



Politechnika Wroclawska

INSTYTUT INŻYNIERII OCHRONY ŚRODOWISKA

**INSTRUKCJA DO ĆWICZEŃ PROJEKTOWYCH
OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW**

Dla studentów specjalności: OŚ, Wrocław, III ROK

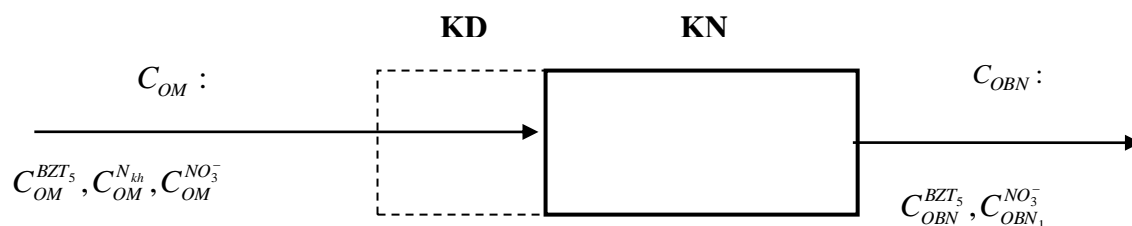
Aktualizacja na rok akademicki: 2017/2018

**PROJEKTOWANIE PROCESU
TRÓJFAZOWEGO OSADU CZYNNEGO
- CZĘŚĆ OBLICZENIOWA -**

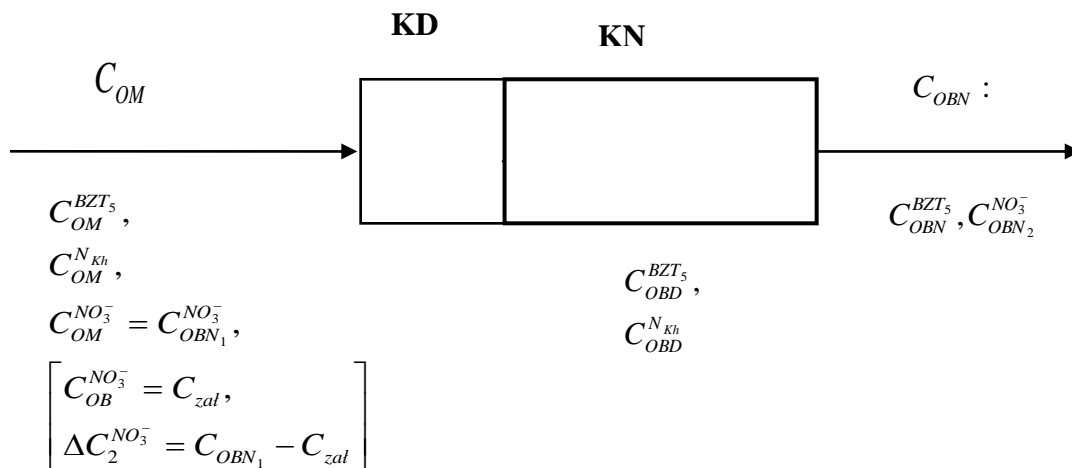
Opracowanie: dr hab. inż. Jacek WIŚNIEWSKI
dr inż. Marek MOŁCZAN

