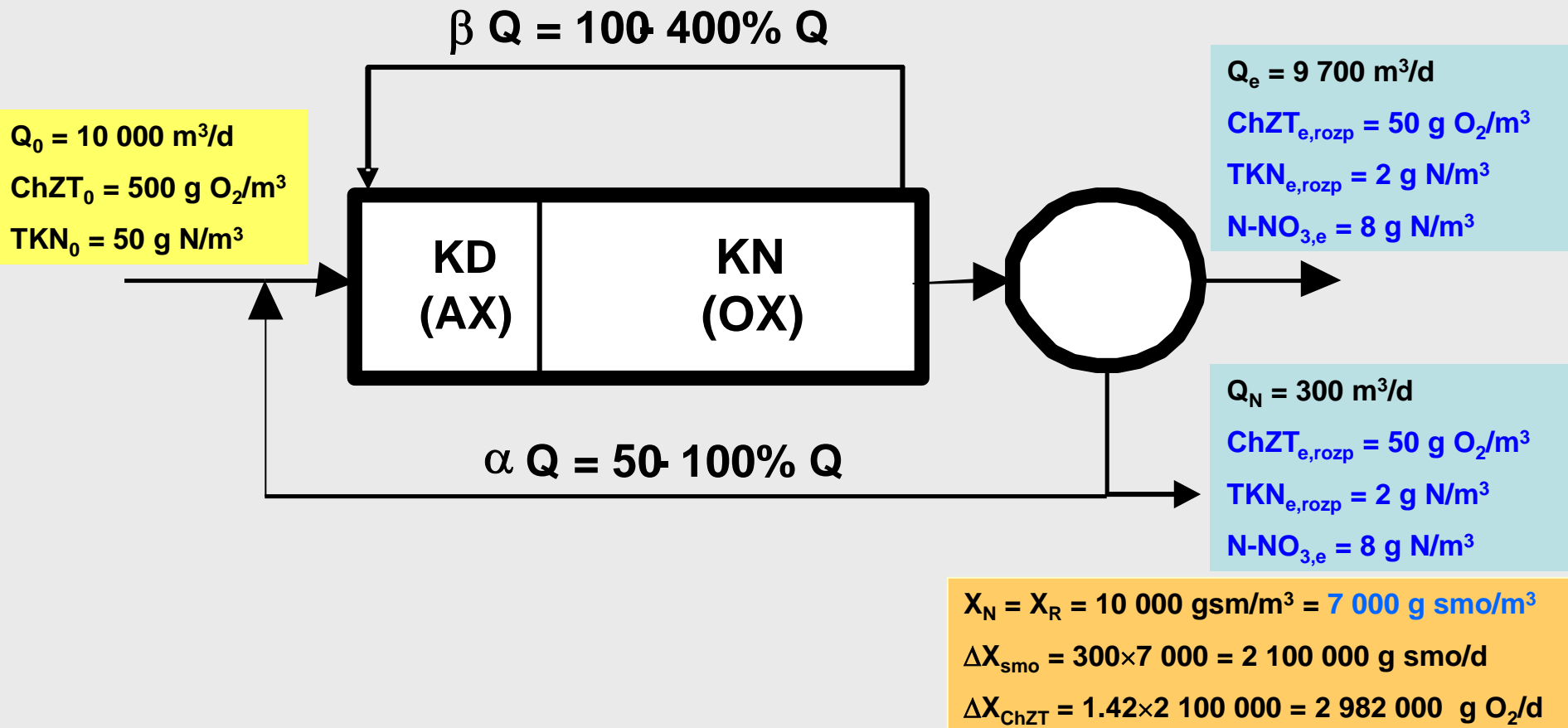
1.42 g $\text{O}_2/\text{g smo}$ - ChZT biomasy osadu czynnego

2.86 g ChZT/g N-NO_3 – ilość utlenionego ChZT na jednostkę zredukowanego N-NO_3

4.57 g $\text{O}_2/\text{g N-NH}_4$ – ilość zużytego tlenu na jednostkę utlenionego N-NH_4

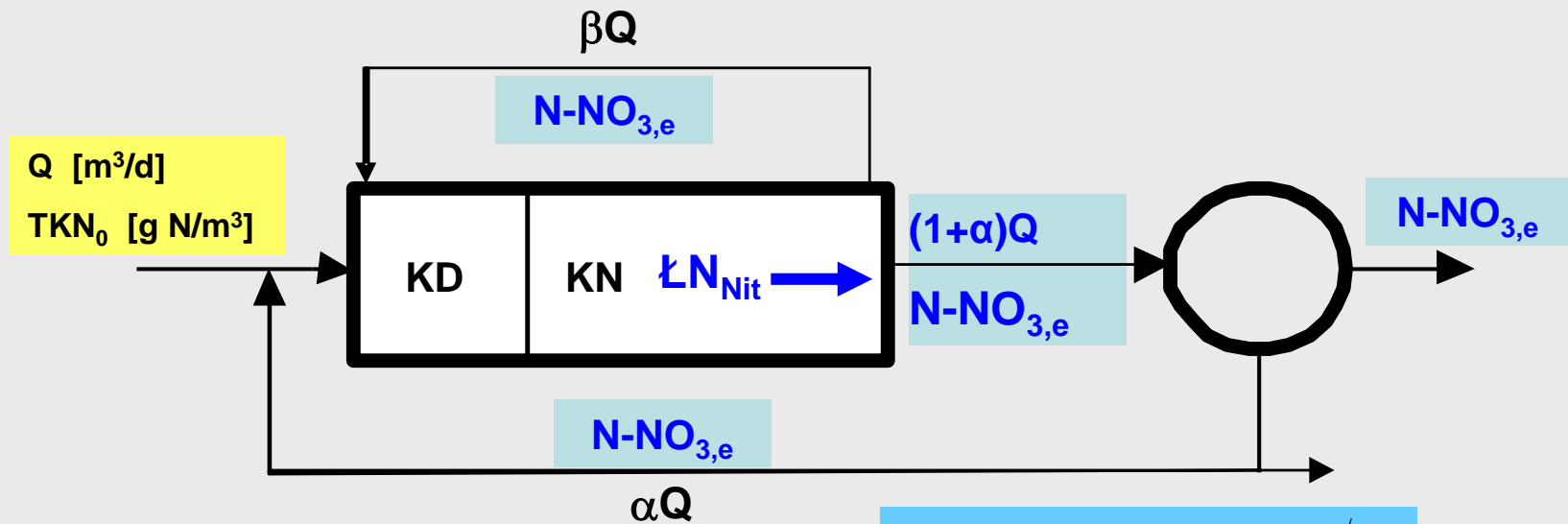
0.1 g $\text{N}/\text{g smo}$ – jednostkowa zawartość azotu w biomacie osadu czynnego

Przykład – zużycie tlenu w układzie z predenitryfikacją



$$\begin{aligned}
 \text{ZO}_2 &= 10\ 000(500 - 50) - 1.42 \times 2\ 100\ 000 \\
 &\quad - 2.86 \{10\ 000(50 - 2) - 0.1 \times 2\ 100\ 000 - 10\ 000 \times 8\} \\
 &\quad + 4.57 \{10\ 000(50 - 2) - 0.1 \times 2\ 100\ 000\} = \underline{2\ 208\ 500\ \text{g O}_2/\text{d}} = \underline{2\ 208.5\ \text{kg O}_2/\text{d}}
 \end{aligned}$$

Osiągalne efekty usuwania azotu w układzie MLE



$$\dot{L}N_{Nit} = (1 + \alpha + \beta) Q \cdot N-NO_{3,e} \text{ [g N/d]}$$

 \Rightarrow

$$N-NO_{3,e} = \frac{\dot{L}N_{Nit} / Q}{1 + \alpha + \beta}$$

$$\dot{L}N_{Nit} = Q_0(TKN_0 - TKN_{e,rozp}) - 0.1 \Delta X_{smo} \text{ [g N/d]}$$

$$\dot{L}N_{Nit} / Q = \underbrace{TKN_0 - TKN_{e,rozp}}_{\sim TKN_0} - \underbrace{0.1 \Delta X_{smo} / Q}_{\sim 20\% TKN_0} \approx 0.8 \cdot TKN_0$$

$\sim TKN_0$

$\sim 20\% TKN_0$

$$N-NO_{3,e} \approx \frac{0.8 \cdot TKN_0}{1 + \alpha + \beta}$$

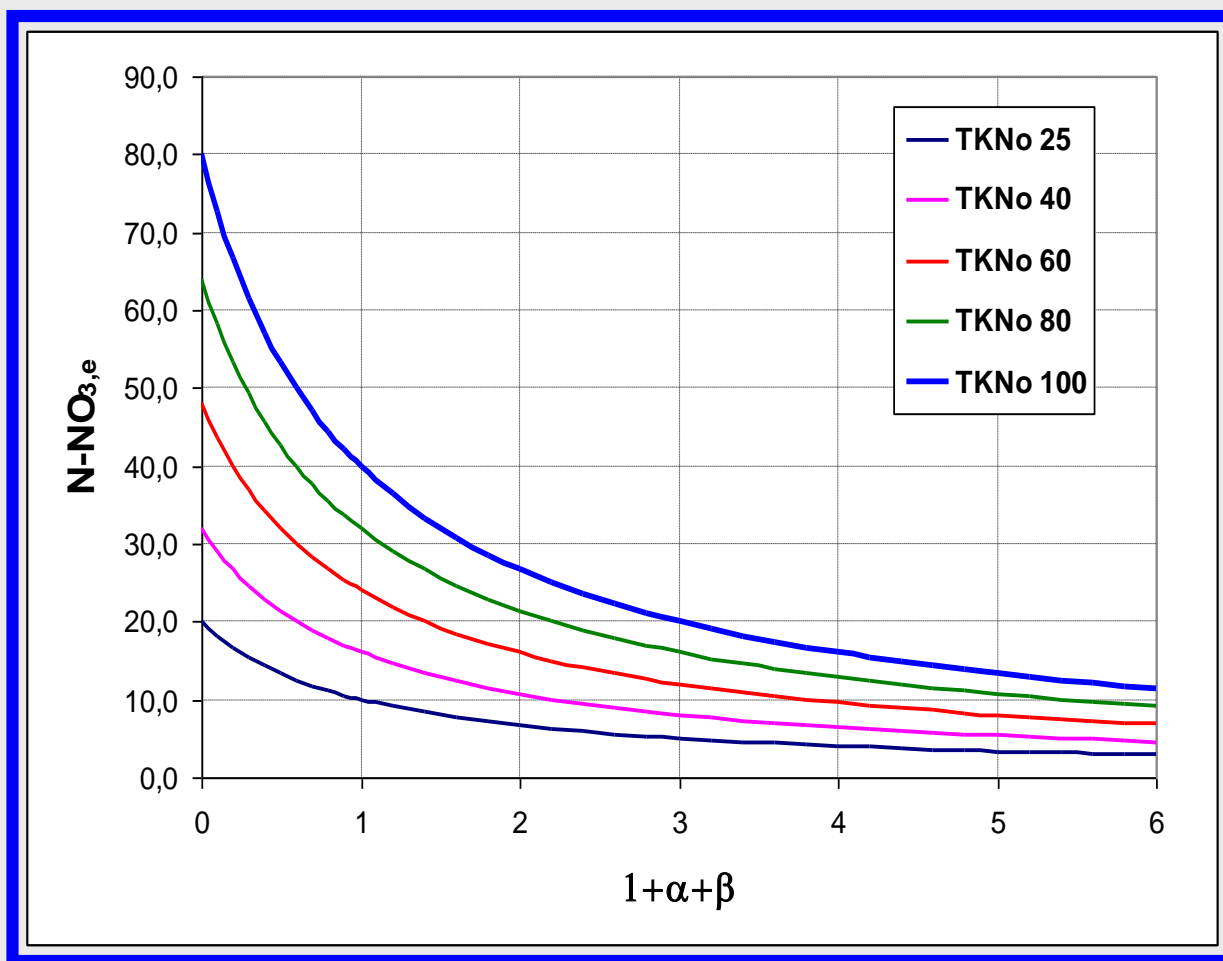
Osiągalne efekty usuwania azotu w układzie MLE c.d.

$$N - NO_{3,e} \approx \frac{0.8 \cdot TKN_0}{1 + \alpha + \beta}$$

Pod warunkiem wystarczającego BZT

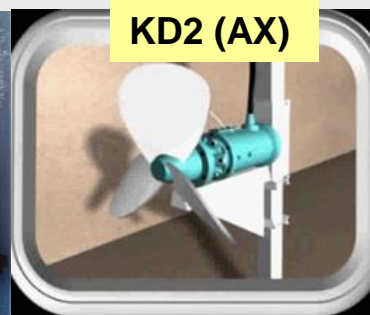
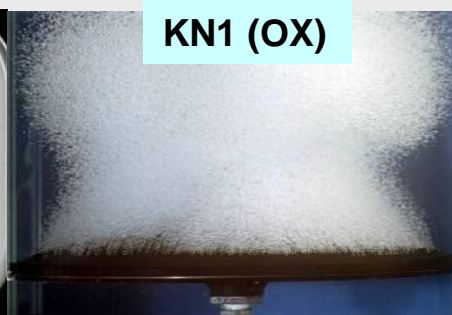
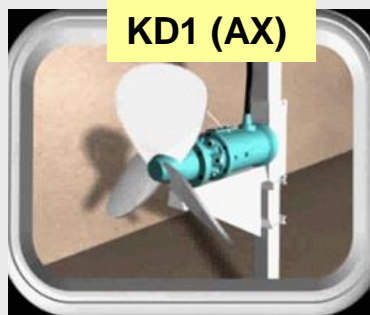
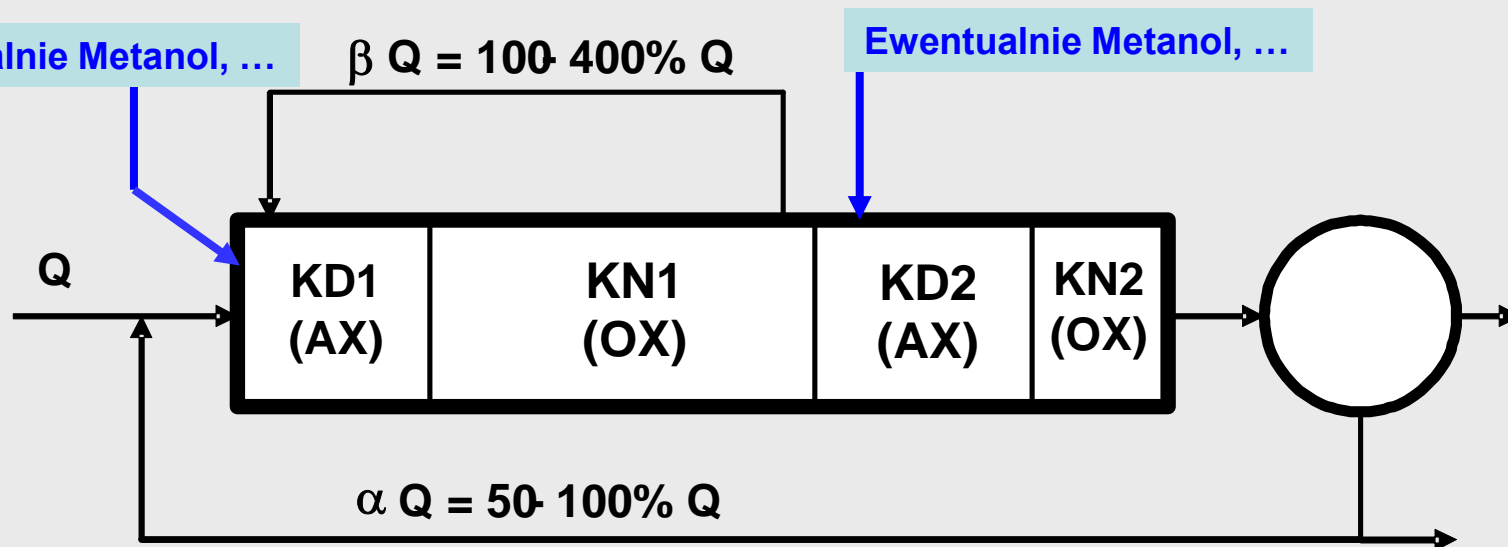
$BZT_5/TKN > \sim 4:1$

$ChZT/TKN > \sim 7.5:1$



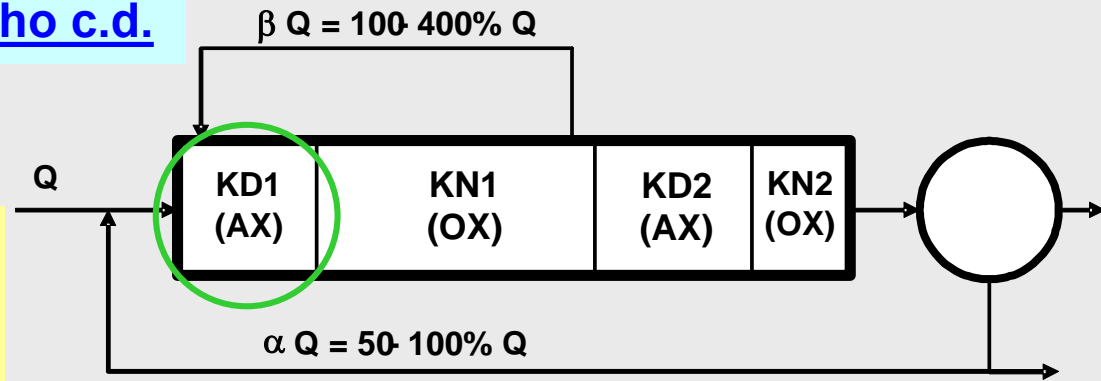
Czterostopniowy układ Bardenpho

- pogłębiona (o kilka g N/m³), w stosunku do układu MLE, denitryfikacja (dzięki komorze KD2)
- KN2 ⇒ natlenienie osadu przed sedimentacją i utlenienie resztek amoniaku



Czterostopniowy układ Bardenpho c.d.

Komora denitryfikacji (KD1)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany doprowadzane recyrkulacją wewnętrzną (βQ) i zewnętrzną (αQ)**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

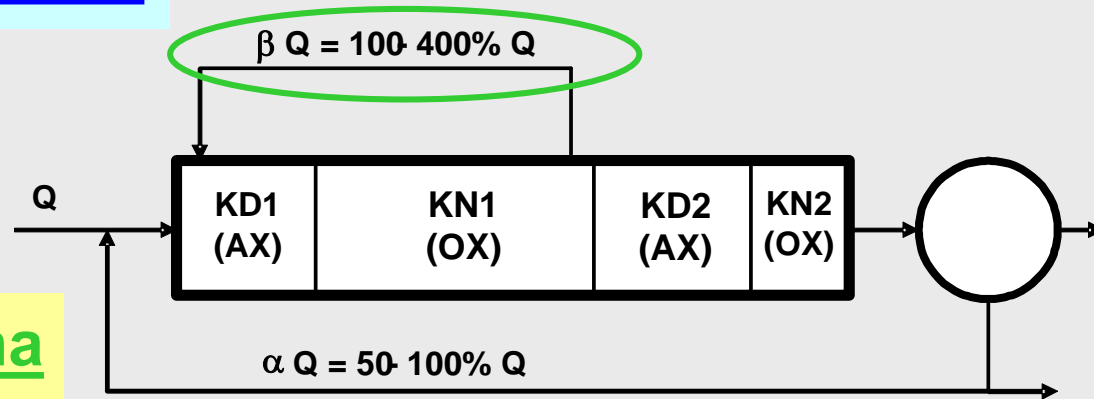
$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Czterostopniowy układ Bardenpho c.d.

Recyrkulacja wewnętrzna

$$\beta Q = 100-400\% Q$$

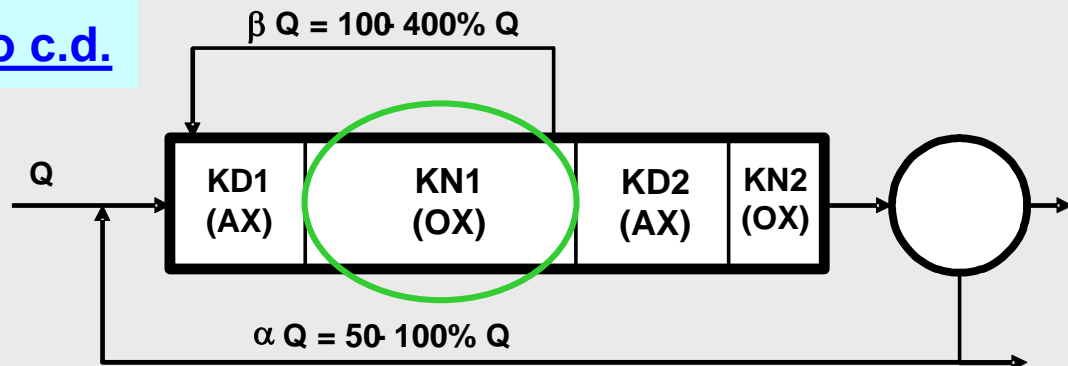


- **im większa recyrkulacja wewnętrzna tym:**
 - **więcej azotanów do denitryfikacji (jest sens gdy mogą być zdenitryfikowane)**
 - **większy ładunek tlenu doprowadzany z KN (źle, bo niepotrzebne zużycie S_s)**
 - **w okresie letnim można zwiększyć udział KD kosztem KN, co daje lepszą denitryfikację, a w konsekwencji mniejsze zużycie tlenu – oszczędność energii**

Czterostopniowy układ Bardenpho c.d.

Komora nitryfikacji (KN1)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



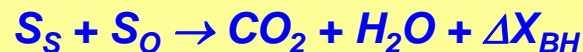
- *trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)*

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- *utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w KD (tzn. z wykorzystaniem azotanów)*



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- *utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} dopływa z komory denitryfikacji (KD) oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)*

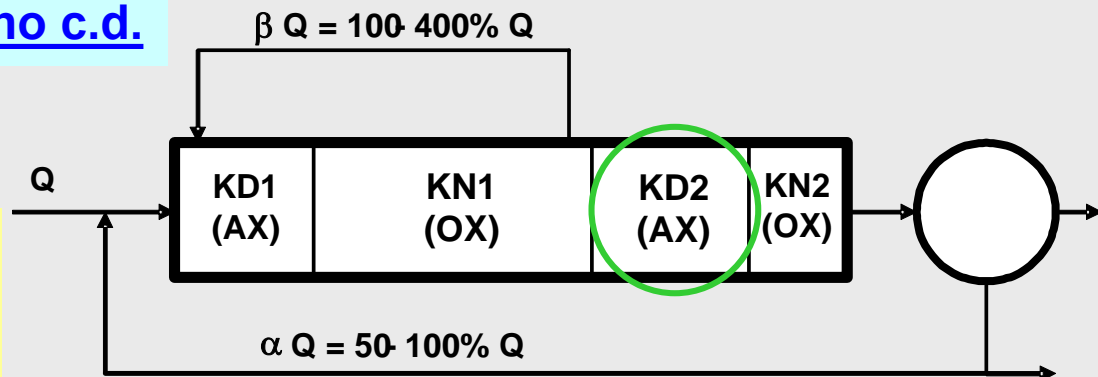


asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- *obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S*

Czterostopniowy układ Bardenpho c.d.

Komora denitryfikacji (KD2)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki anoksydacyjne (AX)



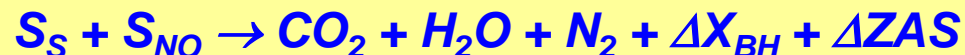
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

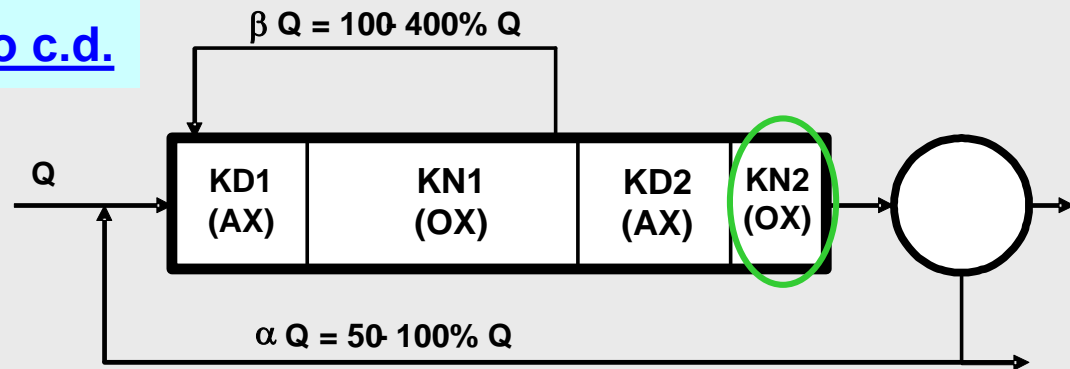
$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}), dopływających z KN1, jako akceptora elektronów. S_S pochodzi praktycznie tylko z hydrolizy X_S , a jest to proces bardzo wolny. Dlatego szybkość denitryfikacji jest bardzo mała.**



Czterostopniowy układ Bardenpho c.d.



Komora napowietrzania (KN2)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)

- **Utlenianie niewielkich ilości azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). Te niewielkie ilości azotu amonowego (S_{NH}) zostały wytworzone w KD2 w procesie amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**



- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**
- **następuje natlenienie i usunięcie pęcherzyków azotu z osadu czynnego, przed jego dopływem do osadnika wtórnego (zapobieganie flotacji osadu)**

Parametry projektowe układu Bardenpho

$$WO = \sim 12 \div 40 \text{ d}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]} \quad X \sim 1.5 \div 4 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{KD1} + V_{KN1} + V_{KD2} + V_{KN2}$$

$$V_{KD1} \sim 20 \div 25\% V_K \quad V_{KN1} \sim 45 \div 55\% V_K$$

$$V_{KD2} \sim 20 \div 25\% V_K \quad V_{KN2} \sim 5 \div 10\% V_K$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$T_K \sim$ rzędu kilkunastu (kilkudziesięciu) godzin

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{min}^{Nit} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \text{ [d]} \quad (\text{funkcja temp.})$$

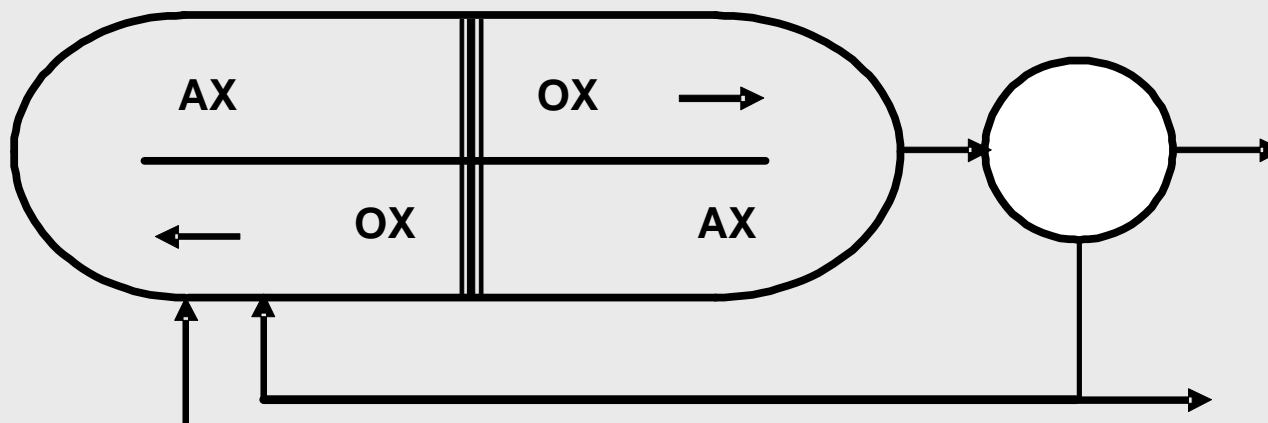
$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]}$$

$$U_{OX} = \frac{V_{KN1} + V_{KN2}}{V_{KD1} + V_{KN1} + V_{KD2} + V_{KN2}}$$

Zużycie tlenu

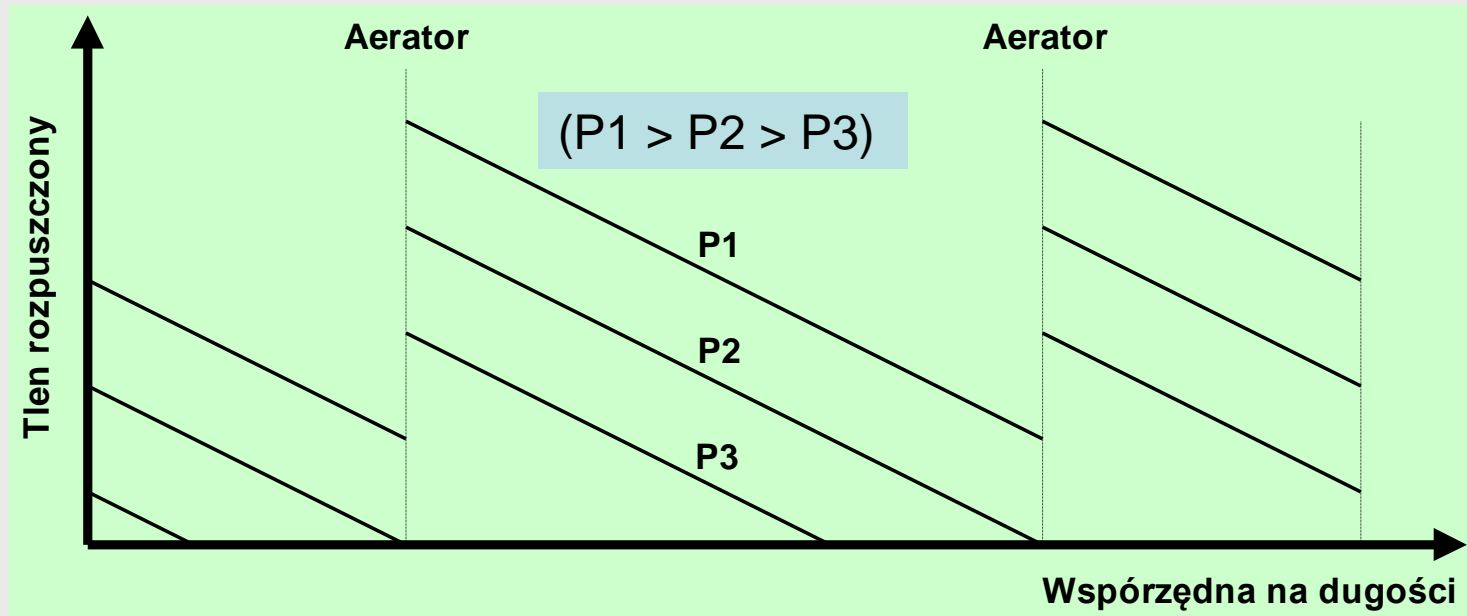
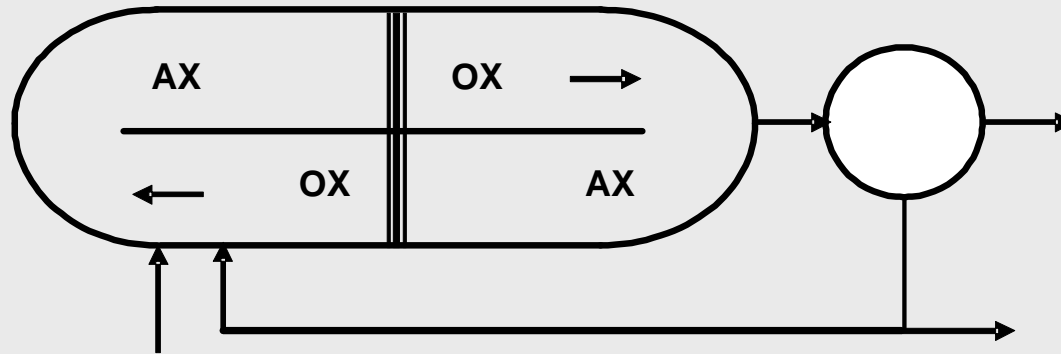
W przybliżeniu jak w układzie MLE

Układy z komorami cyrkulacyjnymi



Średni czas przebywania cząstek płynu w reaktorze (hydrauliczny czas przetrzymania) jest rzędu godzin, podczas gdy czas pojedynczego obiegu pętli reaktora jest rzędu minut. Dlatego dopływ wpadający do reaktora jest rozcieńczony rzędu 100 krotnie. Z tego względu reaktor jest praktycznie w pełni wymieszany, ale w przybliżeniu tłokowy charakter przepływu cyrkulacyjnego nadaje mu specyficzną charakterystykę. Z uwagi na wprowadzanie tlenu w dyskretnych punktach, stężenie tlenu rozpuszczonego wzrasta podczas przepływu mieszaniny ścieków i osadu czynnego przez aerator i spada na drodze między aeratorami.

Układy z komorami cyrkulacyjnymi c.d.

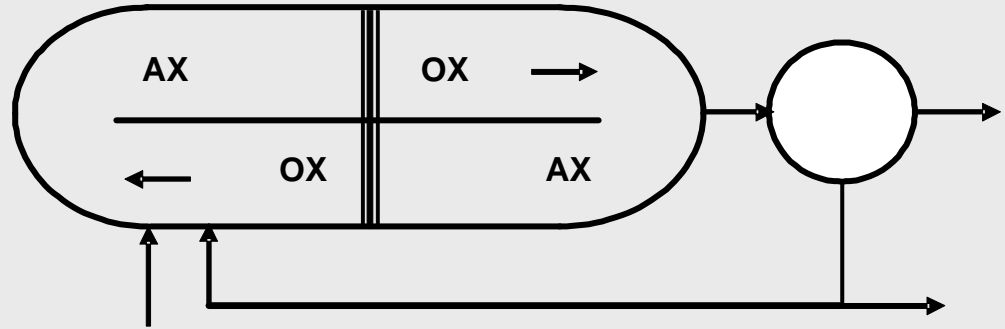


Właściwe funkcjonowanie układu wymaga starannego sterowanie systemu napowietrzania. Przy zmianach obciążenia lub szybkości procesów (np. przy zmianie temperatury), utrzymanie optymalnego podziału stref tlenowych (OX) i anoksycznych (AX) poprzez sterowanie intensywnością natleniania, może być trudne.

Układy z komorami cyrkulacyjnymi c.d.

Strefy anoksydacyjne (AX)

Bardzo mało lub brak tlenu rozpuszczonego



- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z hydrolizy X_S oraz ze ścieków (głównie w strefie bezpośrednio za dopływem ścieków). Azotany doprowadzane z poprzedzających stref tlenowych (OX).**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

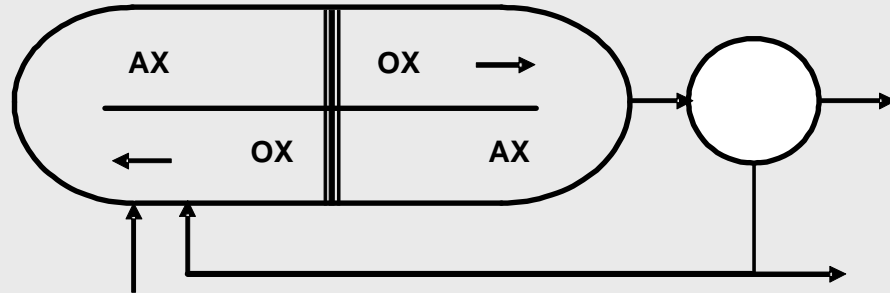
$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Układy z komorami cyrkulacyjnymi c.d.

Strefy tlenowe (OX)

Sporo tlenu
rozpuszczonego



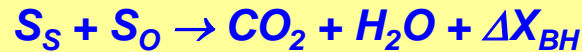
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) tlenem (S_O) jako akceptorem elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w poprzedzającej strefie anoksydacyjnej - AX (azotanami).**



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ **asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}**

- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} pochodzi z dopływu oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S).**



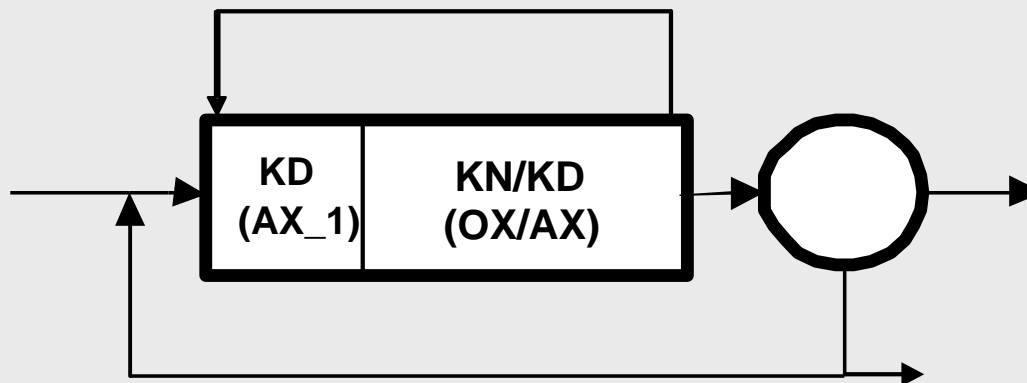
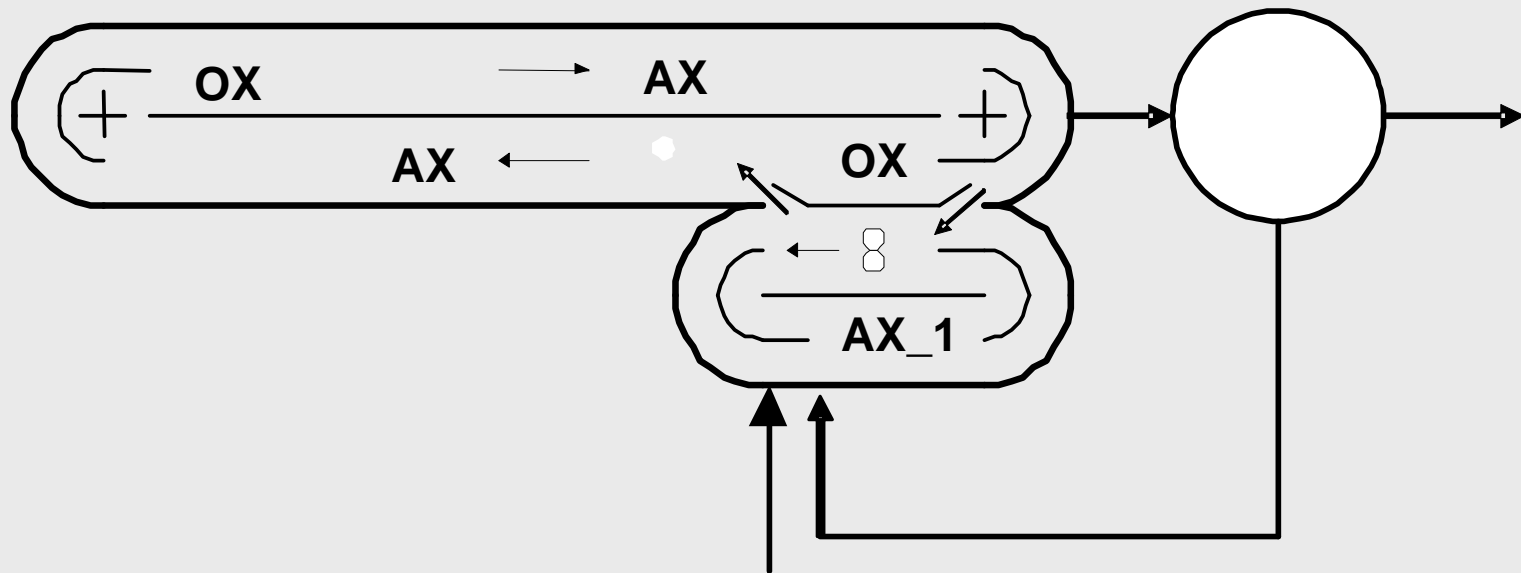
asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Układy z komorami cyrkulacyjnymi c.d.

System "Carrousel-2000"

Mniej problemów ze sterowaniem gdy dodatkowo wydzieli się komorę predenitryfikacji (AX₁)

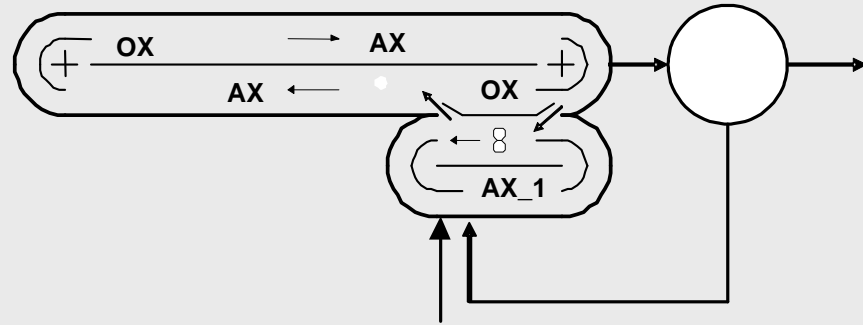


System "Carrousel-2000" c.d.

Komora denitryfikacji (AX 1)

(podobnie jak komora denitryfikacji układu MLE)

- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne



- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

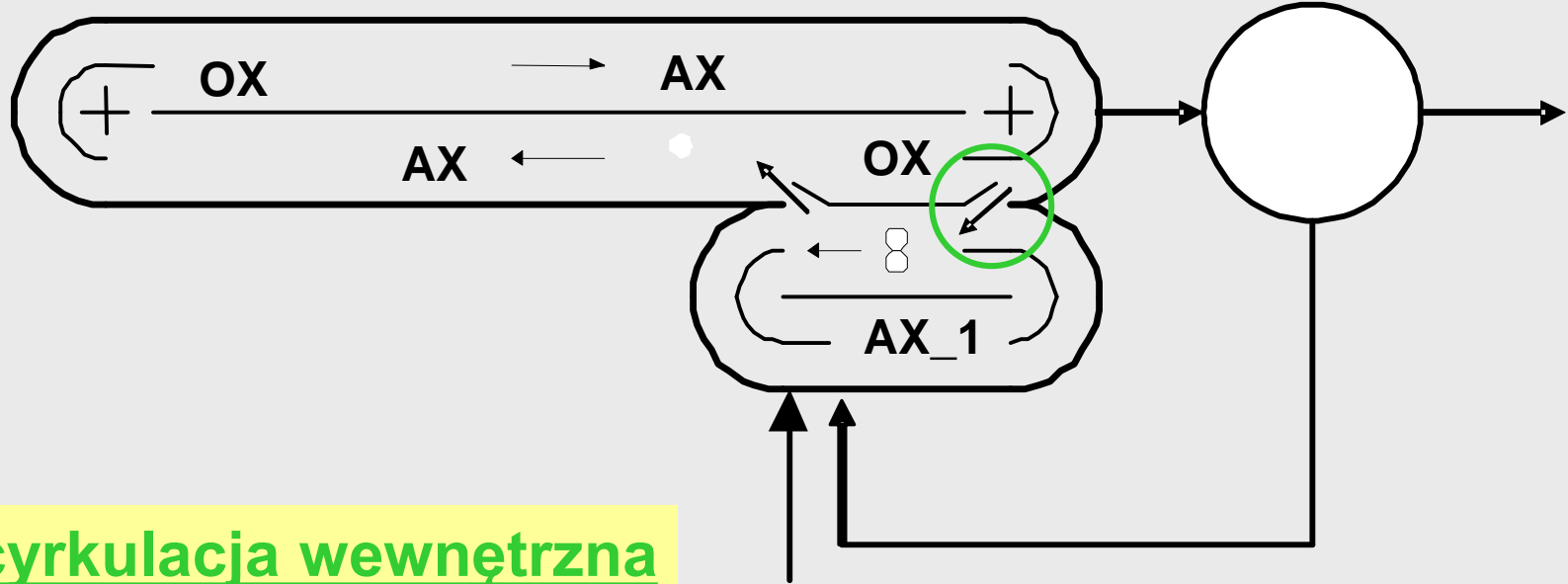
- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany doprowadzane recyrkulacją wewnętrzną (βQ) i zewnętrzną (αQ)**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

System "Carrousel-2000" c.d.



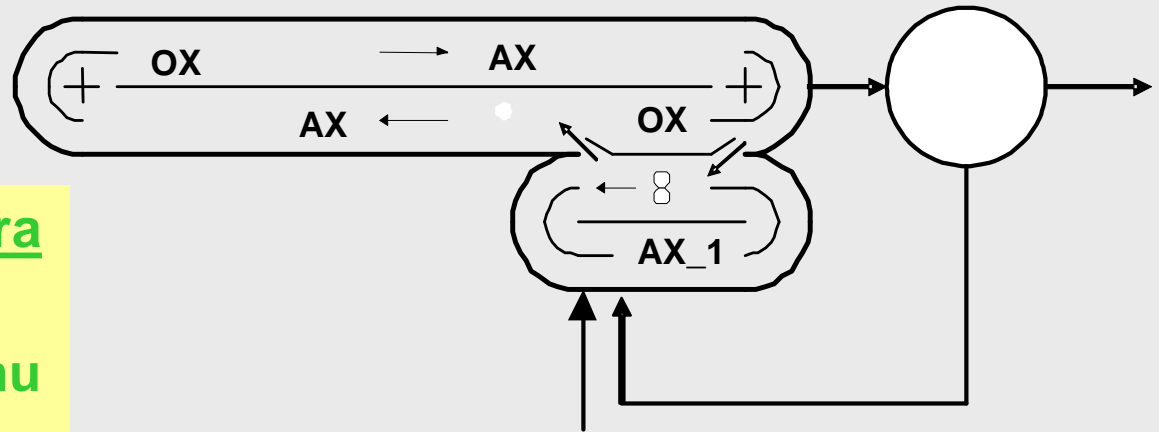
Recyrkulacja wewnętrzna
sterowana ustawieniem
kierownic między komorami

- **im większa recyrkulacja wewnętrzna tym:**
 - **więcej azotanów do denitryfikacji (jest sens gdy mogą być zdenitryfikowane)**
 - **większy ładunek tlenu doprowadzany z KN (źle, bo niepotrzebne zużycie S_s)**

System "Carrousel-2000" c.d.

Strefy anoksydacyjne reaktora głównego (AX)

Bardzo mało lub brak tlenu rozpuszczonego



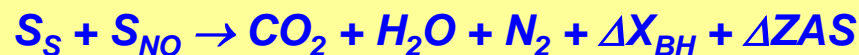
- hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z hydrolizy X_S oraz ze ścieków (głównie w strefie bezpośrednio za dopływem ścieków). Azotany doprowadzane z poprzedzających stref tlenowych (OX).



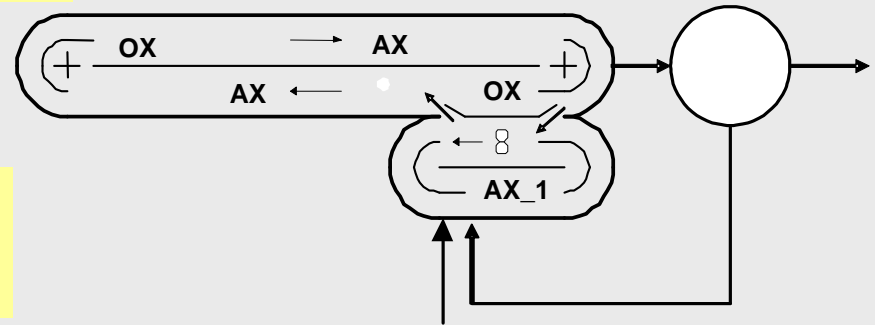
$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S

System "Carrousel-2000" c.d.