A SCHEMAT BLOKOWY OBLICZEŃ

I°



II°

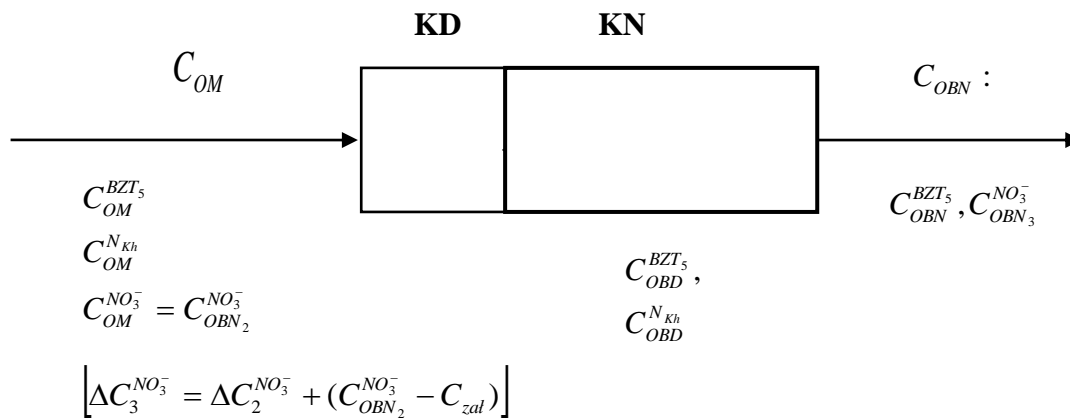


Sprawdzenie: $C_{OBN_2}^{NO_3^-} = C_{zal} + 0,5gN/m^3$

jeśli: $C_{OBN_2}^{NO_3^-} = C_{zal} \pm 0,5gN/m^3$



III°



Sprawdzenie: $C_{OBN_3}^{NO_3^-} = C_{zal} \pm 0,5 gN / m^3$

Jeśli nie → IV°

B DANE DO OBLICZEŃ

a) nominalna przepustowość bloku biologicznego:

$$Q_{SK}^{d_{sr}} = 15.000 m^3 / d$$

b) skład ścieków oczyszczonych mechanicznie:

$$\begin{aligned} C_{OM}^{zaw} &= 70 g / m^3 & C_{OM}^{NO_3^-} &= 3 gN / m^3 \\ C_{OM}^{BZT_5} &= 200 gO_2 / m^3 & C_{OM}^{P_{og}} &= 10 gP / m^3 \\ C_{OM}^{N_{kb}} &= 41 gN / m^3 & & \end{aligned}$$

c) wartości stężeń dopuszczalnych w ściekach oczyszczonych

$$\begin{aligned} C_d^{zaw} &= 35 g / m^3 \\ C_d^{BZT_5} &= 15 gO_2 / m^3 & C_d^{P_{og}} &= 1,5 gP / m^3 \\ C_d^{N_{og}} &= 15 gN / m^3 \end{aligned}$$

d) parametry kinetyczne osadu czynnego

1. heterotrofy:

q^H – właściwa szybkość usuwania związków węgla; $\frac{gBZT_5}{gsm \cdot d}$

μ_{max}^H – współcz. maksymalnej, właściwej szybkości przyrostu heterotrofów;
 $1,711 d^{-1}$

Y_t^H - współcz. wydajności przyrostu heterotrofów; $1,0 \frac{gsm}{gBZT_{5us}}$

K^H – stała Michaelisa-Menten dla heterotrofów; $76 \frac{gO_2}{m^3}$

k_d^H - współcz. szybkości obumierania heterotrofów; $0,0175 d^{-1}$

2. nitryfikanty:

μ_{max}^N - współcz. maksymalnej, właściwej szybkości przyrostu nitryfikantów;
 $0,1612 d^{-1}$

Y_t^N - współcz. wydajności przyrostu nitryfikantów; $0,1 \frac{gsmO}{gN_{utl.}}$

K^N – stała Michaelisa-Menten dla nitryfikantów; $0,0214 gN/m^3$

k_d^N - współcz. szybkości obumierania nitryfikantów; $0,0175 d^{-1}$

3. denitryfikanty:

q_D – właściwa szybkość denitryfikacji; $0,0395 \frac{gN - NO_3^-}{gsmo \cdot d}$

Y_D – współcz. syntezy denitryfikantów; $0,456 \frac{gsmo}{gN - NO_3^-}$

C PRZYKŁAD OBLICZEŃ

I (iteracja 1: obliczenie komory napowietrzania)

1. Obliczenie komory denitryfikacji (KD)

.....pomijamy na tym etapie

2. Obliczenie komory napowietrzania (KN).

2.1. Stężenie obliczeniowe BZT₅

$$\begin{aligned}C_{OB}^{BZT_5} &= C_{obl}^{BZT_5} + C_{ref}^{BZT_5} + C_{zaw}^{BZT_5} \leq C_d^{BZT_5}; \\C_d^{BZT_5} &= 15gO_2/m^3, \\C_{ref}^{BZT_5} &= 4 \div 6gO_2/m^3 \\C_{zaw}^{BZT_5} &= 4 \div 7gO_2/m^3 \\C_{obl}^{BZT_5} &\leq C_d^{BZT_5} - C_{ref}^{BZT_5} - C_{zaw}^{BZT_5}; \\C_{obl}^{BZT_5} &\leq 15 - 4 - 6 \\C_{obl}^{BZT_5} &\leq 5gO_2/m^3 \rightarrow \text{przyj.} : C_{obl}^{BZT_5} = 5gO_2/m^3\end{aligned}$$

2.2. Czas napowietrzania

$$\begin{aligned}q^H &= \frac{\mu_{max}^H \cdot C_{obl}^{BZT_5}}{Y_t^H \cdot (K_H + C_{obl}^{BZT_5})} = \frac{1,711 \cdot 5}{1,0(76 + 5)} = 0,1056gO_2/gsm \cdot d \\q^H &= \frac{C_{OM}^{BZT_5} - C_{obl}^{BZT_5}}{X_a^H \cdot t_n} \rightarrow t_n = \frac{C_{OM}^{BZT_5} - C_{obl}^{BZT_5}}{X_a^H \cdot q^H} \\t_n &= \frac{200 - 5}{3.000 \cdot 0,1056} = 0,6155d \cong 14,8h\end{aligned}$$

2.3. Objętość komór napowietrzania

$$V_{KN} = Q_{SM}^{d_{sr}} \cdot t_n = 15.000 \cdot 0,6155 = 9.233m^3$$

2.4. Wiek osadu tlenowego

$$WO_T = \frac{1}{Y_t^H \cdot q^H - k_d^H} = \frac{1}{1,0 \cdot 0,1056 - 0,0175} = 11,35d$$

2.5. Przyrost heterotrofów

$$\Delta X_a^H = \frac{Q_{SK}^{d_{sr}} \cdot t_n \cdot X_a^H}{10^3 \cdot WO_T} = \frac{15.000 \cdot 0,6155 \cdot 3.000}{10^3 \cdot 11,35} = 2.440kgsm/d$$

2.6. Azot wbudowany w biomasę heterotrofów

$$\Delta N_1 = a_1 \cdot f_v \cdot \Delta X_a^H = 0,123 \cdot 0,7 \cdot 2.440 = 210,88 \text{ kg sm} / d$$

2.7. Azot pozostały po wbudowaniu w biomasę heterotrofów

$$C_{b_1}^{N_{kh}} = C_{b_1}^{NH_4^+} = \frac{Q_{SK}^{d_{sr}} \cdot C_{OM}^{N_{kh}} - 10^3 \cdot \Delta N_1}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{15.000 \cdot 41 - 10^3 \cdot 210,88}{15.000} = 26,99 \text{ gN} / m^3$$

2.8. Sprawdzenie WO_{\min} (tj. WO wymaganego do nitryfikacji)

$$WO_{\min} = \frac{1}{\mu_{\max}^N \cdot C_b^{N_{kh}} (K^N + C_b^{N_{kh}})^{-1} - K_d^N} = \frac{1}{0,1612 \cdot 26,99 (0,0214 + 26,99)^{-1} - 0,0175} = 6,96 d;$$

$WO_T > WO_{\min}$

.....