Strefy tlenowe reaktora głównego (OX)

Sporo tlenu rozpuszczonego



- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) tlenem (S_O) jako akceptorem elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w poprzedzającej strefie anoksydacyjnej - AX (azotanami).**

$S_S + S_O \rightarrow CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} pochodzi z dopływu oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S).**

$S_{NH} + S_O \rightarrow S_{NO} + \Delta X_{BA} - \Delta ZAS$

asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Parametry projektowe układów z reaktorami cyrkulacyjnymi

$$WO = \sim 20 \div 40 \text{ d}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]} \quad X \sim 3 \div 5 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = \sum V_{OX} + \sum V_{AX}$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]} \quad T_K \sim \text{rzędu kilkunastu (kilkudziesięciu) godzin}$$

Warunek nitryfikacji

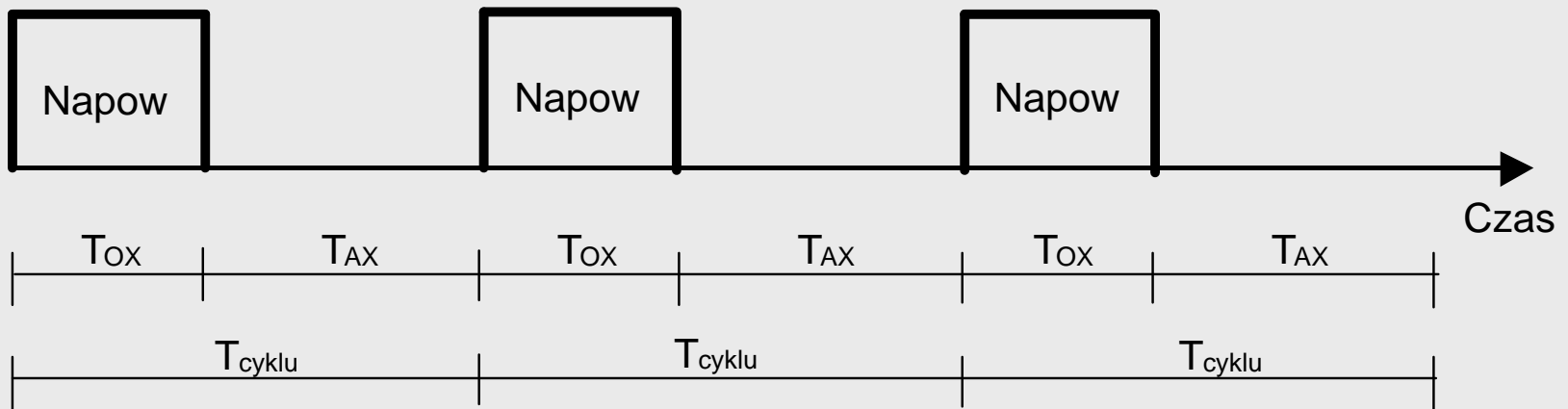
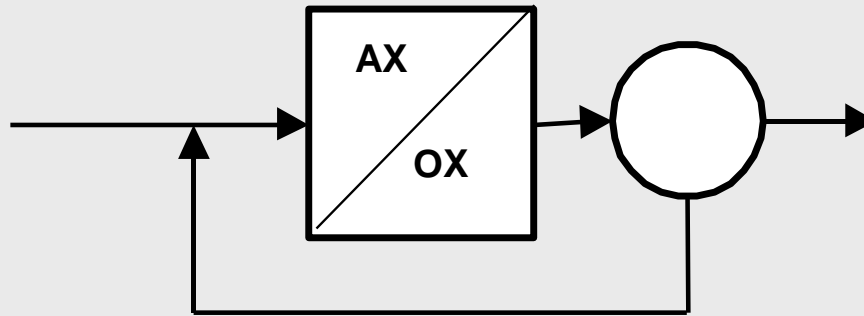
$$WO_{OX} \geq WO_{\min}^{\text{Nit}} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \text{ [d]} \quad (\text{funkcja temp.})$$

$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]} \quad U_{OX} = \frac{\sum V_{OX}}{\sum V_{OX} + \sum V_{AX}} = \frac{\sum V_{OX}}{V_K}$$

Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie MLE

Układy z cyklicznym napowietrzaniem

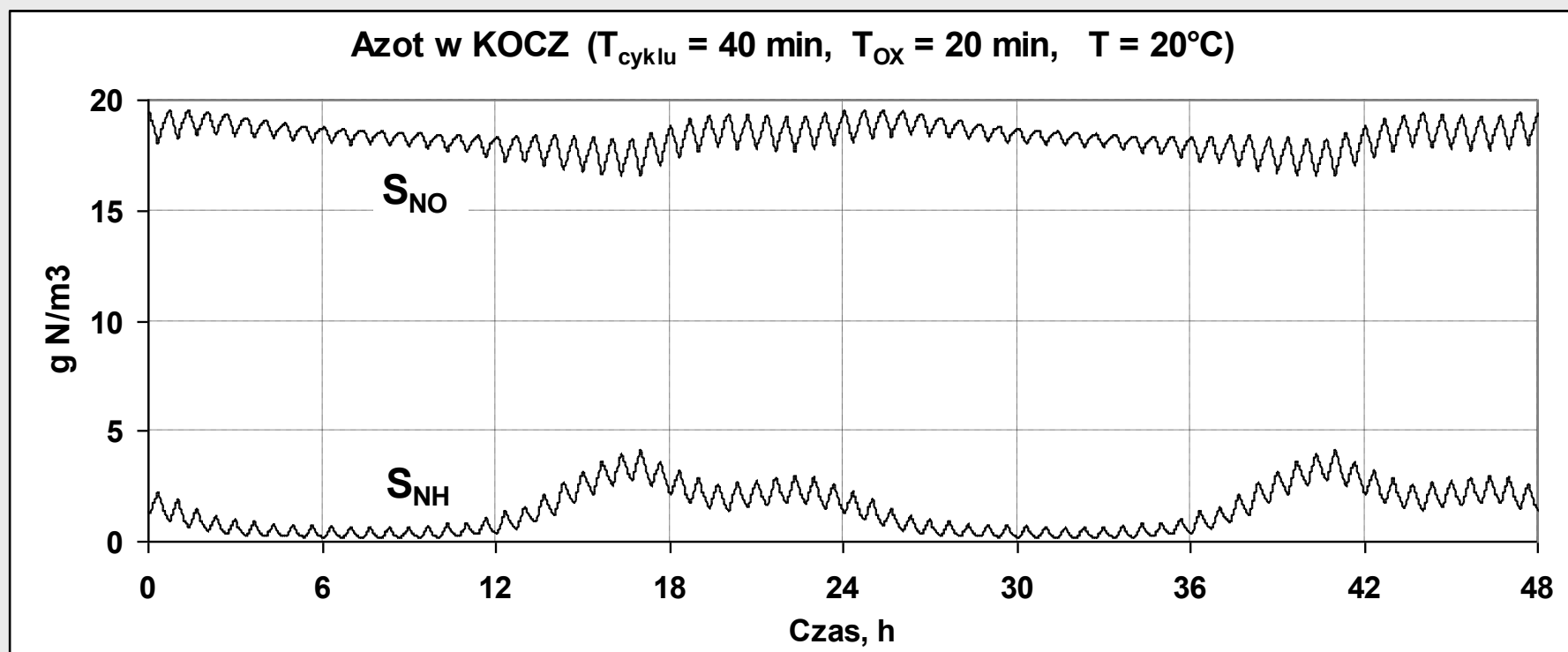
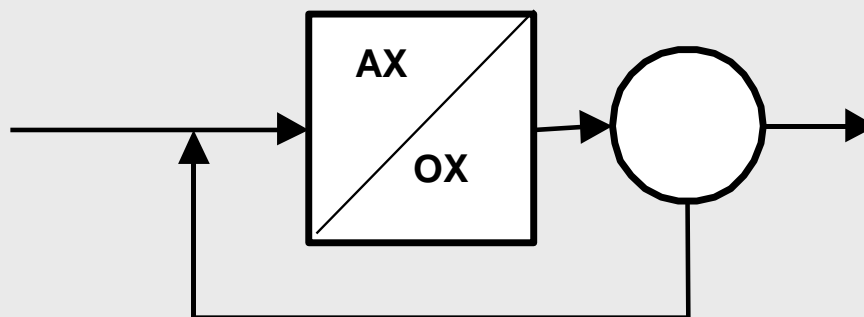


T_{OX} - czas fazy tlenowej (napowietrzanie włączone)

T_{AX} - czas fazy anoksydacyjnej (mieszanie włączone)

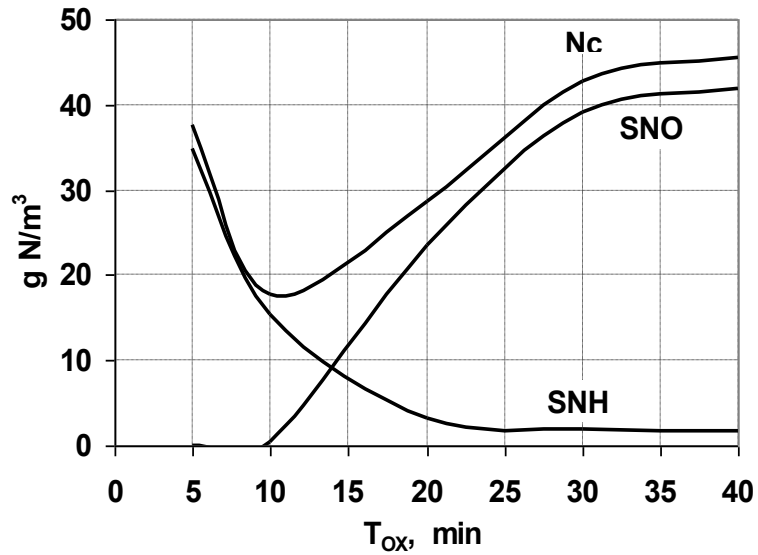
$T_{cykladu} = T_{AX} + T_{OX}$ (czas cykladu)

Układy z cyklicznym napowietrzaniem c.d.

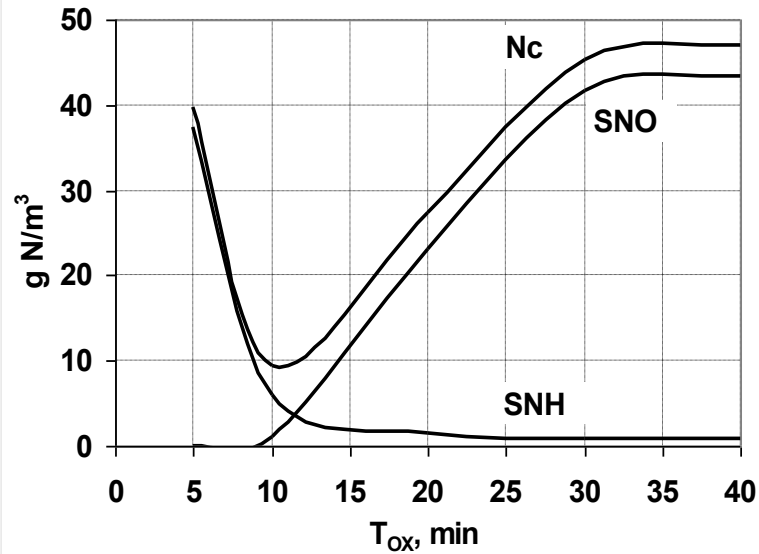


Układy z cyklicznym napowietrzaniem c.d.

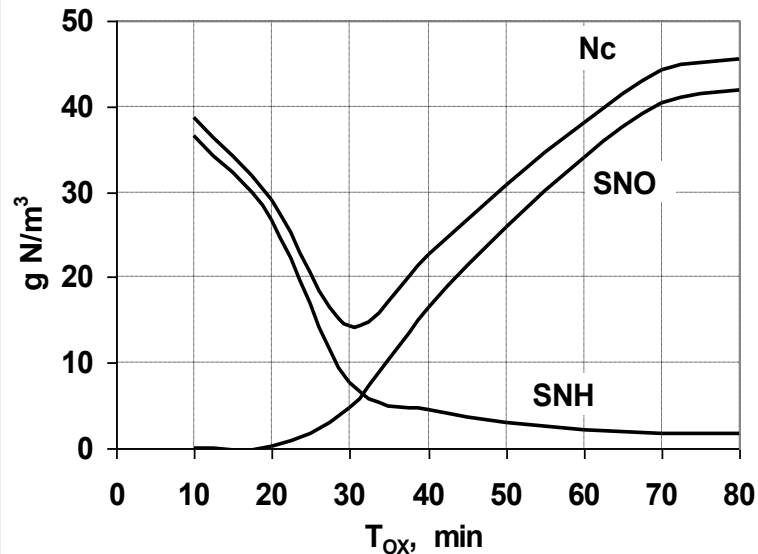
$T = 10^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{cyklu}} = 40 \text{ min}$



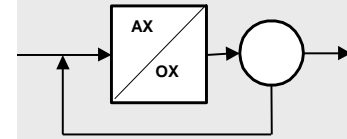
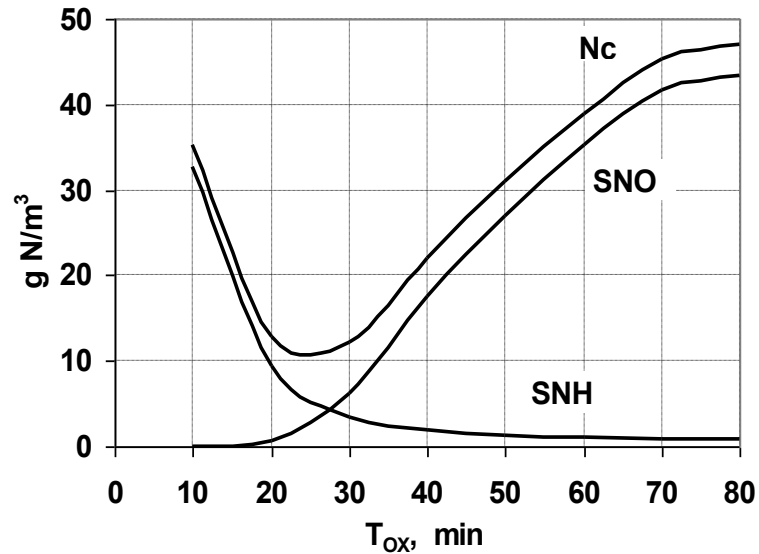
$T = 20^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{cyklu}} = 40 \text{ min}$



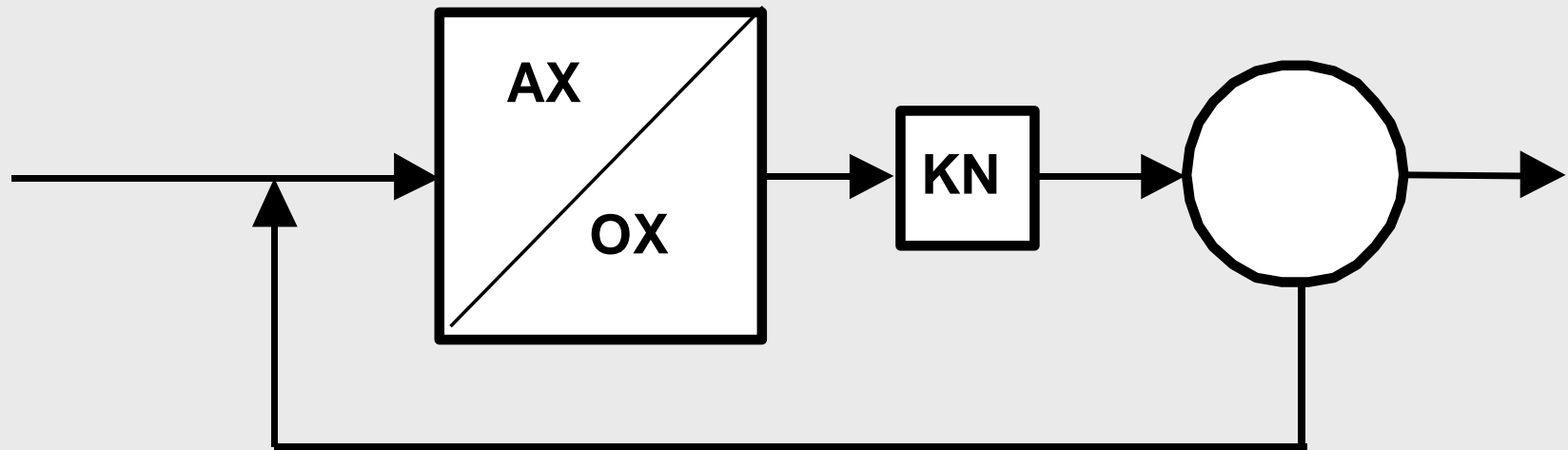
$T = 10^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{cyklu}} = 80 \text{ min}$



$T = 20^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{cyklu}} = 80 \text{ min}$



Udoskonalony układ z cyklicznym napowietrzaniem

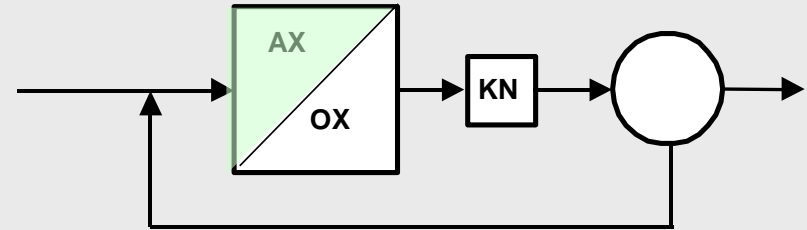


KN to dodatkowa komora napowietrzania ⇒ odgazowanie osadu
⇒ dodatkowa nitryfikacja

Układy z cyklicznym napowietrzaniem c.d.

Faza denitryfikacji

- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)



- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany pochodzą z fazy tlenowej (OX) poprzedniego cyklu i w bardzo niewielkim stopniu z recyrkulacji osadu.**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

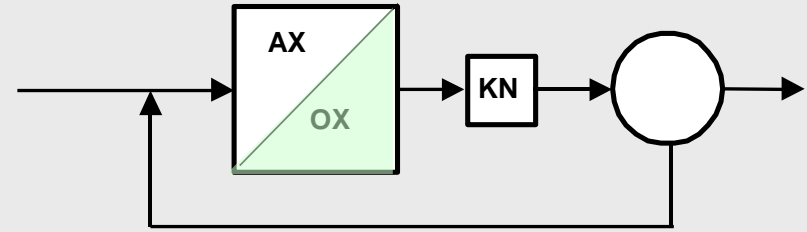
$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Układy z cyklicznym napowietrzaniem c.d.

Faza nitryfikacji

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



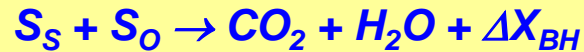
- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w fazie anoksydacyjnej (AX) poprzedniego cyklu (tzn. z wykorzystaniem azotanów).**



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ **asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}**

- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} pochodzi z dopływu oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**



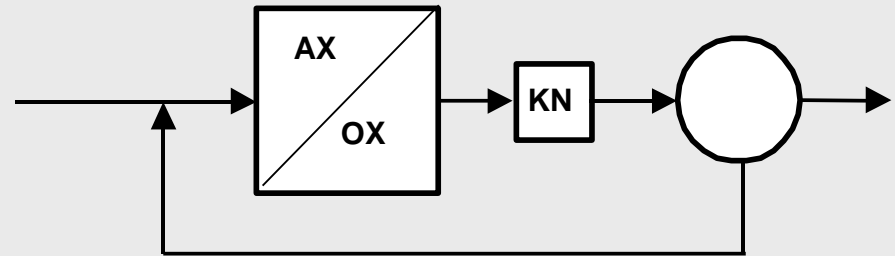
asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Układy z cyklicznym napowietrzaniem c.d.

Recyrkulacja wewnętrzna

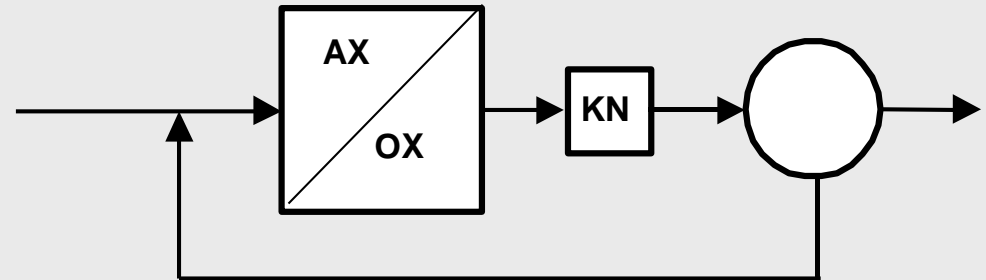
???



- **brak formalnej recyrkulacji wewnętrznej, ale pozostawanie w KOCZ azotanów wyprodukowanych w fazie tlenowej (OX) poprzedniego cyklu, daje analogiczny efekt (dostarczenie azotanów do denitryfikacji)**
- **im więcej azotanów wyprodukowanych w fazie tlenowej (OX) poprzedniego cyklu, tym więcej azotanów do denitryfikacji w fazie AX następnego cyklu**
- **im większe stężenie tlenu rozpuszczonego na końcu fazy tlenowej (OX) poprzedniego cyklu, tym większe zużycie frakcji S_s na odtlenienie KOCZ na początku fazy anoksydacyjnej (AX) – czyli mniej tej frakcji na potrzeby denitryfikacji**
- **w okresie letnim można wydłużać czas fazy anoksydacyjnej ($T_{AX} = T_{cykl} - T_{OX}$) w cyklu, kosztem skrócenia czasu fazy tlenowej (T_{OX}), co daje lepszą denitryfikację, a w konsekwencji mniejsze zużycie tlenu – oszczędność energii**

Układy z cyklicznym napowietrzaniem c.d.

Komora napowietrzania
– napowietrzanie,
– warunki tlenowe (OX)



- *utlenianie pozostałego w odpływie z komory AX/OX azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). Najwięcej azotu amonowego dopływa z reaktora AX/OX podczas trwającej w nim fazy anoksycznej. Nie następuje bowiem wtedy nitryfikacja (bo brak tlenu rozpuszczonego), a ma miejsce jego dopływ ze ściekami surowymi oraz produkcja w wyniku amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) - przy rozkładzie związków organicznych (S_S) w procesie denitryfikacji.*



- *obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S*
- *następuje **natlenienie i usunięcie pęcherzyków azotu z osadu czynnego**, przed jego dopływem do osadnika wtórnego (zapobieganie flotacji osadu)*

Parametry projektowe układów z z cyklicznym napowietrzaniem

$$WO = \sim 25 \div 35 \text{ d}$$

$$T_{\text{cyklu}} \sim 30 \div 90 \text{ min}$$

$$T_{OX} \sim 10 \div 50 \text{ min}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3]$$

$$X \sim 2 \div 5 \text{ [kg sm/m}^3] \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{AX/OX} + V_{KN}$$

$$V_{AX/OX} \sim 70 \div 90\% V_K$$

$$V_{KN} \sim 10 \div 30\% V_K$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$T_K \sim$ rzędu kilkunastu (*kilkudziesięciu*) godzin

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{\text{min}}^{\text{Nit}} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \text{ [d]} \text{ (funkcja temp.)}$$

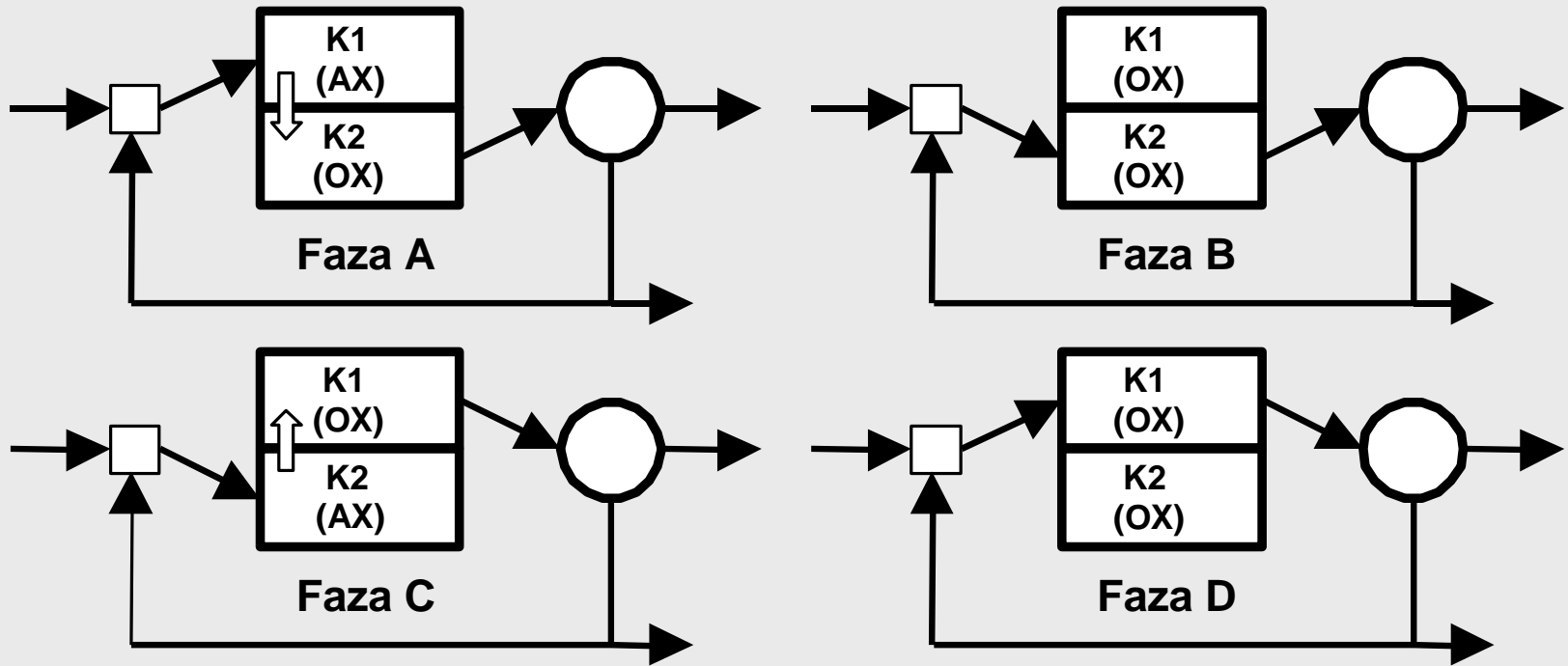
$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]}$$

$$U_{OX} \approx \frac{\frac{T_{OX}}{T_{\text{cyklu}}} V_{AX/OX} + V_{KN}}{V_{AX/OX} + V_{KN}}$$

Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie MLE

Układ BioDenitro



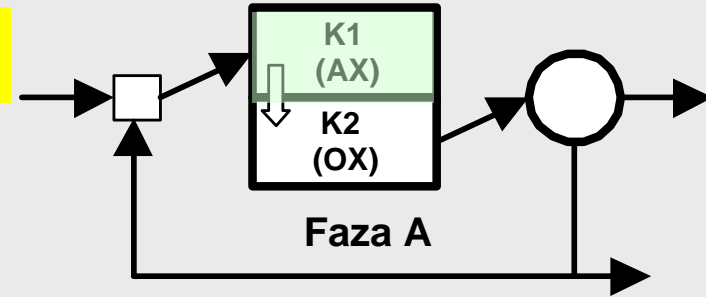
OX - faza tlenowa (napowietrzanie włączone)
AX - faza anoksydacyjna (mieszanie włączone)

$$T_{\text{cyklu}} = T_A + T_B + T_C + T_D \text{ (czas cyklu)}$$

Układ BioDenitro c.d.

Faza A: $T_A \sim 1.5$ h (dopływ do komory denitryfikacji K1)

Komora denitryfikacji (K1)
 – mieszanie mechaniczne
 – warunki anoksydacyjne (AX)



- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany pochodzą z nityfikacji w fazach B, C i D (OX) poprzedniego cyklu i w bardzo niewielkim stopniu z recyrkulacji zewnętrznej.**



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

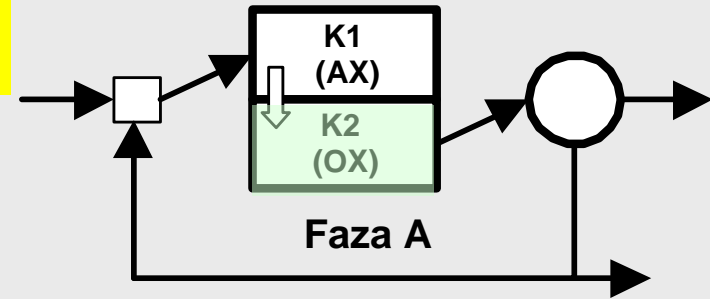
Układ BioDenitro c.d.

Faza A: $T_A \sim 1.5$ h (dopływ do komory denitryfikacji K1)

Komora nitryfikacji (K2)

– napowietrzanie

– warunki tlenowe (OX)



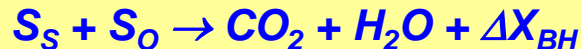
- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w komorze denitryfikacji K1 z wykorzystaniem azotanów**



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ **asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}**

- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} dopływa z komory K1 oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**



asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

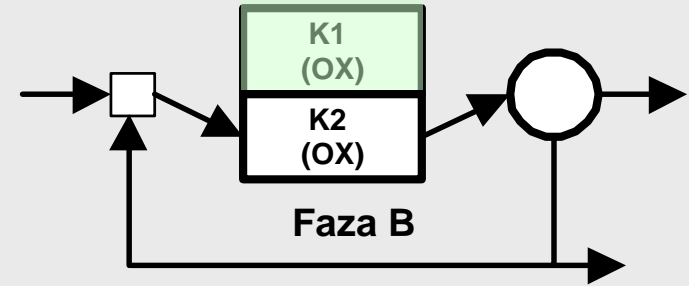
Układ BioDenitro c.d.

Faza B: $T_B \sim 0.5$ h (dopływ do komory nityfikacji K2)

Komora nityfikacji (K1)

– napowietrzanie

– warunki tlenowe (OX)



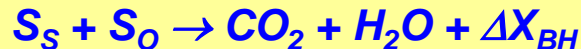
- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S), pozostałych po fazie A**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

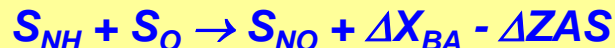
$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w tej komorze w poprzedniej fazie (A) z wykorzystaniem azotanów**



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ **asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}**

- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} to głównie pozostałość z poprzedniej fazy (A) oraz produkcja na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**



asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

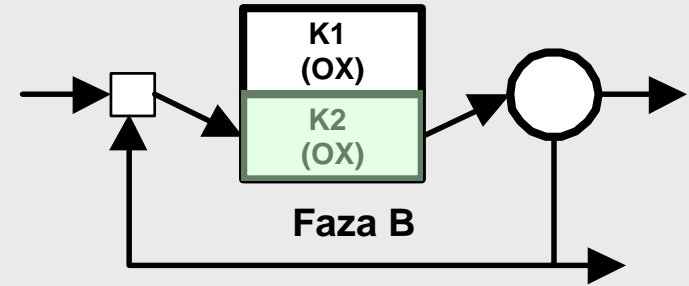
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Układ BioDenitro c.d.

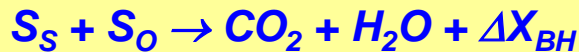
Faza B: $T_B \sim 0.5$ h (dopływ do komory nityfikacji K2)

Komora nityfikacji (K2)

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
 $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptorem elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S .**



- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} pochodzi z dopływu oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**

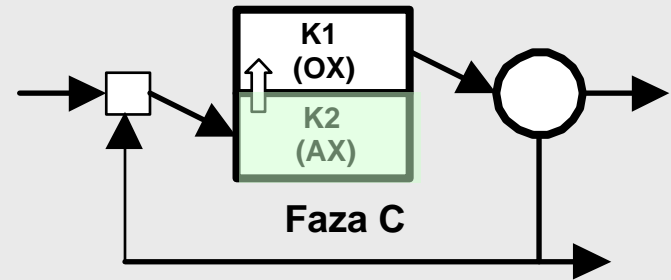


- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Układ BioDenitro c.d.

Faza C: $T_C \sim 1.5$ h (dopływ do komory denitryfikacji K2)

Komora denitryfikacji (K2)
– mieszanie mechaniczne
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
 $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany pochodzą z nityfikacji w fazie tlenowej D poprzedniego cyklu, nityfikacji w fazach tlenowych A i B aktualnego cyklu i w bardzo niewielkim stopniu z recyrkulacji osadu.**



- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

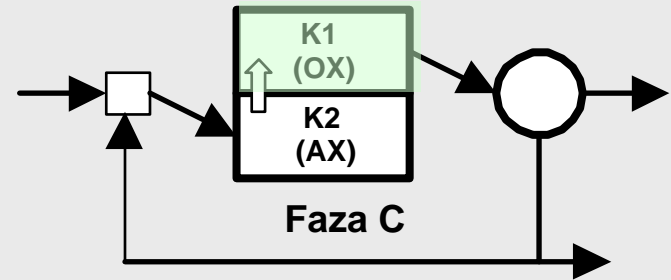
Układ BioDenitro c.d.

Faza C: $T_C \sim 1.5$ h (dopływ do komory denitryfikacji K2)

Komora nityfikacji (K1)

– napowietrzanie

– warunki tlenowe (OX)



- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptorem elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w komorze denitryfikacji K2 z wykorzystaniem azotanów**

$S_S + S_O \rightarrow CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ **asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}**

- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} dopływa z komory K2 oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**

$S_{NH} + S_O \rightarrow S_{NO} + \Delta X_{BA} - \Delta ZAS$

asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

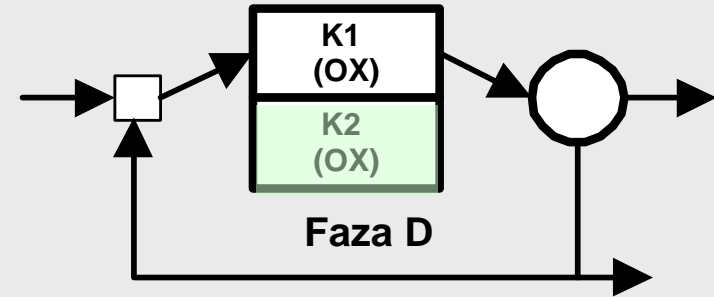
Układ BioDenitro c.d.

Faza D: $T_D \sim 0.5$ h (dopływ do komory nityfikacji K1)

Komora nityfikacji (K2)

– napowietrzanie

– warunki tlenowe (OX)



- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S), pozostałych po fazie C**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptorem elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w tej komorze w poprzedniej fazie (C) z wykorzystaniem azotanów**

$S_S + S_O \rightarrow CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ **asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}**

- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} to głównie pozostałość z poprzedniej fazy (C) oraz produkcja na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**

$S_{NH} + S_O \rightarrow S_{NO} + \Delta X_{BA} - \Delta ZAS$

asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

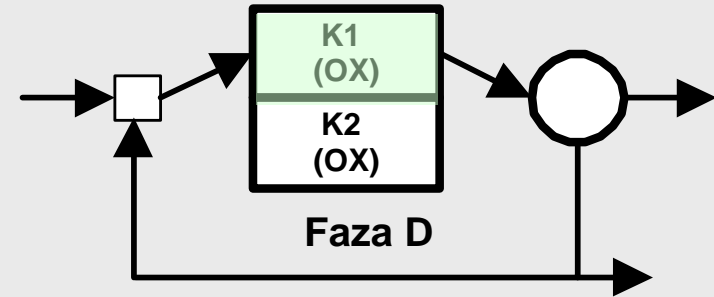
- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Układ BioDenitro c.d.

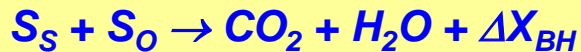
Faza D: $T_D \sim 0.5 h$ (dopływ do komory nityfikacji K1)

Komora nityfikacji (K1)

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



- **usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
 - $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 - $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 - $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptorem elektronów. S_S pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S .**



- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} pochodzi z dopływu oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**



- **obumieranie bakterii (X_{BH} i X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S**

Parametry projektowe układu BioDenitro

$$WO = \sim 20 \div 40 \text{ d}$$

$$T_{\text{cyklu}} \sim 3 \div 5 \text{ h}$$

$$T_A \sim 1 \div 2 \text{ h}$$

$$T_C \sim 1 \div 2 \text{ h}$$

$$T_B \sim 20 \div 40 \text{ min}$$

$$T_D \sim 20 \div 40 \text{ min}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_K = V_{K1} + V_{K2}$$

$$V_{K1} \approx V_{K2} \approx 0.5V_K$$

$$X \sim 2 \div 5 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$T_K \sim$ rzędu kilkunastu (*kilkudziesięciu*) godzin

Parametry projektowe układu BioDenitro c.d.

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{min}^{Nit} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \quad [d] \quad (\text{funkcja temp.}) \quad WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \quad [d]$$

$$U_{OX} \approx \frac{\frac{T_B + T_C + T_D}{T_{cyklu}} V_{K1} + \frac{T_A + T_B + T_D}{T_{cyklu}} V_{K2}}{V_K}$$

$$U_{OX} \approx \frac{V_K \left(\frac{T_A + T_B + T_C + T_D}{T_{cyklu}} + \frac{T_B + T_D}{T_{cyklu}} \right)}{V_K}$$

$$U_{OX} \approx 0.5 \left(1 + \frac{T_B + T_D}{T_{cyklu}} \right)$$

$$T_B + T_D = 1h$$

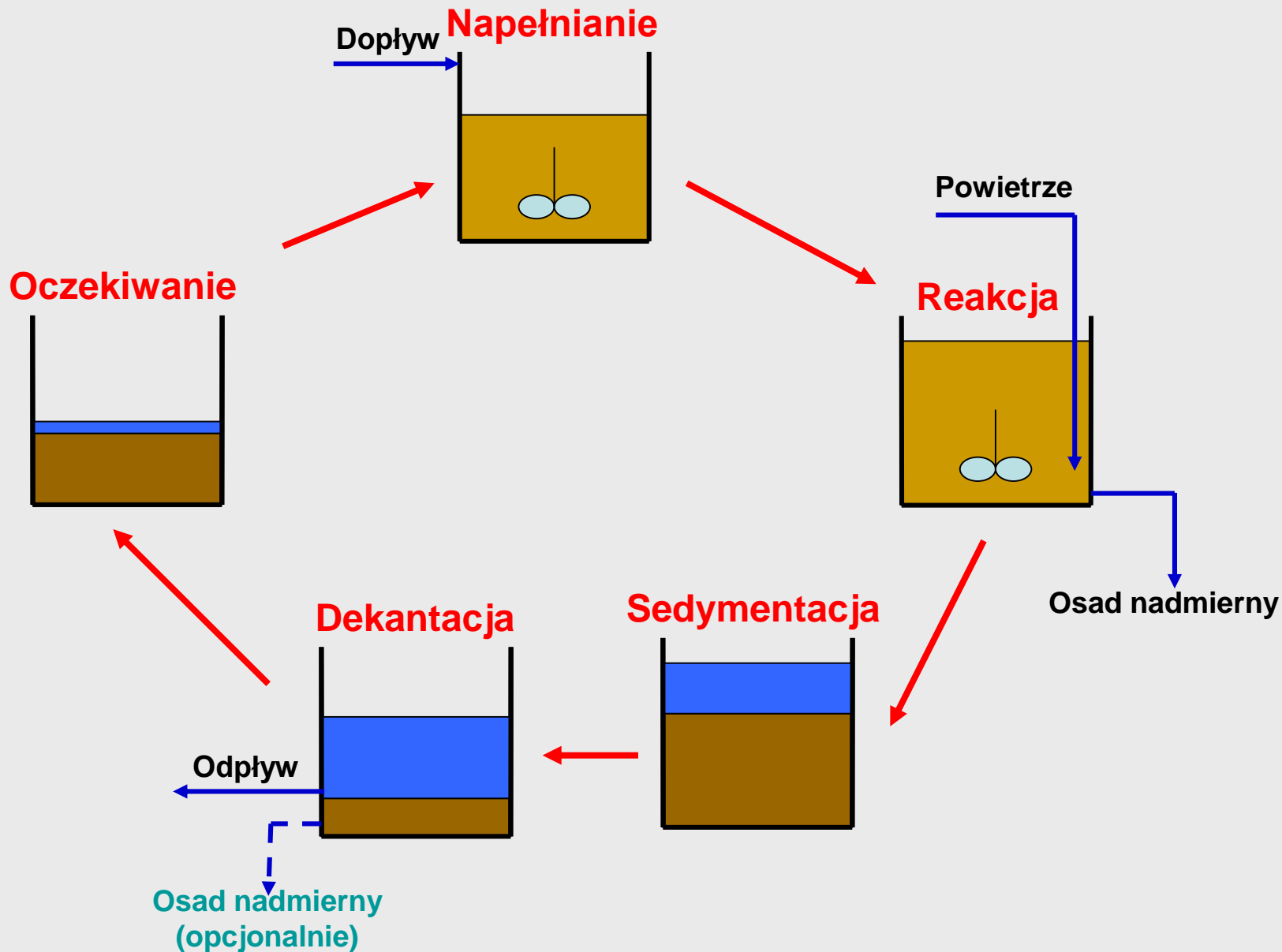
$$T_{cyklu} = 4h$$

$$U_{OX} \approx 0.5(1 + 0.25) = 0.625$$

Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie MLE

Sekwencyjny reaktor wsadowy (SBR)



Ubytek azotu w układach biologicznego oczyszczania ścieków

Procesy biologiczne bez denitryfikacji

Mechanizm usuwania azotu - *asymilacja w osadzie nadmiernym* (ΔN_{Asym})

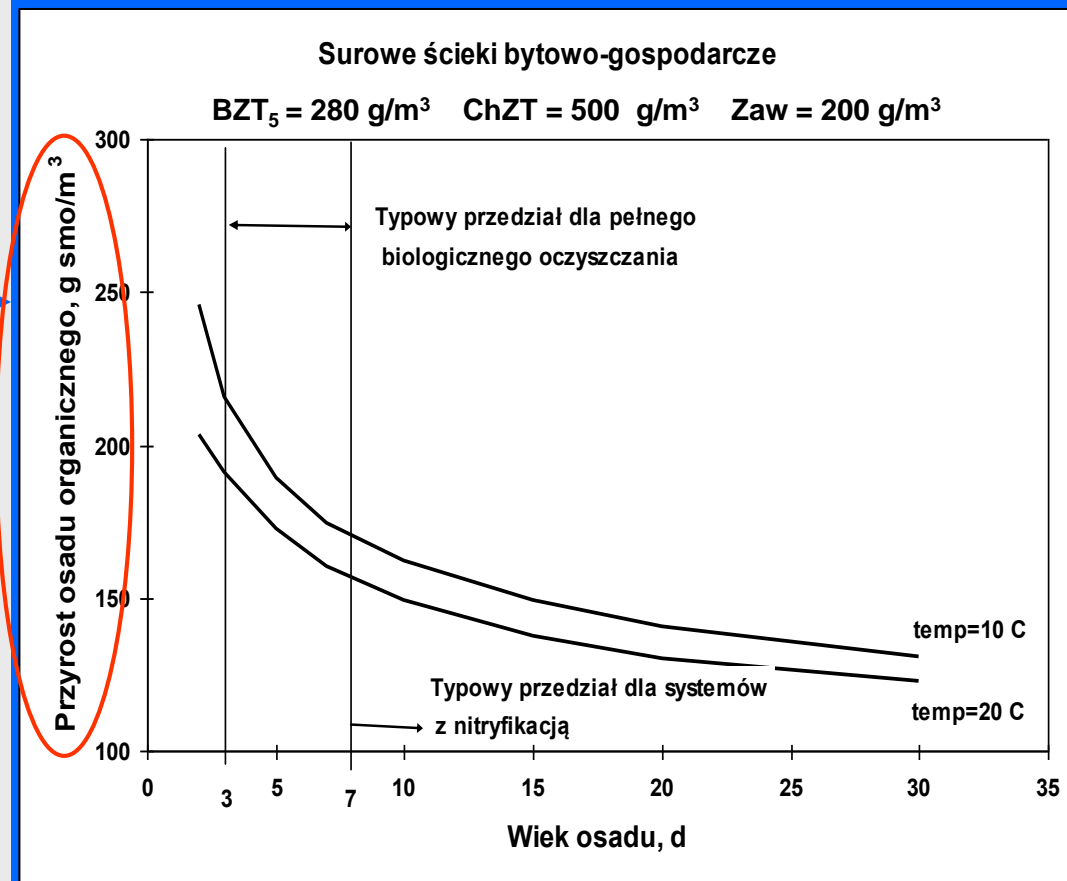
$$\Delta N \approx \Delta N_{Asym} = f_{N/smo} \cdot \Delta X_{smo} \text{ g N/m}^3$$

Zawartość azotu w osadzie nadmiernym: $\sim 0.1 \text{ g N/g smo}$

Produkcja osadu nadmiernego:
 $\text{g smo/m}^3 \text{ ścieków}$

$WO \uparrow \Rightarrow \Delta X_{smo} \downarrow$

$\Delta N_{asym} \downarrow$



Ubytek azotu w układach biologicznego oczyszczania ścieków c.d.

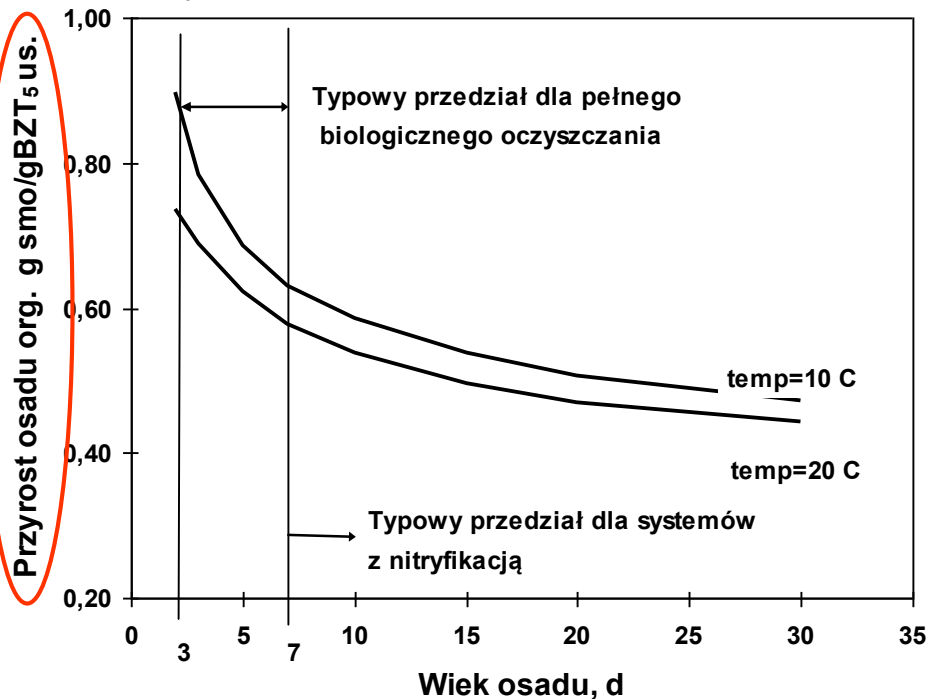
Procesy biologiczne bez denitryfikacji

Mechanizm usuwania azotu - asymilacja w osadzie nadmiernym (ΔN_{Asym})

$$\Delta N \approx \Delta N_{Asym} \approx f_{N/smo} \cdot \Delta X_{smo} = f_{N/smo} \cdot \Delta X_{j,org} \cdot \Delta BZT_5, \text{ g N/m}^3$$

Surowe ścieki bytowo-gospodarcze

$BZT_5 = 280 \text{ g/m}^3$ $ChZT = 500 \text{ g/m}^3$ $Zaw = 200 \text{ g/m}^3$



Jednostkowa produkcja osadu nadmiernego: g smo/g BZT_{5,us}

$WO \uparrow \Rightarrow \Delta X_{j,org} \downarrow$

$\Delta N_{asym} \downarrow$

Ubytek BZT₅ ścieków: g BZT₅/m³

Dla $WO = const$

BZT₅ ścieków surowych \uparrow

$\Delta BZT_5 \uparrow \Rightarrow \Delta N_{Asym} \uparrow$

Ubytek azotu w układach biologicznego oczyszczania ścieków c.d.

Przykład dla N_{og} dopływu = 60 g N/m³

WO [d]	<u>Ścieki miejskie</u> $\Delta BZT_5 = 300 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ (dla temperatur 10°C/20°C)			<u>Ścieki przemysłowe</u> $\Delta BZT_5 = 1000 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ (dla temperatur 10°C/20°C)		
	ΔN_{Asym} [g N/m ³]	$N_{og,e,filtr}$ [g N/m ³]	Ubytek N %	ΔN_{Asym} [g N/m ³]	$N_{og,e,filtr}$ [g N/m ³]	Ubytek N %
5	18/16.5	42/43.5	30/27	60/55	~0/5	~100/92
30	12/11	48/49	20/18	40/37	20/23	67/62

Gdy wystąpią warunki do SYMULTANICZNEJ DENITRYFIKACJI



ubytek azotu trochę większy ($\Delta N = \Delta N_{Asym} + \Delta N_{Denitr}$)

Osad czynny z denitryfikacją

Mechanizm usuwania azotu

Asymilacja w osadzie nadmiernym (ΔN_{Asym})

ΔN_{Asym} jak w osadzie czysto tlenowym

Denitryfikacja azotanów (ΔN_{Denitr})

ΔN_{Denitr} zwykle większe od ΔN_{Asym}

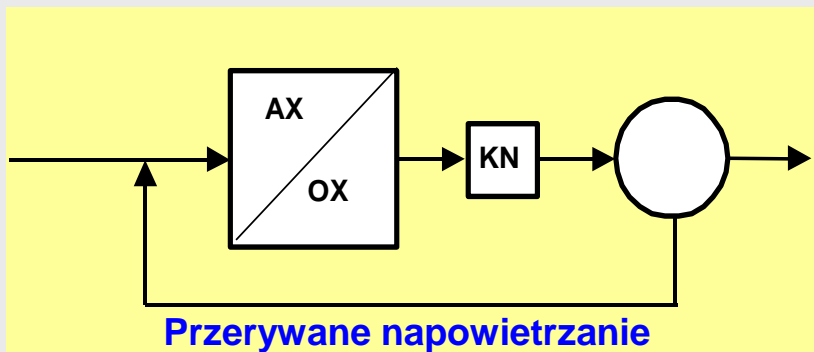
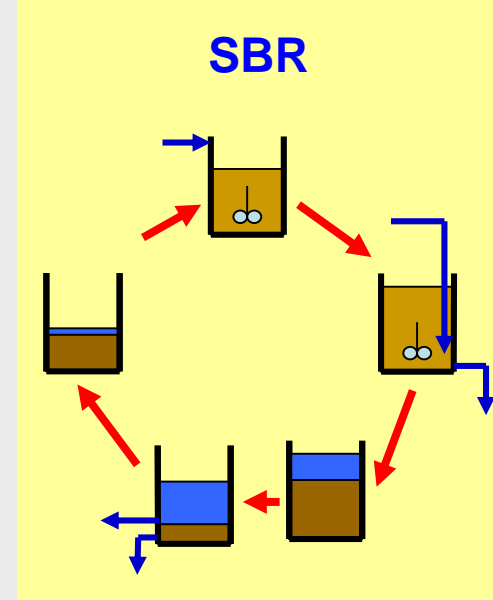
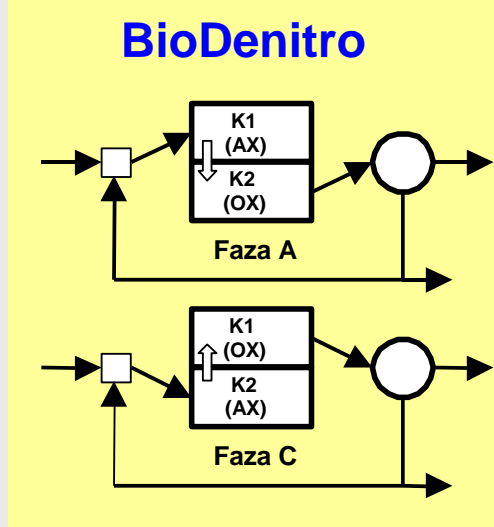
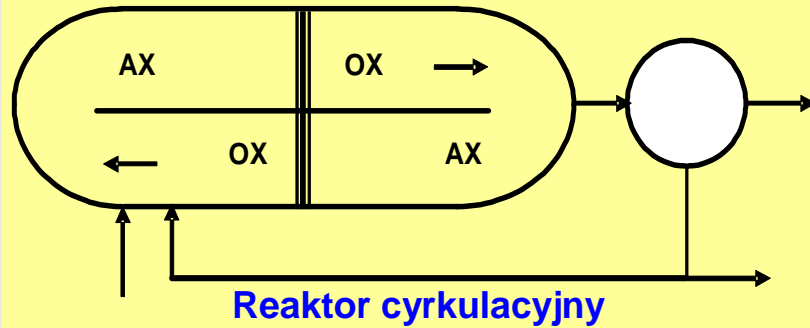
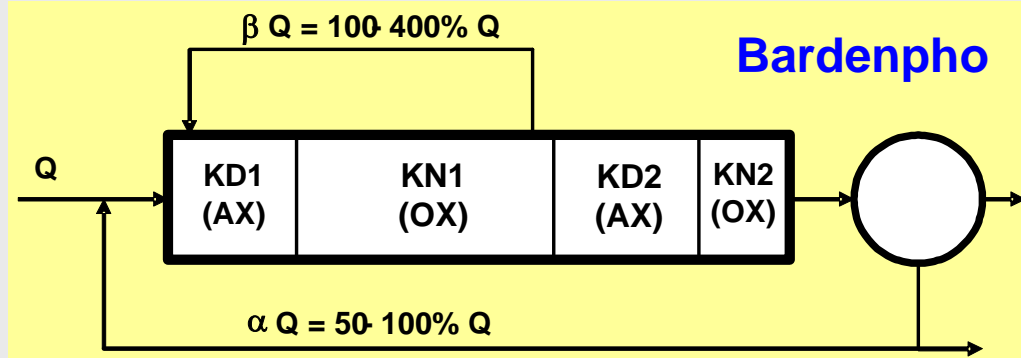
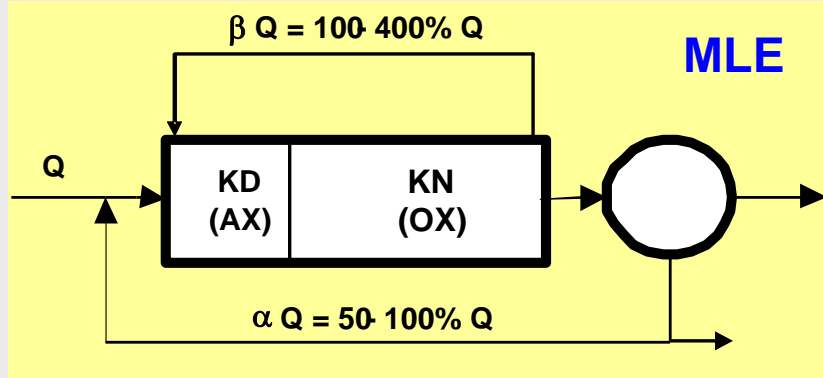
$$\Delta N = \Delta N_{Denitr} + \Delta N_{Asym}, \text{ g N/m}^3$$

ΔN zależy od:

- schematu technologicznego
- parametrów procesu
- składu ścieków (głównie BZT/N)

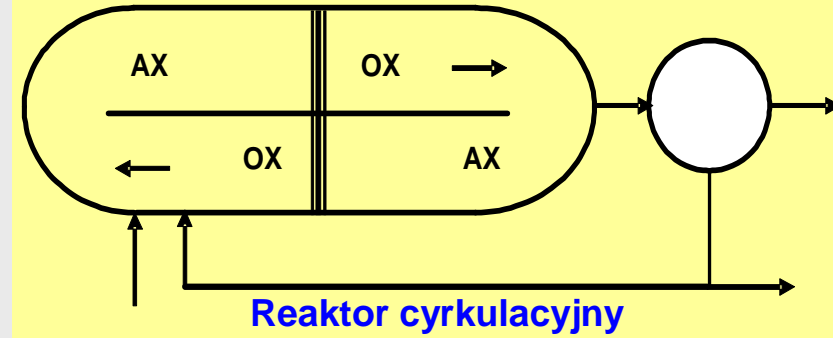
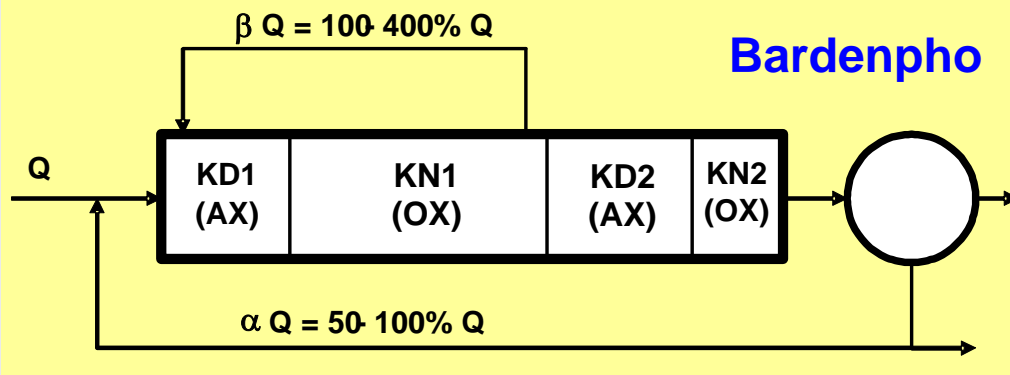
Wybór schematu technologicznego usuwania azotu

$$N_{og,e} \sim 8 (10) \div 12 (15) \text{ g N/m}^3$$

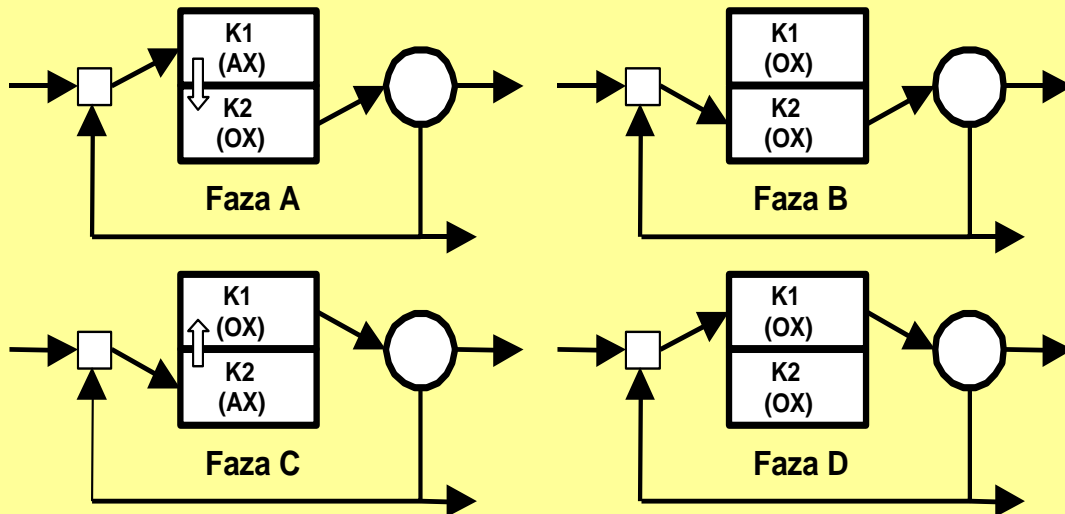


Wybór schematu technologicznego usuwania azotu c.d.

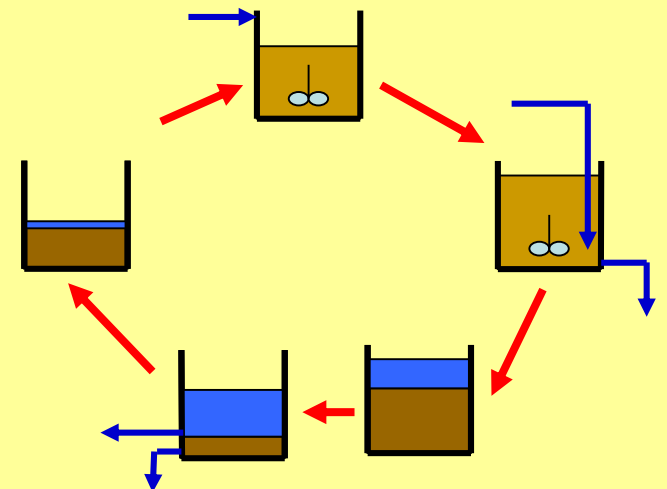
$$N_{og,e} \sim 6 (7) \div 8 (9) \text{ g N/m}^3$$



BioDenitro

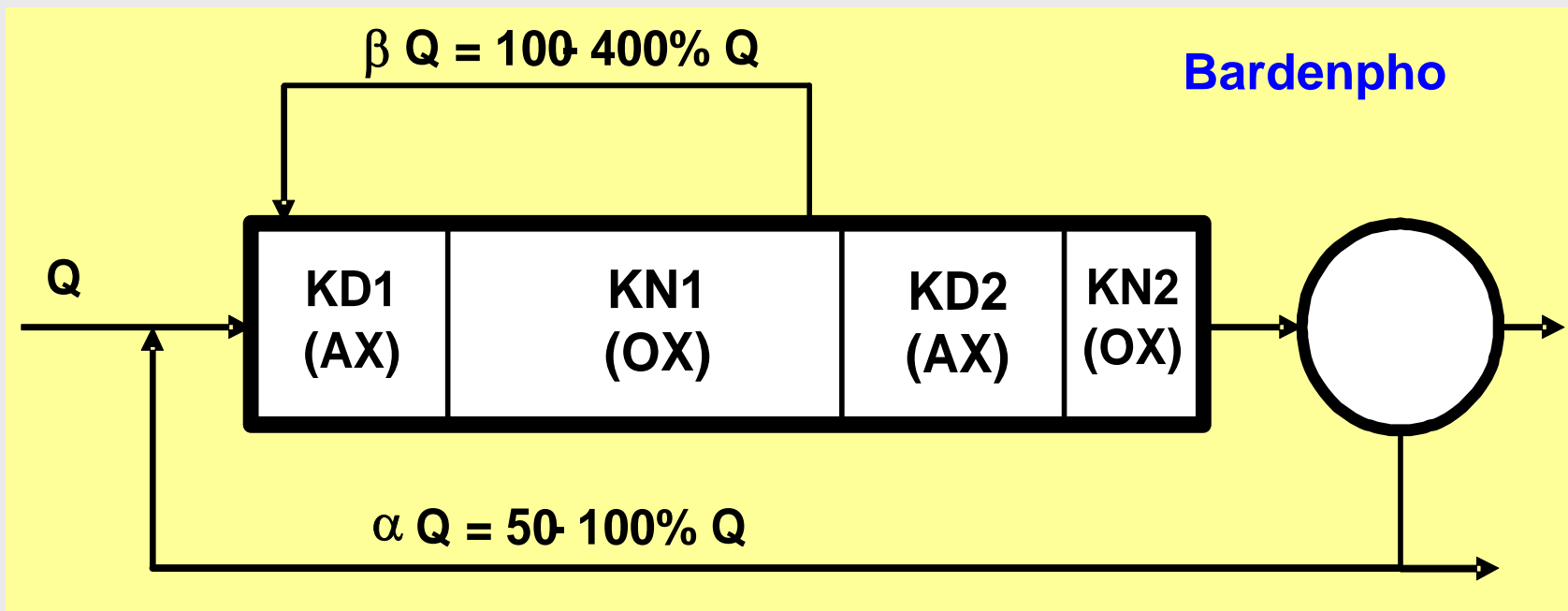


SBR



Wybór schematu technologicznego usuwania azotu c.d.

$$N_{\text{og,e}} \sim 3 \text{ (4)} \div 6 \text{ (7)} \text{ g N/m}^3$$



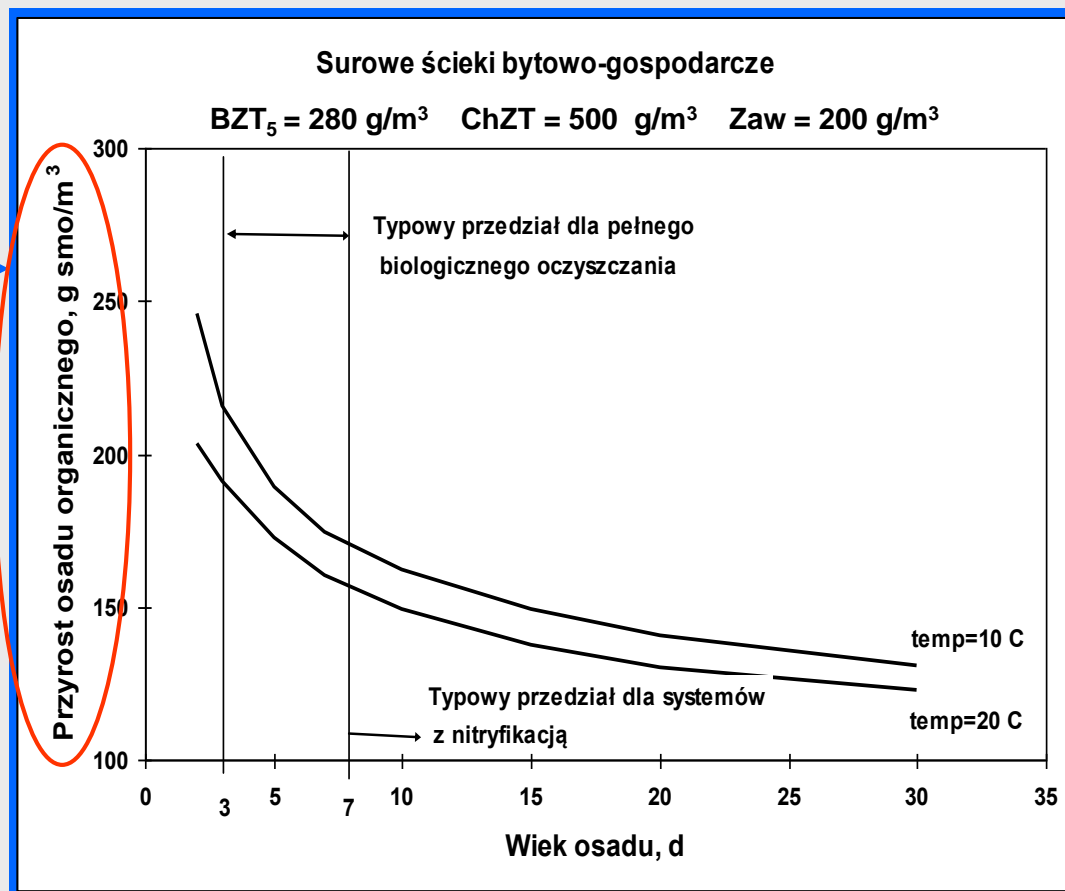
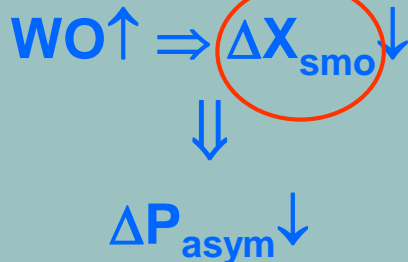
Ubytek fosforu w układach biologicznego oczyszczania ścieków

Mechanizm usuwania fosforu - asymilacja w osadzie nadmiernym (ΔP_{Asym})

$$\Delta P \approx \Delta P_{Asym} = f_{P/smo} \cdot \Delta X_{smo} \text{ g P/m}^3$$

Zawartość fosforu w osadzie nadmiernym: $\sim 0.02 \text{ g P/g smo}$

Produkcja osadu nadmiernego:
 $\text{g smo/m}^3 \text{ ścieków}$



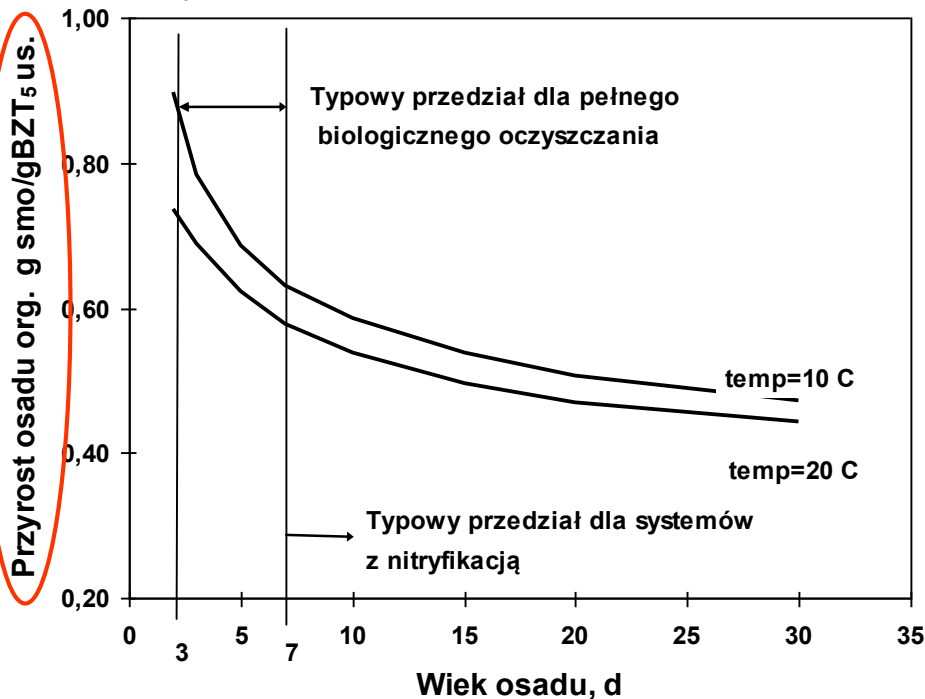
Ubytek fosforu w układach biologicznego oczyszczania ścieków c.d.

Mechanizm usuwania fosforu - asymilacja w osadzie nadmiernym (ΔP_{Asym})

$$\Delta P \approx \Delta P_{Asym} \approx f_{P/smo} \cdot \Delta X_{smo} = f_{P/smo} \cdot \Delta X_{j,org} \cdot \Delta BZT_5, \text{ g P/m}^3$$

Surowe ścieki bytowo-gospodarcze

$BZT_5 = 280 \text{ g/m}^3$ $ChZT = 500 \text{ g/m}^3$ $Zaw = 200 \text{ g/m}^3$



Jednostkowa produkcja osadu nadmiernego: g smo/g BZT_{5,us}

$WO \uparrow \Rightarrow \Delta X_{j,org} \downarrow$

$\Delta P_{asym} \downarrow$

Ubytek BZT₅ ścieków: g BZT₅/m³

Dla $WO = const$

BZT₅ ścieków surowych \uparrow

$\Delta BZT_5 \uparrow \Rightarrow \Delta P_{Asym} \uparrow$

Ubytek fosforu w układach biologicznego oczyszczania ścieków c.d.

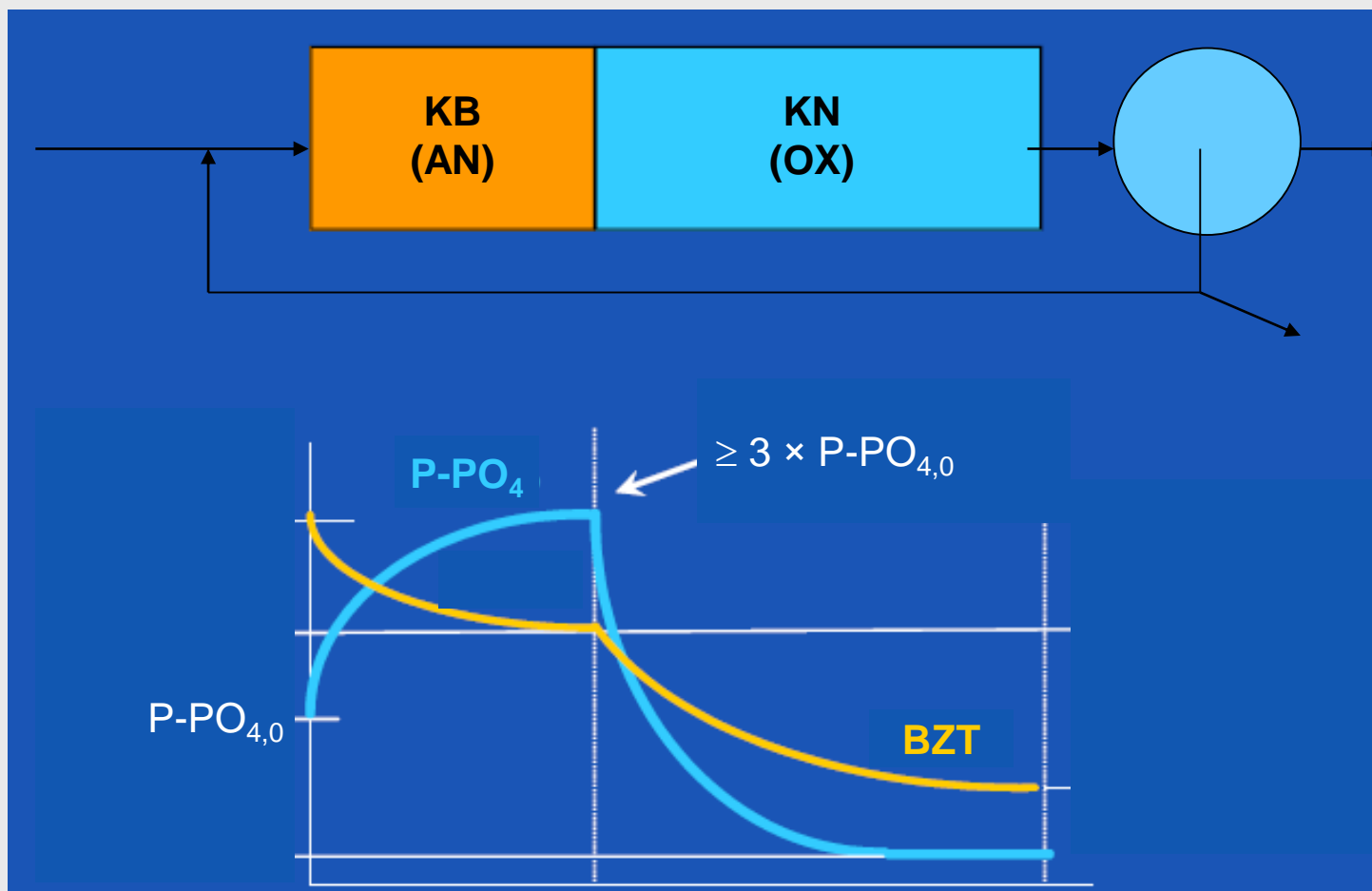
Przykład dla P_{og} dopływu = 12 g P/m³

WO [d]	<u>Ścieki miejskie</u> $\Delta BZT_5 = 300 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ (dla temperatur 10°C/20°C)			<u>Ścieki przemysłowe</u> $\Delta BZT_5 = 1000 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ (dla temperatur 10°C/20°C)		
	ΔP_{Asym} [g N/m ³]	$P_{og,e,filtr}$ [g N/m ³]	Ubytek P %	ΔP_{Asym} [g N/m ³]	$P_{og,e,filtr}$ [g N/m ³]	Ubytek P %
5	3.6/3.3	8.4/8.7	30/27	12/11	~0/1	~100/92
30	2.4/2.2	9.6/9.8	20/18	8/7.4	4/4.6	67/62

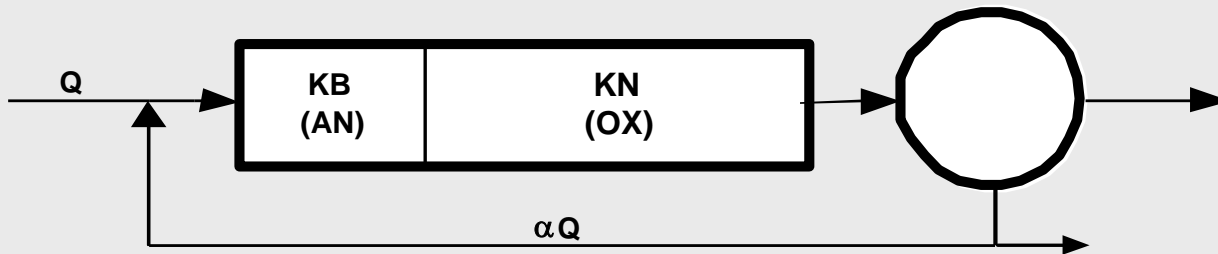
Układy technologiczne osadu czynnego ze wzmożonym biologicznym usuwaniem fosforu (EBPR)

Główny cel

Zwiększenie sprawności usuwania fosforu (ΔP) w stosunku do zwykłej asymilacji (ΔP_{Asym}).



Wzmożone biologiczne usuwanie fosforu (EBPR)



Mechanizm procesu

Komora beztlenowa działa jak „selektor”, umożliwiając namnażanie się w osadzie czynnym bakterii „fosforanowych” (X_{PAO}), zdolnych do akumulacji polifosforanów (X_{PP}) we wnętrzu swoich komórek.

Efekt procesu

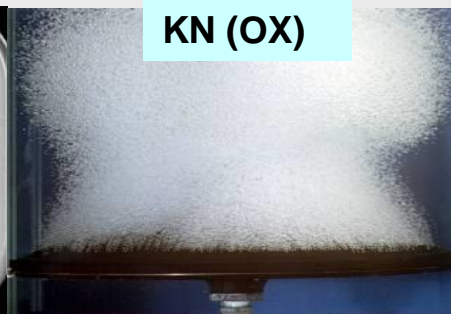
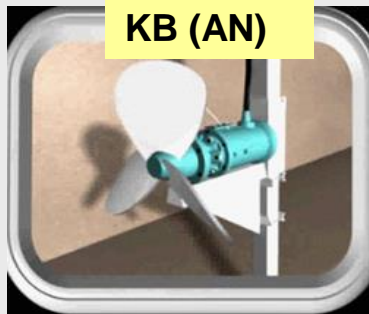
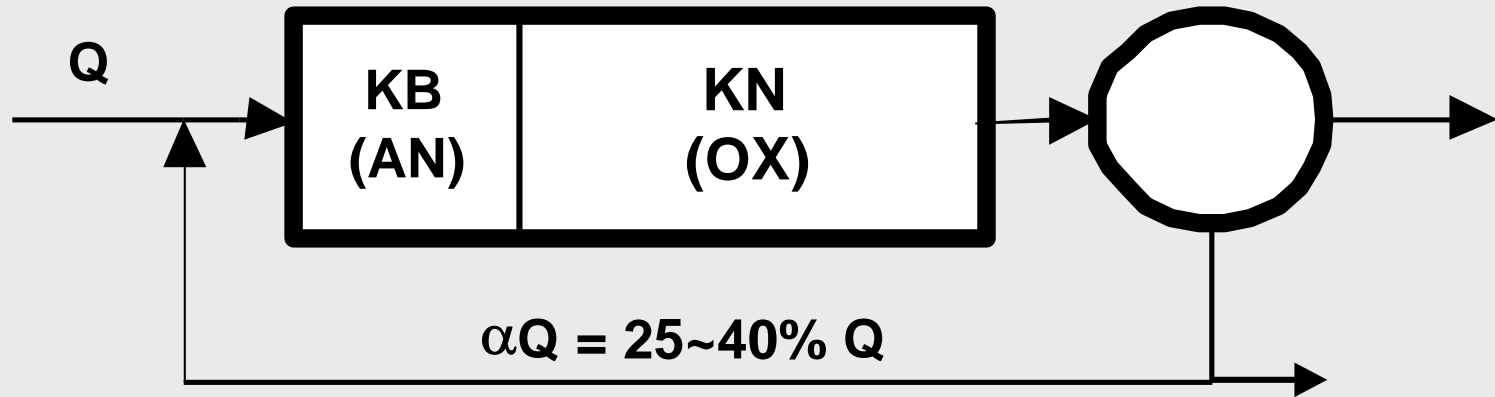
Wyhodowuje się osad czynny zawierający dużo fosforu w biomacie

$$f_{P/smo} > 0.02 \text{ g P/g smo}$$

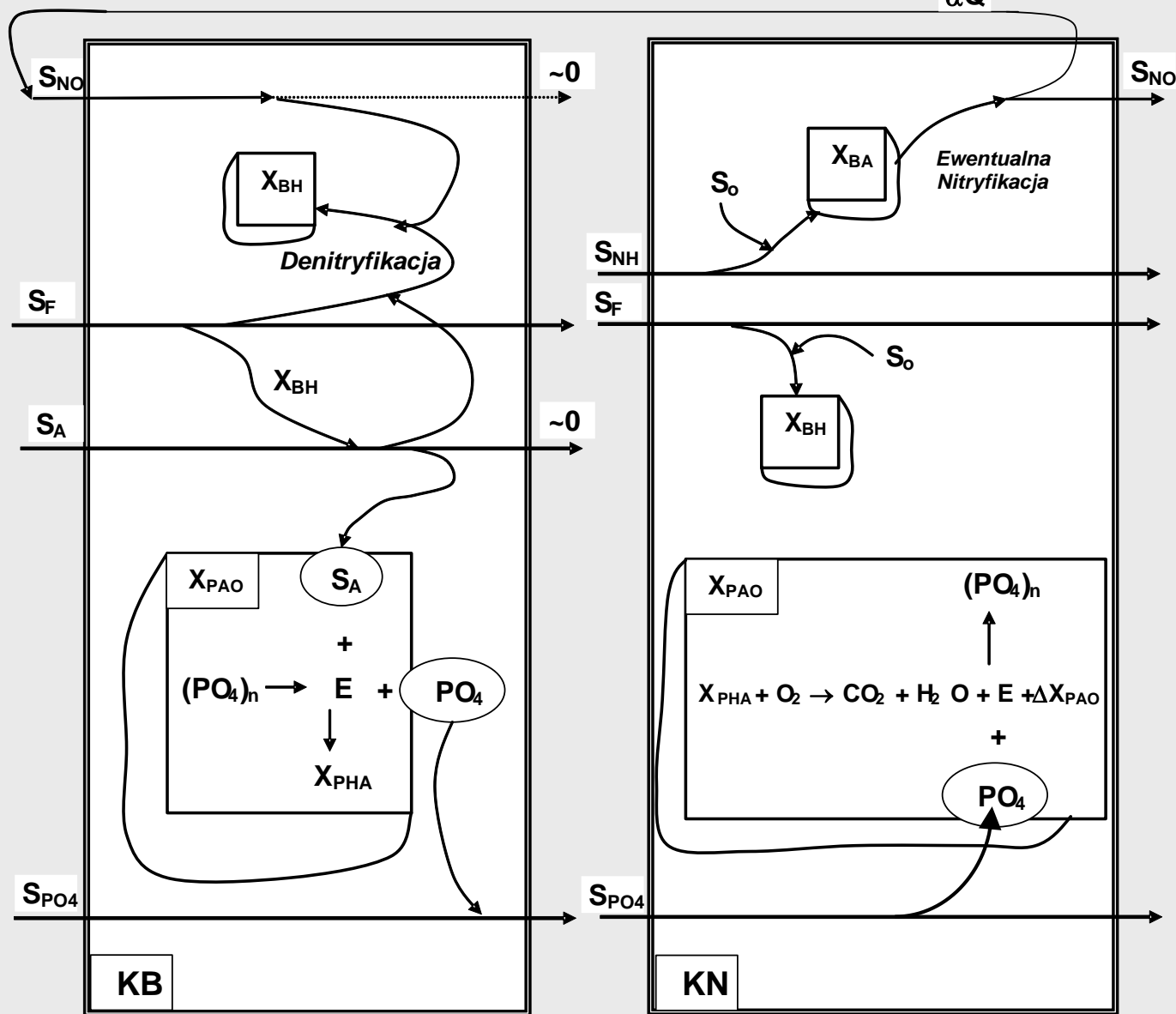
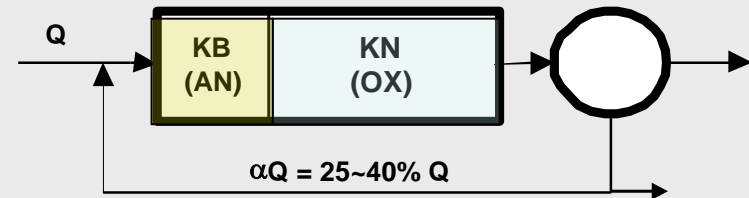
W konsekwencji ubytek fosforu ze ścieków jest znacznie większy niż tylko wynikający ze zwykłej asymilacji

$$\Delta P \gg \Delta P_{\text{asym}}$$

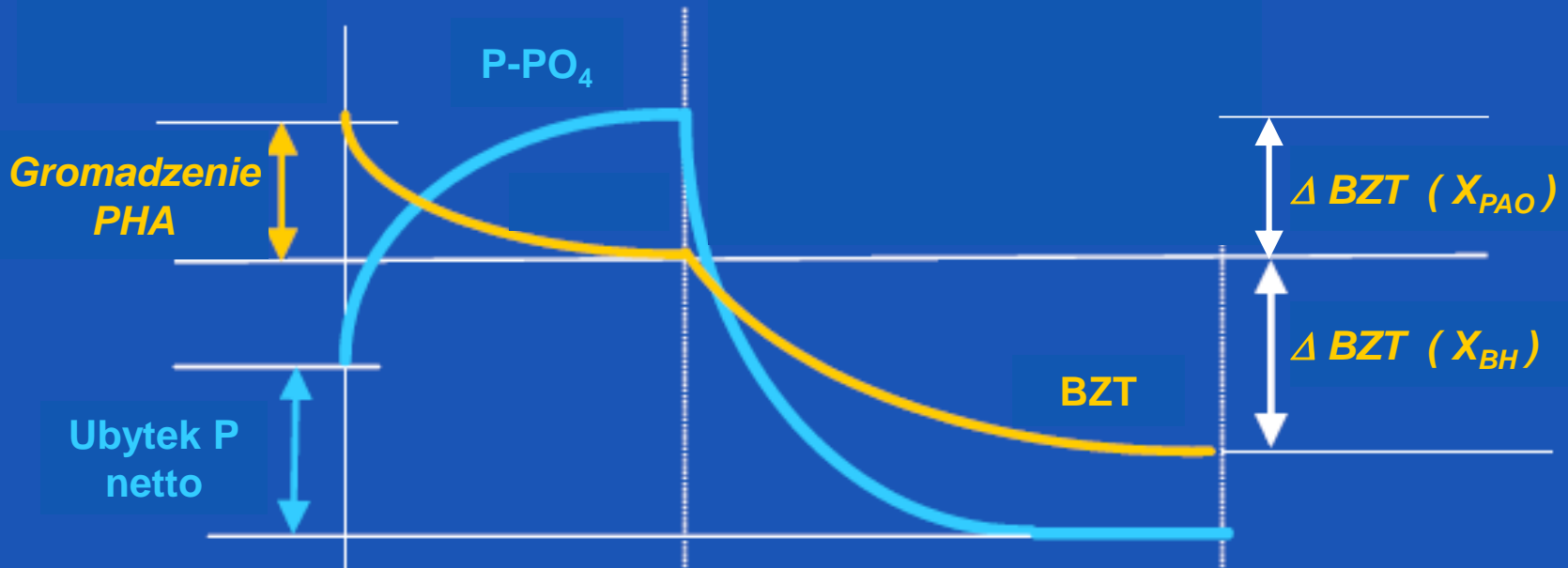
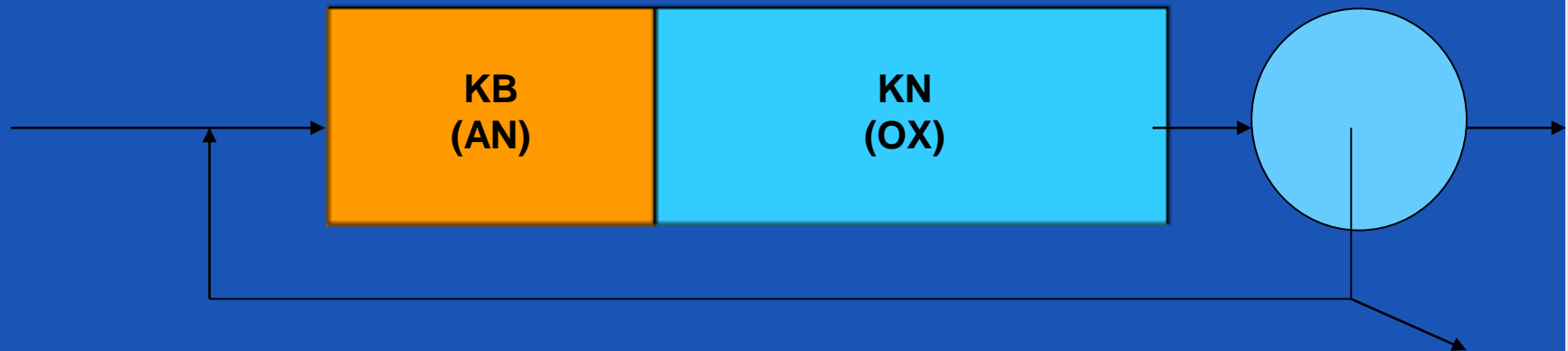
Układ A/O



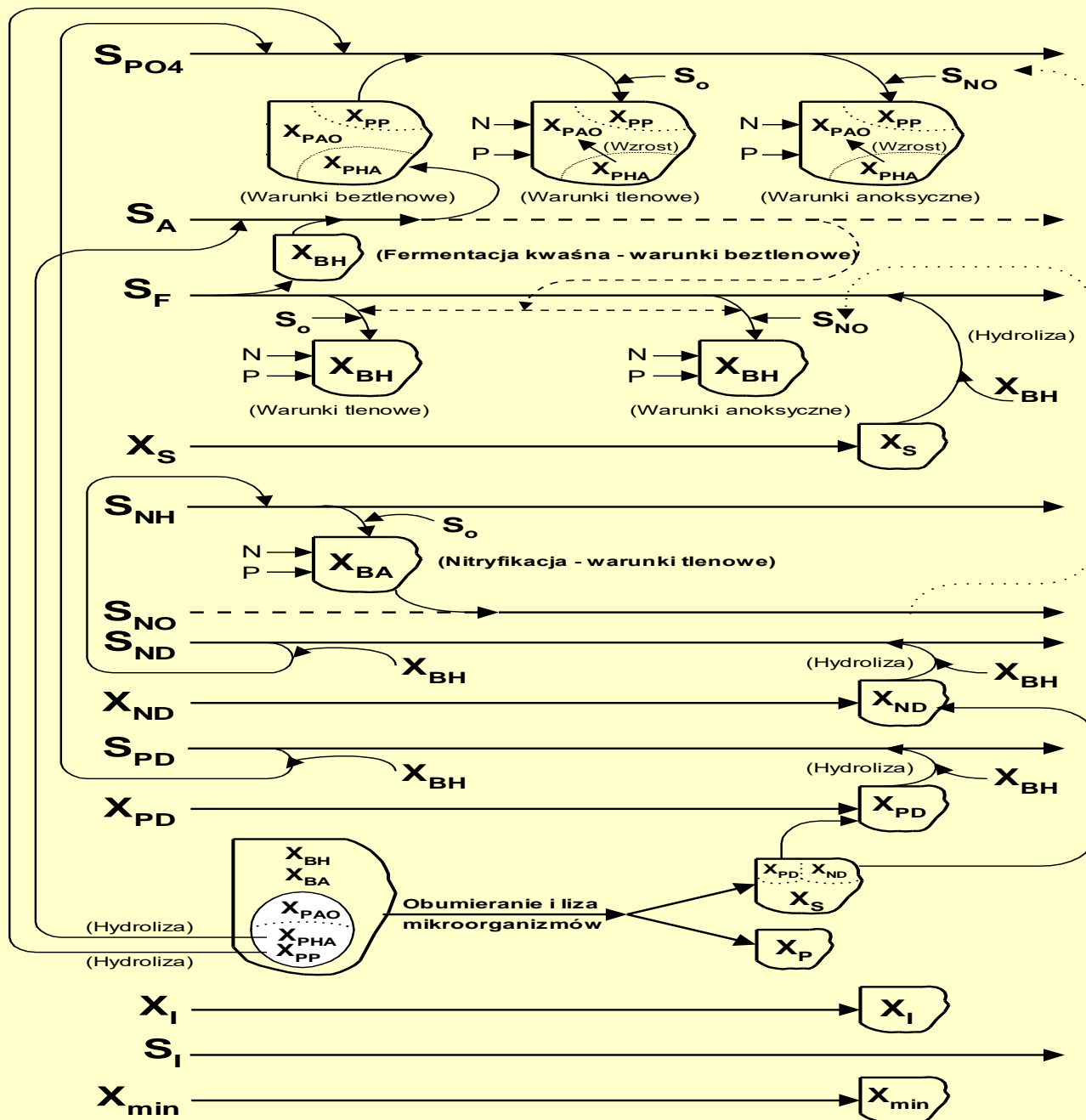
Szkic przemian w układzie A/O



Wzmożone biologiczne usuwanie fosforu (EBPR)



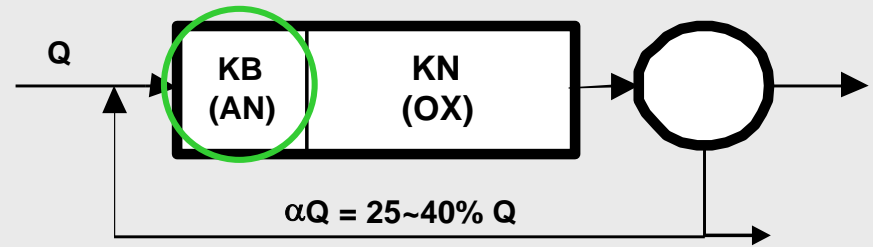
Ogólny schemat przemian EBPR



Układ A/O

Komora beztlenowa (KB)

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

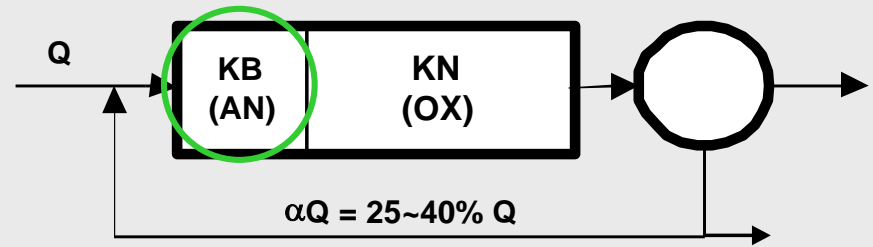


- **Usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **Hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
 - $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 - $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 - $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **Fermentacja kwaśna frakcji S_F przez fakultatywne heterotrofy osadu czynnego (X_{BH}). Frakcja S_F pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S**
 - $S_F \rightarrow S_A + CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$
- **Uwalnianie fosforanów i pobieranie LKT (S_A) przez bakterie fosforowe (X_{PAO})**
 - $X_{PP} \rightarrow S_{PO_4} + E$ (fosforany z osadu “przechodzą” do ścieków)
 - $S_A + E \rightarrow X_{PHA}$ (LKT ze ścieków “przechodzą” do osadu)

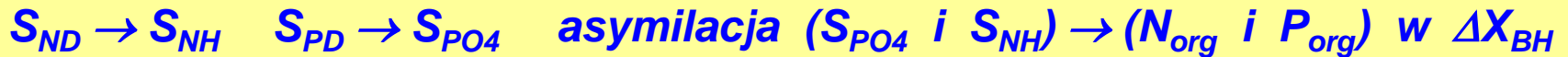
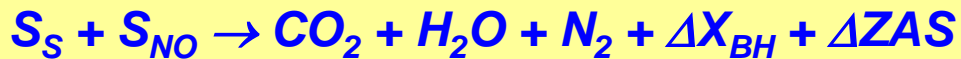
Układ A/O

Komora beztlenowa (KB) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

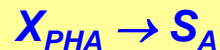
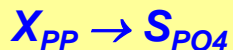


- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych ($S_S = S_A + S_F$) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_A pochodzi z dopływu oraz fermentacji kwaśnej S_F . Azotany są doprowadzane recyrkulacją zewnętrzną (αQ). Denitryfikacja ma miejsce tylko wtedy, gdy w komorze napowietrzania biegnie nityfikacja. Z uwagi na krótki WO , ma to miejsce przy wysokich temperaturach.**



Denitryfikacyjne zużycie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych, ogranicza ilość LKT (S_A) dostępnych bakteriom fosforanowym (X_{PAO}). Przyczynia się to do pogorszenia efektów defosfatacji. Im większy stopień recyrkulacji osadu (αQ) – niezbędny gdy indeks osadu jest wysoki - tym większe denitryfikacyjne zużycie LKT (S_A)

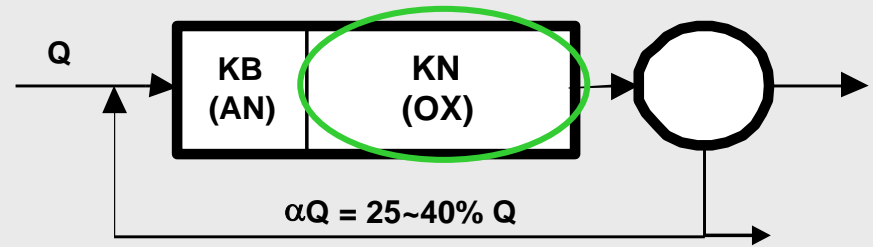
- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



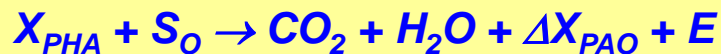
Układ A/O c.d.

Komora napowietrzania (KN)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}). Przyrost bakterii fosforowych (X_{PAO}) będzie tym większy, im więcej zakumulowały one polihydroksyalkanianów (X_{PHA}) w komorze beztlenowej. Im większy przyrost bakterii fosforowych (co jednocześnie oznacza mniejszy przyrost „zwykłych” heterotrofów - „niefosforowych” X_{BH}) tym większe efekty usuwania fosforu.**



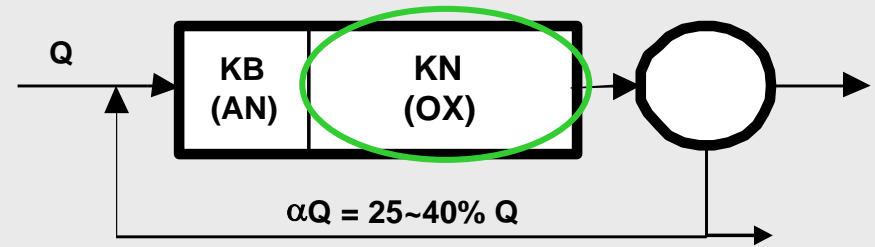
- **Trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**



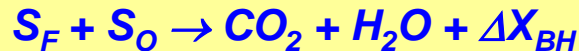
Układ A/O c.d.

Komora napowietrzania (KN) c.d.

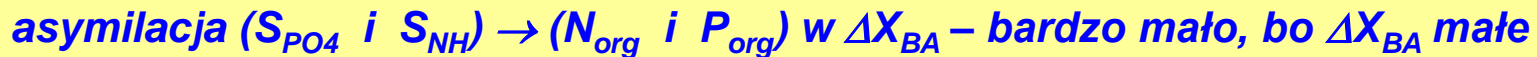
- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi z dopływu z KB i z hydrolizy X_S .**

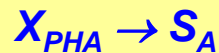
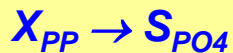


- **Przy wyższych temperaturach, może mieć miejsce nitryfikacja azotu amonowego (S_{NH}). S_{NH} dopływa z komory beztlenowej (KB) oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków org. (S_F).**



- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Parametry projektowe układu A/O

$$WO = \sim 2 \div 6 \text{ d}$$

Już przy **WO ~ 5d**, w temp. > 15°C może mieć miejsce znacząca **nitryfikacja** – gorsze efekty defosfatacji)

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]} \quad X \sim 2 \div 4 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{KB} + V_{KN}$$

$$V_{KB} \sim 30 \div 50\% V_K$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

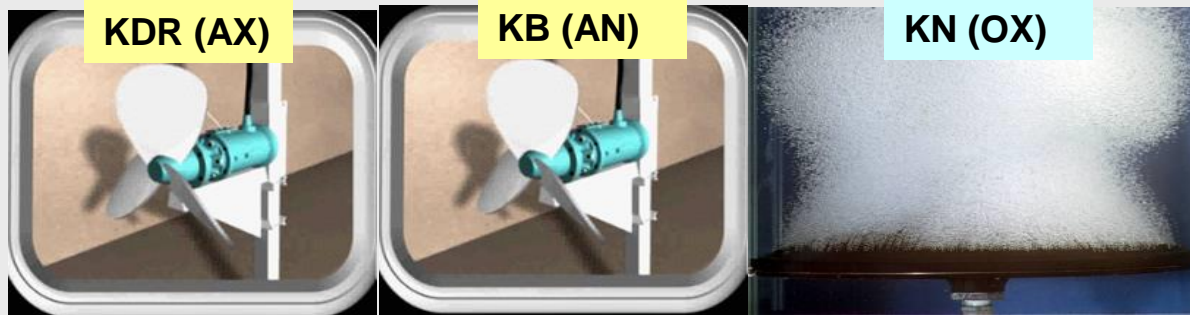
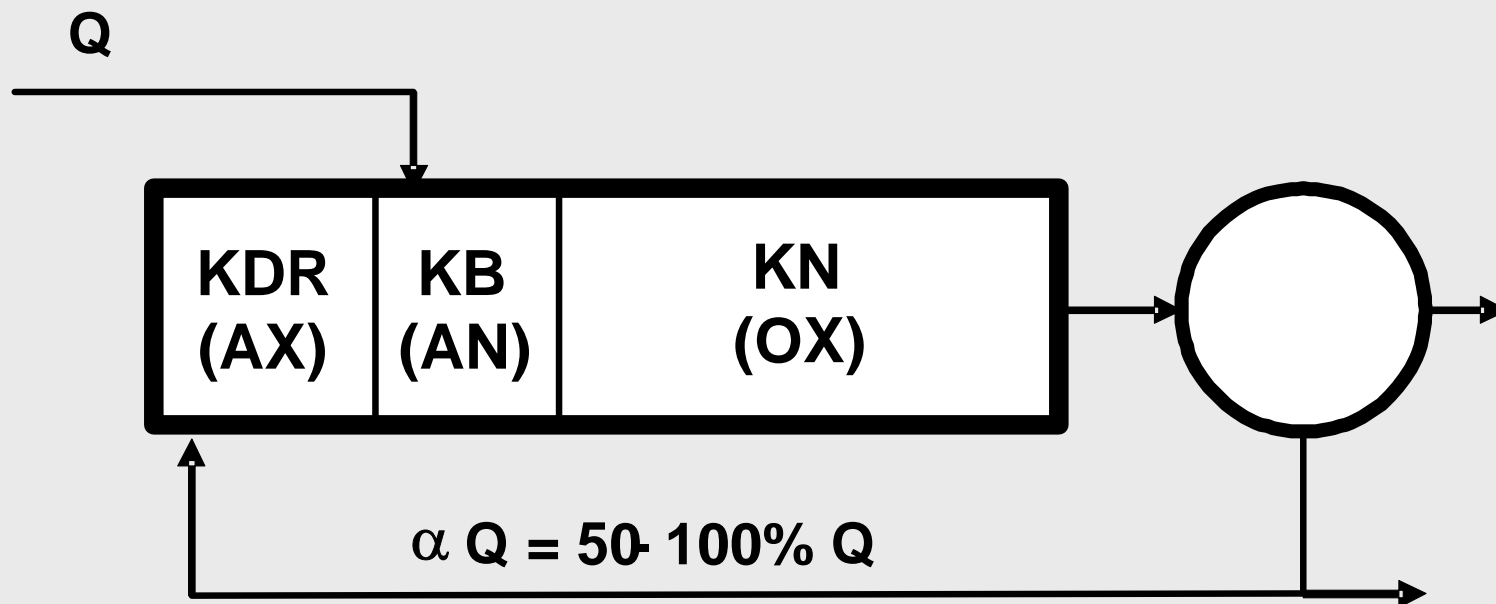
$$T_K \sim \text{rzędu kilku godzin}$$

$$T_{KB} \sim 0.5 \div 1.5 \text{ h}$$

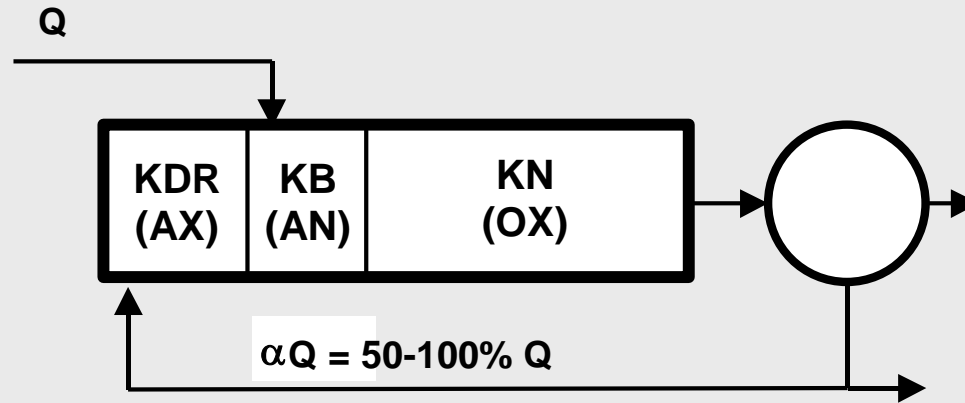
Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie tlenowym

Układ A/O z denitryfikacją osadu recykulowanego



Układ A/O z denitryfikacją osadu recykulowanego c.d.