Jeśli: $WO_T < WO_{\min}$:

np. dla $C_{obl}^{BZT^s} = 20 \text{ gO}_2 / m^3$

$$q^H = 0,356 \text{ gO}_2 / \text{g sm} \cdot d$$

$$t_n = 0,168 h = 4 h$$

$$WO_T = 2,95 d$$

$$WO_{\min} = 6,96 d$$

$$WO_T < WO_{\min}$$

przyjęto: $WO_T = 7,0 d$

dla $WO_T = 7,0 d$:

$$q^{H'} = 0,160 \text{ gO}_2 / \text{g sm} \cdot d$$

$$C_{obl}^{BZT'} = \frac{q^{H'} \cdot Y_t^H \cdot K^H}{\mu_{\max}^H - q^{H'} \cdot Y_t^H} = 7,84 \text{ gO}_2 / m^3$$

przyjęto: $C_{obl}^{BZT^s} = 7,0 \text{ gO}_2 / m^3$, ($C_{obl}^{BZT} \leq C_{obl}^{BZT'}$)

i dalej wg obliczeń pkt 2.2 do 2.8

.....

2.9. Stężenie N_{kh} w ściekach po nitryfikacji.

$$C_{n_1}^{N_{kh}} = C_{n_1}^{NH_4^+} = \frac{K^N \cdot (k_d^N + 1/WO_T)}{\mu_{\max}^N - (k_d^N + 1/WO_T)} = \frac{0,0214(0,0175 + 1/11,35)}{0,1612 - (0,0175 + 1/11,35)} = 0,04 \text{ gN} / m^3$$

2.10. Stężenie azotanów po nitryfikacji

$$C_{n_1}^{NO_3^-} = (C_{b_1}^{N_{kh}} - C_{n_1}^{N_{kh}}) + C_{OM}^{NO_3^-} = (26,99 - 0,04) + 3,0 = 29,95 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.11. Stężenie nitryfikantów w KN

$$X_{a_1}^N = \frac{z_1 \cdot WO \cdot Y_t^N (C_{b_1}^{N_{kh}} - C_{n_1}^{N_{kh}})}{t_n (1 + K_d^N \cdot WO)}; \quad z_1 = \frac{1}{0,7} = 1,42 \frac{\text{gsm}}{\text{gsmo}}; \quad (\text{wsp. przeliczeniowy z smo na sm})$$

$$X_{a_1}^N = \frac{1,42 \cdot 11,35 \cdot 0,1(26,99 - 0,04)}{0,6155(1 + 0,0175 \cdot 11,35)} = 58,85 \text{ gsm} / \text{m}^3$$

2.12. Przyrost nitryfikantów

$$\Delta X_{a_1}^N = \frac{Q_{SK}^{d_{sr}} \cdot t_n \cdot X_{a_1}^N}{10^3 \cdot WO_T} = \frac{15.000 \cdot 0,6155 \cdot 58,85}{10^3 \cdot 11,35} = 47,87 \text{ kgsm} / \text{d}$$

2.13. Azot wbudowany w biomase heterotrofów i nitryfikantów

$$\Delta N_2 = a_1 \cdot f_v (\Delta X_a^H + \Delta X_a^N) = 0,123 \cdot 0,7(2440 + 47,87) = 214,21 \text{ kgN} / \text{d}$$

2.14. Sprawdzenie warunku zakończenia obliczeń KN

$$0,999 < \frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} < 1,001;$$

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = \frac{214,21}{210,08} = 1,020 > 1,001$$

Gdy warunek **2.14** nie jest spełniony należy wykonać 2 przybliżenie dot. usuwania związków azotu, podstawiając w pkt **2.7** w miejsce $\Delta N_1 \rightarrow \Delta N_2$.