W KDR następuje usunięcie azotanów z osadu recykulowanego (proces wolny bo związki organiczne do denitryfikacji tylko z hydrolizy X_S)



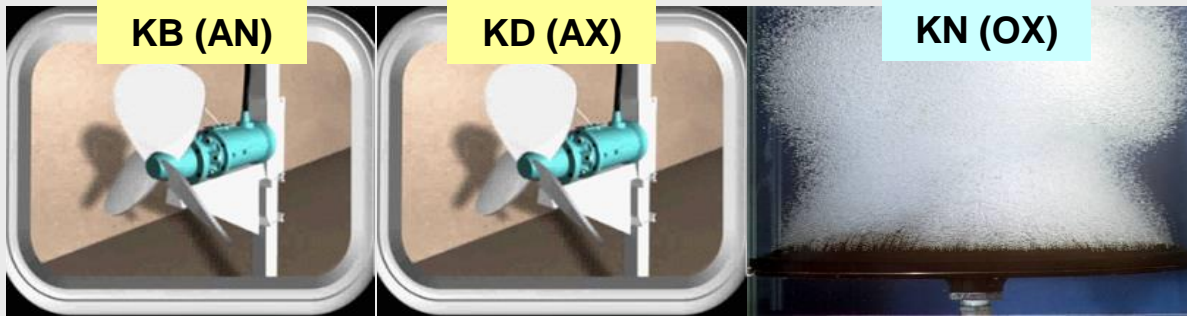
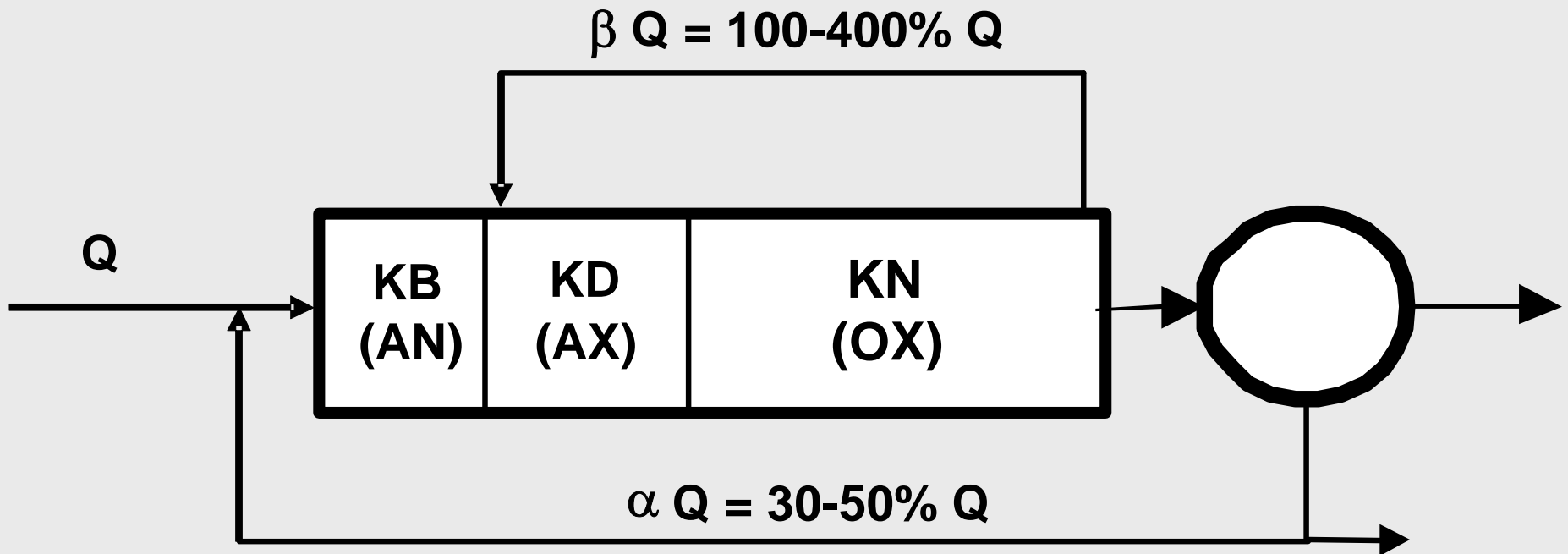
W KB więcej LKT dla X_{PAO}



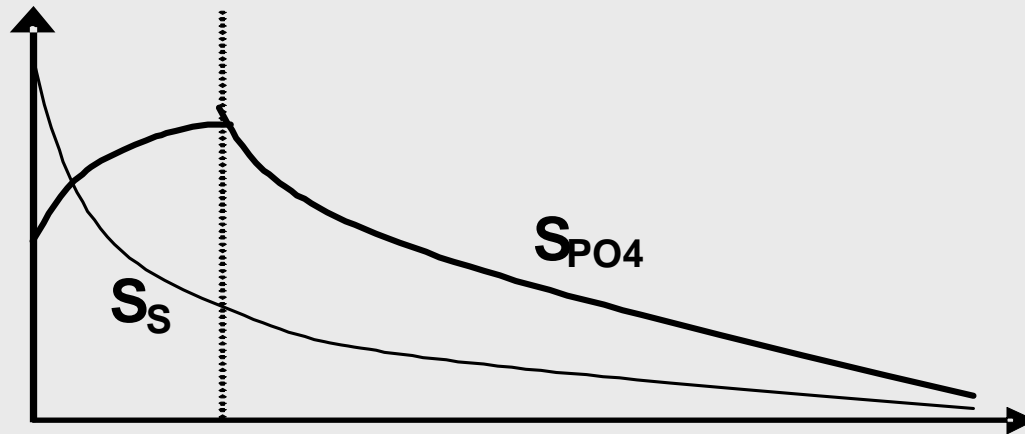
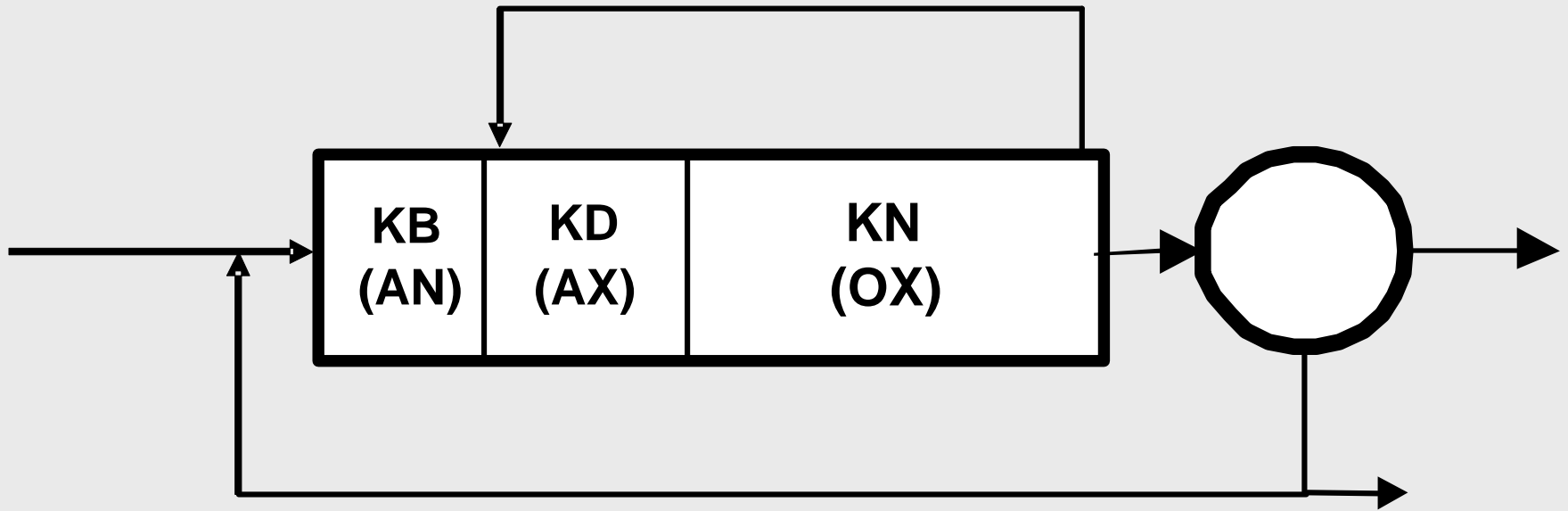
Lepsza defosfatacja

Dopuszczalny większy stopień recyrkulacji osadu (ważne gdy wysoki indeks osadu)

Układ A₂/O



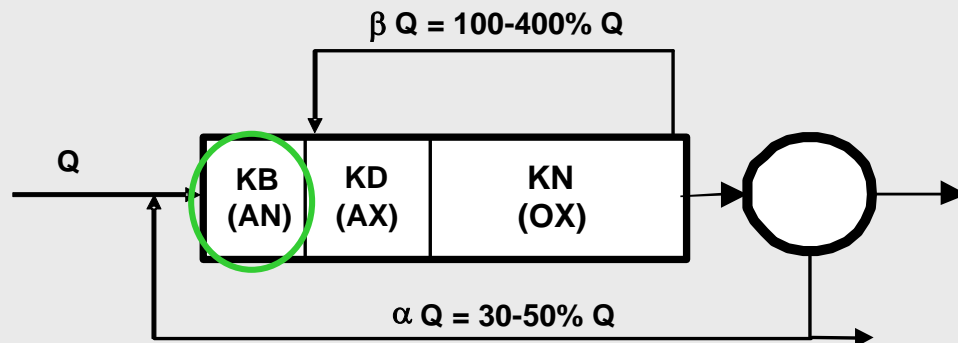
Układ A₂/O



Układ A₂/O c.d.

Komora beztlenowa (KB)

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

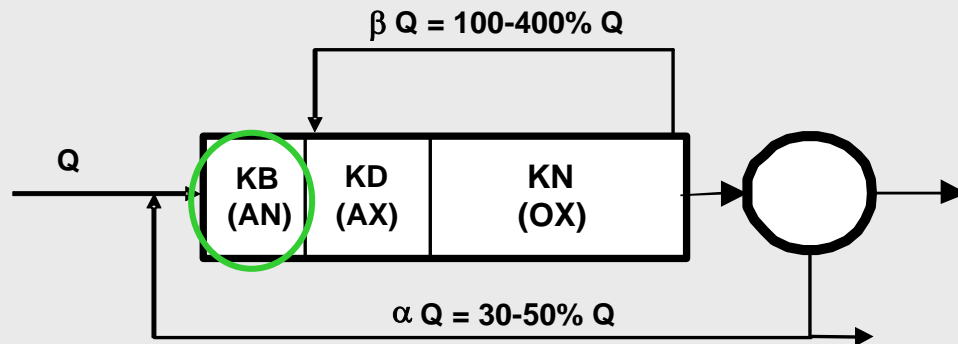


- **Usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **Hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
 - $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 - $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 - $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **Fermentacja kwaśna frakcji S_F przez fakultatywne heterotrofy osadu czynnego (X_{BH}). Frakcja S_F pochodzącej z dopływu oraz hydrolizy X_S**
 - $S_F \rightarrow S_A + CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$
- **Uwalnianie fosforanów i pobieranie LKT (S_A) przez bakterie fosforowe (X_{PAO})**
 - $X_{PP} \rightarrow S_{PO_4} + E$ (fosforany z osadu “przechodzą” do ścieków)
 - $S_A + E \rightarrow X_{PHA}$ (LKT ze ścieków “przechodzą” do osadu)

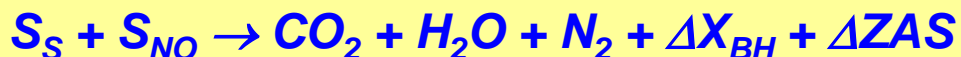
Układ A₂/O c.d.

Komora beztlenowa (KB) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

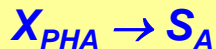
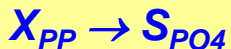


- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych ($S_S = S_A + S_F$) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_A pochodzi z dopływu oraz fermentacji kwaśnej S_F . Azotany są doprowadzane recyrkulacją zewnętrzną (αQ).**



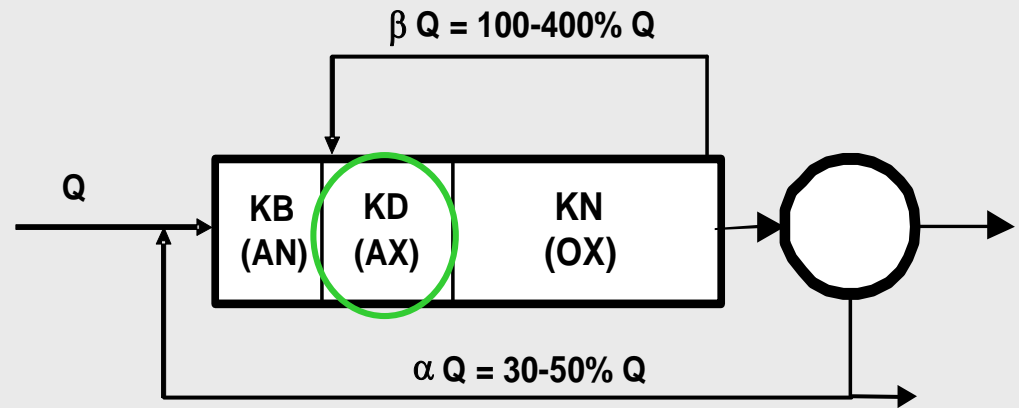
Denitryfikacyjne zużycie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych, ogranicza ilość LKT (S_A) dostępnych bakteriom fosforanowym (X_{PAO}). Przyczynia się to do pogorszenia efektów defosfatacji. Im większy stopień recyrkulacji osadu (αQ) – niezbędny gdy indeks osadu jest wysoki - tym większe denitryfikacyjne zużycie LKT (S_A)

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



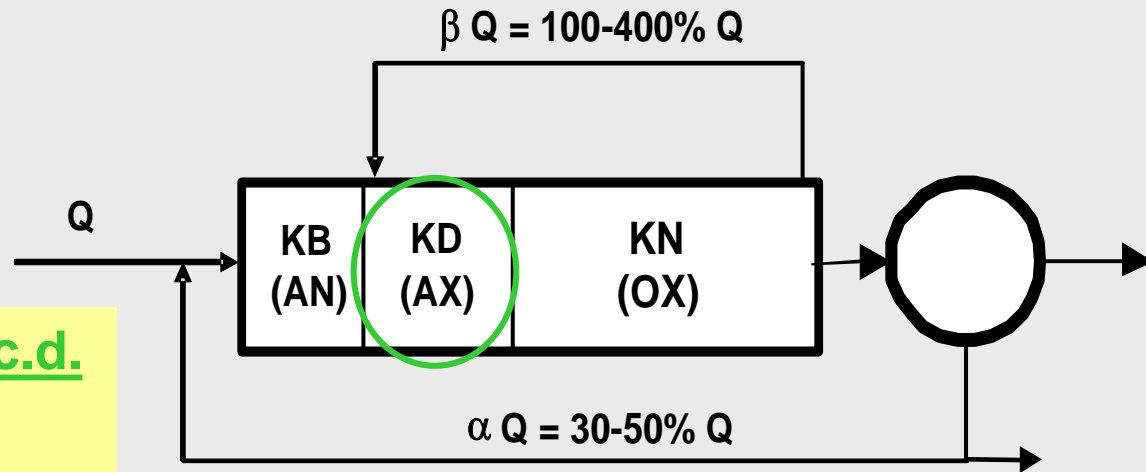
Układ A₂/O c.d.

Komora denitryfikacji (KD)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **Hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**
 - $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 - $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 - $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany doprowadzane recyrkulacją wewnętrzną (βQ).**
 - $S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$
 - $S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}
- **więcej dostępnego $S_F \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**

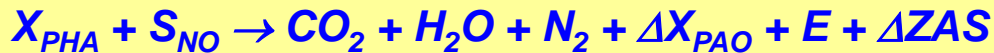
Układ A₂/O c.d.



Komora denitryfikacji (KD) c.d.

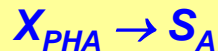
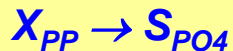
- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)

- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złożeń polifosforanowych (X_{PP}).**



Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

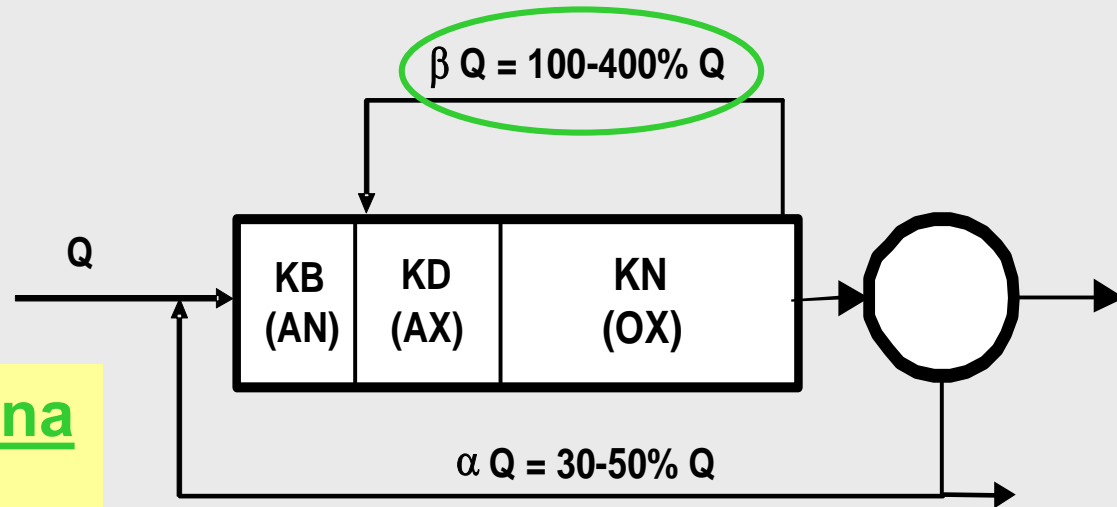
- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzielaniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ A₂/O c.d.

Recyrkulacja wewnętrzna

$$\beta Q = 100-400\% Q$$

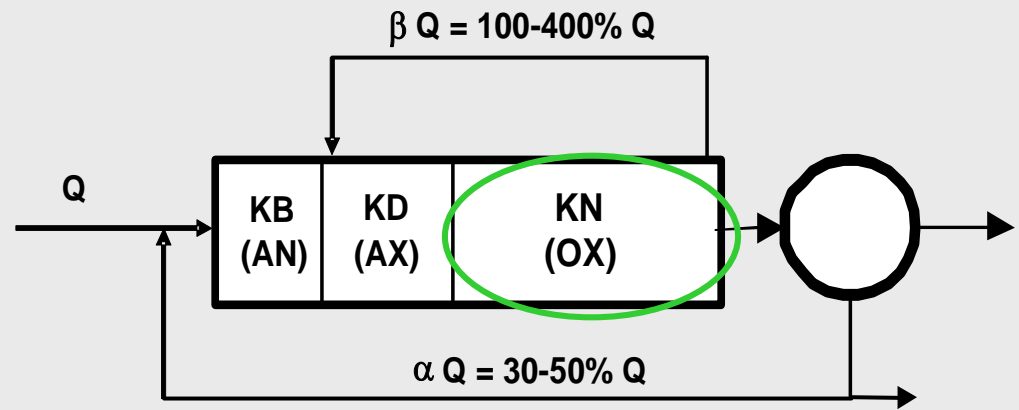


- **im większa recyrkulacja wewnętrzna tym:**
 - **więcej azotanów do denitryfikacji (jest sens gdy mogą być zdenitryfikowane)**
 - **większy ładunek tlenu doprowadzany z KN (źle, bo niepotrzebne zużycie S_s)**
 - **w okresie letnim można zwiększyć udział KD kosztem KN, co daje lepszą denitryfikację, a w konsekwencji mniejsze zużycie tlenu – oszczędność energii**

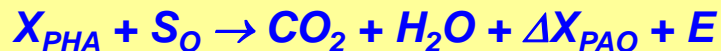
Układ A₂/O c.d.

Komora napowietrzania (KN)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci ziógów polifosforanowych (X_{PP}). Przyrost bakterii fosforowych (X_{PAO}) będzie tym większy, im więcej zakumulowały one polihydroksyalkanianów (X_{PHA}) w komorze beztlenowej. Im większy przyrost bakterii fosforowych (co jednocześnie oznacza mniejszy przyrost „zwykłych” heterotrofów - „niefosforowych” X_{BH}) tym większe efekty usuwania fosforu.**



Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

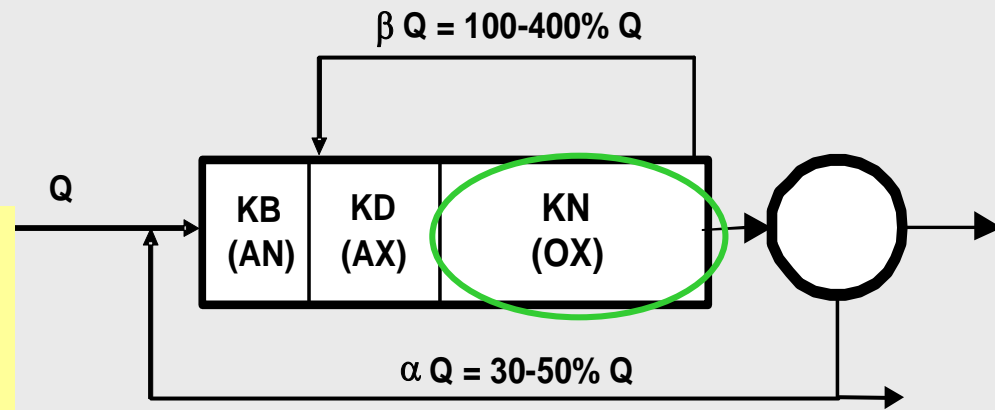
- **Trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**



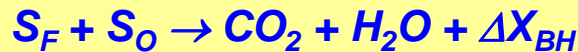
Układ A₂/O c.d.

Komora napowietrzania (KN) c.d.

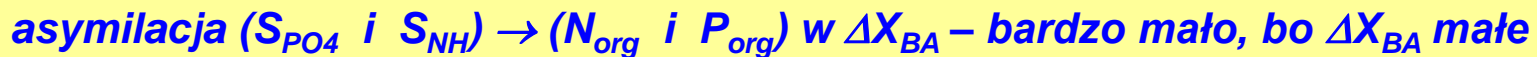
- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi głównie z hydrolizy X_S .**

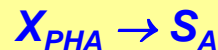
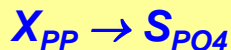


- **Nitryfikacja azotu amonowego (S_{NH}). S_{NH} dopływa z komory denitryfikacji (KD) oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków org. (S_F).**



- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Parametry projektowe układu A₂/O

$$WO = \sim 10 \div 25 \text{ d}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$X \sim 2 \div 4 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{KB} + V_{KD} + V_{KN}$$

$$V_{KB} \sim 10 \div 15\% V_K$$

$$V_{KD} \sim 15 \div 20\% V_K$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$$T_K \sim \text{rzędu kilkunastu godzin}$$

$$T_{KB} \sim 0.5 \div 1.5 \text{ h}$$

Warunek nitryfikacji

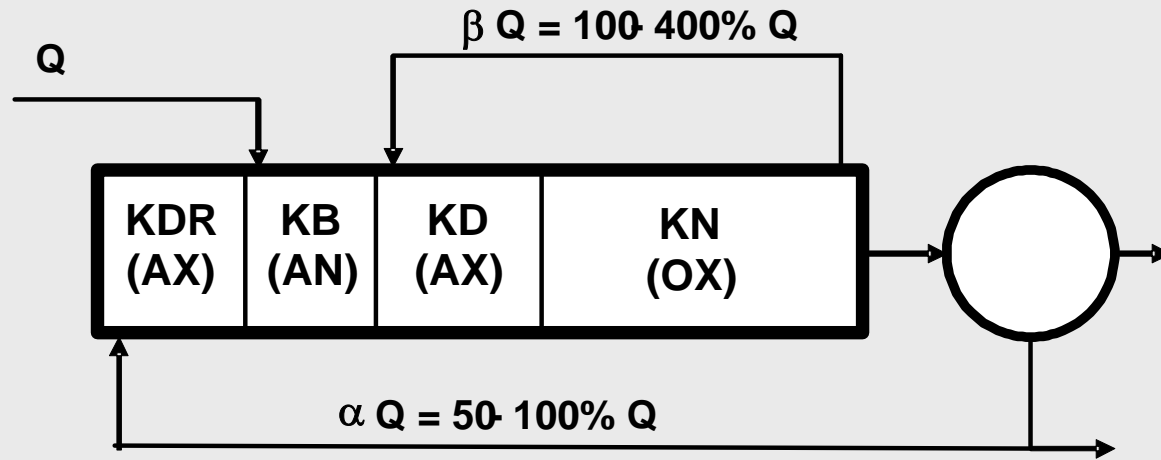
$$WO_{OX} \geq WO_{\min}^{\text{Nit}} \approx SF \frac{1}{\mu_A - b_A} \text{ [d]} \text{ (funkcja temp.)}$$

$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]} \quad U_{OX} = \frac{V_{KN}}{V_{KB} + V_{KD} + V_{KN}}$$

Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie MLE

Układ A_2/O z denitryfikacją osadu recyrkulowanego



W KDR następuje usunięcie azotanów z osadu recyrkulowanego (proces wolny bo związki organiczne do denitryfikacji tylko z hydrolizy X_S)



W KB więcej LKT dla X_{PAO}

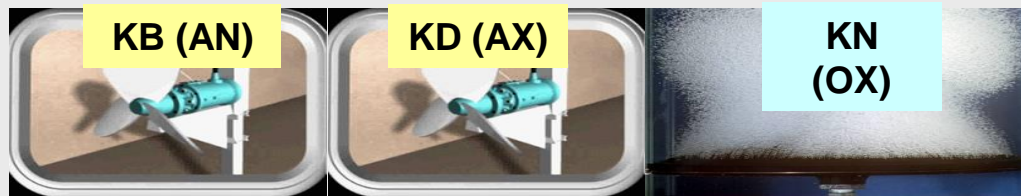
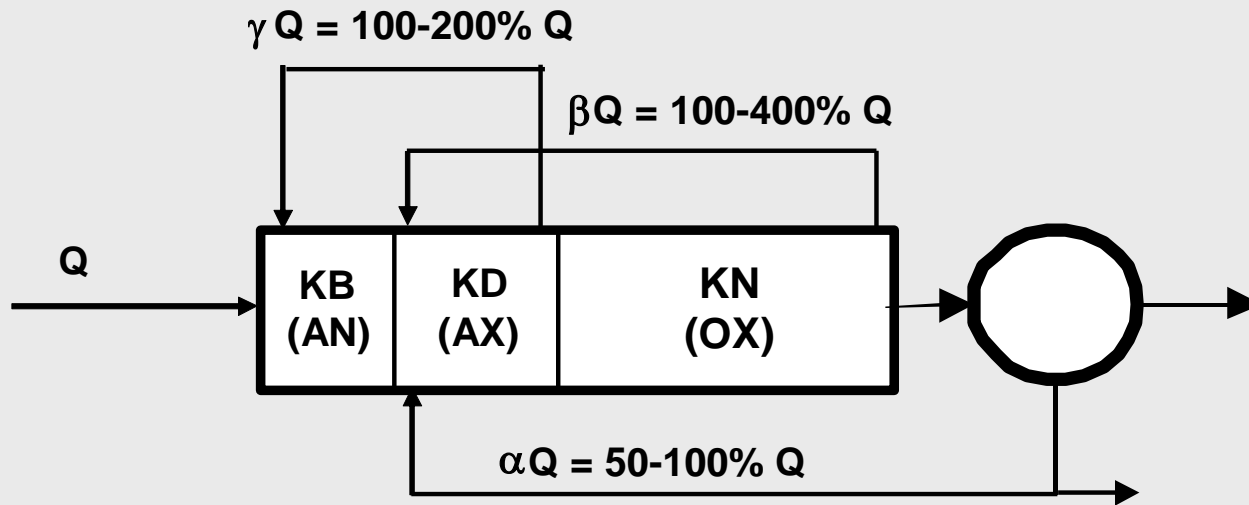


Lepsza defosfatacja

Dopuszczalny większy stopień recyrkulacji osadu (ważne gdy wysoki indeks osadu)

Układ UCT

Mniej niż w układzie A_2O azotanów kierowanych do komory beztlenowej.



$$X_{KB} = X_{KD} \frac{\gamma}{1 + \gamma}$$

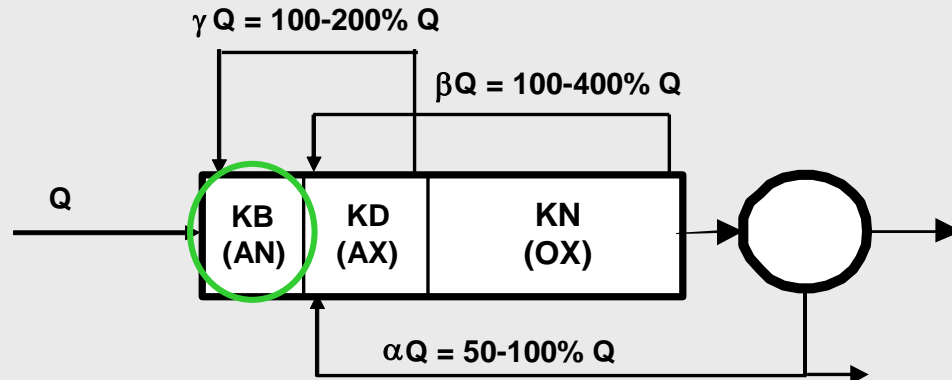
$$\gamma = 1 \text{ to } X_{KB} = 0.5 X_{KD}$$

$$\gamma = 2 \text{ to } X_{KB} = 0.67 X_{KD}$$

Układ UCT c.d.

Komora beztlenowa (KB)

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)



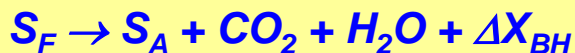
- **Usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego, dostarczanego z recyrkulacją γQ z komory denitryfikacji (KD)**
- **Hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **Fermentacja kwaśna frakcji S_F przez fakultatywne heterotrofy osadu czynnego (X_{BH}). Frakcja S_F pochodzącej z dopływu oraz hydrolizy X_S**



- **Uwalnianie fosforanów i pobieranie LKT (S_A) przez bakterie fosforowe (X_{PAO})**

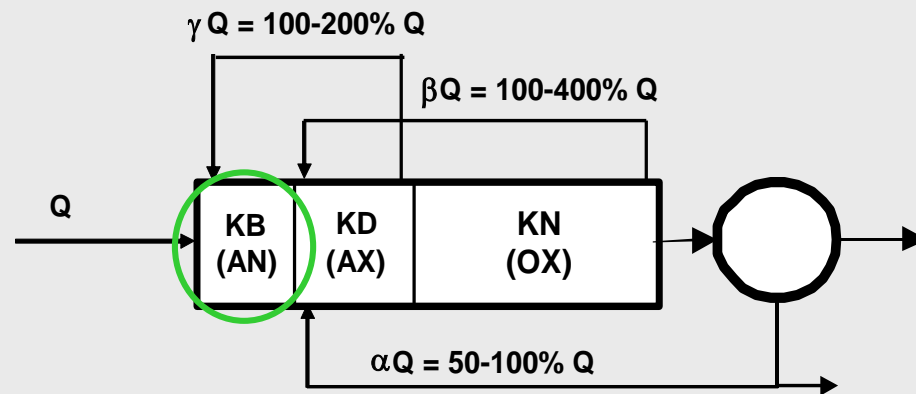
$X_{PP} \rightarrow S_{PO_4} + E$ (fosforany z osadu “przechodzą” do ścieków)

$S_A + E \rightarrow X_{PHA}$ (LKT ze ścieków “przechodzą” do osadu)

Układ UCT c.d.

Komora beztlenowa (KB) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)



- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych ($S_S = S_A + S_F$) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_A pochodzi z dopływu oraz fermentacji kwaśnej S_F . Azotany są doprowadzane recyrkulacją z KD (γQ).**

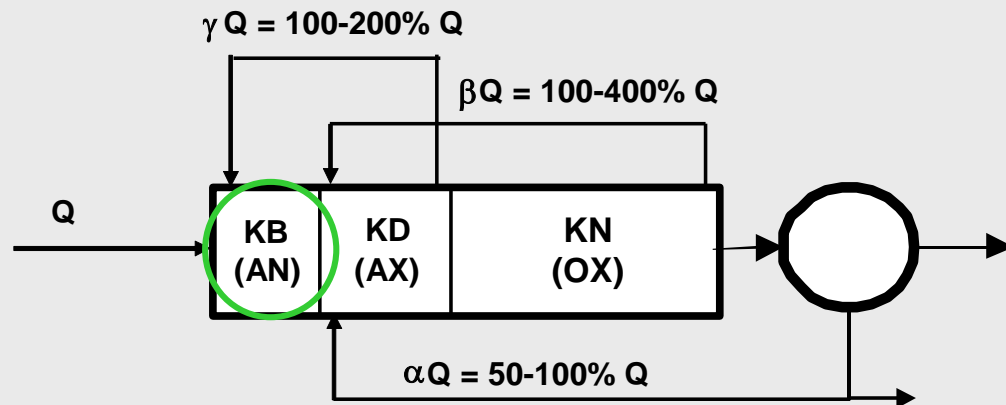


Denitryfikacyjne zużycie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych, ogranicza ilość LKT (S_A) dostępnych bakteriom fosforanowym (X_{PAO}). Przyczynia się to do pogorszenia efektów defosfatacji. Jeśli recyrkulacja wewnętrzna do KD (βQ) nie jest nadmierna, to stężenie azotanów w KD jest niewielkie. Wtedy niewielki jest ładunek azotanów dostarczany do komory beztlenowej (KB) i niewielkie w niej denitryfikacyjne zużycie cennych LKT (S_A). Brak bezpośredniego zrzutu osadu recyrkulowanego do KB pozwala na większy bezpieczny zakres recyrkulacji osadu (αQ) – niezbędny gdy indeks osadu jest wysoki.

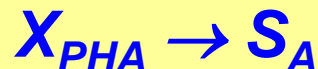
Układ UCT c.d.

Komora beztlenowa (KB) c.d.

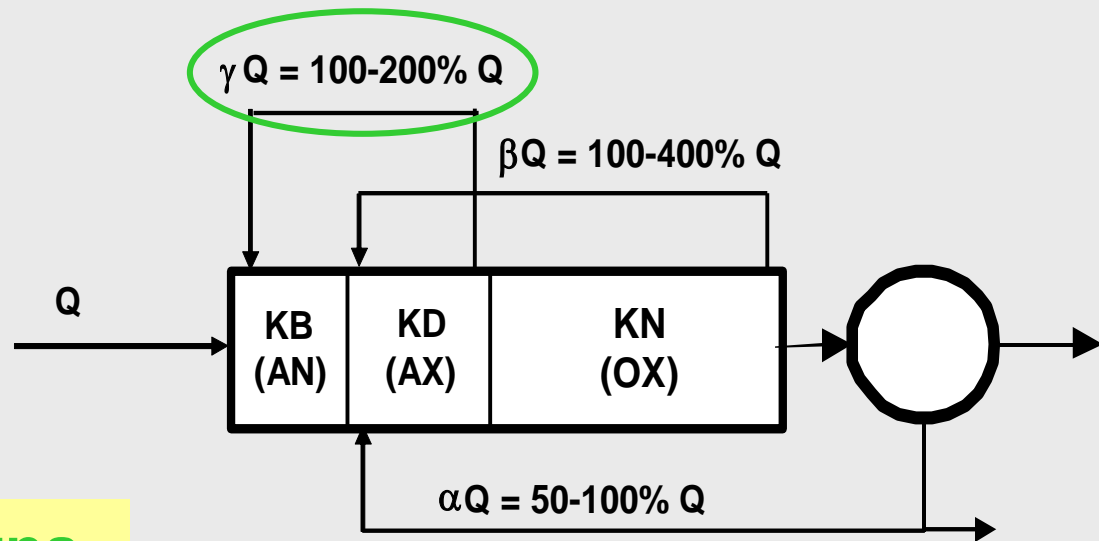
- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)



- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ UCT c.d.



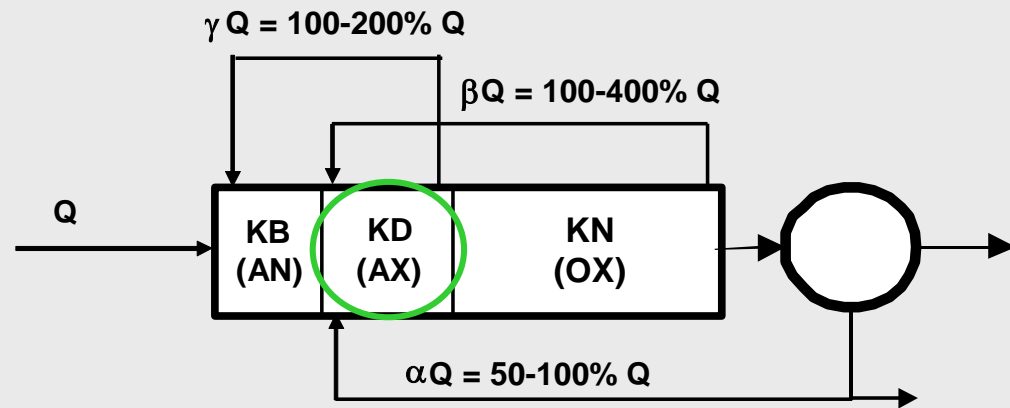
Recyrkulacja wewnętrzna z KD do KB

$(\gamma Q = 100-200\% Q)$

- **Celem tej recyrkulacji jest dostarczenie osadu czynnego do KB ($X_{KB} < X_{KD}$)**

Układ UCT c.d.

Komora denitryfikacji (KD)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **Hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

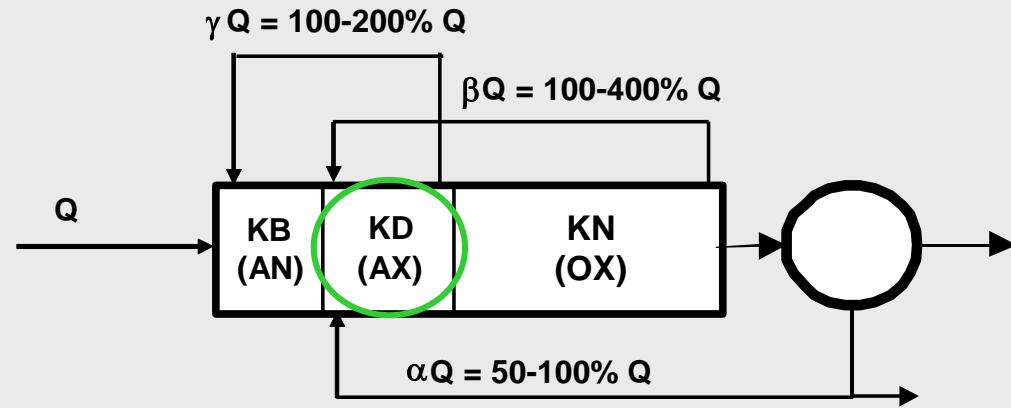
- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S . Azotany doprowadzane recyrkulacją wewnętrzną (βQ) i recyrkulacją zewnętrzną (αQ).**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **Więcej dostępnego $S_F \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**

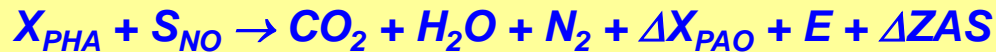
Układ UCT c.d.



Komora denitryfikacji (KD) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)

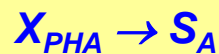
- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}).**



Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

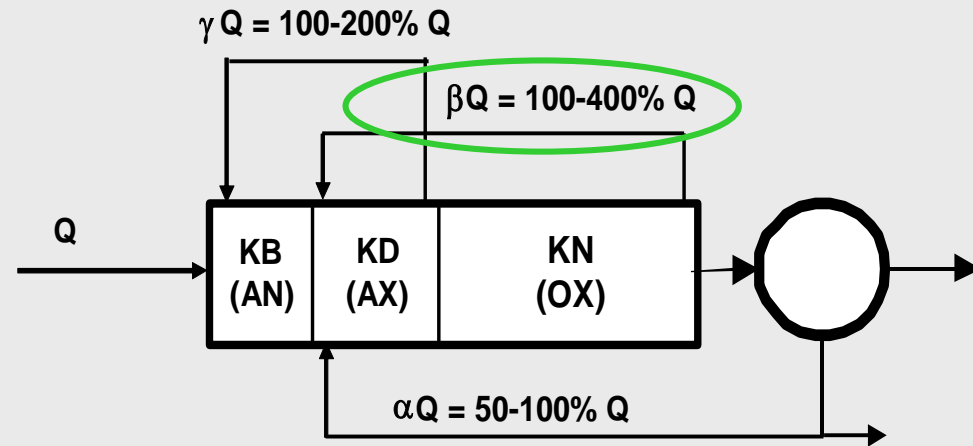
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ UCT c.d.

Recyrkulacja wewnętrzna z KN do KD

$$\underline{(\gamma Q = 100-400\% Q)}$$

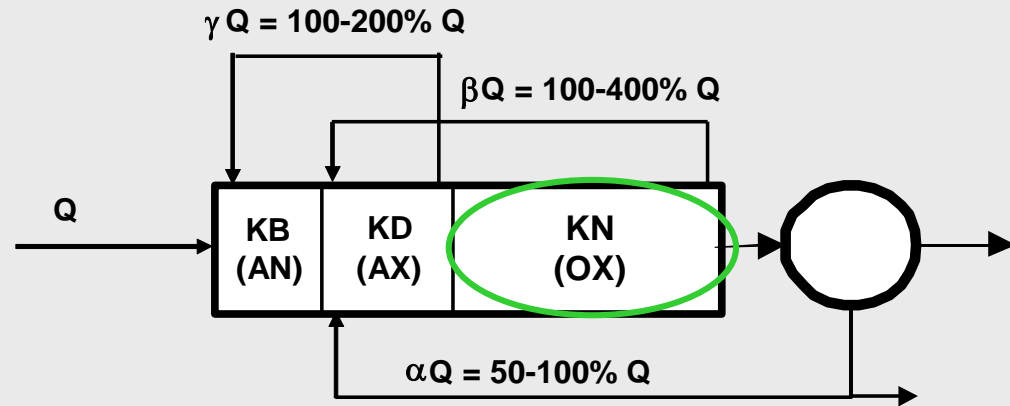


- **zbyt duża recyrkulacja to więcej azotanów w KD, a więc większy ich zrzut do KB**
- **im większa recyrkulacja wewnętrzna tym:**
 - **więcej azotanów do denitryfikacji (jest sens gdy mogą być zdenitryfikowane)**
 - **większy ładunek tlenu doprowadzany z KN (źle, bo niepotrzebne zużycie S_s)**
 - **w okresie letnim można zwiększyć udział KD kosztem KN, co daje lepszą denitryfikację, a w konsekwencji mniejsze zużycie tlenu – oszczędność energii**

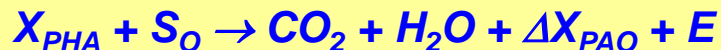
Układ UCT c.d.

Komora napowietrzania (KN)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złożeń polifosforanowych (X_{PP}). Przyrost bakterii fosforowych (X_{PAO}) będzie tym większy, im więcej zakumulowały one polihydroksyalkanianów (X_{PHA}) w komorze beztlenowej. Im większy przyrost bakterii fosforowych (co jednocześnie oznacza mniejszy przyrost „zwykłych” heterotrofów - „niefosforowych” X_{BH}) tym większe efekty usuwania fosforu.**



Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

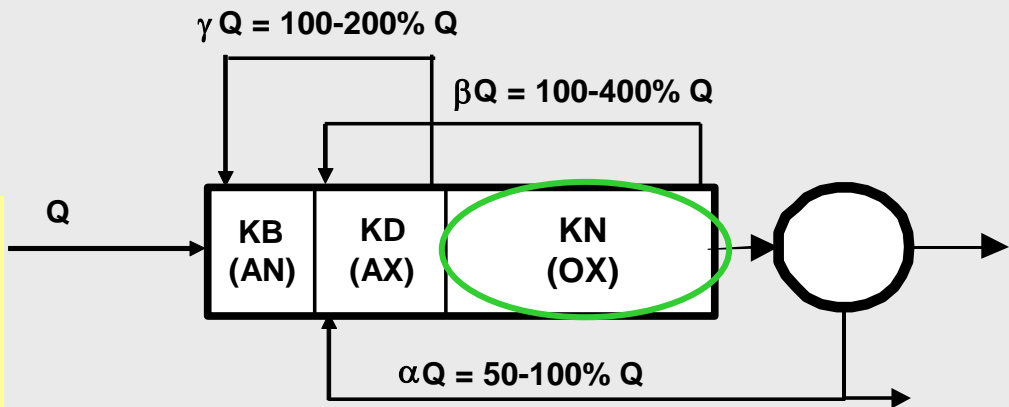
- **Trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**



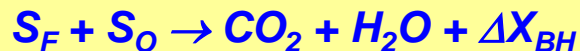
Układ UCT c.d.

Komora napowietrzania (KN) c.d.

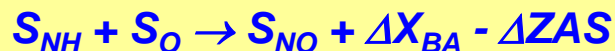
- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



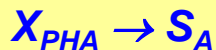
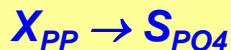
- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi głównie z hydrolizy X_S .**



- **Nitryfikacja azotu amonowego (S_{NH}). S_{NH} dopływa z komory denitryfikacji (KD) oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków org. (S_F).**



- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Parametry projektowe układu UCT

$$WO = \sim 10 \div 20 \text{ (25) d}$$

$$X \sim 2 \div 4 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{KB} + V_{KD} + V_{KN}$$

$$V_{KB} \sim 15 \div 25\% V_K$$

$$V_{KD} \sim 15 \div 30\% V_K$$

$$U_{V_{KB}} = \frac{V_{KB}}{V_K} = 0.15 \div 0.25$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X_{sr}} = \frac{WO \cdot \Delta X}{X \left[1 - \frac{U_{V_{KB}}}{(1 + \gamma)} \right]} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$$T_K \sim \text{rzędu kilkunastu godzin}$$

$$T_{KB} \sim 1 \div 2 \text{ h}$$

Parametry projektowe układu UCT c.d.