2.7'. Azot pozostały po wbudowaniu w biomase heterotrofów i nitryfikantów

$$C_{b_2}^{N_{kh}} = C_{b_2}^{NH_4^+} = \frac{Q_{SK}^{d_{sr}} \cdot C_{OM}^{N_{kh}} - 10^3 \cdot \Delta N_2}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{15.000 \cdot 41 - 10^3 \cdot 214,21}{15.000} = 26,72 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.8'. $WO_{\min} = 6,97$; $WO_T > WO_{\min}$

2.9'. Stężenie N_{kh} w ściekach po nitryfikacji

$$C_{n_2}^{N_{kh}} = C_{n_2}^{NH_4^+} = 0,04 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.10'. Stężenie azotanów po nitryfikacji

$$C_{n_2}^{NO_3^-} = (C_{b_2}^{N_{kh}} - C_{n_2}^{N_{kh}}) + C_{OM}^{NO_3^-} = (26,72 - 0,04) + 3,0 = 29,68 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.11'. Stężenie nitryfikantów w KN

$$X_{a_2}^N = \frac{1,42 \cdot 11,35 \cdot 0,1(26,72 - 0,04)}{0,6155(1 + 0,0175 \cdot 11,35)} = 58,29 \text{ gsm} / \text{m}^3$$

2.12'. Przyrost nitryfikantów

$$\Delta X_{a_2}^N = \frac{15.000 \cdot 0,6155 \cdot 58,29}{10^3 \cdot 11,35} = 47,42 \text{ kgsm} / \text{d}$$

2.13'. Azot wbudowany w biomasę heterotrofów i nitryfikantów

$$\Delta N_3 = 0,123 \cdot 0,7(2.440 + 47,42) = 214,17 \text{ kgN} / \text{d}$$

2.14'. Sprawdzenie warunku zakończenia obliczeń KN

$$\frac{\Delta N_3}{\Delta N_2} = \frac{214,17}{214,21} = 0,9998 > 0,999$$

2.15. Skład ścieków po KN

$$C_{\text{OBN}}^{\text{BZT}_5} = 5,0 \text{ gO}_2 / \text{m}^3;$$

$$C_{\text{OBN}}^{\text{NH}_4^+} = 0,04 \text{ gN} / \text{m}^3$$

$$C_{\text{OBN}}^{\text{NO}_3^-} = C_{\text{n}_2}^{\text{NO}_3^-} - \Delta C_{\text{DN}}^{\text{N}} = 29,68 - 0 = 29,68 \text{ gN} / \text{m}^3$$

II (iteracja 2: obliczenie KD-KN)

1. Obliczenie komory denitryfikacji (KD)

1.1. Skład ścieków dopływających do KD

$$C_{\text{OM}}^{\text{BZT}_5} = 200 \text{ gO}_2 / \text{m}^3$$

$$C_{\text{OM}}^{\text{N}_{\text{Kh}}} = 41 \text{ gN} / \text{m}^3$$

$$C_{\text{OM}}^{\text{NO}_3^-} = C_{\text{OBN}}^{\text{NO}_3^-} = 29,68 \text{ gN} / \text{m}^3$$

1.2. Masa azotu do denitryfikacji

- masa $N - \text{NO}_3^-$ w dopływie do KD:

$$L_{\text{OM}}^{\text{NO}_3^-} = C_{\text{OM}}^{\text{NO}_3^-} \cdot Q_{\text{SK}}^{d_{\text{sr}}} \cdot 10^{-3} = 29,68 \cdot 15.000 \cdot 10^{-3} = 445,2 \text{ kgN} / \text{d}$$

- dopuszczalna masa N_{og} w odpływie z oczyszczalni:

$$L_{\text{OB}}^{\text{N}_{\text{og}}} = (C_{\text{OB}}^{\text{NO}_3^-} + C_{\text{OB}}^{\text{N}_{\text{Kh}}}) \cdot Q_{\text{SK}}^{d_{\text{sr}}} \cdot 10^{-3} = \underbrace{(10+2)}_{C^{\text{N}_{\text{og}}} < C_d^{\text{N}_{\text{og}}}} \cdot 15.000 \cdot 10^{-3} = \underbrace{150+30}_{L_{\text{OB}}^{\text{NO}_3^-}} = 180 \text{ kgN} / \text{d}$$

przyjęto: $C_{\text{OB}}^{\text{NO}_3^-} = 10 \text{ gN} / \text{m}^3$; $C_{\text{OB}}^{\text{N}_{\text{Kh}}} = 2 \text{ gN} / \text{m}^3$; $C_d^{\text{N}_{\text{og}}} = 15 \text{ gN} / \text{m}^3$