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{min}^{Nit} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \text{ [d]} \quad (\text{funkcja temp.}) \quad WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]}$$

$$X = X_{KN} \approx X_{KD} \quad X_{KB} = X_{KD} \frac{\gamma}{1+\gamma} \approx X \frac{\gamma}{1+\gamma}$$

$$U_{OX} = \frac{V_{KN} X_{KN}}{V_{KB} X_{KB} + V_{KD} X_{KD} + V_{KN} X_{KN}} \approx \frac{V_{KN} X}{V_{KB} X \frac{\gamma}{1+\gamma} + V_{KD} X + V_{KN} X}$$

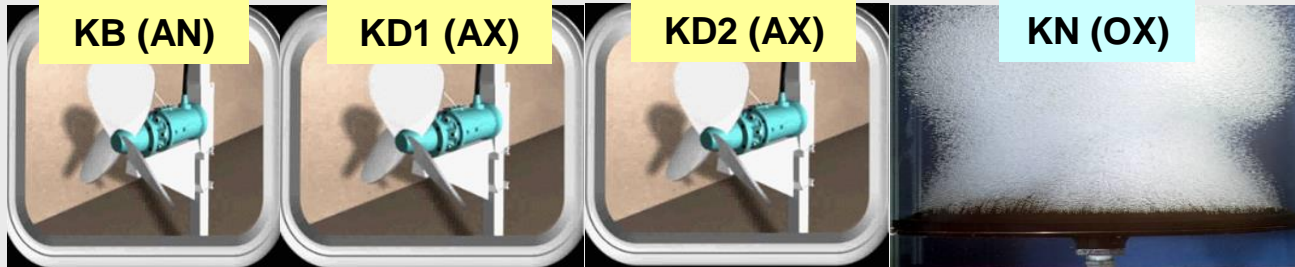
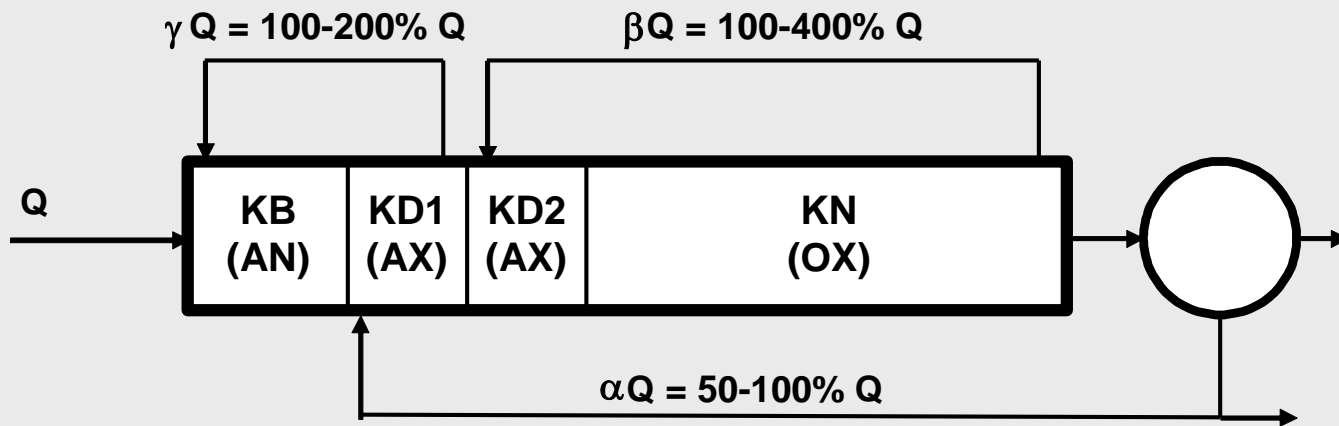
$$U_{OX} = \frac{V_{KN}}{\frac{\gamma}{1+\gamma} V_{KB} + V_{KD} + V_{KN}}$$

Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie MLE

Układ MUCT

- Mniej niż w układzie UCT azotanów kierowanych do komory beztlenowej,
- Większa swoboda sterowania recyrkulacją βQ



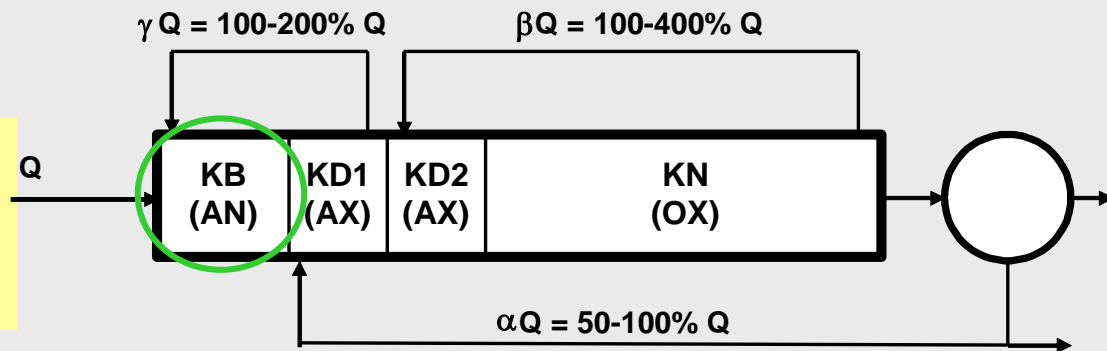
$$X_{KB} = X_{KD1} \frac{\gamma}{1 + \gamma}$$

$$\gamma = 1 \text{ to } X_{KB} = 0.5 X_{KD1}$$

$$\gamma = 2 \text{ to } X_{KB} = 0.67 X_{KD1}$$

Układ MUCT c.d.

Komora beztlenowa (KB)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki beztlenowe (AN)

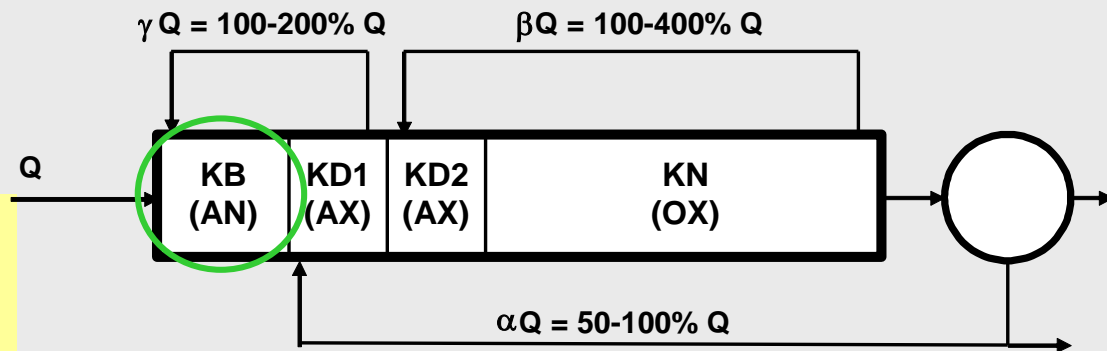


- **Usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego, dostarczanego z recyrkulacją γQ z komory denitryfikacji (KD1)**
- **Hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
 $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **Fermentacja kwaśna frakcji S_F przez fakultatywne heterotrofy osadu czynnego (X_{BH}). Frakcja S_F pochodzącej z dopływu oraz hydrolizy X_S**
 $S_F \rightarrow S_A + CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$
- **Uwalnianie fosforanów i pobieranie LKT (S_A) przez bakterie fosforowe (X_{PAO})**
 $X_{PP} \rightarrow S_{PO_4} + E$ (fosforany z osadu “przechodzą” do ścieków)
 $S_A + E \rightarrow X_{PHA}$ (LKT ze ścieków “przechodzą” do osadu)

Układ MUCT c.d.

Komora beztlenowa (KB) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

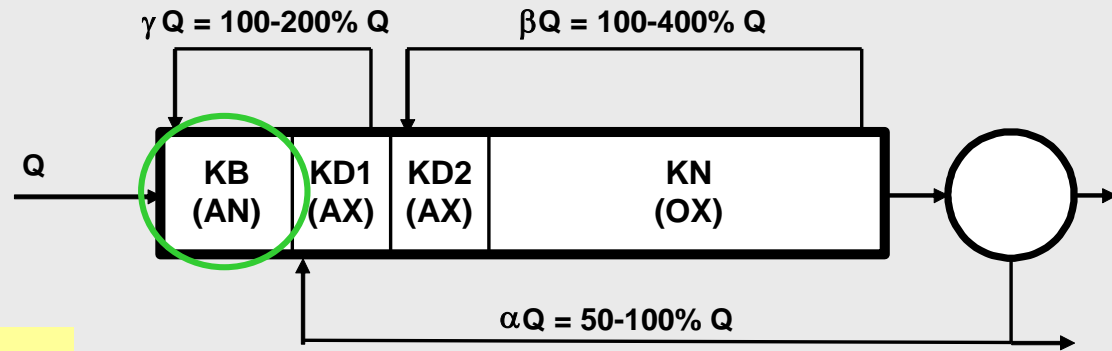


- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych ($S_S = S_A + S_F$) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_A pochodzi z dopływu oraz fermentacji kwaśnej S_F . Azotany są doprowadzane recyrkulacją z KD (γQ).**



Denitryfikacyjne zużycie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych, ogranicza ilość LKT (S_A) dostępnych bakteriom fosforanowym (X_{PAO}). Przyczynia się to do pogorszenia efektów defosfatacji. Skoro recyrkulacja zewnętrzna do KD1 (αQ) nie wnosi dużego ładunku azotanów, to stężenie azotanów w KD1 jest bardzo małe. Zatem bardzo mały jest ładunek azotanów dostarczany do komory beztlenowej (KB) i bardzo małe w niej denitryfikacyjne zużycie cennych LKT (S_A). Brak bezpośredniego zrzutu osadu recyrkulowanego do KB pozwala na większy bezpieczny zakres recyrkulacji osadu (αQ) – niezbędny gdy indeks osadu jest wysoki.

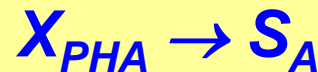
Układ MUCT c.d.



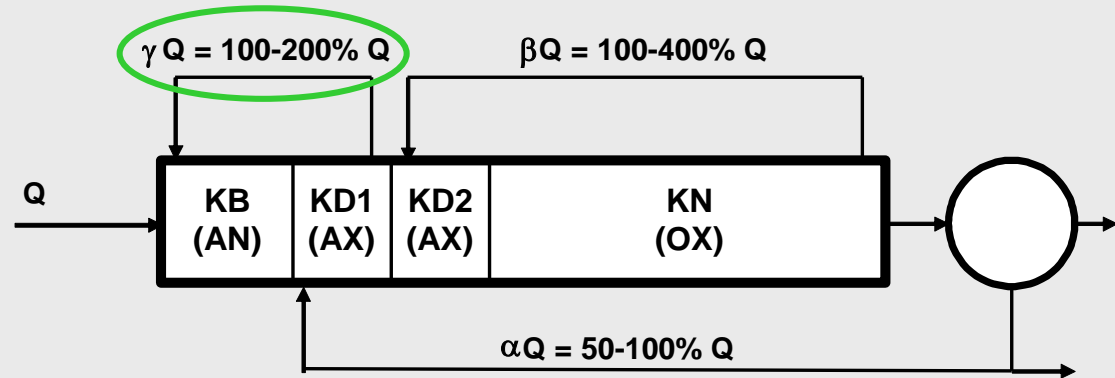
Komora beztlenowa (KB) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ MUCT c.d.



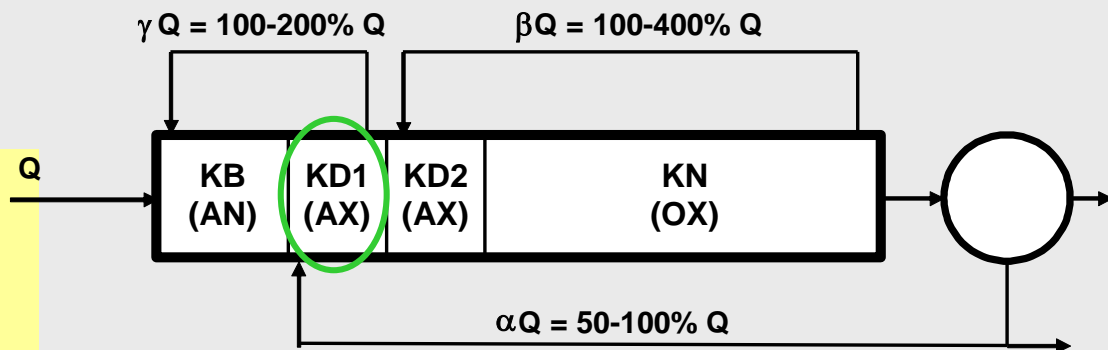
Recyrkulacja wewnętrzna z KD1 do KB

$(\gamma Q = 100-200\% Q)$

- **Celem tej recyrkulacji jest dostarczenie osadu czynnego do KB ($X_{KB} < X_{KD1}$)**

Układ MUCT c.d.

Komora denitryfikacji (KD1)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **Hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

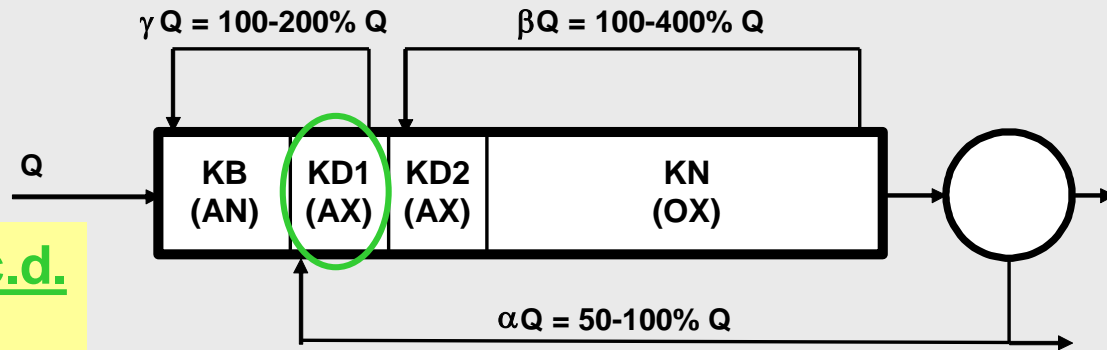
- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów, przez bakterie heterotroficzne (X_{BH}). S_F pochodzi z KB oraz hydrolizy X_S . Azotany są doprowadzane recyrkulacją zewnętrzną (αQ).**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **Więcej dostępnego $S_F \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**

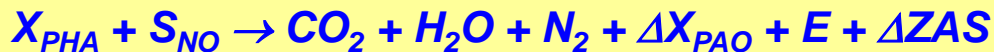
Układ MUCT c.d.



Komora denitryfikacji (KD1) c.d.

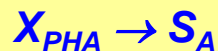
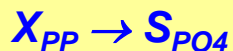
- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)

- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}).**



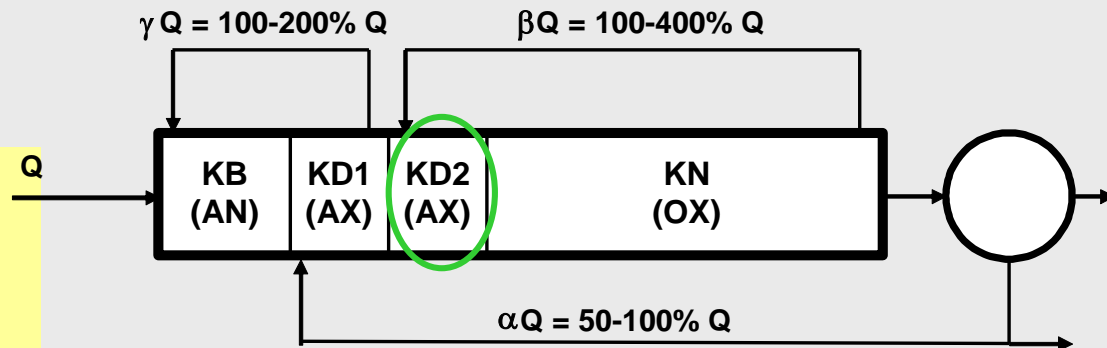
Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ MUCT c.d.

Komora denitryfikacji (KD2)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **Hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

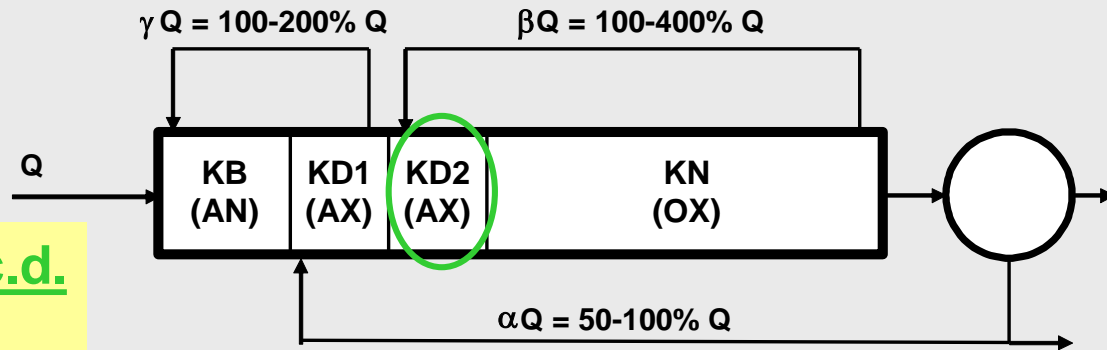
- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów, przez bakterie heterotroficzne (X_{BH}). S_F pochodzi z dopływu z KD1 oraz hydrolizy X_S . Azotany są doprowadzane recyrkulacją zewnętrzną (βQ).**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **Więcej dostępnego $S_F \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**

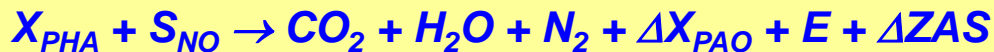
Układ MUCT c.d.



Komora denitryfikacji (KD2) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)

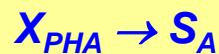
- **Dalsze utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}).**



Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

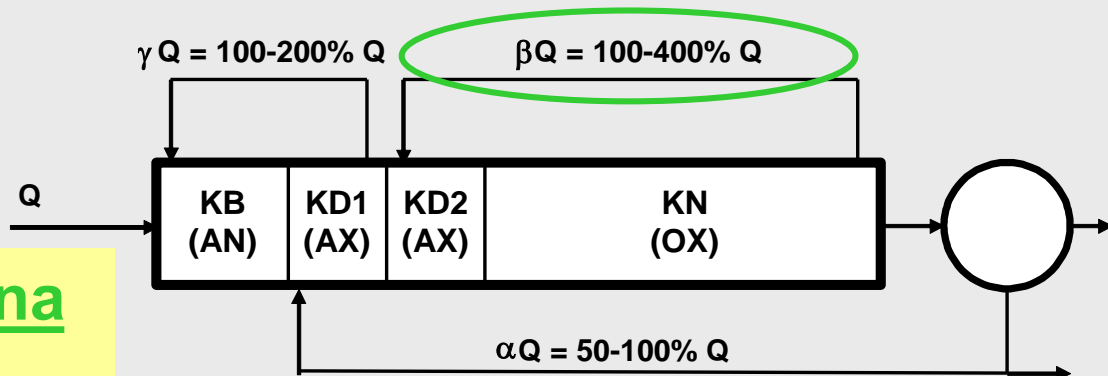
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ MUCT c.d.

Recyrkulacja wewnętrzna z KN do KD2

($\gamma Q = 100-400\% Q$)

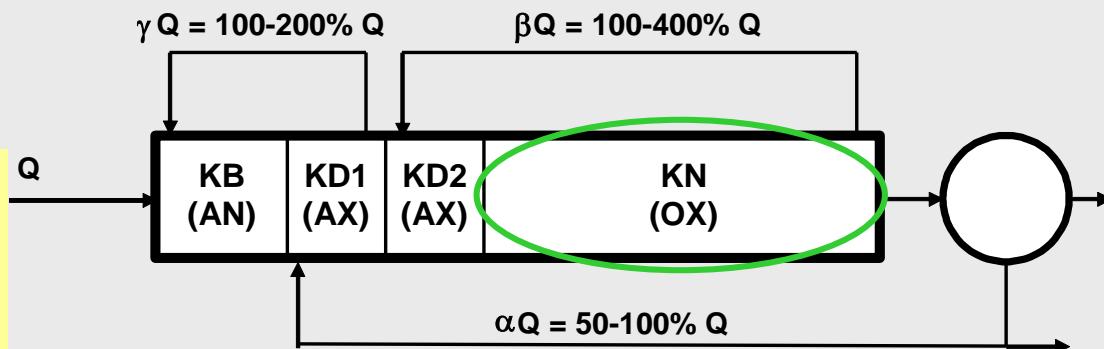


- **nadmierna recyrkulacja nie szkodzi biologicznej defosfatacji**
- **im większa recyrkulacja wewnętrzna tym:**
 - **więcej azotanów do denitryfikacji (jest sens gdy mogą być zdenitryfikowane)**
 - **większy ładunek tlenu doprowadzany z KN (źle, bo niepotrzebne zużycie S_s)**
 - **w okresie letnim można zwiększyć udział KD2 kosztem KN, co daje lepszą denitryfikację, a w konsekwencji mniejsze zużycie tlenu – oszczędność energii**

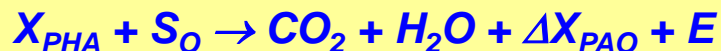
Układ MUCT c.d.

Komora napowietrzania (KN)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złożeń polifosforanowych (X_{PP}). Przyrost bakterii fosforowych (X_{PAO}) będzie tym większy, im więcej zakumulowały one polihydroksyalkanianów (X_{PHA}) w komorze beztlenowej. Im większy przyrost bakterii fosforowych (co jednocześnie oznacza mniejszy przyrost „zwykłych” heterotrofów - „niefosforowych” X_{BH}) tym większe efekty usuwania fosforu.**

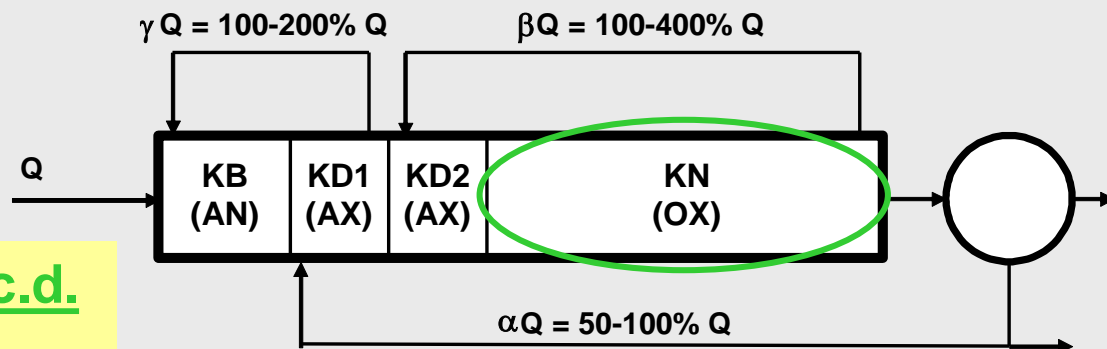


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **Trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**



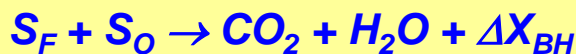
Układ MUCT c.d.



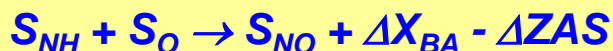
Komora napowietrzania (KN) c.d.

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)

- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi głównie z hydrolizy X_S .**

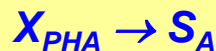
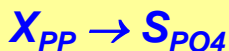


- **Nitryfikacja azotu amonowego (S_{NH}). S_{NH} dopływa z komory denitryfikacji (KD2) oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków org. (S_F).**



- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Parametry projektowe układu MUCT

$$WO = \sim 12 \div 30 \text{ d}$$

$$X \sim 2 \div 4 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{KB} + V_{KD1} + V_{KD2} + V_{KN}$$

$$V_{KB} \sim 10 \div 20\% V_K$$

$$V_{KD1} \sim 15 \div 25\% V_K$$

$$V_{KD2} \sim 15 \div 25\% V_K$$

$$U_{V_{KB}} = \frac{V_{KB}}{V_K} = 0.1 \div 0.2$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X_{sr}} = \frac{WO \cdot \Delta X}{X \left[1 - U_{V_{KB}} / (1 + \gamma) \right]} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$T_K \sim$ rzędu kilkunastu (kilkudziesięciu) godzin

$T_{KB} \sim 1 \div 2 \text{ h}$

Parametry projektowe układu MUCT c.d.

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{\min}^{\text{Nit}} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \text{ [d]} \text{ (funkcja temp.)}$$

$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]}$$

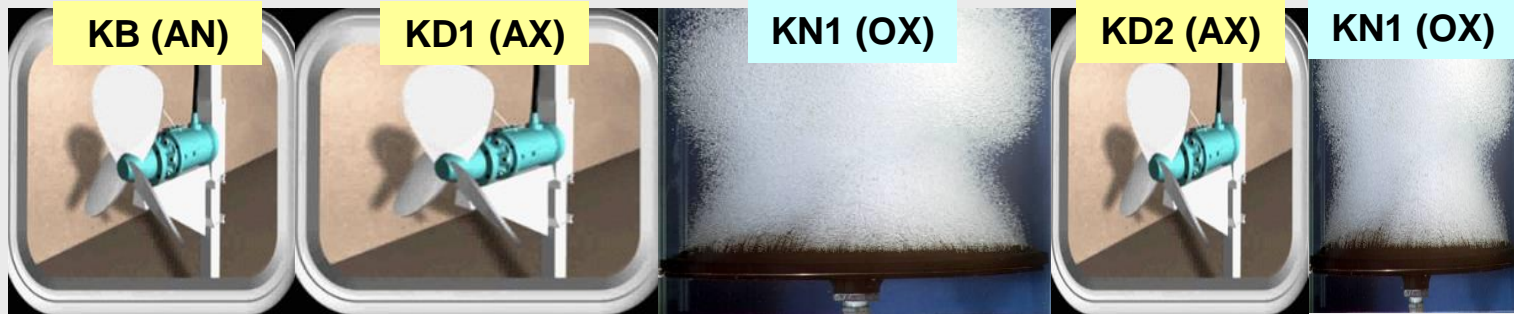
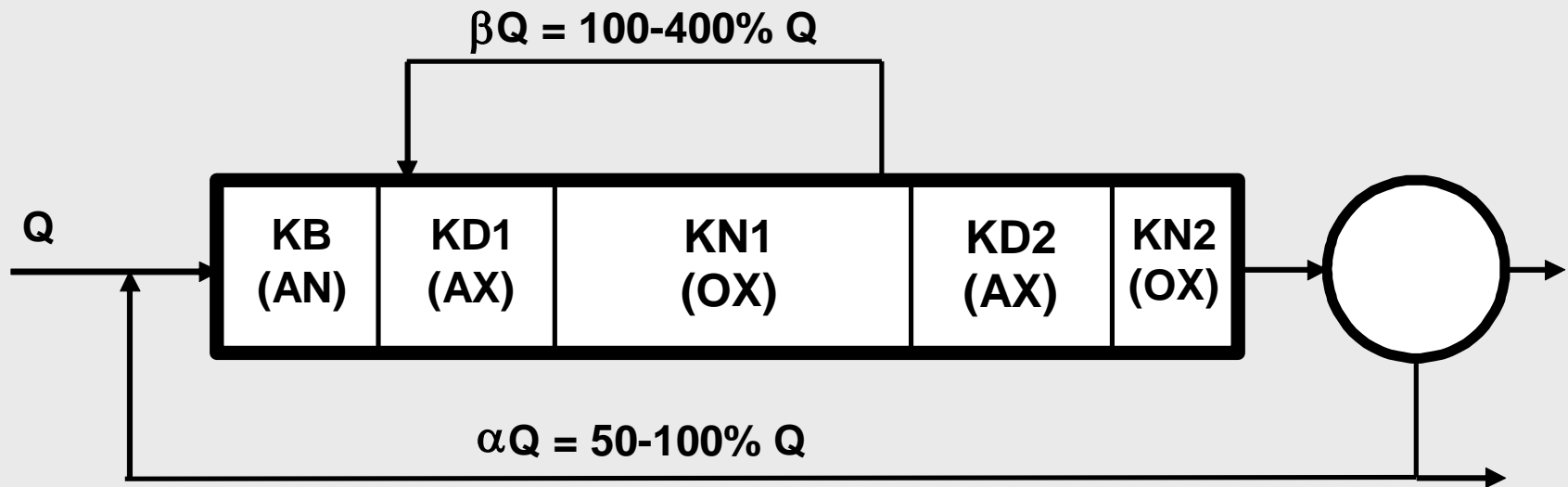
$$U_{OX} = \frac{V_{KN}}{\frac{\gamma}{1+\gamma} V_{KB} + V_{KD1} + V_{KD2} + V_{KN}}$$

Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie MLE

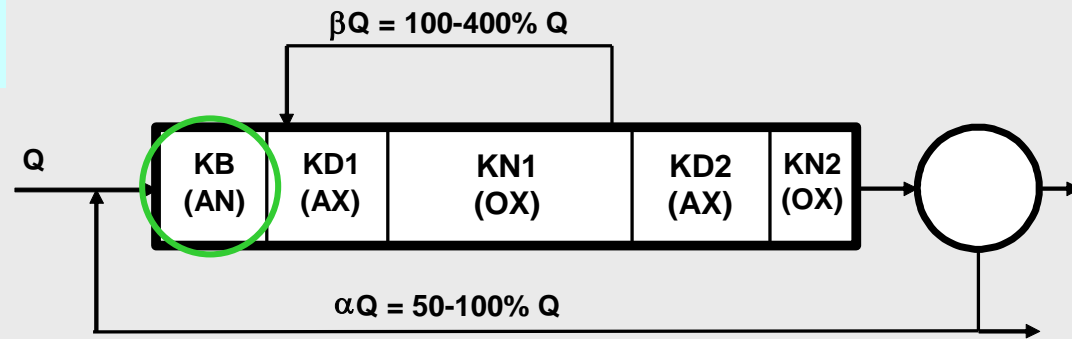
Pięciostopniowy układ Bardenpho (Phoredox)

- Głębsza niż w układzie A_2O denitryfikacja
- Mniej azotanów w osadzie recyrkulowanym, to dopuszczalna jest większa recyrkulacja αQ



5 st. Bardenpho c.d.

Komora beztlenowa (KB)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki beztlenowe (AN)

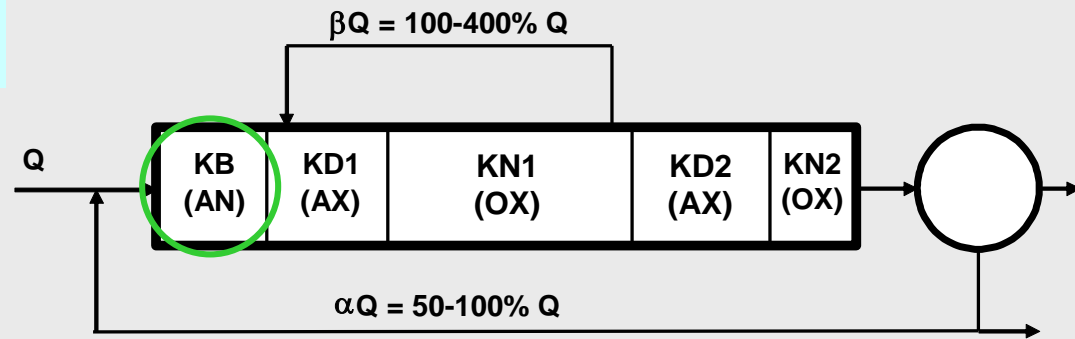


- **Usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **Hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
 - $X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)
 - $X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)
 - $X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)
- **Fermentacja kwaśna frakcji S_F przez fakultatywne heterotrofy osadu czynnego (X_{BH}). Frakcja S_F pochodzącej z dopływu oraz hydrolizy X_S**
 - $S_F \rightarrow S_A + CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$
- **Uwalnianie fosforanów i pobieranie LKT (S_A) przez bakterie fosforowe (X_{PAO})**
 - $X_{PP} \rightarrow S_{PO_4} + E$ (fosforany z osadu “przechodzą” do ścieków)
 - $S_A + E \rightarrow X_{PHA}$ (LKT ze ścieków “przechodzą” do osadu)

5 st. Bardenpho c.d.

Komora beztlenowa (KB) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

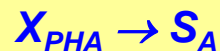
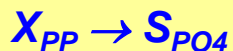


- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych ($S_S = S_A + S_F$) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_A pochodzi z dopływu oraz fermentacji kwaśnej S_F . Azotany są doprowadzane recyrkulacją zewnętrzną (αQ).**



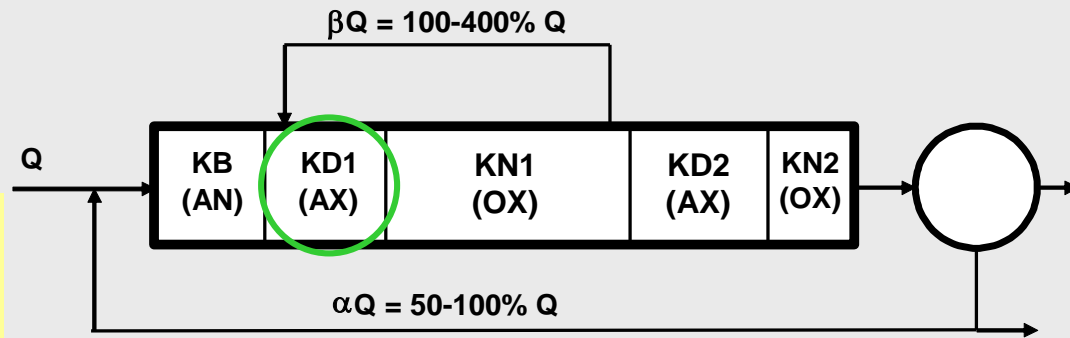
Denitryfikacyjne zużycie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych, ogranicza ilość LKT (S_A) dostępnych bakteriom fosforanowym (X_{PAO}). Przyczynia się to do pogorszenia efektów defosfatacji. Im większy stopień recyrkulacji osadu (αQ) – niezbędny gdy indeks osadu jest wysoki - tym większe denitryfikacyjne zużycie LKT (S_A)

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



5 st. Bardenpho c.d.

Komora denitryfikacji (KD1)
– mieszanie mechaniczne,
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **Hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

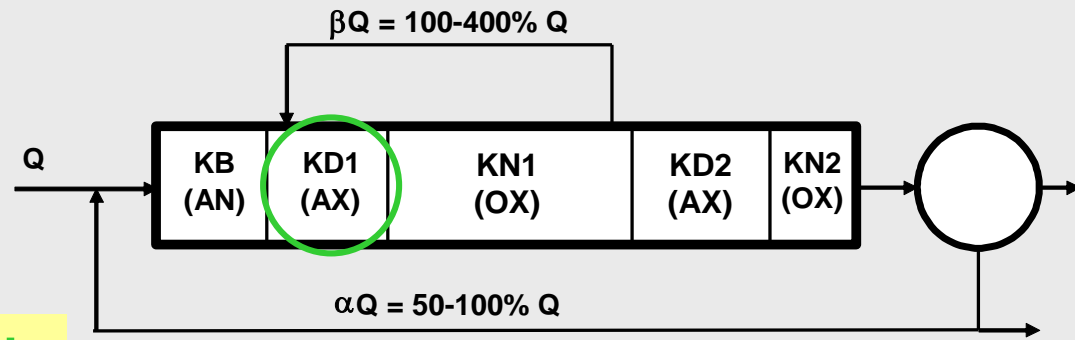
- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów, przez bakterie heterotroficzne (X_{BH}). S_F pochodzi z dopływu z KB oraz hydrolizy X_S . Azotany doprowadzane recyrkulacją wewnętrzną (βQ) z KN1.**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

- **więcej dostępnego $S_F \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**

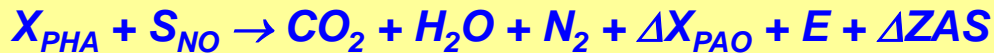
5 st. Bardenpho c.d.



Komora denitryfikacji (KD1) c.d.

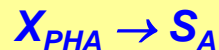
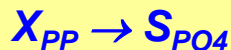
- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)

- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złożeń polifosforanowych (X_{PP}).**

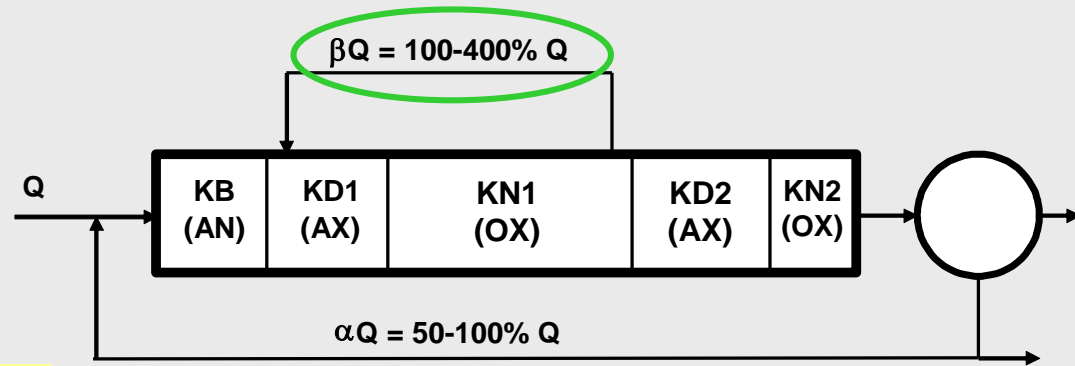


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



5 st. Bardenpho c.d.



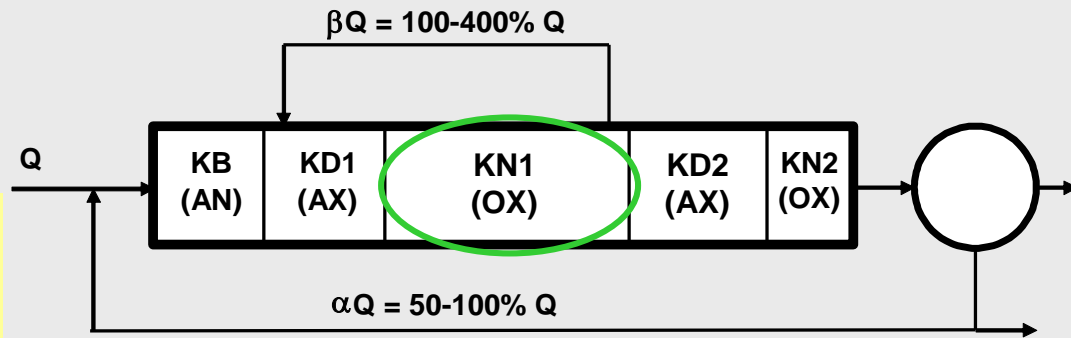
Recyrkulacja wewnętrzna

$$\beta Q = 100-400\% Q$$

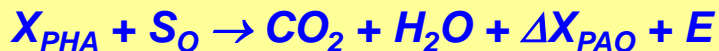
- **im większa recyrkulacja wewnętrzna tym:**
 - **więcej azotanów do denitryfikacji (jest sens gdy mogą być zdenitryfikowane)**
 - **większy ładunek tlenu doprowadzany z KN (źle, bo niepotrzebne zużycie S_s)**
 - **w okresie letnim można zwiększyć udział KD kosztem KN, co daje lepszą denitryfikację, a w konsekwencji mniejsze zużycie tlenu – oszczędność energii**

5 st. Bardenpho c.d.

Komora napowietrzania (KN1) – napowietrzanie, – warunki tlenowe (OX)



- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}). Przyrost bakterii fosforowych (X_{PAO}) będzie tym większy, im więcej zakumulowały one polihydroksyalkanianów (X_{PHA}) w komorze beztlenowej. Im większy przyrost bakterii fosforowych (co jednocześnie oznacza mniejszy przyrost „zwykłych” heterotrofów - „niefosforowych” X_{BH}) tym większe efekty usuwania fosforu.**

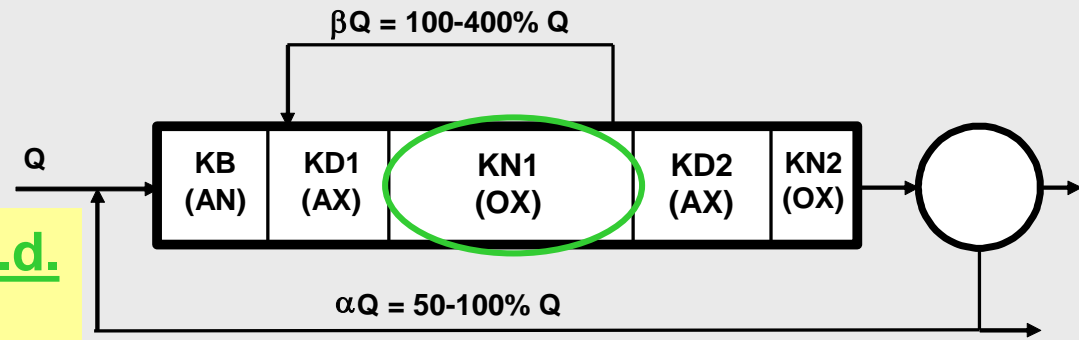


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **Trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**



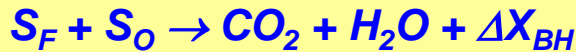
5 st. Bardenpho c.d.



Komora napowietrzania (KN1) c.d.

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)

- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów, przez „zwykłe” bakterie heterotroficzne (X_{BH}). S_F pochodzi głównie z hydrolizy X_S .**

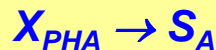
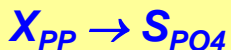


- **Nitryfikacja azotu amonowego (S_{NH}). S_{NH} dopływa z komory denitryfikacji (KD1) oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków org. (S_F).**



- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

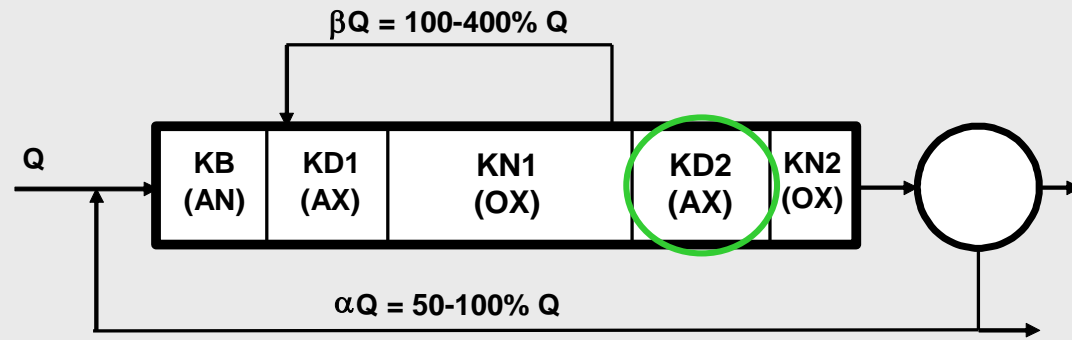
- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



5 st. Bardenpho c.d.

Komora denitryfikacji (KD2)

- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)



- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzielaniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S).**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

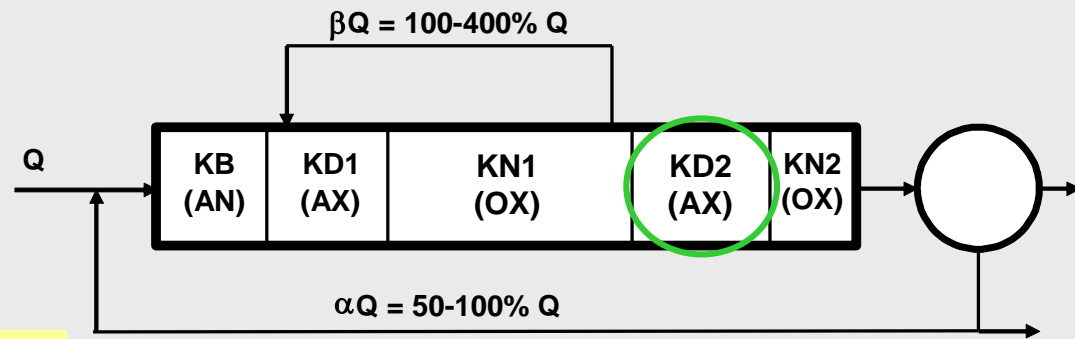
$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) dopływających z KN1, jako akceptora elektronów. SS pochodzi praktycznie tylko z hydrolizy X_S , a jest to proces bardzo wolny. Dlatego szybkość denitryfikacji jest bardzo mała.**



5 st. Bardenpho c.d.



Komora denitryfikacji (KD2) c.d.

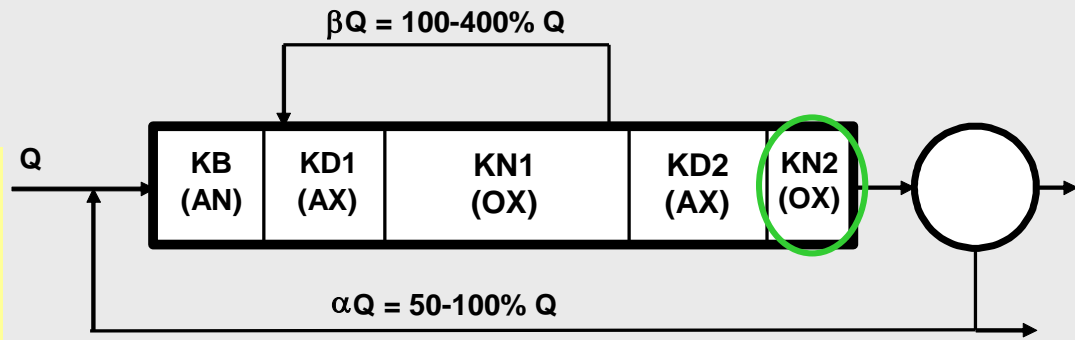
- mieszanie mechaniczne,
- warunki anoksydacyjne (AX)

- ewentualne utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}) (nie rozłożonych do końca w KN1) przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PHA}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP})

5 st. Bardenpho c.d.

Komora napowietrzania (KN2)

- napowietrzanie,
- warunki tlenowe (OX)



- następuje natlenienie i usunięcie banieczek azotu z osadu czynnego, przed jego dopływem do osadnika wtórnego (zapobieganie flotacji osadu)
- utlenianie niewielkich ilości azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). Te niewielkie ilości azotu amonowego (S_{NH}) zostały wytworzone w KD2 w procesie amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_F)



- ewentualne utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), (nie rozłożonych do końca w KN1), przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}).
- obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.

Parametry projektowe 5 st. układu Bardenpho

$$WO = \sim 12 \div 40 \text{ d}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]} \quad X \sim 2 \div 4 \text{ [kg sm/m}^3\text{]} \quad G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{KB} + V_{KD1} + V_{KN1} + V_{KD2} + V_{KN2}$$

$$V_{KB} \sim 10 \div 15\% V_K$$

$$V_{KD1} \sim 15 \div 20\% V_K$$

$$V_{KN1} \sim 40 \div 50\% V_K$$

$$V_{KD2} \sim 15 \div 20\% V_K$$

$$V_{KN2} \sim 5 \div 10\% V_K$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$T_K \sim$ rzędu kilkunastu (*kilkudziesięciu*) godzin

$$T_{KB} \sim 0.5 \div 1.5 \text{ h}$$

Parametry projektowe 5 st. układu Bardenpho c.d.

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{\min}^{\text{Nit}} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \text{ [d]} \text{ (funkcja temp.)}$$

$$WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \text{ [d]}$$

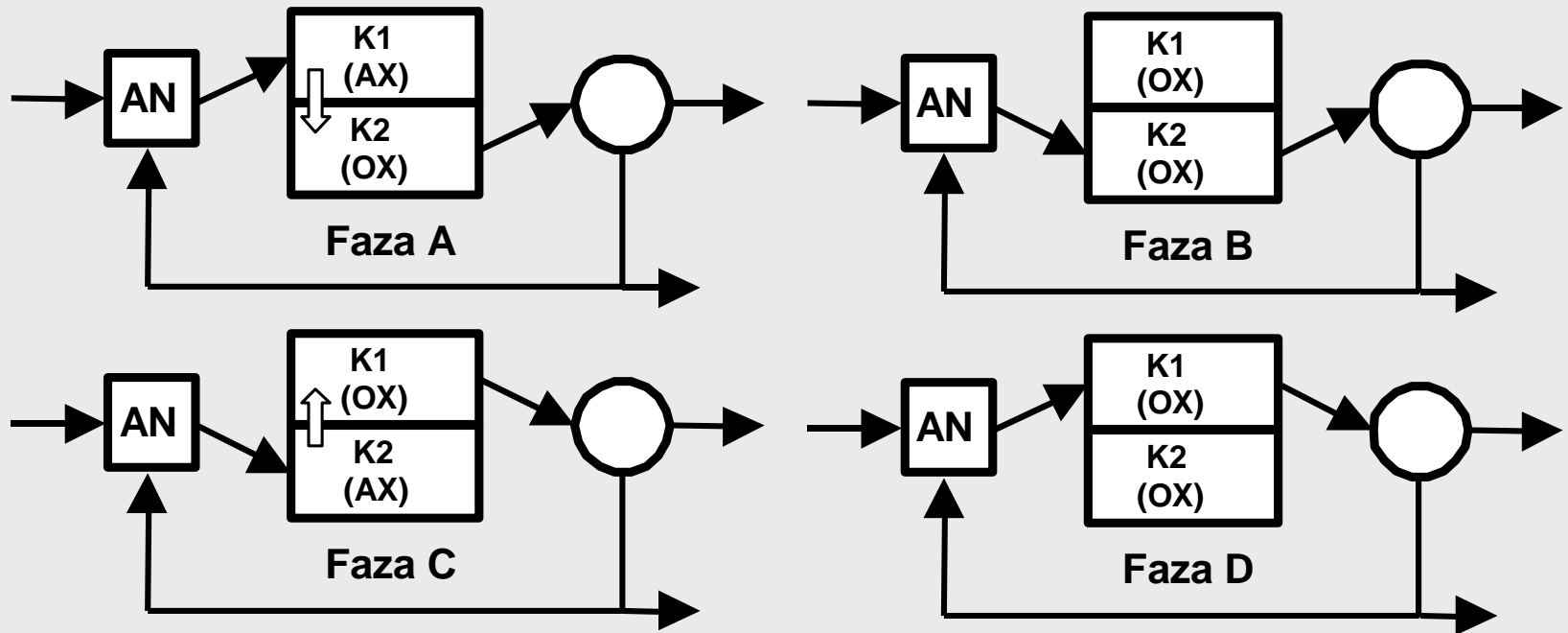
$$U_{OX} = \frac{V_{KN}}{V_{KB} + V_{KD1} + V_{KN1} + V_{KD2} + V_{KN2}}$$

Zużycie tlenu

W przybliżeniu jak w układzie MLE

Układ BioDenipho

Komora beztlenowa + układ BioDenitro



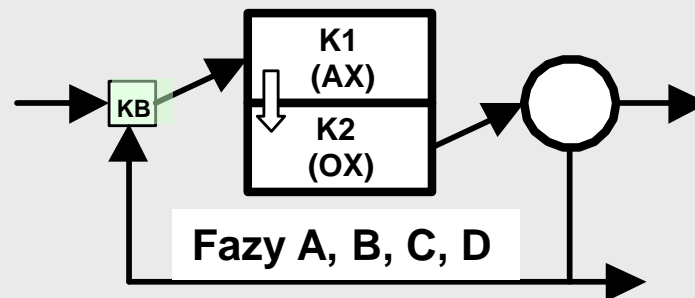
AN – komora beztlenowa (uwalnianie S_{PO_4})
OX - faza tlenowa (napowietrzanie włączone)
AX - faza anoksydacyjna (mieszanie włączone)

$$T_{\text{cyklu}} = T_A + T_B + T_C + T_D \text{ (czas cyklu)}$$

Układ BioDenipho c.d.

Komora beztlenowa (KB)

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)



- **Usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego**
- **Hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **Fermentacja kwaśna frakcji S_F przez fakultatywne heterotrofy osadu czynnego (X_{BH}). Frakcja S_F pochodzącej z dopływu oraz hydrolizy X_S**

$S_F \rightarrow S_A + CO_2 + H_2O + \Delta X_{BH}$

- **Uwalnianie fosforanów i pobieranie LKT (S_A) przez bakterie fosforowe (X_{PAO}). Im większy pobór LKT przez te bakterie (co jednocześnie oznacza mniejszą ilość związków organicznych, dostępnych dla przyrostu „zwykłych” heterotrofów, w dalszych komorach układu – K1 i K2), tym większe efekty usuwania fosforu.**

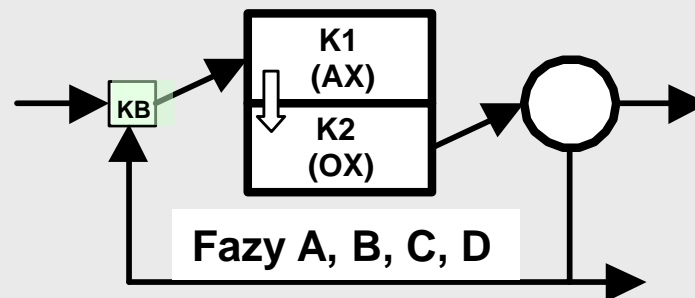
$X_{PP} \rightarrow S_{PO_4} + E$ (fosforany z osadu “przechodzą” do ścieków)

$S_A + E \rightarrow X_{PHA}$ (LKT ze ścieków “przechodzą” do osadu)

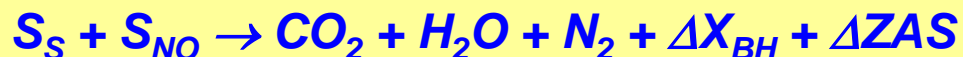
Układ BioDenipho c.d.

Komora beztlenowa (KB) c.d.

- mieszanie mechaniczne,
- warunki beztlenowe (AN)

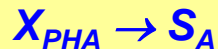


- **Utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych ($S_S = S_A + S_F$) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_A pochodzi z dopływu oraz fermentacji kwaśnej S_F . Azotany są doprowadzane recyrkulacją zewnętrzną (αQ).**



Denitryfikacyjne zużycie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych ogranicza ilość LKT (S_A) dostępnych bakteriom fosforanowym (X_{PAO}). Przyczynia się to do pogorszenia efektów defosfatacji. Im większy stopień recyrkulacji osadu (αQ) – niezbędny gdy indeks osadu jest wysoki - tym większe denitryfikacyjne zużycie LKT (S_A)

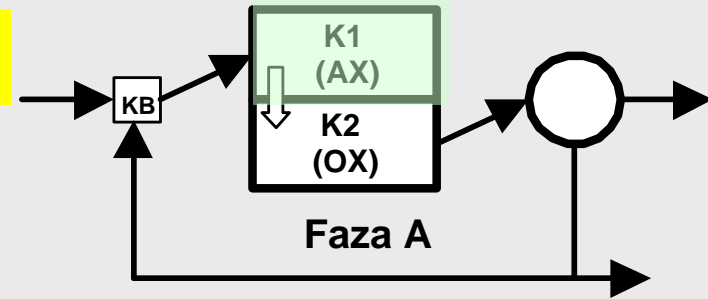
- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} i ewentualnie obecnych X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ BioDenipho c.d.

Faza A: $T_A \sim 1.5$ h (wlot do komory denitryfikacji K1)

Komora denitryfikacji (K1)
– mieszanie mechaniczne
– warunki anoksydacyjne (AX)



- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu z KB oraz hydrolizy X_S . Azotany pochodzą z nitryfikacji w fazach B, C i D (OX) poprzedniego cyklu.**

$S_S + S_{NO} \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + \Delta X_{BH} + \Delta ZAS$

$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

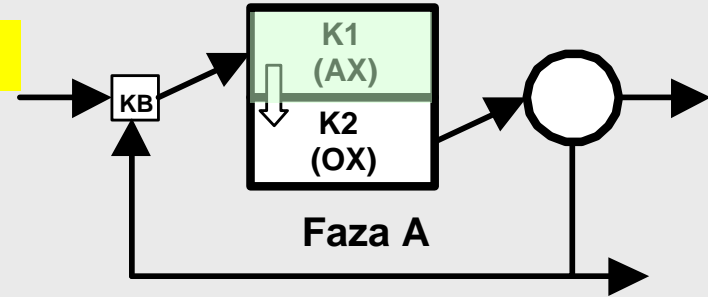
- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**

Układ BioDenipho c.d.

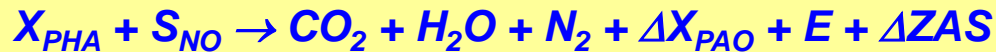
Faza A c.d. $T_A \sim 1.5$ h (wlot do komory denitryfikacji K1)

Komora denitryfikacji (K1 c.d.)

- mieszanie mechaniczne
- warunki anoksydacyjne (AX)

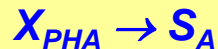


- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}).**



Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



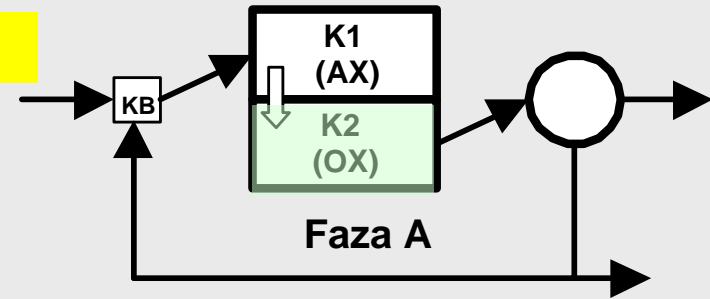
Układ BioDenipho c.d.

Faza A c.d. $T_A \sim 1.5 h$ (wlot do komory denitryfikacji K1)

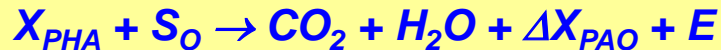
Komora nitryfikacji (K2)

– napowietrzanie

– warunki tlenowe (OX)



- **utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), nie utlenionych w komorze K1, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złożeń polifosforanowych (X_{PP})**

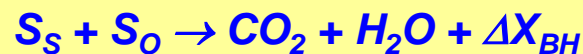


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**



- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w komorze denitryfikacji K1 z wykorzystaniem azotanów**

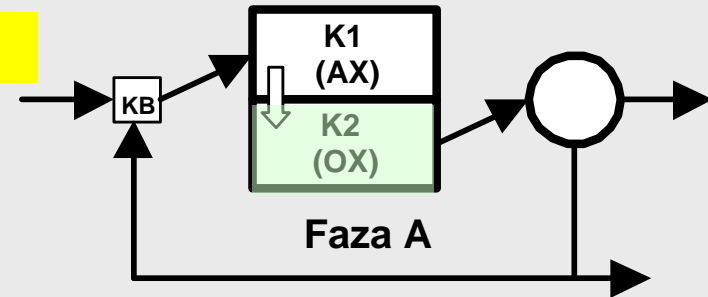


Układ BioDenipho c.d.

Faza A c.d. $T_A \sim 1.5$ h (wlot do komory denitryfikacji K1)

Komora nitrifikacji (K2) c.d.

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



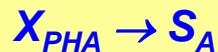
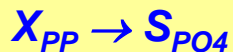
- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} dopływa z komory K1 oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**



asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **Obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wydzieleniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

- **Hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**

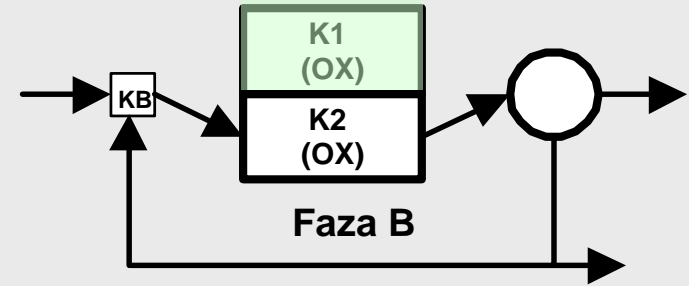


Układ BioDenipho c.d.

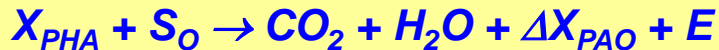
Faza B: $T_B \sim 0.5$ h (wlot do komory nityfikacji K2)

Komora nityfikacji (K1)

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



- **utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), nie utlenionych w komorze K1, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złożeń polifosforanowych (X_{PP})**

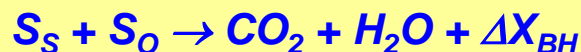


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S), pozostałych po fazie A**



- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w tej komorze w poprzedniej fazie (A) z wykorzystaniem azotanów**

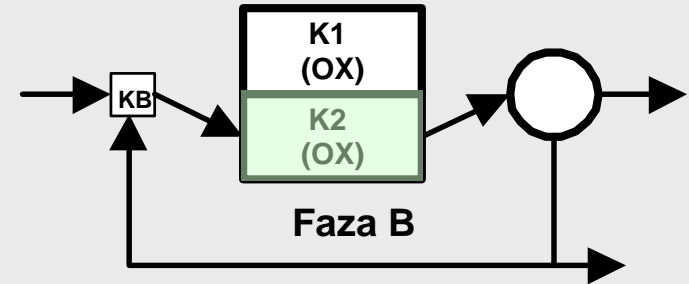


Układ BioDenipho c.d.

Faza B c.d. $T_B \sim 0.5 h$ (wlot do komory nityfikacji K2)

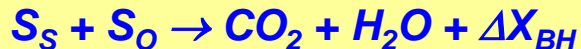
Komora nityfikacji (K2)

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



- **utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), nie utlenionych w komorze K1, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP})**
$$X_{PHA} + S_O \rightarrow CO_2 + H_2O + \Delta X_{PAO} + E$$
$$S_{PO4} + E \rightarrow X_{PP} \quad (\text{fosforany ze ścieków "przechodzą" do osadu})$$

Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**
$$X_S \rightarrow S_S \quad (\text{zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną})$$
$$X_{ND} \rightarrow S_{ND} \quad (\text{zmiana nierozpuszczonej formy } N_{org} \text{ na rozpuszczoną})$$
$$X_{PD} \rightarrow S_{PD} \quad (\text{zmiana nierozpuszczonej formy } P_{org} \text{ na rozpuszczoną})$$
- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi z dopływu z KB oraz hydrolizy X_S .**

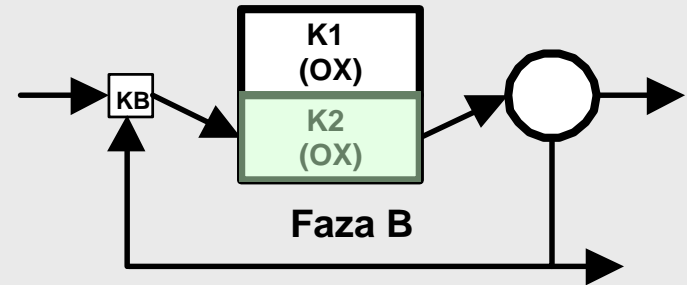


Układ BioDenipho c.d.

Faza B c.d. $T_B \sim 0.5 h$ (wlot do komory nityfikacji K2)

Komora nityfikacji (K2) c.d.

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)

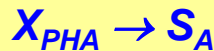


- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} pochodzi z dopływu z KB oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**



asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

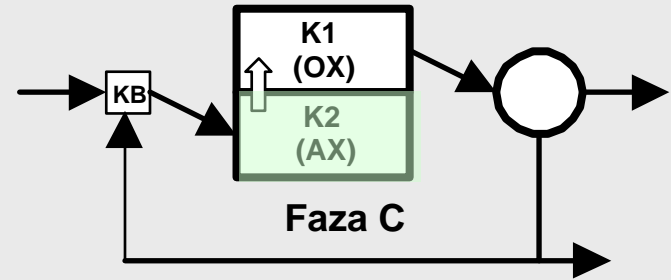
- **obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie. .**
- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Układ BioDenipho c.d.

Faza C: $T_c \sim 1.5 h$ (wlot do komory denitryfikacji K2)

Komora denitryfikacji (K2)
– mieszanie mechaniczne
– warunki anoksydacyjne (AX)



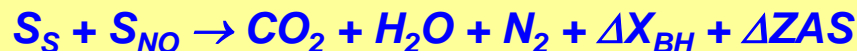
- **hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**

$X_S \rightarrow S_S$ (zmiana wolno rozkładalnej formy ChZT na łatwo rozkładalną)

$X_{ND} \rightarrow S_{ND}$ (zmiana nierozpuszczonej formy N_{org} na rozpuszczoną)

$X_{PD} \rightarrow S_{PD}$ (zmiana nierozpuszczonej formy P_{org} na rozpuszczoną)

- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_S) z wykorzystaniem azotanów (S_{NO}) jako akceptora elektronów. S_S pochodzi z dopływu z KB oraz hydrolizy X_S . Azotany pochodzą z nitryfikacji w fazie tlenowej D poprzedniego cyklu oraz nitryfikacji w fazach tlenowych A i B aktualnego cyklu.**



$S_{ND} \rightarrow S_{NH}$ $S_{PD} \rightarrow S_{PO4}$ asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BH}

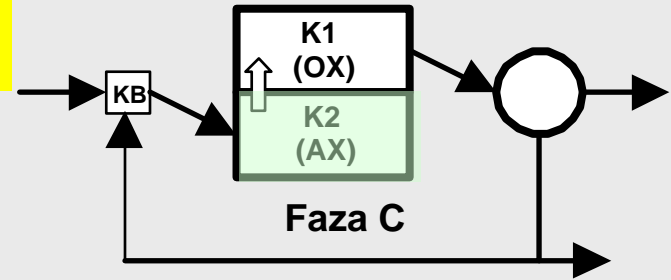
- **więcej dostępnego $S_S \Rightarrow$ szybkość denitryfikacji większa**

Układ BioDenipho c.d.

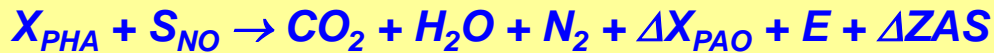
Faza C c.d. $T_c \sim 1.5 h$ (wlot do komory denitryfikacji K2)

Komora denitryfikacji (K2) c.d.

- mieszanie mechaniczne
- warunki anoksydacyjne (AX)



- **Utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), zgromadzonych w komorze beztlenowej, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}) zdolne do denitryfikacji (tylko część X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP}).**



Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie. .**
- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**
$$X_{PP} \rightarrow S_{PO_4} \qquad X_{PHA} \rightarrow S_A$$

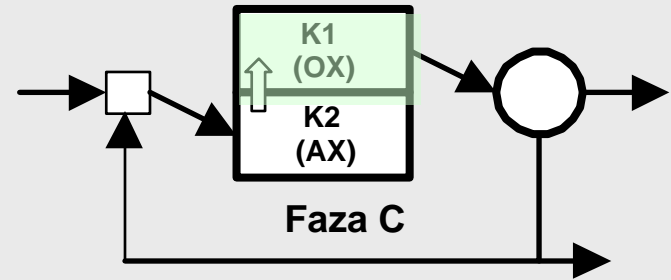
Układ BioDenipho c.d.

Faza C c.d. $T_C \sim 1.5 h$ (wlot do komory denitryfikacji K2)

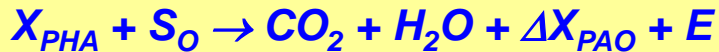
Komora nityfikacji (K1)

– napowietrzanie

– warunki tlenowe (OX)



- **utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), nie utlenionych w komorze K2, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP})**

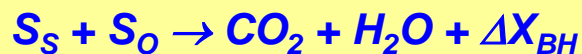


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)**



- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w komorze denitryfikacji K2 z wykorzystaniem azotanów**

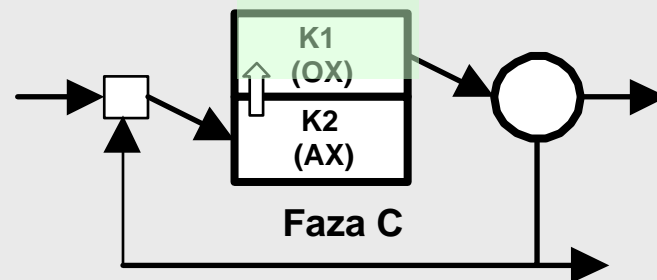


Układ BioDenipho c.d.

Faza C c.d. $T_C \sim 1.5 h$ (wlot do komory denitryfikacji K2)

Komora nitryfikacji (K1) c.d.

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)

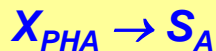
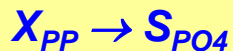


- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nitryfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} dopływa z komory K2 oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_F)**



asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie. .**
- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



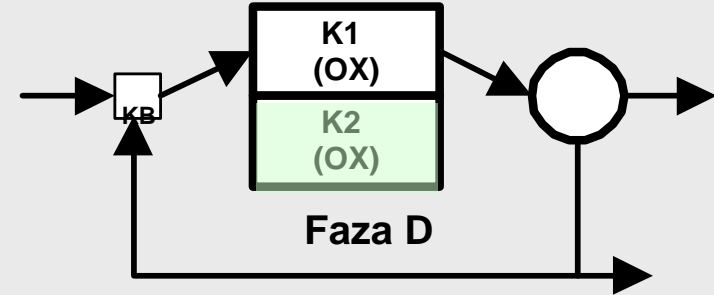
Układ BioDenipho c.d.

Faza D c.d. $T_D \sim 0.5 h$ (wlot do komory nityfikacji K1)

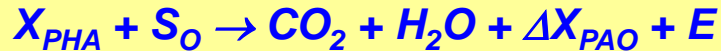
Komora nityfikacji (K2)

– napowietrzanie

– warunki tlenowe (OX)



- **utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}), nie utlenionych w komorze K2, przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP})**

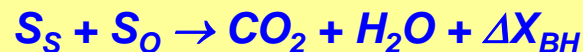


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- **trwa hydroliza usidlonych w kłaczkach osadu czynnego wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S), pozostałych po fazie C**



- **utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi prawie wyłącznie z hydrolizy X_S . Zużycie tlenu jest tym mniejsze im więcej związków organicznych zostało utlenionych w tej komorze w poprzedniej fazie (C) z wykorzystaniem azotanów**

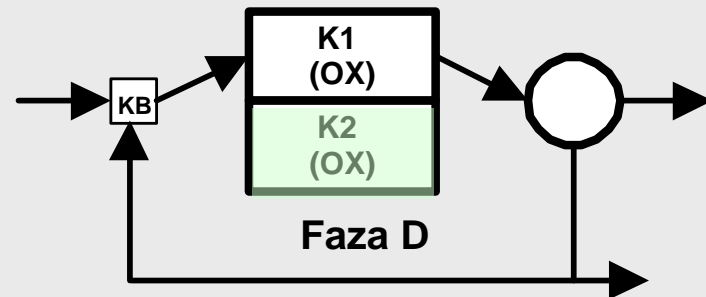


Układ BioDenipho c.d.

Faza D c.d. $T_D \sim 0.5 h$ (wlot do komory nityfikacji K1)

Komora nityfikacji (K2) c.d.

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} to głównie pozostałość z poprzedniej fazy (C) oraz produkcja na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_S)**
$$S_{NH} + S_O \rightarrow S_{NO} + \Delta X_{BA} - \Delta ZAS$$

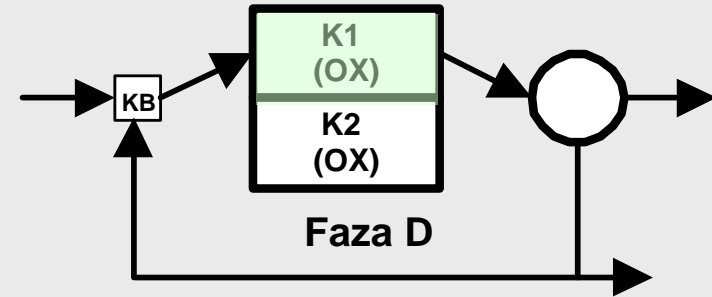
asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe
- **obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**
- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**
$$X_{PP} \rightarrow S_{PO4} \qquad X_{PHA} \rightarrow S_A$$

Układ BioDenipho c.d.

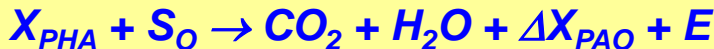
Faza D c.d. $T_D \sim 0.5 h$ (wlot do komory nityfikacji K1)

Komora nityfikacji (K1)

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



- utlenianie polihydroksyalkanianów (X_{PHA}) przez bakterie fosforowe (X_{PAO}), połączone z poborem fosforanów i ich akumulacją w postaci złogów polifosforanowych (X_{PP})

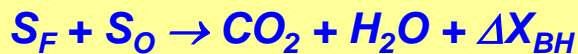


Ponadto „zwykła asymilacja” (S_{PO_4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{PAO}

- usidlanie zanieczyszczeń nierozpuszczonych (X_S , X_I) w kłaczkach osadu czynnego
- hydroliza usidlonych wolno rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (X_S)



- utlenianie łatwo rozkładalnych zanieczyszczeń organicznych (S_F) z tlenem (S_O) jako akceptora elektronów. S_F pochodzi z dopływu oraz hydrolizy X_S .

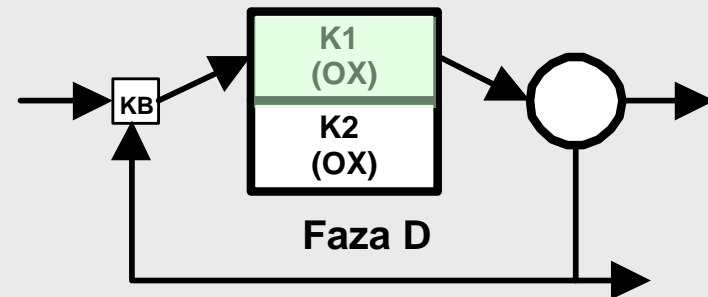


Układ BioDenipho c.d.

Faza D c.d. $T_D \sim 0.5 h$ (wlot do komory nityfikacji K1)

Komora nityfikacji (K1) c.d.

- napowietrzanie
- warunki tlenowe (OX)



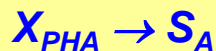
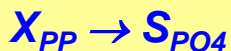
- **utlenianie azotu amonowego (S_{NH}) do azotanów (S_{NO}), przez bakterie nityfikacyjne (X_{BA}). S_{NH} pochodzi z dopływu z KB oraz powstaje na drodze amonifikacji azotu organicznego (S_{ND}) przy rozkładzie związków organicznych (S_F)**



asymilacja (S_{PO4} i S_{NH}) \rightarrow (N_{org} i P_{org}) w ΔX_{BA} – bardzo mało, bo ΔX_{BA} małe

- **obumieranie bakterii (X_{BH} , X_{PAO} , X_{BA}) z wytworzeniem (głównie) X_S . Z bakterii fosforanowych (X_{PAO}) uwalniane są przy tym polifosforany (X_{PP}) i polihydroksyalkaniany (X_{PHA}), które podlegają hydrolizie.**

- **hydroliza polifosforanów (X_{PP}) i polihydroksyalkanianów (X_{PHA})**



Parametry projektowe układu BioDenipho

$$WO = \sim 20 \div 40 \text{ d}$$

$$T_{\text{cyklu}} \sim 3 \div 5 \text{ h}$$

$$T_A \sim 1 \div 2 \text{ h}$$

$$T_C \sim 1 \div 2 \text{ h}$$

$$T_B \sim 20 \div 40 \text{ min}$$

$$T_D \sim 20 \div 40 \text{ min}$$

$$V_K = \frac{WO \cdot \Delta X}{X} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$X \sim 2 \div 5 \text{ [kg sm/m}^3\text{]}$$

$$G_L \sim 1.5 \text{ [kg sm/m}^2 \text{ h]}$$

$$V_K = V_{K1} + V_{K2}$$

$$V_{K1} \approx V_{K2} \approx 0.5V_K$$

$$T_K = \frac{V_K}{Q} \text{ [h]}$$

$T_K \sim$ rzędu kilkunastu (*kilkudziesięciu*) godzin

Parametry projektowe układu BioDenipho c.d.

Warunek nitryfikacji

$$WO_{OX} \geq WO_{min}^{Nit} \approx SF \frac{1}{\dot{\mu}_A - b_A} \quad [d] \quad (\text{funkcja temp.}) \quad WO \approx \frac{WO_{OX}}{U_{OX}} \quad [d]$$

$$U_{OX} \approx \frac{\frac{T_B + T_C + T_D}{T_{cyklu}} V_{K1} + \frac{T_A + T_B + T_D}{T_{cyklu}} V_{K2}}{V_K}$$

$$U_{OX} \approx \frac{V_K \left(\frac{T_A + T_B + T_C + T_D}{T_{cyklu}} + \frac{T_B + T_D}{T_{cyklu}} \right)}{V_K}$$

$$U_{OX} \approx 0.5 \left(1 + \frac{T_B + T_D}{T_{cyklu}} \right)$$

$$T_B + T_D = 1h$$

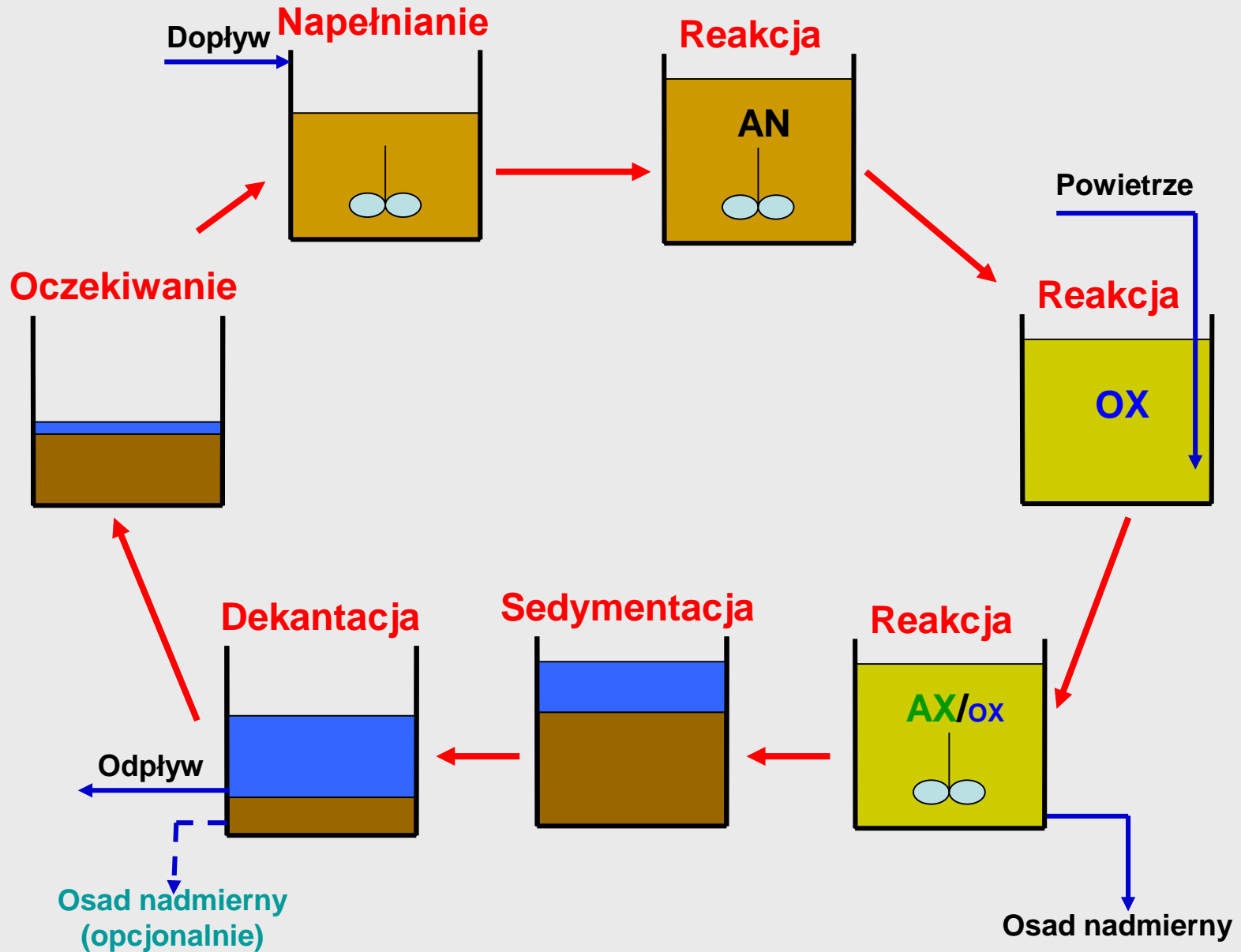
$$T_{cyklu} = 4h$$

$$U_{OX} \approx 0.5(1 + 0.25) = 0.625$$

Zużycie tlenu

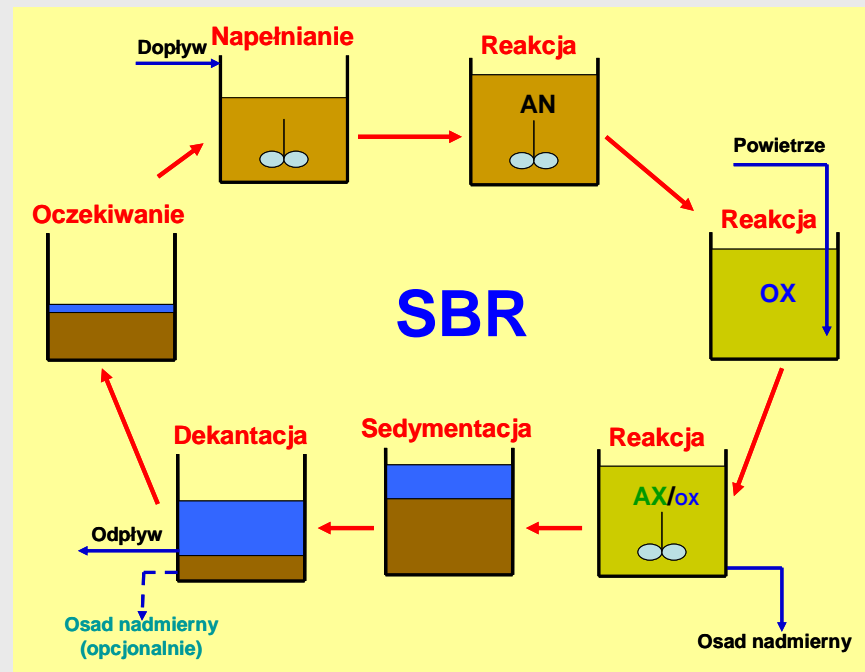
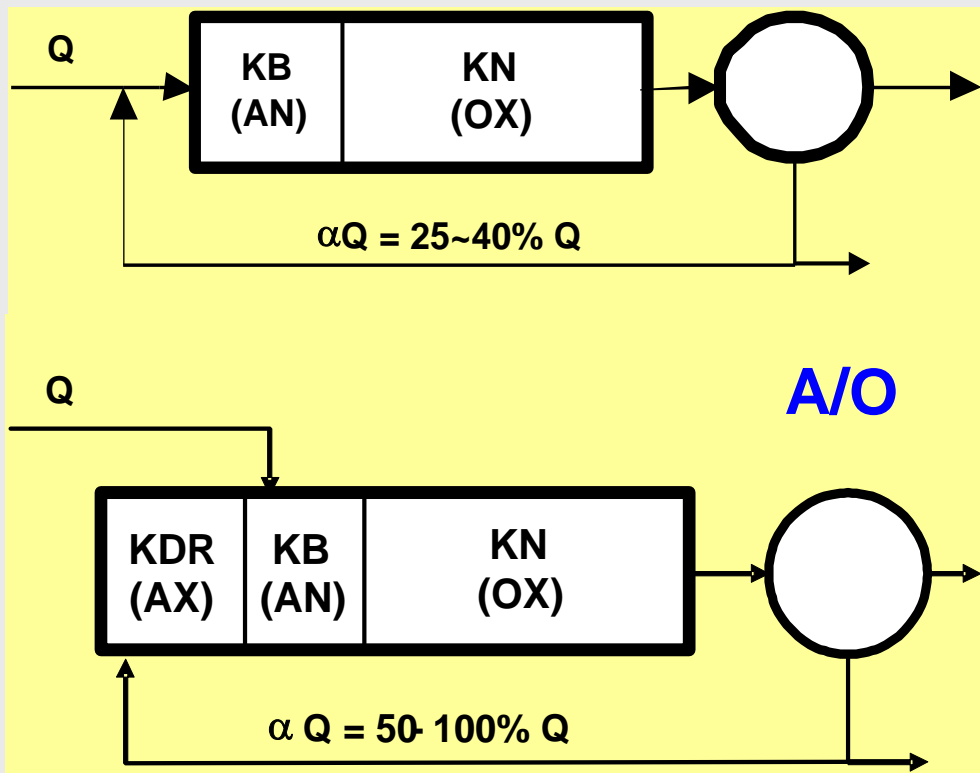
W przybliżeniu jak w układzie MLE

Sekwencyjny reaktor wsadowy (SBR)



Wybór schematu technologicznego usuwania fosforu

Brak konieczności usuwania azotu ($P_{og,e} \sim 1 \text{ g P/m}^3$)



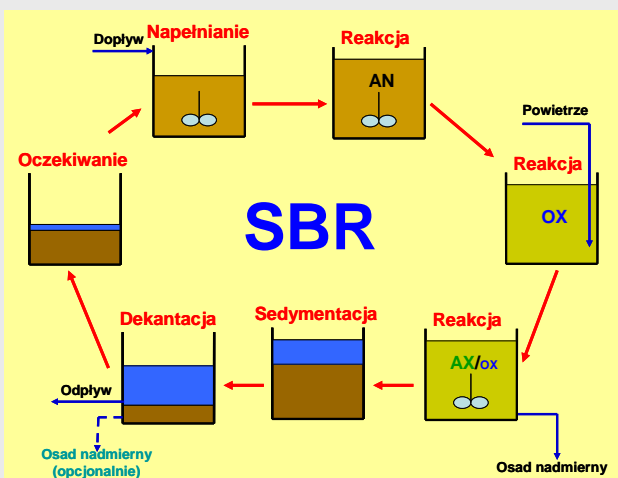
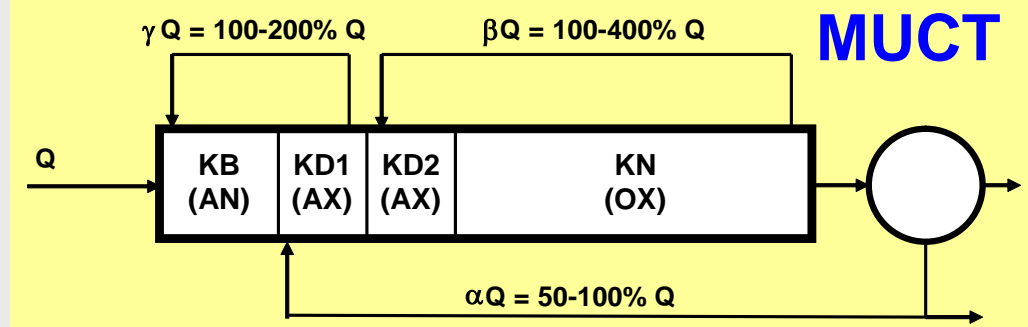
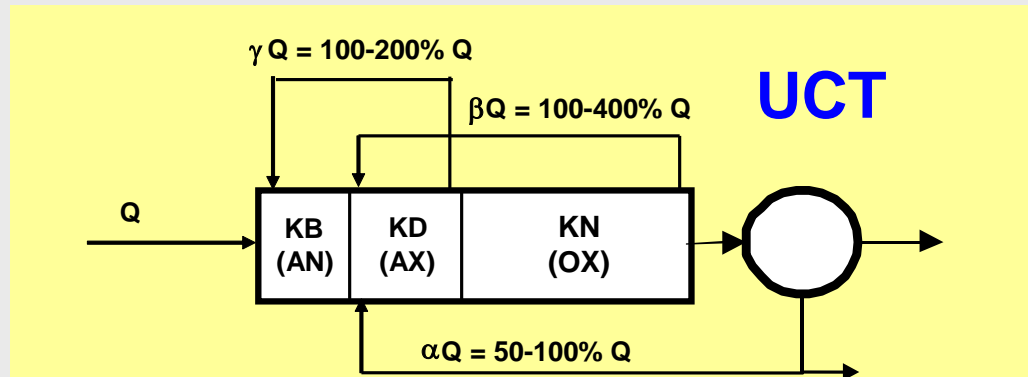
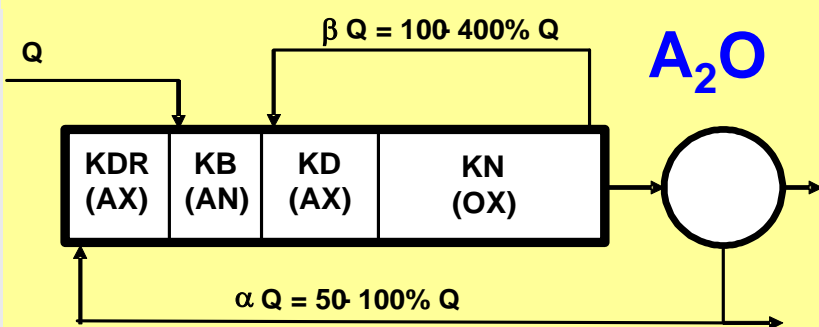
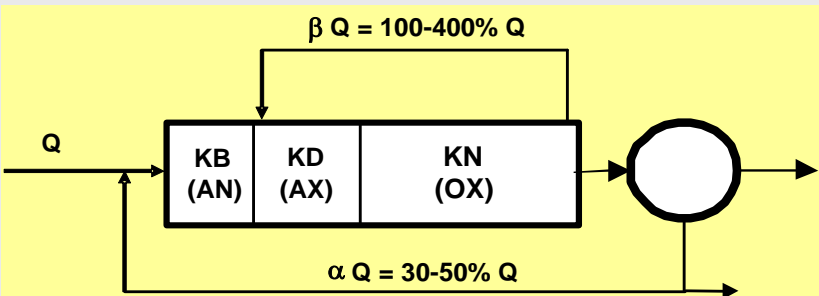
Niezbędne

$$BZT_5/P_{og} \geq \sim (15 \div 20)$$

$$ChZT/P_{og} \geq \sim (26 \div 34)$$

Wybór schematu technologicznego usuwania fosforu c.d.

Gdy niezbędne umiarkowane usunięcie azotu ($P_{og,e} \sim 1 \text{ g P/m}^3$)



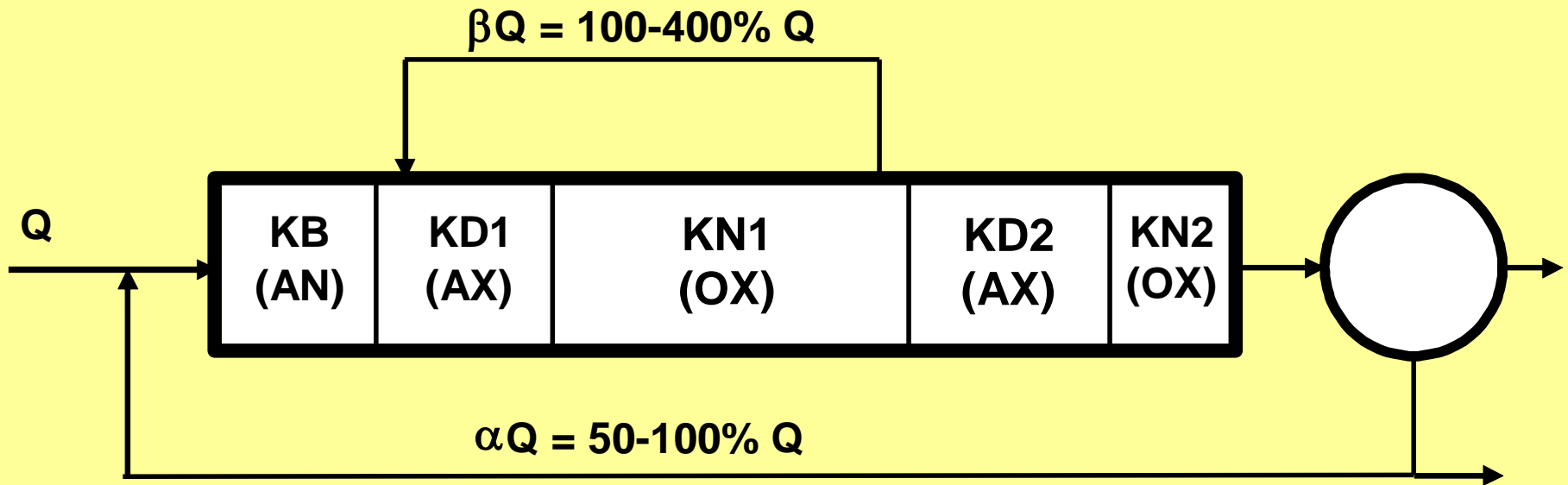
Niezbędne

$$BZT_5/P_{og} \geq \sim(20 \div 25)$$

$$ChZT/P_{og} \geq \sim(34 \div 43)$$

Wybór schematu technologicznego usuwania fosforu c.d.

Gdy niezbędne głębokie usunięcie azotu ($P_{og,e} \sim 1 \text{ g P/m}^3$)



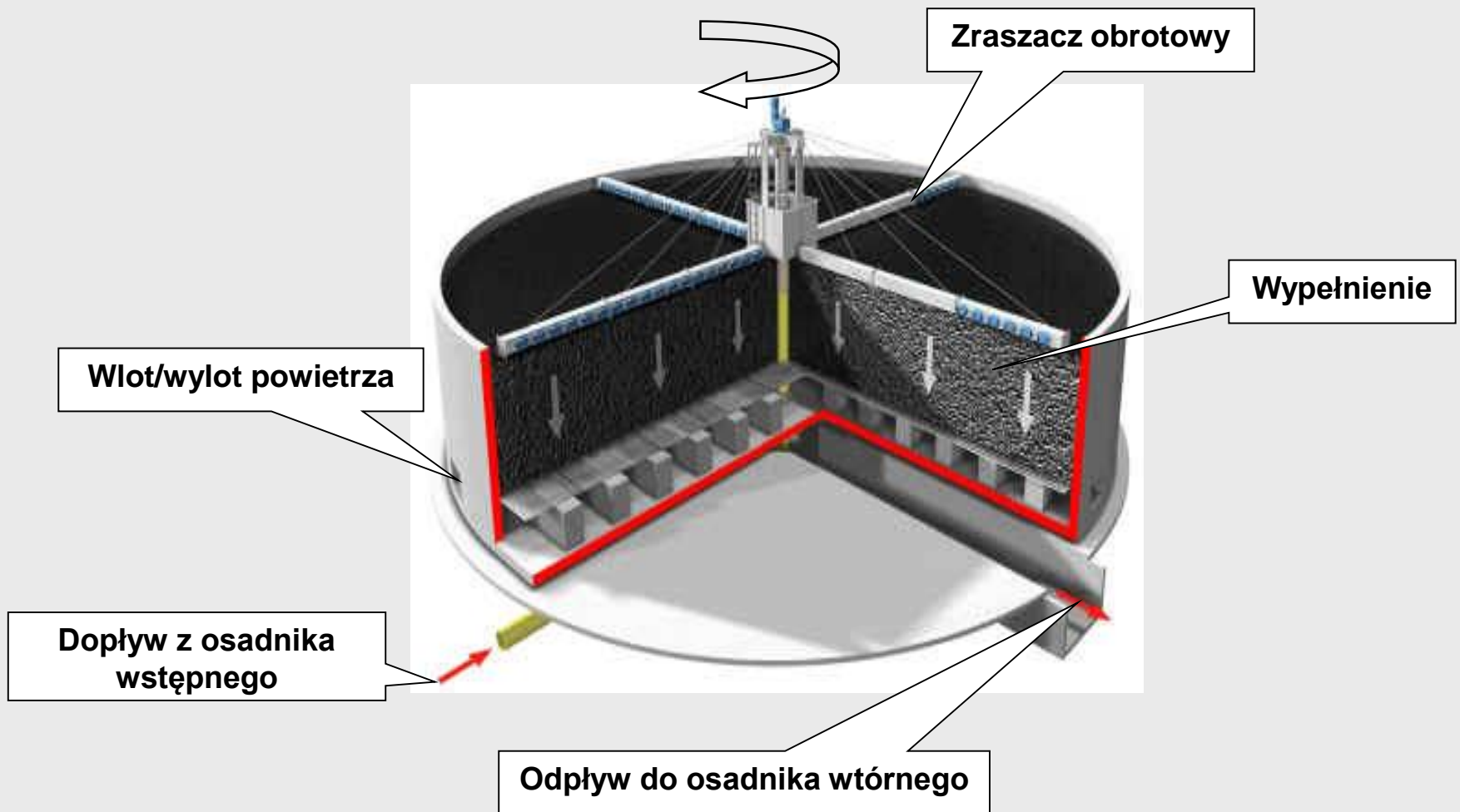
Pięciostopniowy układ Bardenpho

Niezbędne

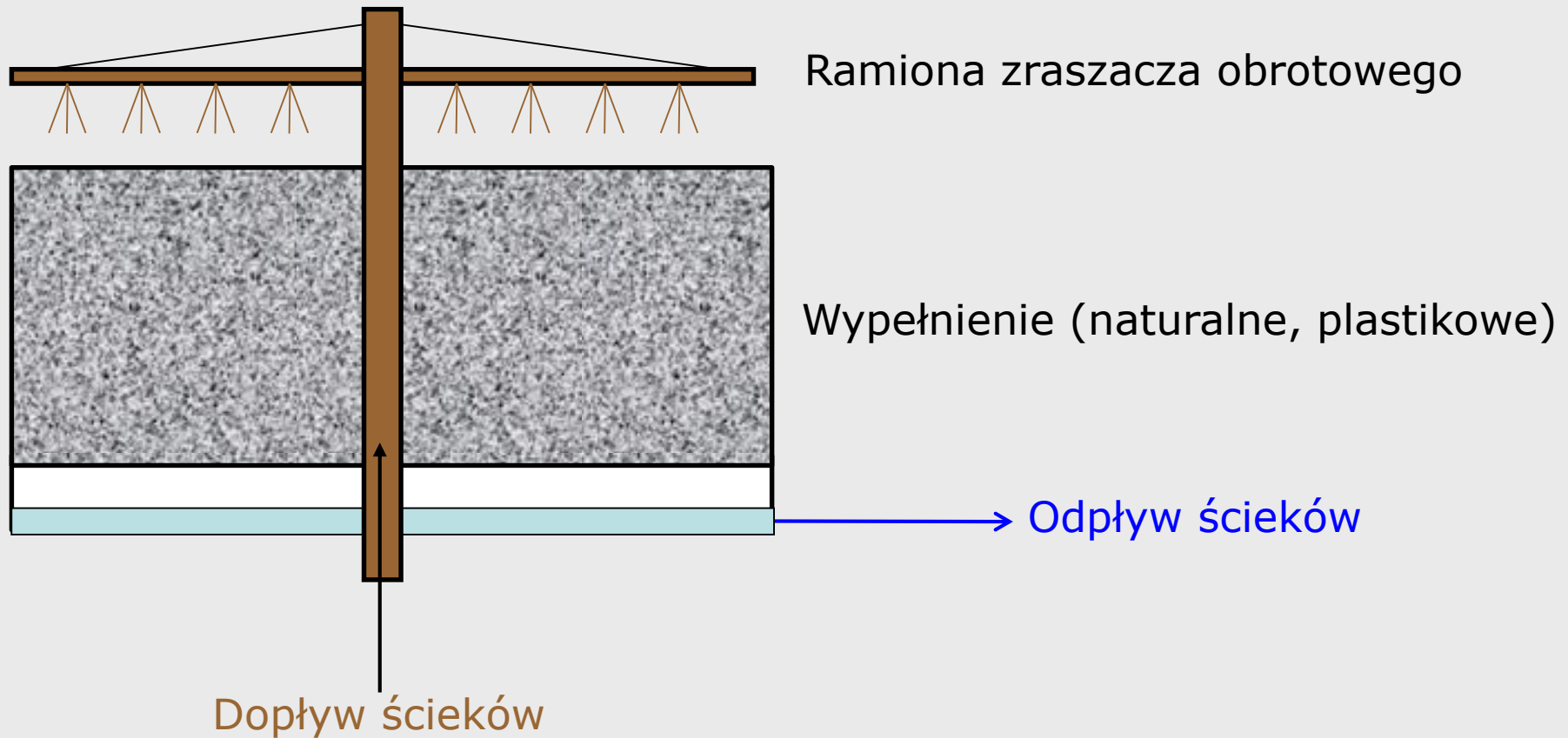
$BZT_5/P_{og} > \sim 25$

$ChZT/P_{og} > \sim 43$

ZŁOŻA BIOLOGICZNE STACJONARNE

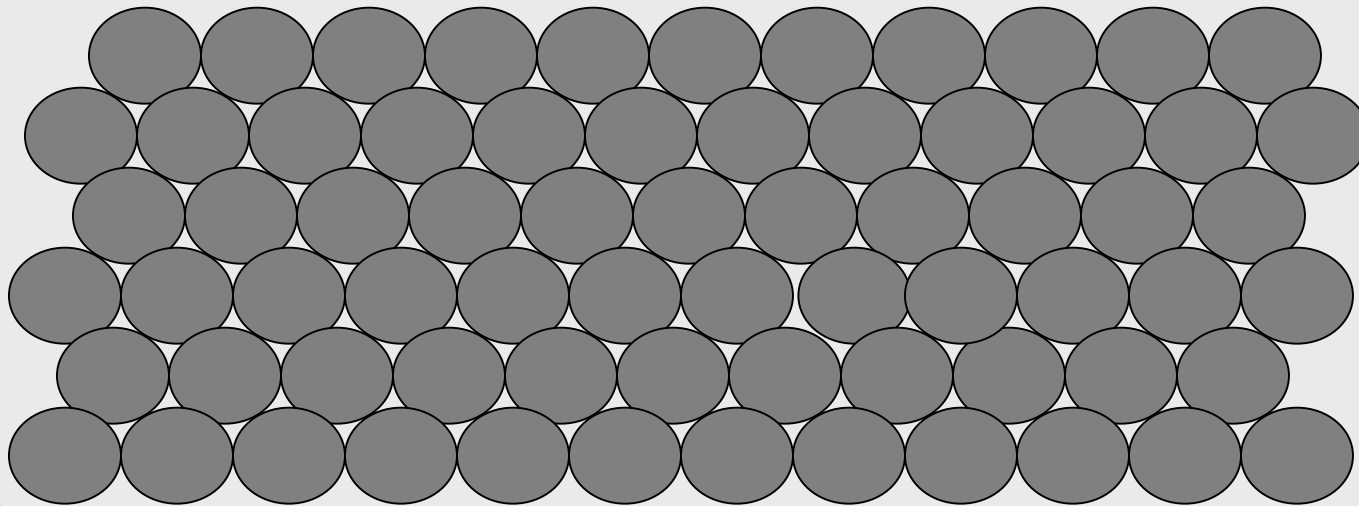
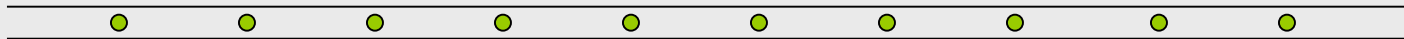
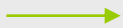