- masa azotu do denitryfikacji :

$$L_{DN}^N = L_{OM}^{NO_3^-} - L_{OB}^{NO_3^-} = 445,2 - 150,0 = 295,2 \text{ kgN} / d$$

1.3. Parametry technologiczne komory denitryfikacji

- wymagana ilość biomasy w KD:

$$\Sigma X_D = \frac{L_{DN}^N}{q_D} = \frac{295,2}{0,0395} = 7.492,4 \text{ kgsmo}$$

- objętość KD:

$$V_{KD} = \frac{\Sigma X_D}{f_v \cdot X_D \cdot 10^{-3}}, \text{ przy } X_D = 3.000 \text{ gsm} / m^3$$

$$V_{KD} = \frac{7.492,4}{0,7 \cdot 3.000 \cdot 10^{-3}} = 3.568 m^3$$

- czas przetrzymania w KD:

$$t_D = \frac{V_{KD}}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{3.568}{15.000} = 0,238 d = 5,70 h$$

- przyrost masy osadu w KD:

$$\Delta X_D = Y_D \cdot L_{DN}^N = 0,456 \cdot 295,2 = 134,61 \text{ kgsmo} / d \Leftrightarrow 192,3 \text{ kgsm} / d (134,61 / f_v)$$

1.4. Bilans związków azotu po denitryfikacji

- azot wbudowany w biomasę w KD:

$$\Delta C_D^N = \frac{a_1 \cdot \Delta X_D \cdot 10^3}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{0,123 \cdot 134,61 \cdot 10^3}{15.000} = 1,10 \text{ gN} / m^3$$

- azot zdenitryfikowany:

$$\Delta C_{DN}^N = \frac{L_{DN}^N \cdot 10^3}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{295,2 \cdot 10^3}{15.000} = 19,68 \text{ gN} / m^3$$

- azot w dopływie do KN:

$$C_{OBD}^N = C_{OM}^N - \Delta C_D^N = 41,0 - 1,10 = 39,90 \text{ gN} / m^3$$

1.5. Bilans związków węgla po denitryfikacji

- ubytek BZT₅ w wyniku denitryfikacji:

$$\Delta C_D^{BZT_5} = \frac{L_{DN}^N \cdot n_1 \cdot 10^3}{Q_{SK}^{d_{sr}}}; n_1 = 2,3 \frac{\text{gBZT}_5}{\text{gN} - \text{NO}_3^-}, \text{ jednostkowe zużycie BZT}_5 \text{ w procesie}$$

denitryfikacji

$$\Delta C_D^{BZT_5} = \frac{295,2 \cdot 2,3 \cdot 10^3}{15.000} = 45,26 \text{gO}_2 / \text{m}^3$$

- BZT₅ po denitryfikacji:

$$C_{OBD}^{BZT_5} = C_{OM}^{BZT_5} - \Delta C_D^{BZT_5} = 200 - 45,26 = 154,74 \text{gO}_2 / \text{m}^3$$

1.6. Skład ścieków po KD

$$C_{OBD}^{BZT_5} = 154,74 \text{gO}_2 / \text{m}^3,$$

$$C_{OBD}^{N_{kh}} = 39,90 \text{gN} / \text{m}^3,$$

$$C_{OBD}^{NO_3^-} = 0 \text{gN} / \text{m}^3$$

2. Obliczenie komory napowietrzania

2.1. Skład ścieków dopływających do KN

$$C_{OBD}^{BZT} = 154,74 \text{gO}_2 / \text{m}^3; (\text{w miejsce : } C_{OM}^{BZT_5})$$

$$C_{OBD}^{N_{kh}} = 39,90 \text{gN} / \text{m}^3; (\text{w miejsce : } C_{OM}^{N_{kh}})$$

$$C_{OBD}^{NO_3^-} = 0 \text{gN} / \text{m}^3; (\text{w miejsce : } C_{OM}^{NO_3^-})$$

2.2. Czas napowietrzania

$$t_n = \frac{154,74 - 5}{3.000 \cdot 0,1056} = 0,47 \text{d} = 11,3 \text{h}$$

2.3. Objętość komór napowietrzania

$$V_{KN} = 15.000 \cdot 0,47 = 7.050 \text{m}^3$$

2.4. Wiek osadu

$$WO_T = 11,35 \text{d}$$

2.5. Przyrost heterotrofów

$$\Delta X_a^H = \frac{15.000 \cdot 0,47 \cdot 3.000}{10^3 \cdot 11,35} = 1863,44 \text{kgsm} / \text{d}$$

2.6. Azot wbudowany w biomase heterotrofów

$$\Delta N_1 = 0,123 \cdot 0,7 \cdot 1863,44 = 160,44 \text{kgN} / \text{d}$$

2.7. Azot pozostały po wbudowaniu w biomase heterotrofów

$$C_{b_1}^{N_{kh}} = \frac{15.000 \cdot 39,90 - 10^3 \cdot 160,44}{15.000} = 29,20 \text{N} / \text{m}^3$$

2.8. Sprawdzenie WO_{\min} (tj. WO wymaganego do nitryfikacji)

$$WO_{\min} = 6,96d; \quad WO_T = 11,35d > WO_{\min}$$

2.9. Stężenie N_{Kh} w ściekach po nitryfikacji

$$C_{n_1}^{N_{Kh}} = C_{n_1}^{NH_4^+} = \frac{0,0214(0,0175 + 1/11,35)}{0,1612 - (0,0175 + 1/11,35)} = 0,04gN/m^3$$

2.10. Stężenie azotanów po nitryfikacji

$$C_{n_1}^{NO_3^-} = (29,20 - 0,04) + 0,0 = 29,16gN/m^3$$

2.11. Stężenie nitryfikantów w KN

$$X_{a_1}^N = \frac{1,42 \cdot 11,35 \cdot 0,1(29,20 - 0,04)}{0,47(1 + 0,0175 \cdot 11,35)} = 83,42gsm/m^3$$

2.12. Przyrost nitryfikantów

$$\Delta X_{a_1}^N = \frac{15.000 \cdot 0,47 \cdot 83,42}{10^3 \cdot 11,35} = 51,82kgsm/d$$

2.13. Azot wbudowany w biomasę heterotrofów i nitryfikantów

$$\Delta N_2 = 0,123 \cdot 0,7(1863,44 + 51,82) = 164,90kgN/d$$

2.14. Sprawdzenie warunku zakończenia obliczeń KN

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = \frac{164,90}{160,44} = 1,028 > 1,001$$

2.7.' Azot pozostały po wbudowaniu w biomasę heterotrofów i nitryfikantów

$$C_{b_2}^{N_{Kh}} = \frac{15.000 \cdot 39,90 - 10^3 \cdot 164,90}{15.000} = 28,91gN/m^3$$

2.8.' Sprawdzenie WO_{\min} (tj. WO wymaganego do nitryfikacji)

$$WO_{\min} = 6,96d; \quad WO_T > WO_{\min}$$

2.9.' Azot N_{Kh} po nitryfikacji

$$C_{n_2}^{N_{Kh}} = 0,04gN/m^3$$

2.10.' Stężenie azotanów po nitryfikacji

$$C_{n_2}^{NO_3^-} = 28,91 - 0,04 + 0,00 = 28,87N/m^3$$

2.11.' Stężenie nitryfikantów w KN

$$X_{a_2}^N = \frac{1,42 \cdot 11,35 \cdot 0,1(28,91 - 0,04)}{0,47(1 + 0,0175 \cdot 11,35)} = 82,59 \text{ gsm} / \text{m}^3$$

2.12.' Przyrost nitryfikantów

$$\Delta X_{a_2}^N = \frac{15.000 \cdot 0,47 \cdot 82,59}{10^3 \cdot 11,35} = 51,30 \text{ kgsm} / \text{d}$$