ZŁOŻE BIOLOGICZNE STACJONARNE



Schemat ideowy złoża stacjonarnego

Dopływ



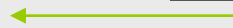
Powietrze



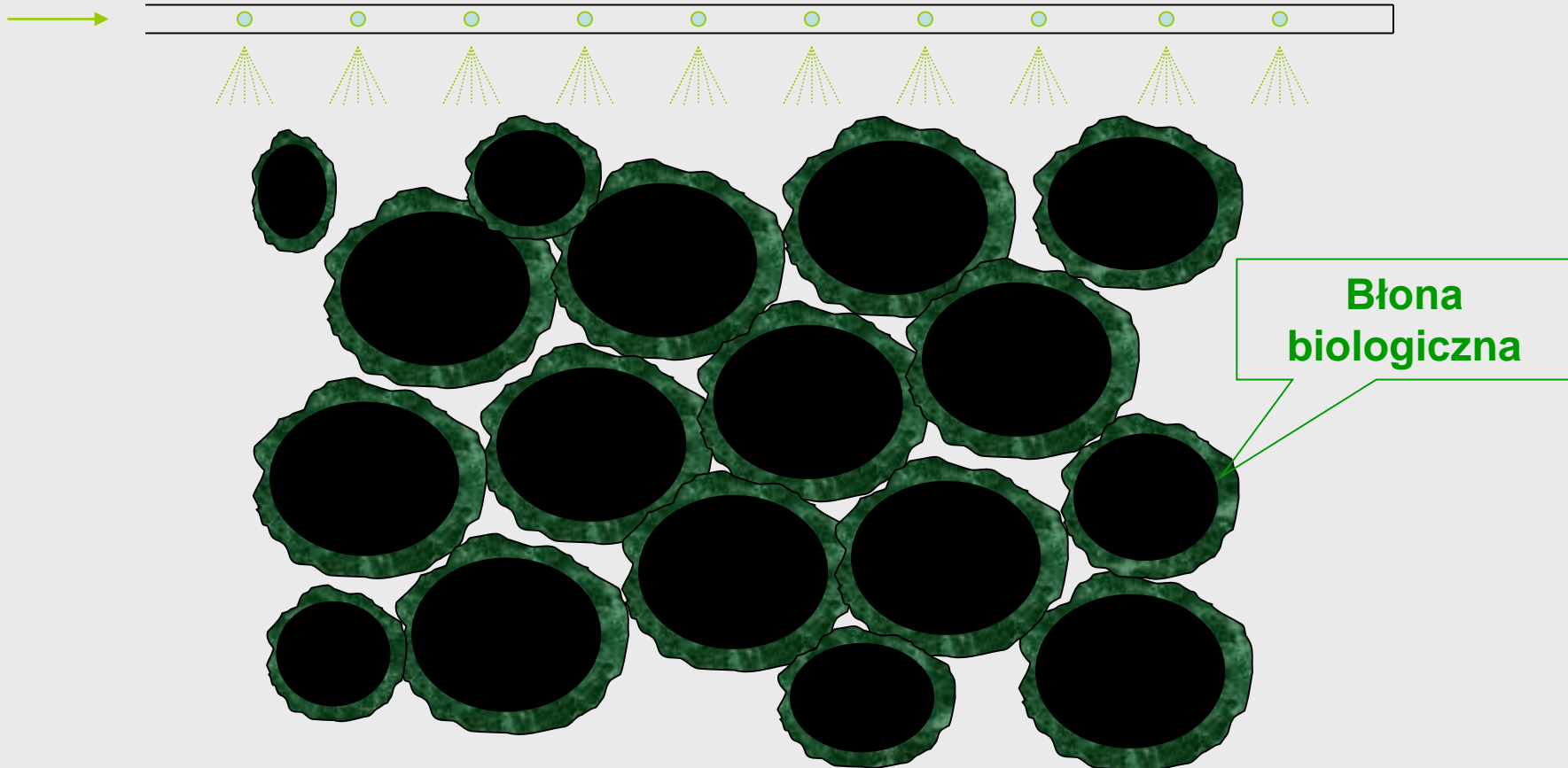
Powietrze



Odplyw



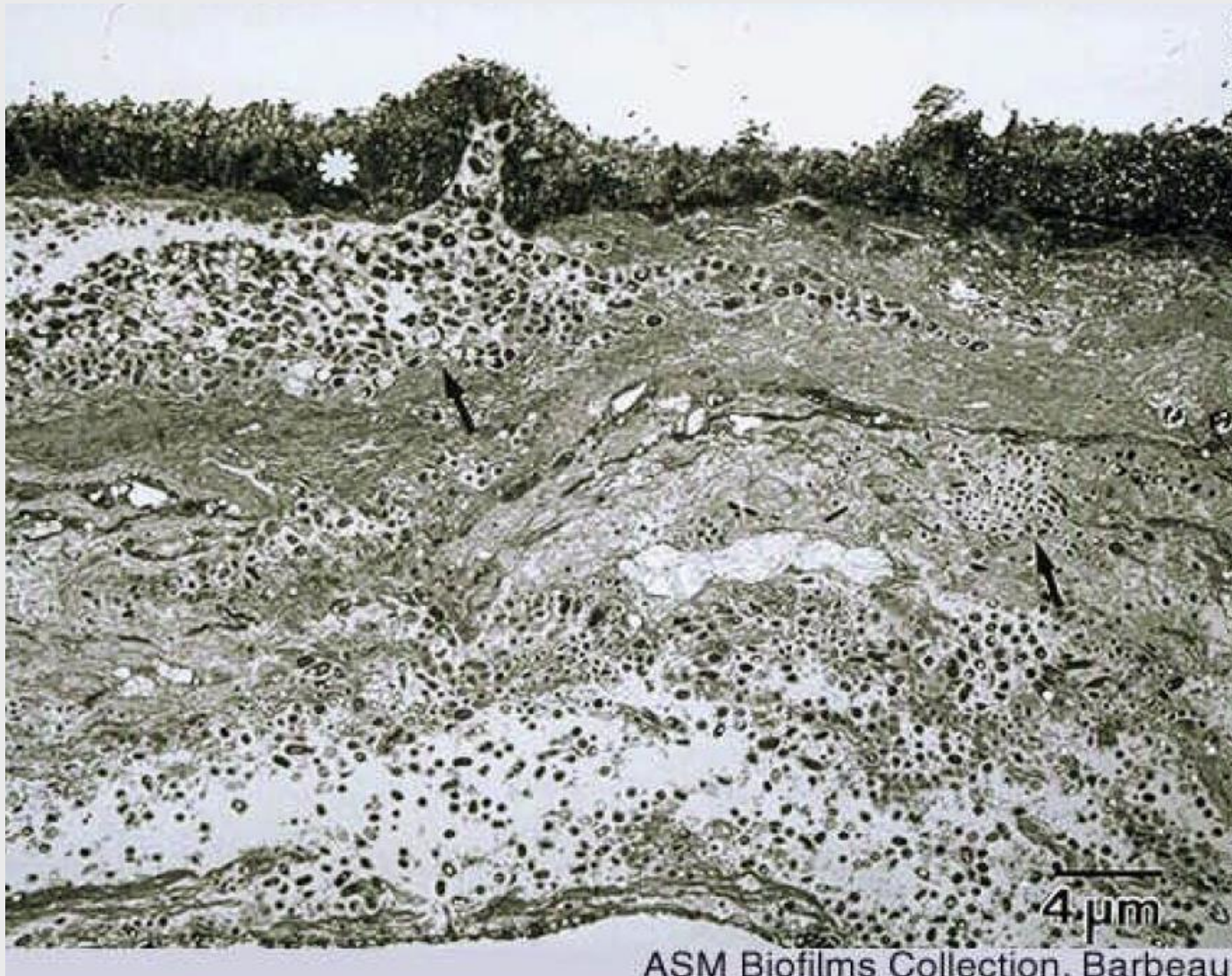
BŁONA BIOLOGICZNA



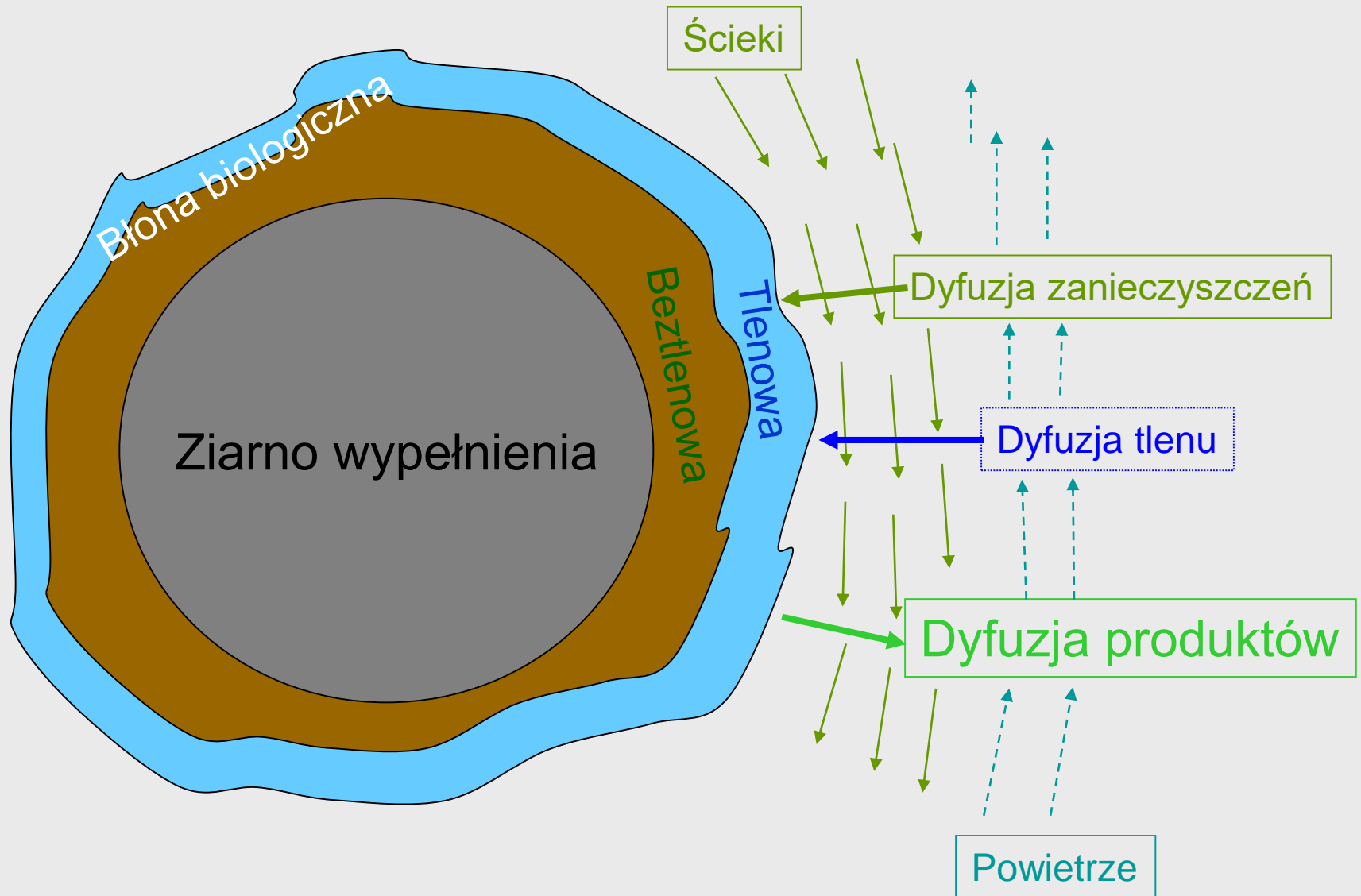
BŁONA BIOLOGICZNA



STRUKTURA BŁONY BIOLOGICZNEJ



Działanie błony biologicznej



Zraszacz obrotowy



Zraszacz obrotowy

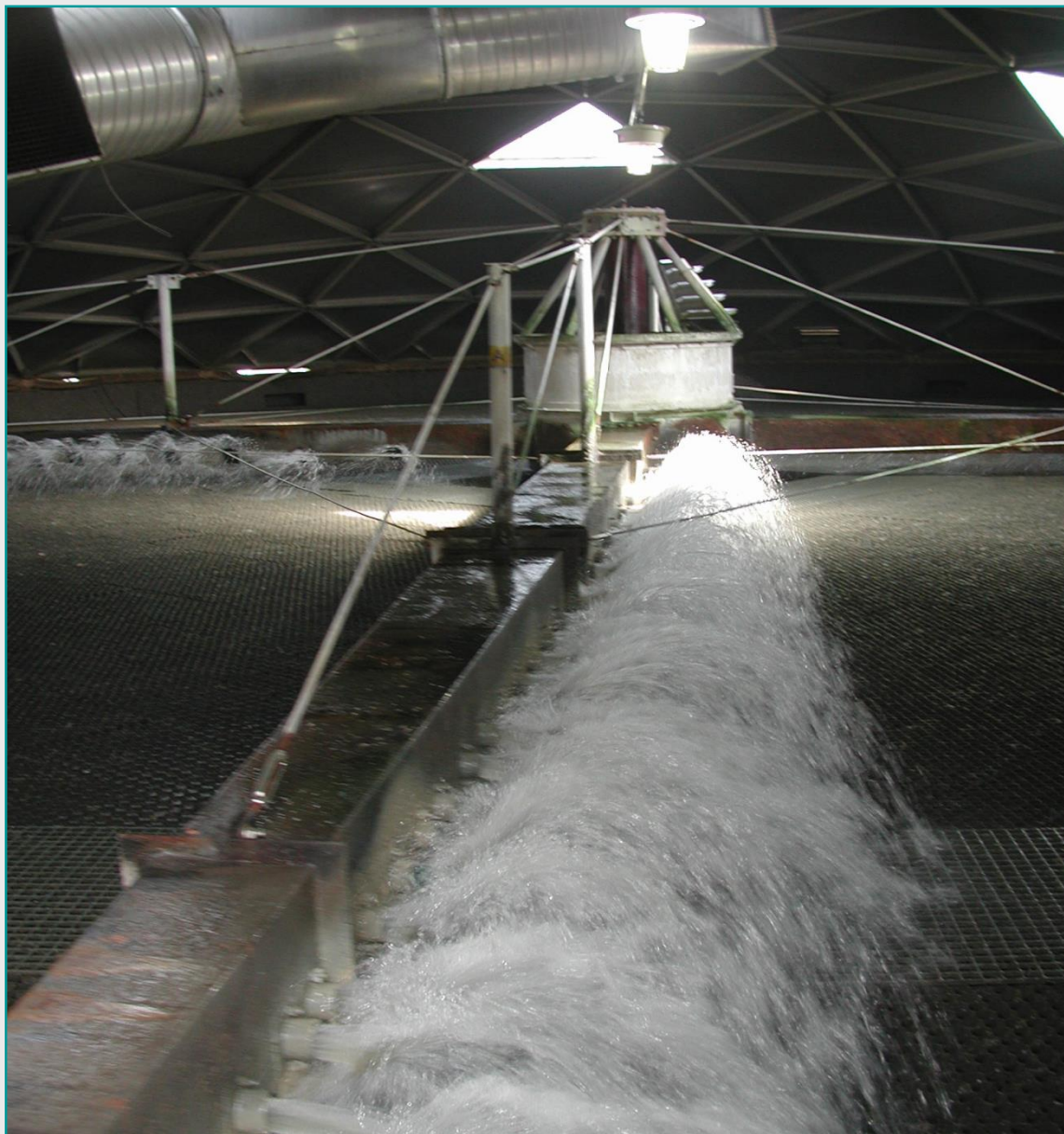
Wychłodzenie ścieków zimą



Przykrycie złoża – temperatura zapachy



Przykryte złoże – temperatura zapachy



ZŁOŻE BIOLOGICZNE STACJONARNE

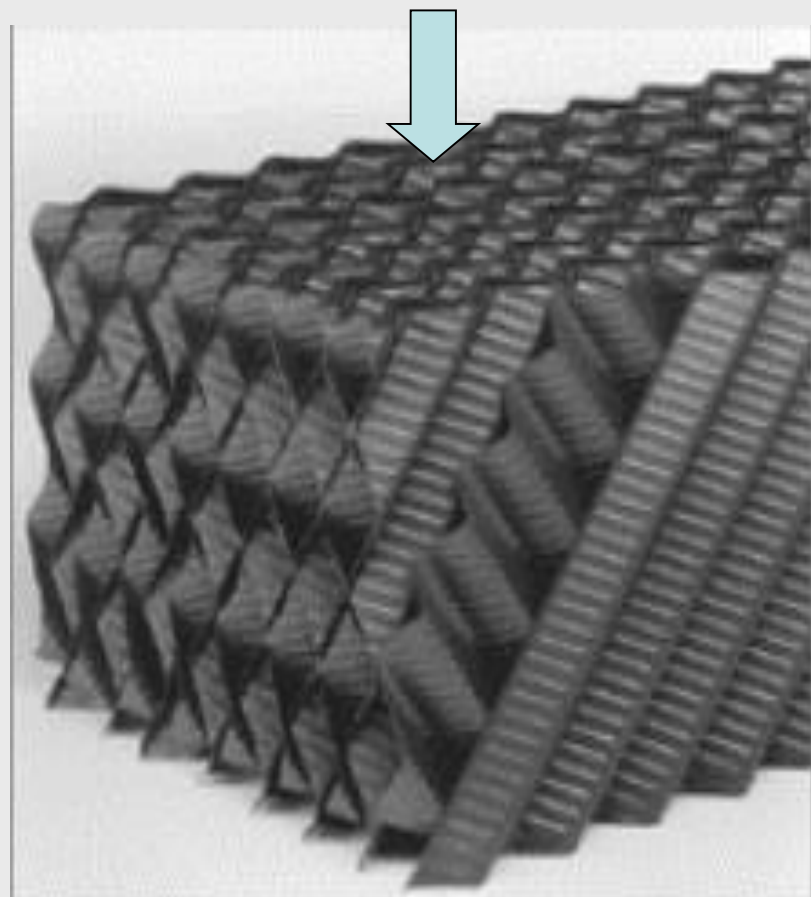
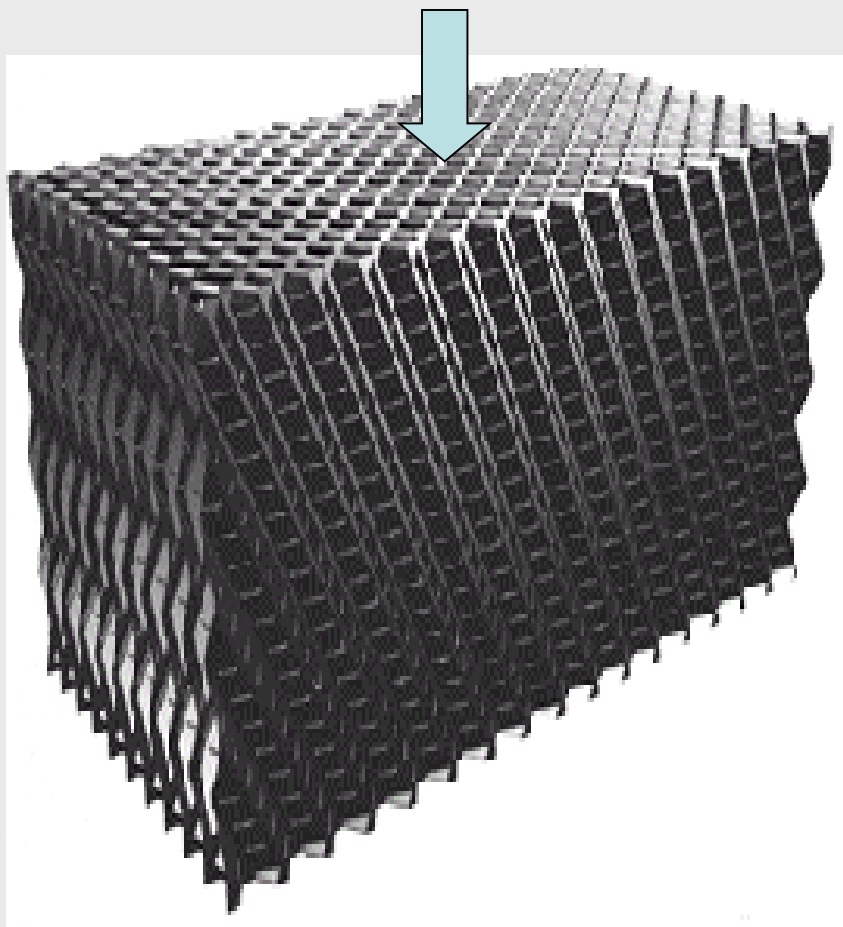
Wypełnienie z tłucznia kamiennego



Złoża biologiczne stacjonarne

Wypełnienie z tworzyw sztucznych

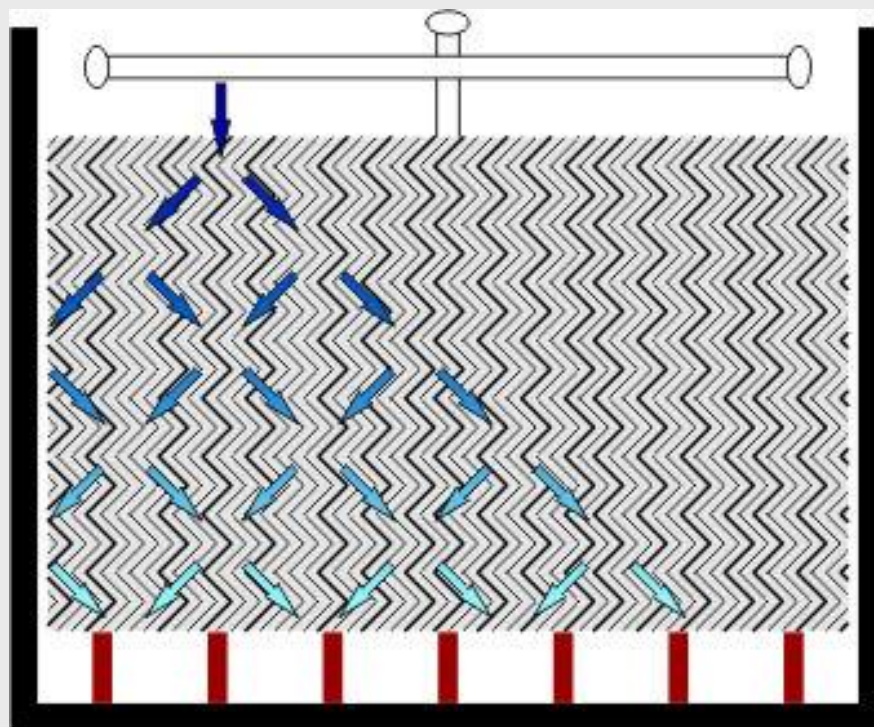
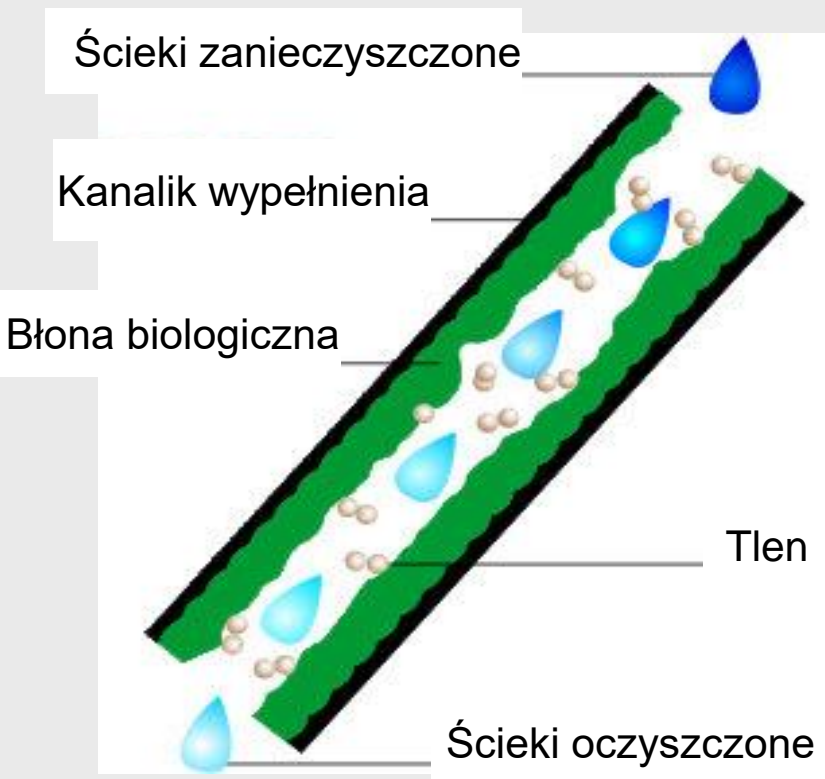
Przepływ krzyżowy



Złoża biologiczne stacjonarne

Wypełnienie z tworzyw sztucznych

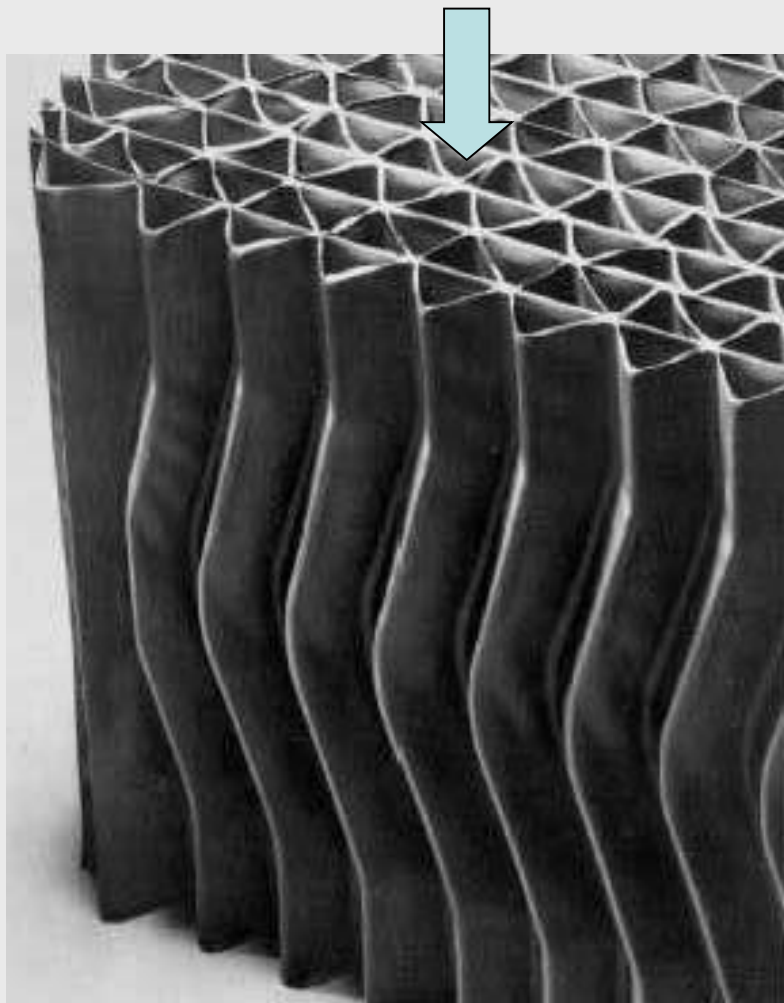
Przepływ krzyżowy



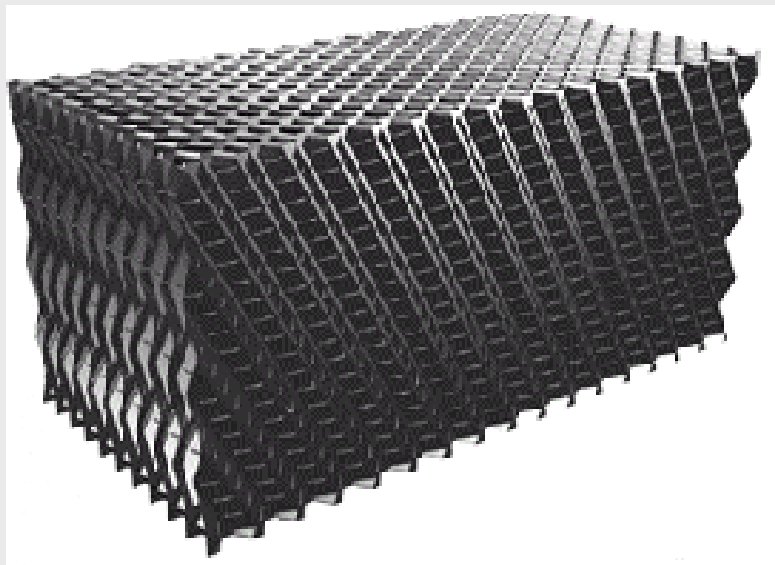
Złoża biologiczne stacjonarne

Wypełnienie z tworzyw sztucznych

Przepływ pionowy



Złoże stacjonarne z pakietami z tworzywa sztucznego



Złoże stacjonarne z pakietami z tworzywa sztucznego c.d.



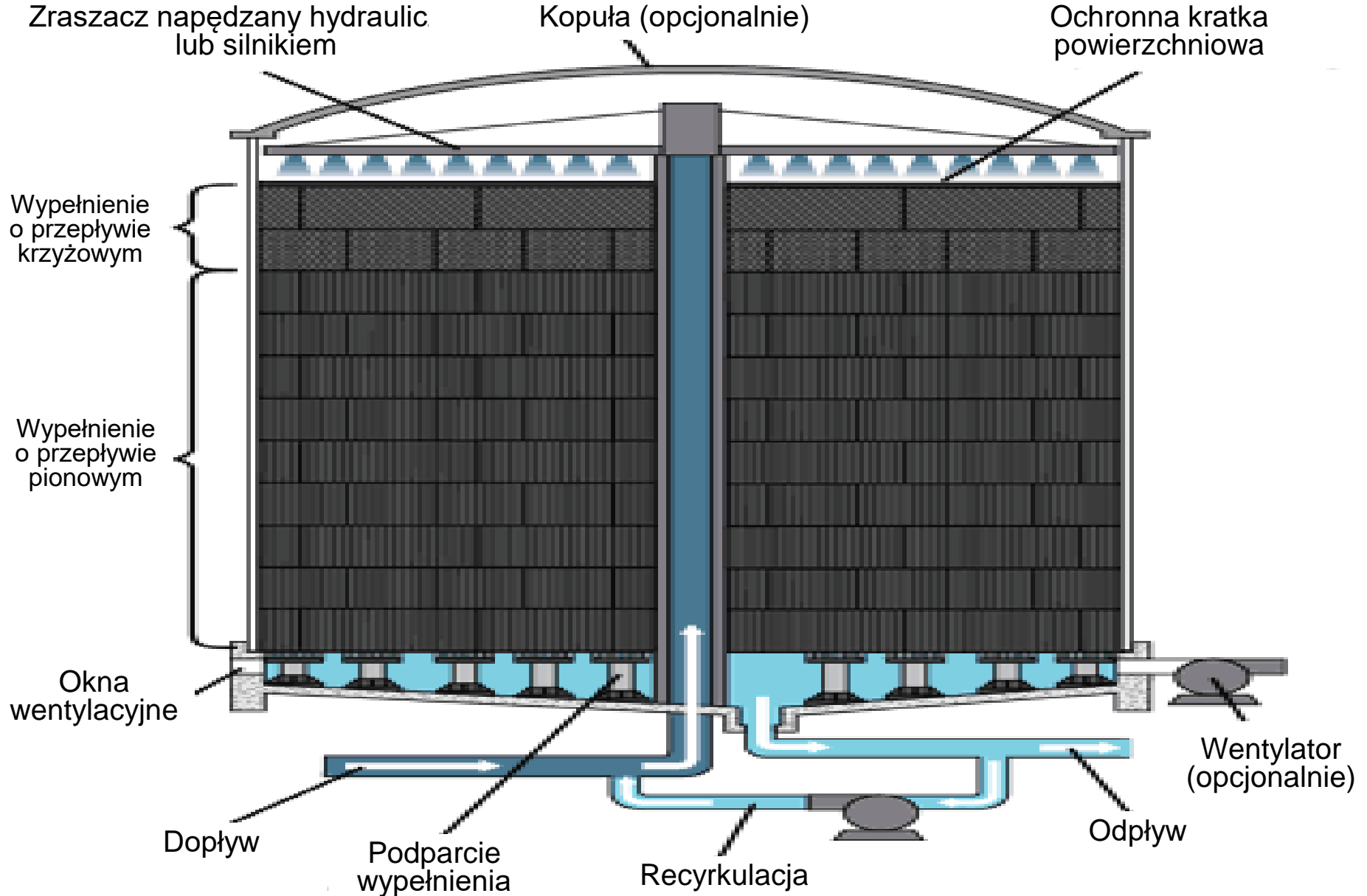
Złoże stacjonarne z pakietami z tworzywa sztucznego c.d.



Złoże stacjonarne z pakietami z tworzywa sztucznego c.d.



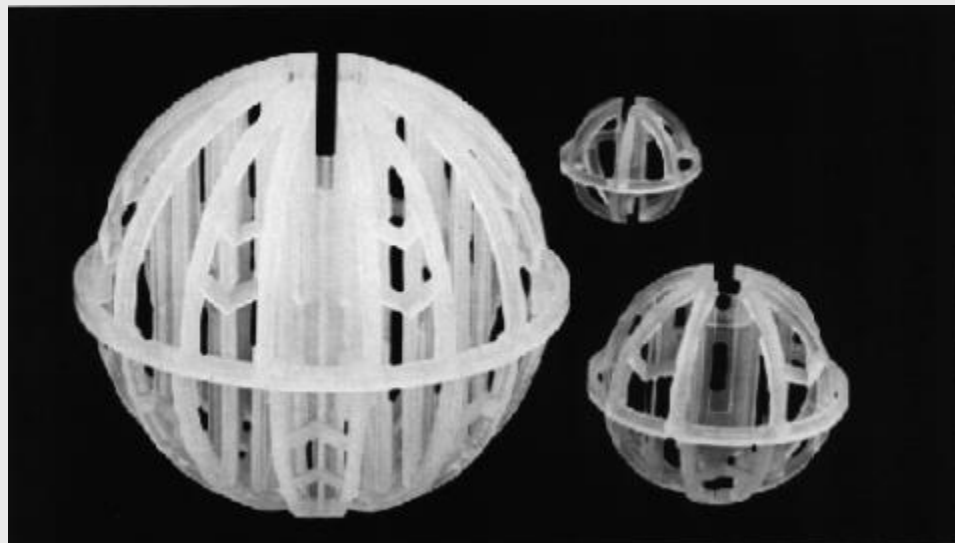
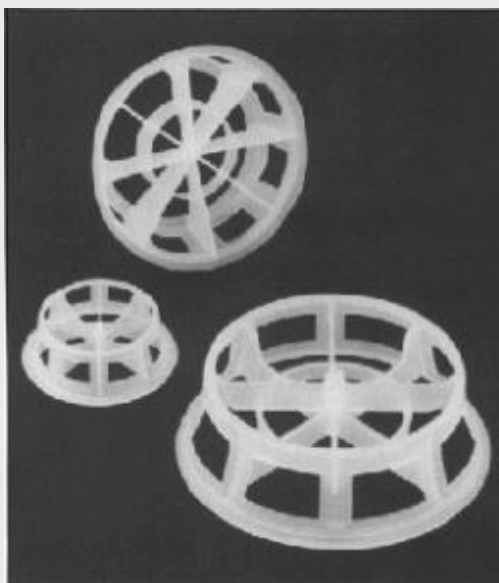
Złoże stacjonarne z pakietami z tworzywa sztucznego c.d.



Złoża biologiczne

Wypełnienie z tworzyw sztucznych

Wypełnienie luźne (nasypowe)



Pożądane cechy wypełnienia złóż stacjonarnych

Duża powierzchnia właściwa (dużo błony biologicznej)

Wypełnienia tradycyjne: $45 \div 60 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Wypełnienia plastikowe: $90 \div 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Duża porowatość złoża (dobre napowietrzanie, brak zarastania)

Wypełnienia tradycyjne: $50 \div 60 \%$

Wypełnienia plastikowe: $70 \div >95 \%$

Możliwie niski koszt zakupu i duża trwałość

Wypełnienia tradycyjne – relatywnie tanie

Wypełnienia plastikowe – relatywnie drogie

Parametry projektowe złóż stacjonarnych

Wysokość złoza

Wypełnienie tradycyjne (ciężkie) $\Rightarrow H \leq 2.4 \text{ m}$

Wypełnienie plastikowe (lekkie) $\Rightarrow H \leq 6 \text{ m}$ (12.2 m)

Obciążenie złoza ładunkiem zanieczyszczeń

$$O_{\text{Ł}} = \frac{\text{Ł}_{BZT_5}}{V_{\text{zł}}} = \frac{Q \cdot BZT_{5,d}}{V_{\text{zł}}} \quad [\text{g BZT}_5/\text{m}^3 \text{ d}]$$

Annotations: Q is m^3/d , $BZT_{5,d}$ is $\text{g BZT}_5/\text{m}^3$, and $V_{\text{zł}}$ is m^3 .

Charakterystyka projektowa	Nisko obciążone	Średnio obciążone	Wysoko obciążone	Wysoko obciążone	Bardzo wysoko obciążone
Rodzaj wypełnienia	Tłuczeń	Tłuczeń	Tłuczeń	Plastik	Tłuczeń/Plastik
Obciążenie ładunkiem $\text{g BZT}_5/\text{m}^3 \text{ d}$	70 - 220	240 - 480	400 - 2400*	600 - 3200	>1500

* Powyżej 1000 $\text{g BZT}_5/\text{m}^3 \text{ d}$ bardzo duże niebezpieczeństwo zarastania złoza

Parametry projektowe złóż stacjonarnych c.d.

Obciążenie hydrauliczne złoża

$$O_h = \frac{Q}{A_{zł}} \quad \begin{matrix} \nearrow \text{m}^3/\text{d} \text{ lub } \text{m}^3/\text{h} \\ \text{[m}^3/\text{m}^2 \text{ d]} \text{ lub } \text{[m}^3/\text{m}^2 \text{ h]} \\ \searrow \text{m}^2 \end{matrix}$$

Charakterystyka projektowa	Nisko obciążone	Średnio obciążone	Wysoko obciążone	Wysoko obciążone	Bardzo wysoko obciążone
Rodzaj wypełnienia	Tłuczeń	Tłuczeń	Tłuczeń	Plastik	Tłuczeń/Plastik
Obciążenie hydrauliczne $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$	1 - 4	4 - 10	10 - 40	10 - 75	40 - 200

Parametry projektowe złoź stacjonarnych c.d.

Szybkość dozowania ścieków (*DR* – dosing rate)

Warstwa ścieków (mm) doprowadzana na złoże w przeliczeniu na jedno przejście (pasaż) ramienia zraszacza

Warstwa doprowadzanych ścieków [mm/h]

Obciążenie hydrauliczne złoża [$m^3/m^2 \text{ h}$] = [m/h]

$$DR = \frac{O_h \cdot (10^3 \text{ mm}/m)}{r \cdot n \cdot (60 \text{ min}/h)} \quad [\text{mm/pasaż ramienia zraszacza}]$$

Liczba ramion zraszacza

Prędkość obrotowa zraszacza [obr/min]

Liczba pasaży ramion zraszacza w ciągu godziny [1/h]

Parametry projektowe złoź stacjonarnych c.d.

Szybkość dozowania ścieków (DR)

Duża wartość DR

⇒

- Większa efektywność zwilżania błony biologicznej
- Intensywniejsze wypłukiwanie błony biologicznej
- Cieńsza błona biologiczna (większy udział części tlenowej)
- Sprzyja wypłukiwaniu jaj muszek

Zbyt duża wartość DR



Zbyt krótki czas kontaktu ścieków z błoną biologiczną



Spadek efektów oczyszczania

Parametry projektowe złoź stacjonarnych c.d.

Zalecana szybkość dozowania ścieków (DR)

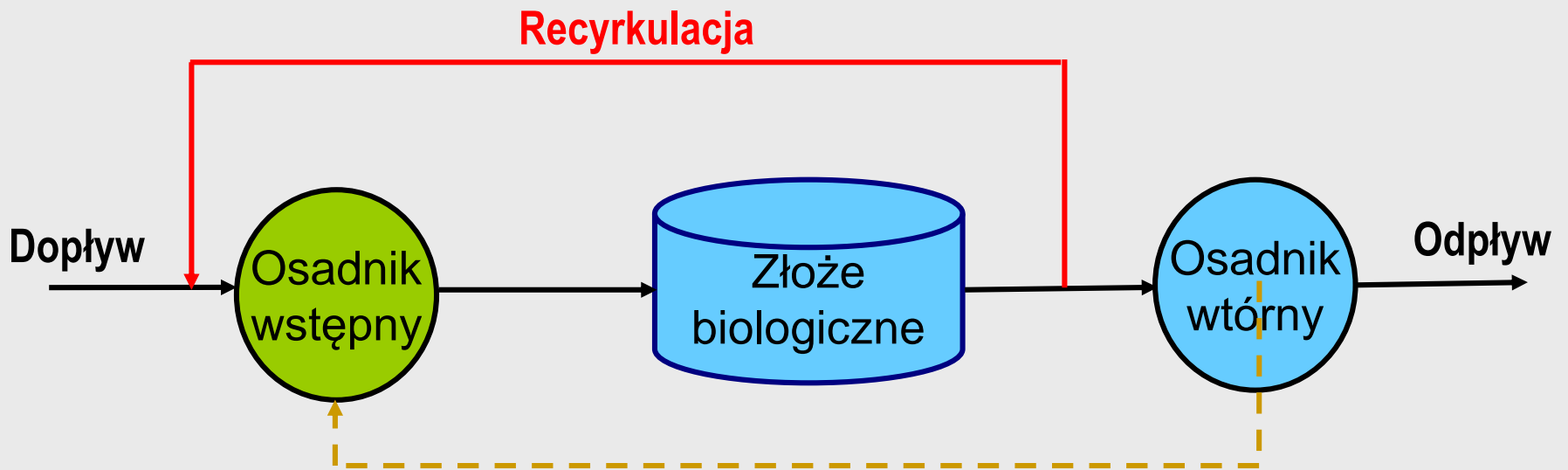
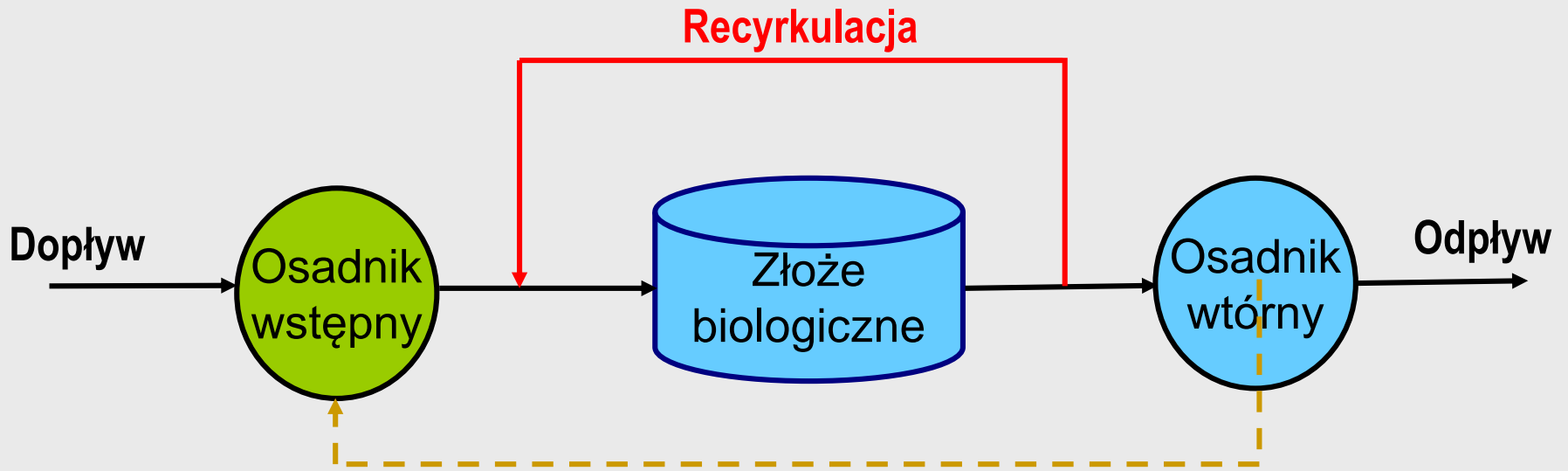
Obciążenie złoź ładunkiem [g BZT ₅ /m ³ d]	Średnia szybkość dozowania [mm/pasaż]	Płuczająca szybkość dozowania [mm/pasaż]
250	10 - 30	≥ 200
500	15 - 45	≥ 200
1000	30 - 90	≥ 300
2000	40 - 120	≥ 400
3000	60 - 180	≥ 600
4000	80 - 240	≥ 800

Recykulacja ścieków

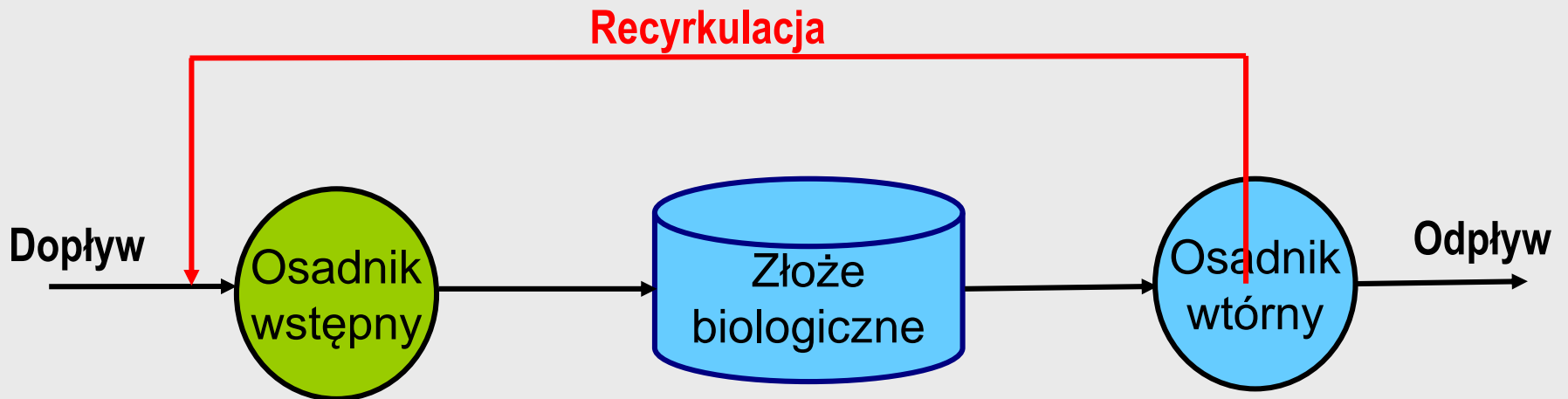
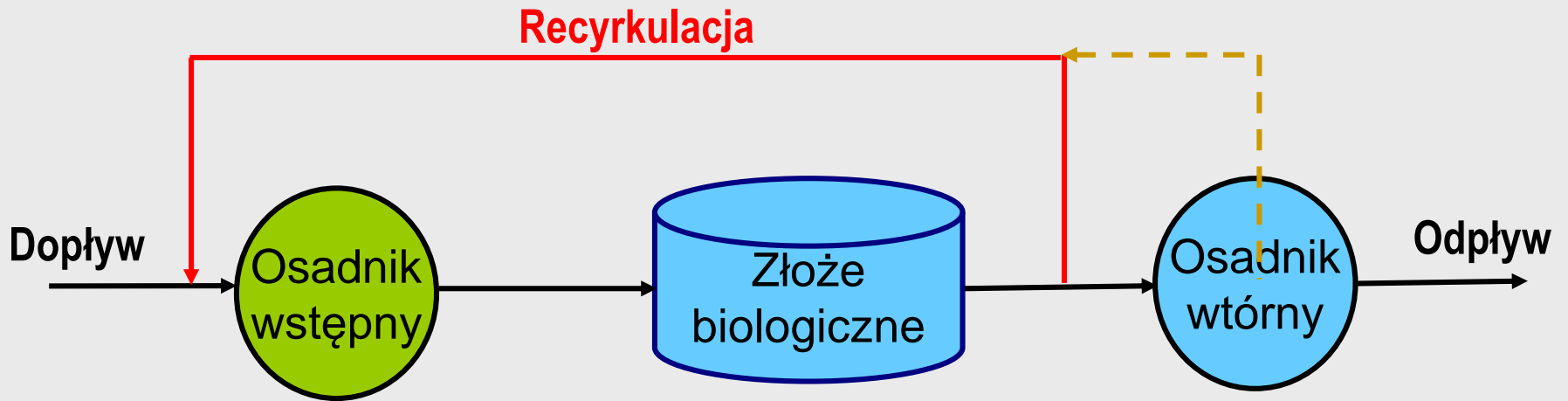
Cele recykulacji

- Zmniejszenie stężenia doprowadzanych ścieków $\leq 250 \text{ g ChZT/m}^3$.
- Utrzymanie stałej intensywności zwilżania wypełnienia.
- Wymuszenie spłukiwania nadmiaru błony biologicznej
- Rozcieńczanie toksycznych „pików” zanieczyszczeń
- Doprowadzanie dodatkowej (niewielkiej) ilości mikroorganizmów
- Zwiększanie ilości tlenu w ściekach

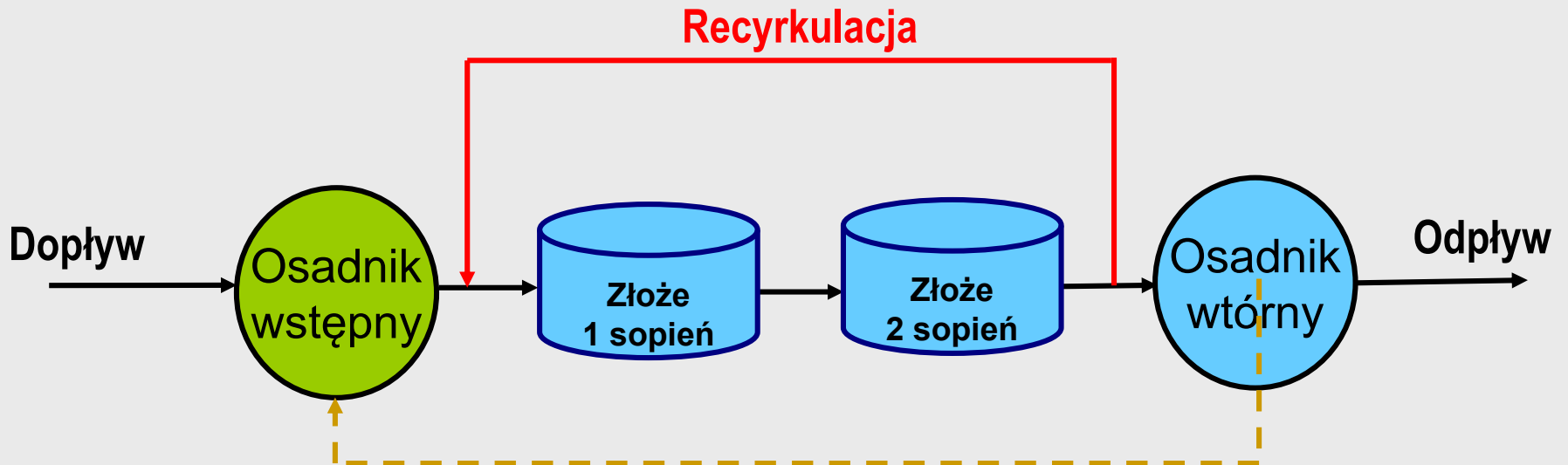
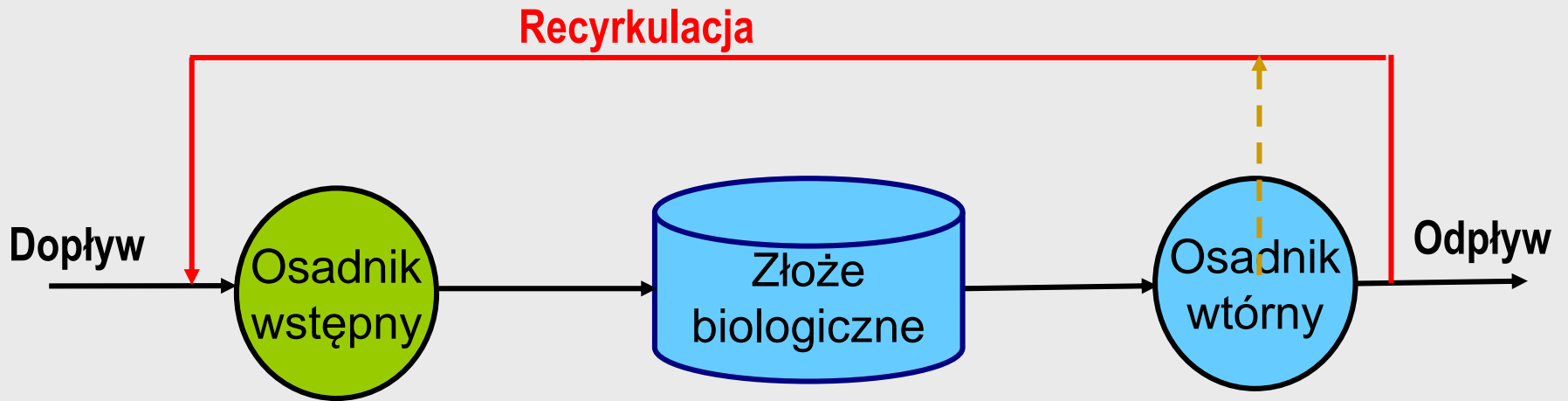
Recyrkulacja ścieków c.d.



Recykulacja ścieków c.d.



Recykulacja ścieków c.d.



Parametry projektowe złóż stacjonarnych c.d.

Charakterystyka projektowa	Nisko obciążone	Średnio obciążone	Wysoko obciążone	Wysoko obciążone	Bardzo wysoko obciążone
Rodzaj wypełnienia	Tłuczeń	Tłuczeń	Tłuczeń	Plastik	Tłuczeń/Plastik
Obciążenie hydrauliczne m^3/m^2 d	1 - 4	4 - 10	10 - 40	10 - 75	40 - 200
Obciążenie ładunkiem g BZT ₅ /m ³ d	70 - 220	240 - 480	400 - 2400*	600 - 3200	>1500
Stopień recyrkulacji	0	0 - 1	1 - 2	1 - 2	0 - 2
Muszki	Dużo	Różnie	Mało	Mało	Mało
Wyplukiwanie błony biologicznej	Nieciągłe	Nieciągłe	Ciągłe	Ciągłe	Ciągłe
Głębokość, m	1.8 – 2.4	1.8 – 2.4	1.8 – 2.4	3.0 – 12.2	0.9 - 6
Ubytek BZT ₅ , %	80 - 90	50 - 80	50 - 90	60 - 90	40 - 70
Nitryfikacja	Pełna	Częściowa	Brak	Brak	Brak
Zapotrzebowanie mocy, W/m^3 złoża	2 - 4	2 - 8	6 - 10	6 - 10	10 - 20

* Powyżej 1000 g BZT₅/m³ d bardzo duże niebezpieczeństwo zarastania złoża

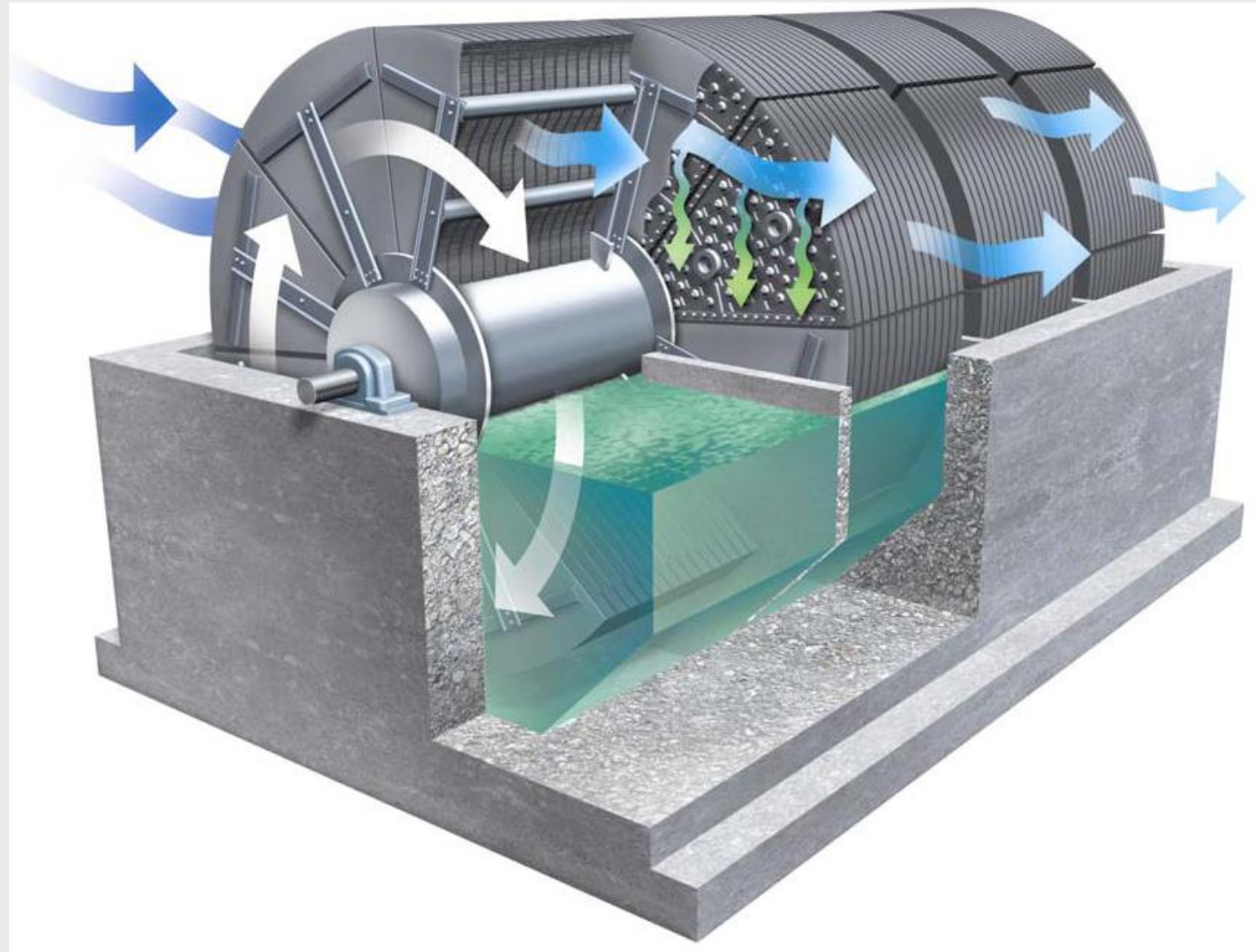
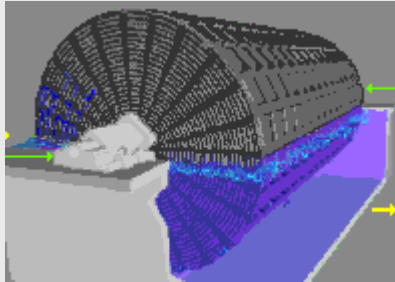
Efekty usuwania azotu i fosforu

W przybliżeniu jak w tlenowym osadzie czynnym

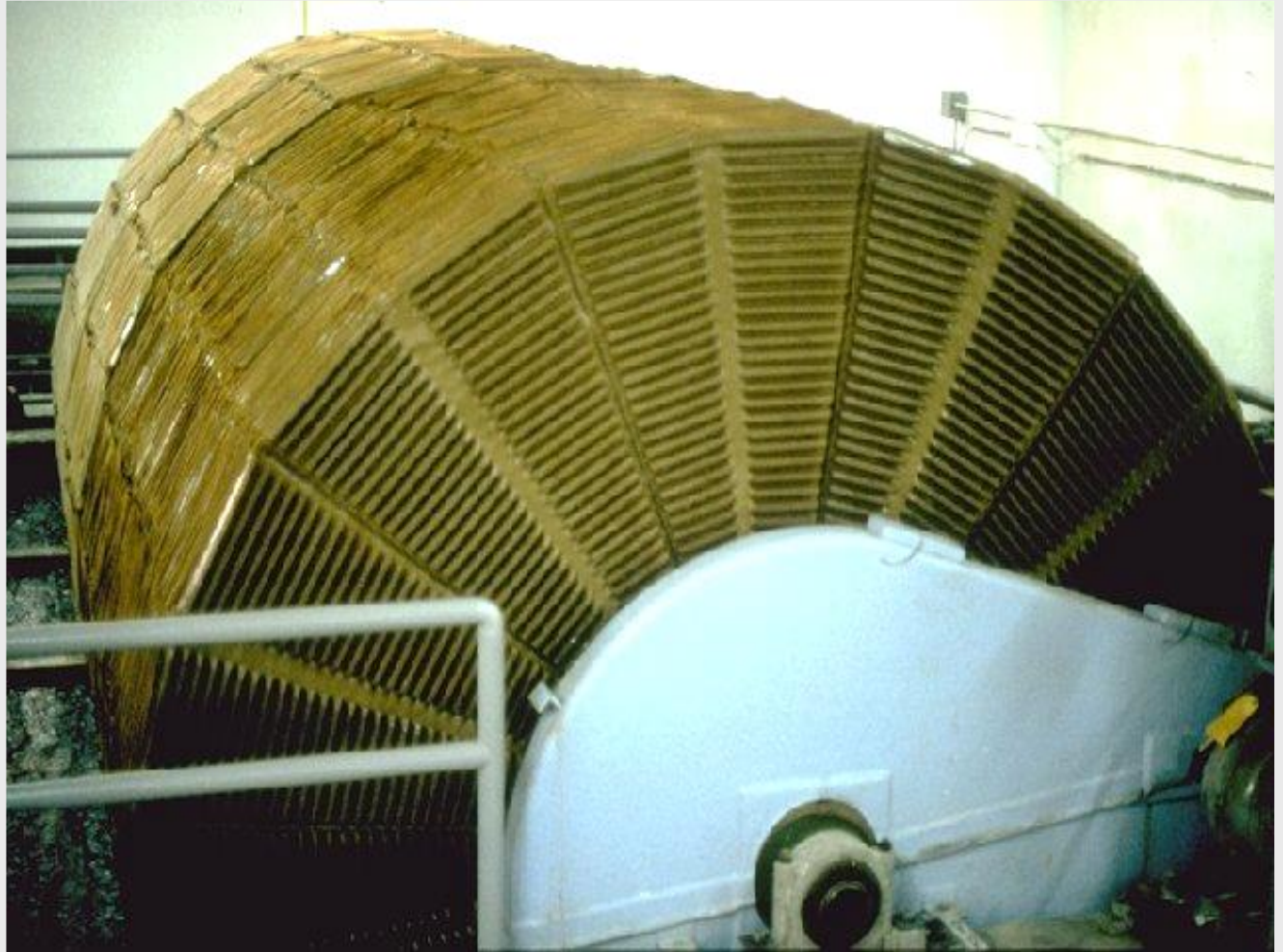
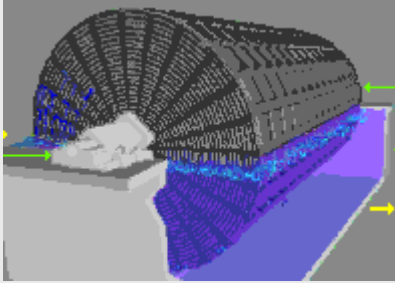
$$\Delta N = \Delta N_{\text{Asym}}$$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{Asym}}$$

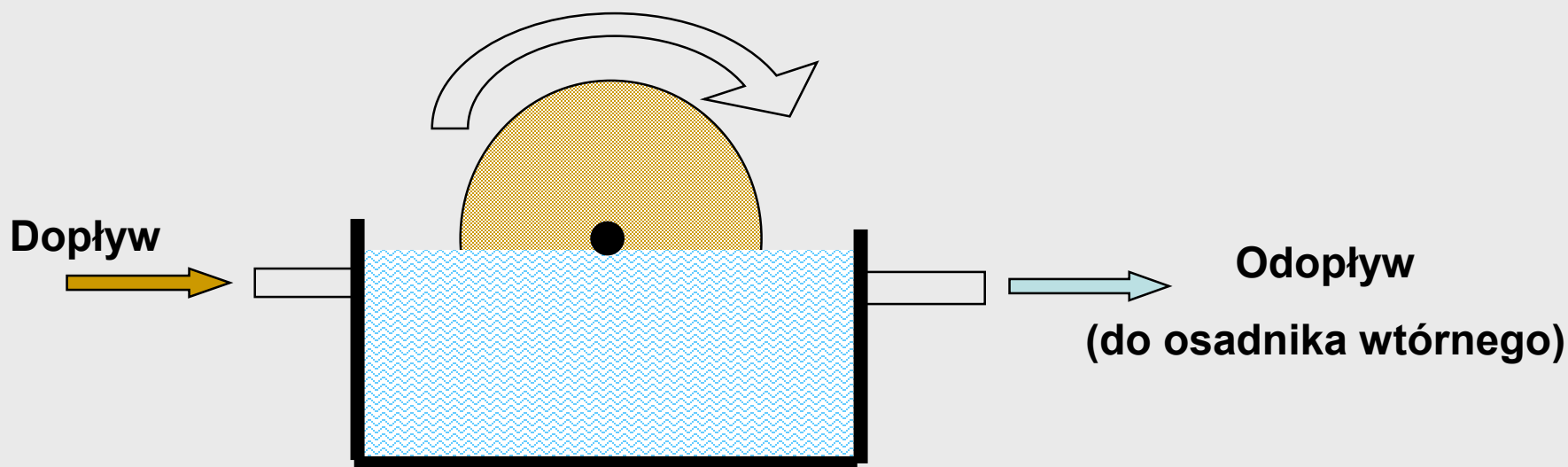
ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.

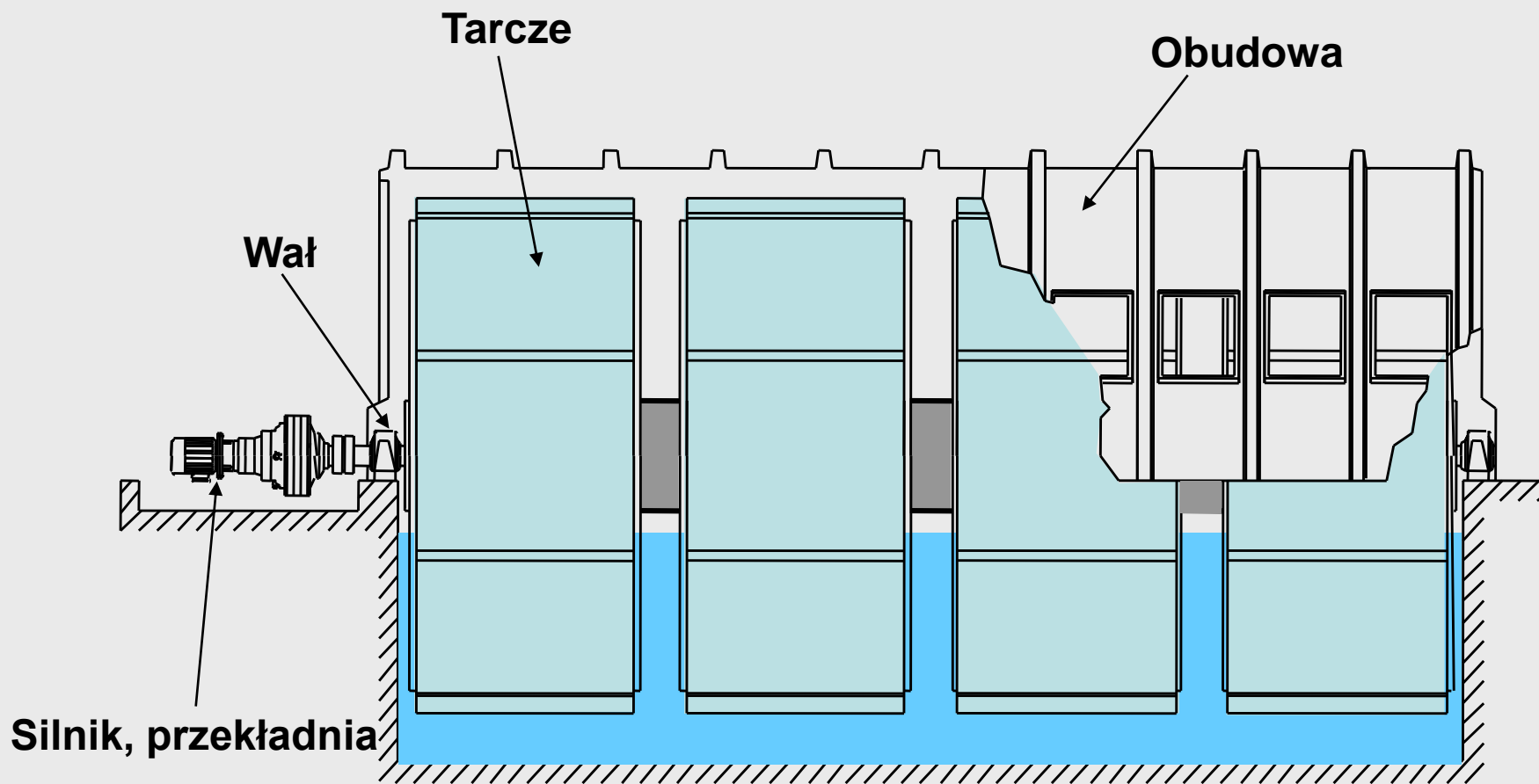


ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.

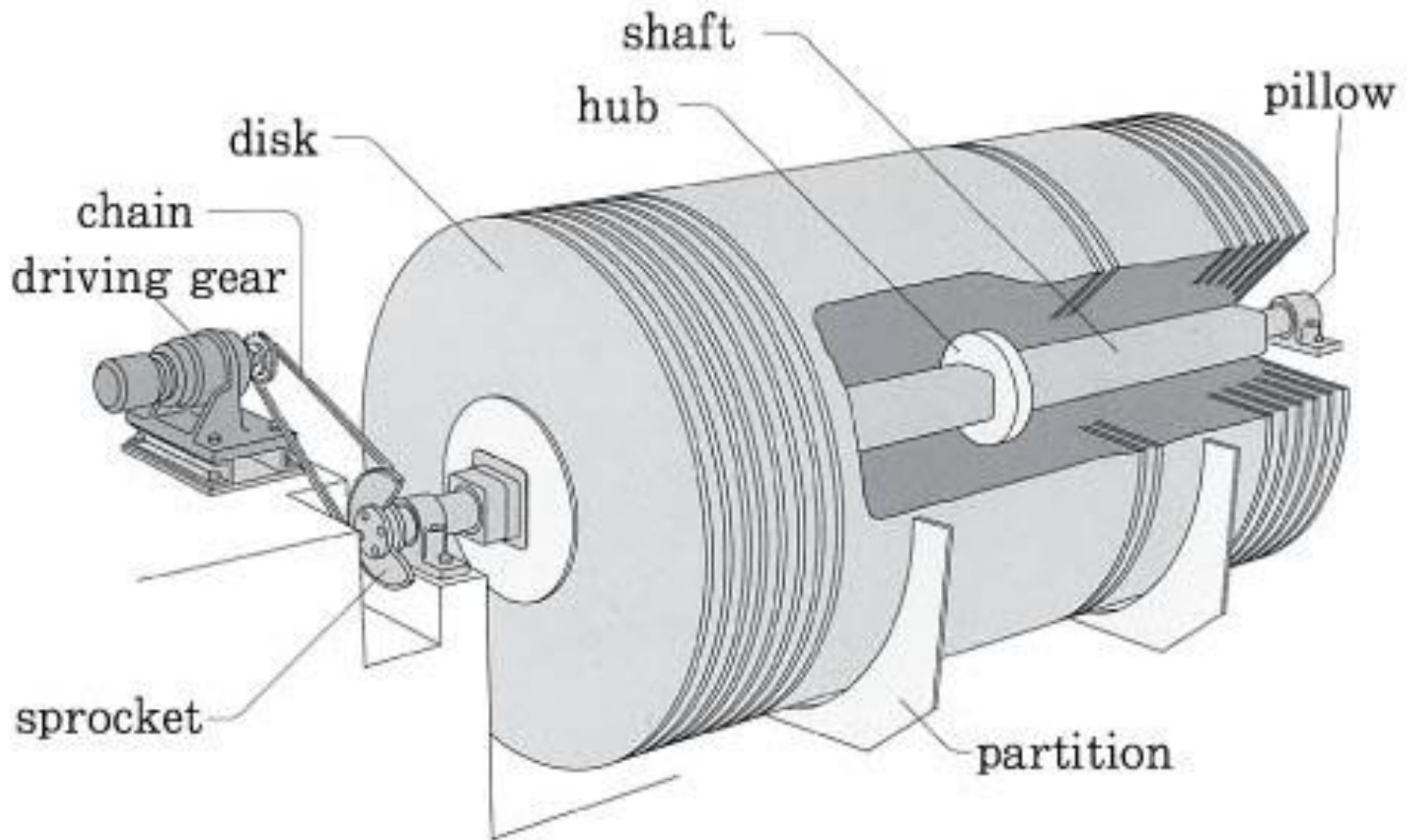


- Średnica tarczy zwykle 1-3.5 (5) m
- Prędkość obrotowa ~1÷2 obr/min
- Zanurzenie ~40% średnicy tarczy (100% to denitryfikacja)
- Można stosować układ wielostopniowy
- Brak recyrkulacji
- Zalecane badania pilotowe

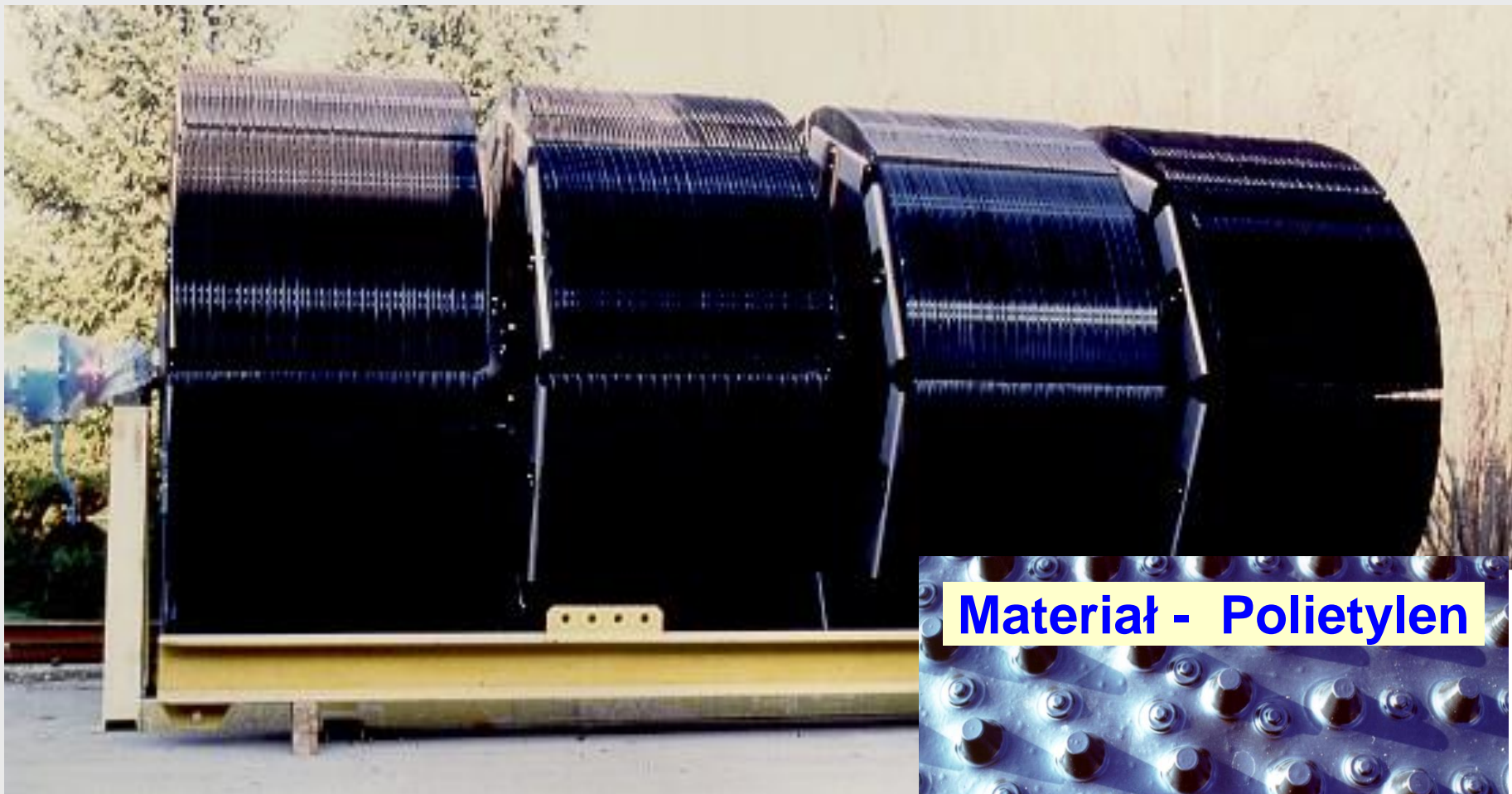
ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



Materiał - Polietylen

Dystans między tarczami $\sim(12\div 20)$ mm



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.



ZŁOŻA BIOLOGICZNE TARCZOWE c.d.

Efekty oczyszczania

Wymagany stopień obniżki BZT₅ [%]	Obciążenie powierzchni tarcz [g BZT₅/m² d]	Niezbędna liczba stopni (szeregowych)
50	67	1
70	53	2
80	38	3
85	40	3
90	24	4

Efekty usuwania azotu i fosforu

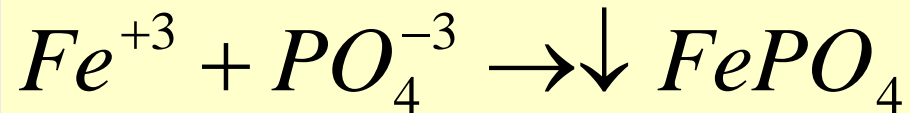
W przybliżeniu jak w złożach stacjonarnych

$$\Delta N = \Delta N_{\text{Asym}}$$

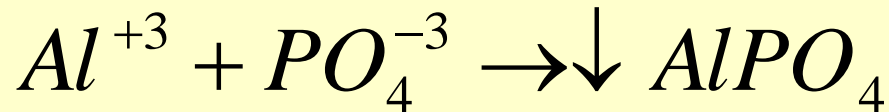
$$\Delta P = \Delta P_{\text{Asym}}$$

Chemiczne strącanie fosforanów

Strącanie solami żelaza - $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$



Strącanie solami glinu - $Al_2(SO_4)_3$



Dawka stechiometryczna

- 1 mol Fe/mol P
- 1 mol Al/mol P

Dawka praktyczna (dla uzyskania $\sim \leq 1$ g P- PO_4/m^3)

$1.5 \div 3 \times$ dawka stechiometryczna

Chemiczne strącanie fosforanów c.d.

Produkcja osadu chemicznego (dodatkowy osad)

$$\text{Fe/P} = 2 \text{ mol/mol} \Rightarrow \Delta X_{\text{Chem}} \sim 8.3 \text{ g sm/g P}_{\text{usuniętego}} (\Delta X_{\text{min}})$$

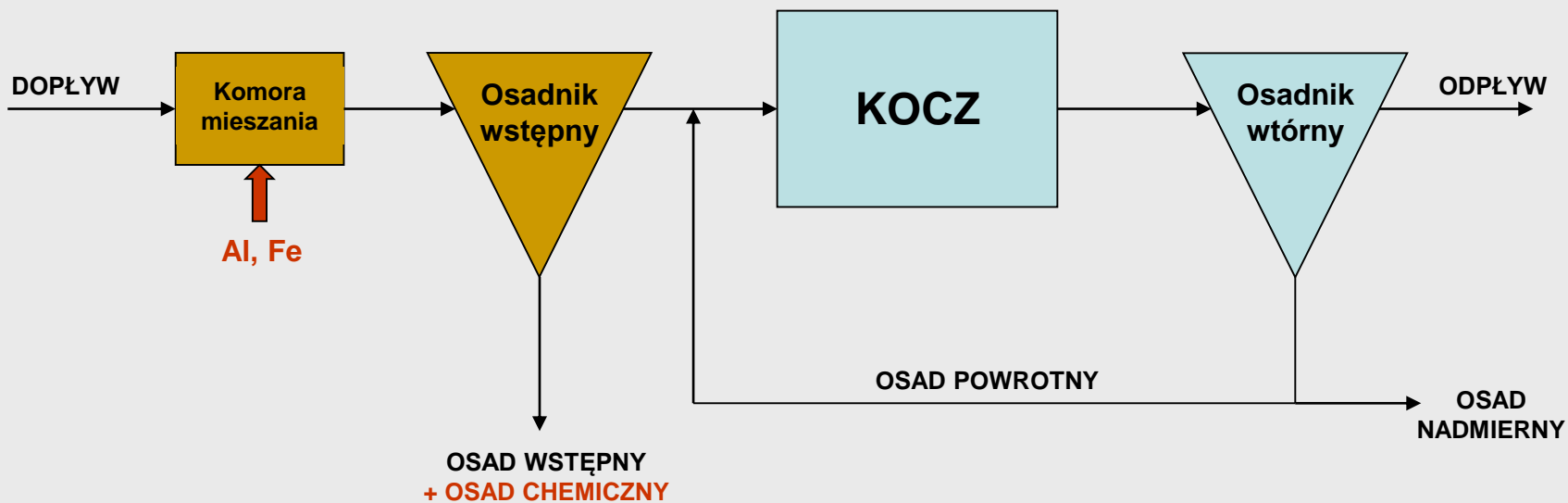
$$\text{Al/P} = 2 \text{ mol/mol} \Rightarrow \Delta X_{\text{Chem}} \sim 6,5 \text{ g sm/g P}_{\text{usuniętego}} (\Delta X_{\text{min}})$$

Efekt dodatkowy (oprócz strącenia fosforanów)

Koagulacja zanieczyszczeń koloidalnych

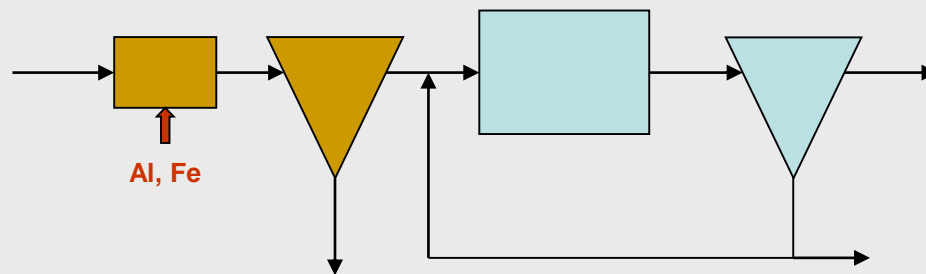
Chemiczne strącanie fosforanów c.d.

Strącanie wstępne



Chemiczne strącanie fosforanów c.d.

Strącanie wstępne c.d.

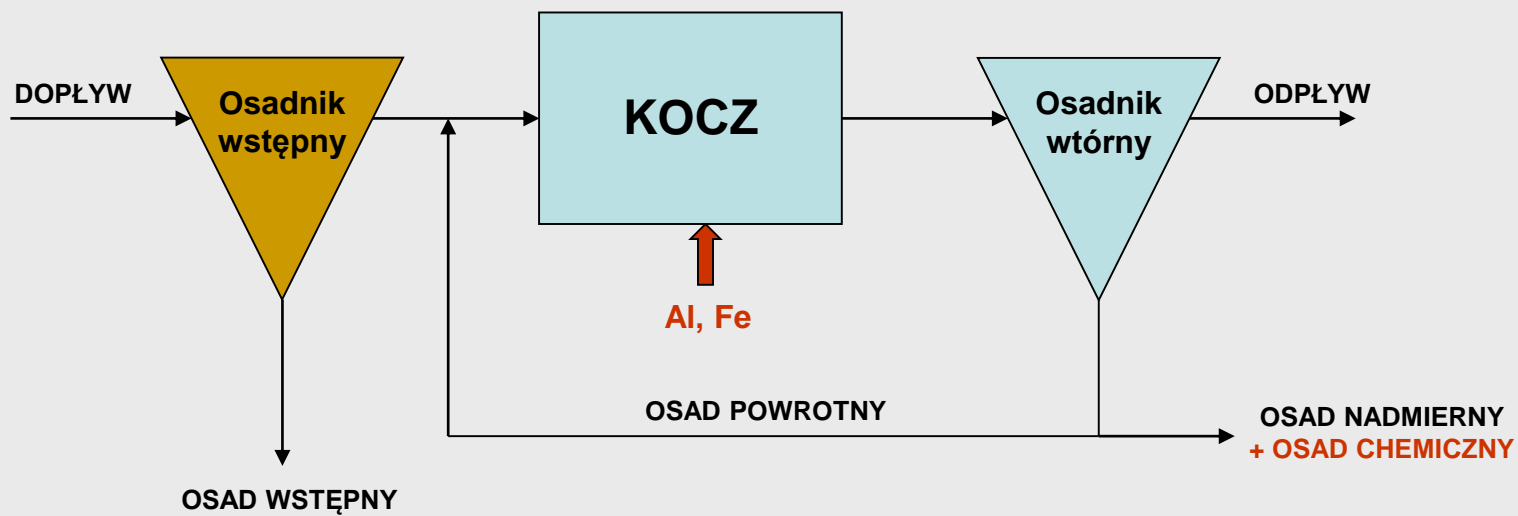


Obniżka wskaźników zanieczyszczeń [%]

Wskaźnik	Sedymentacja wstępna bez strącania chemicznego	Sedymentacja wstępna z chemicznym strącaniem
ChZT	30	65
BZT ₅	30	65
Zawiesina	60	80
N _{og}	10	20
P _{og}	10	70

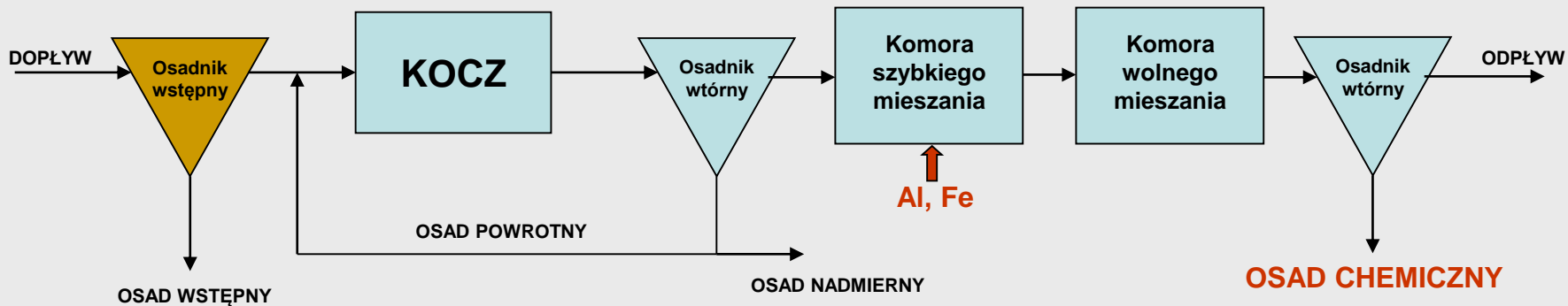
Chemiczne strącanie fosforanów c.d.

Strącanie symultaniczne



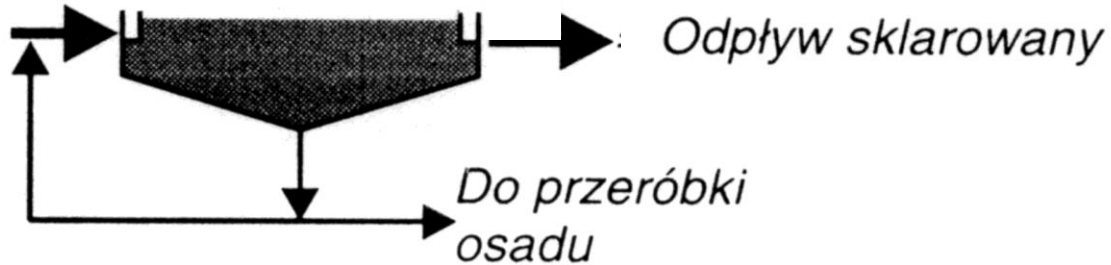
Chemiczne strącanie fosforanów c.d.

Strącanie wtórne



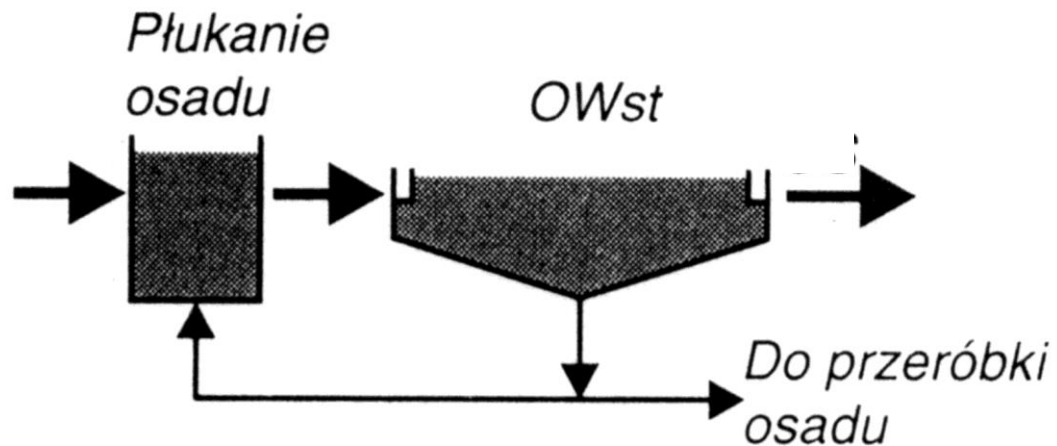
Generowanie LKT z osadu wstępnego

Osadnik wstępny z recyrkulacją osadu



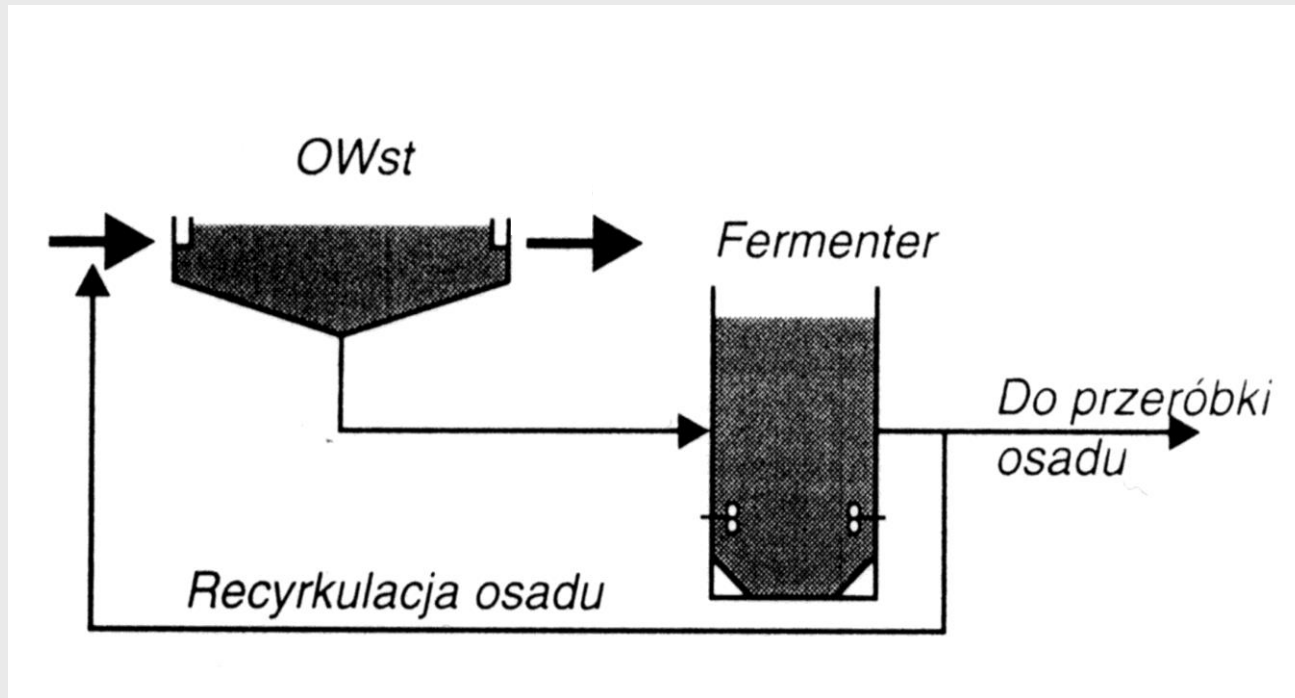
Generowanie LKT z osadu wstępnego c.d.

Osadnik wstępny z płukaniem osadu



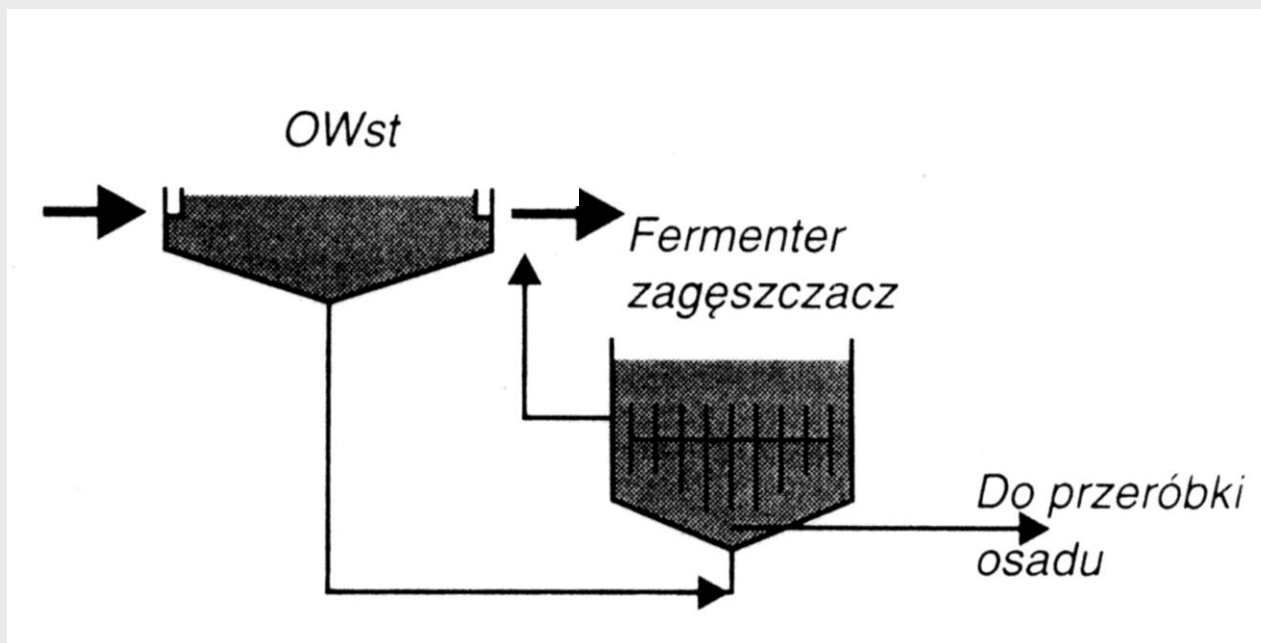
Generowanie LKT z osadu wstępnego c.d.

Fermenter z pełnym wymieszaniem



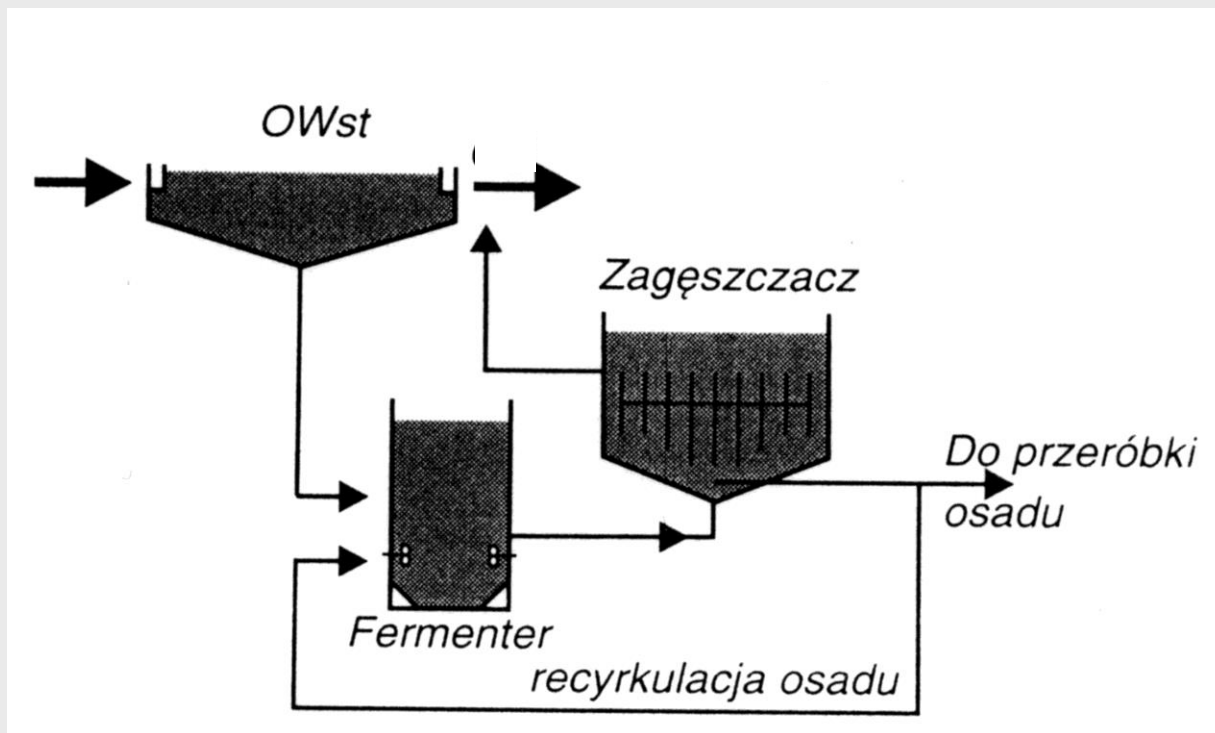
Generowanie LKT z osadu wstępnego c.d.

Jednostopniowy fermenter - zagęszczacz



Generowanie LKT z osadu wstępnego c.d.

Dwustopniowy fermenter z zagęszczaczem



Generowanie LKT z osadu wstępnego c.d.

$WO \approx 3\div 6 \text{ d}$

$\Delta LKT \approx 20\div 50 \text{ g ChZT/m}^3$

KONIEC

KONIEC