2.13.' Azot wbudowany w biomasę heterotrofów i nitryfikantów

$$\Delta N_3 = 0,123 \cdot 0,7(1863,44 + 51,30) = 164,86 \text{ kgN} / \text{d}$$

2.14.' Sprawdzenie warunku zakończenia obliczeń KN

$$\frac{\Delta N_3}{\Delta N_2} = \frac{164,86}{164,90} = 0,9997 > 0,999$$

2.15. Skład ścieków po KN

$$C_{OBN}^{BZT_5} = 5,0 \text{ gO}_2 / \text{m}^3$$

$$C_{OBN}^{NH_4^+} = 0,04 \text{ gN} / \text{m}^3$$

$$C_{OBN}^{NO_3^-} = C_{n_2}^{NO_3^-} - \Delta C_{DN}^N = 28,87 - 19,68 = 9,19 \text{ gN} / \text{m}^3$$

$$\left| C_{OBN}^{NO_3^-} - C_{OB}^{NO_3^-} \right| = \left| 9,19 - 10,0 \right| = 0,81 \text{ gN} / \text{m}^3 (> 0,5 \text{ gN} / \text{m}^3)$$

$C_{OBN}^{NO_3^-} < C_{OB}^{NO_3^-} \rightarrow$ zmniejszono masę azotu do denitryfikacji o:

$$\Delta L_{DN}^N = \left| 9,19 - 10,0 \right| \cdot 15.000 \cdot 10^{-3} = 12,15 \text{ kgN} / \text{d}$$

III (iteracja III: obliczenie KD-KN)

1. Obliczenie KD.

1.1. Skład ścieków dopływających do KD

$$C_{OM}^{BZT_5} = 200 \text{ gO}_2 / \text{m}^3$$

$$C_{OM}^N = 41 \text{ gN} / \text{m}^3$$

$$C_{OM}^{NO_3^-} = 28,87 \text{ gN} / \text{m}^3$$

1.2. Masa azotu do denitryfikacji

$$L_{DN}^N = L_{DN,II}^N - \Delta L_{DN}^N = 295,2 - 12,15 = 283,05 \text{ kgN} / \text{d}$$

1.3. Parametry technologiczne KD

- wymagana ilość biomasy w KD:

$$\Sigma X_D = \frac{283,05}{0,0395} = 7.184,0 \text{ kgsmo}$$

- objętość KD:

$$V_{KD} = \frac{7.184}{0,7 \cdot 3.000 \cdot 10^{-3}} = 3.421 \text{ m}^3$$

- czas przetrzymania w KD:

$$t_D = \frac{3.421}{15.000} = 0,228 \text{ d} = 5,47 \text{ h}$$

- przyrost masy osadu w KD:

$$\Delta X_D = 0,456 \cdot 283,05 = 129,07 \text{ kgsmo/d} \Leftrightarrow 184,39 \text{ kgsm/d (129,07/f}_v)$$

1.4. Bilans związków azotu po denitryfikacji

- azot wbudowany w biomasę w KD:

$$\Delta C_D^N = \frac{0,123 \cdot 129,07 \cdot 10^3}{15.000} = 1,06 \text{ gN/m}^3$$

- azot zdenitryfikowany:

$$\Delta C_{DN}^N = \frac{283,05 \cdot 10^3}{15.000} = 18,87 \text{ gN/m}^3$$

- azot N_{Kh} w dopływie do KN:

$$C_{OBD}^N = 41,0 - 1,06 = 39,94 \text{ gN/m}^3$$

1.5. Bilans związków węgla po denitryfikacji

- ubytek BZT_5 w wyniku denitryfikacji:

$$\Delta C_D^{BZT_5} = \frac{283,05 \cdot 2,3 \cdot 10^3}{15.000} = 43,40 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

- BZT_5 po denitryfikacji

$$C_{OBD}^{BZT_5} = 200 - 43,40 = 156,60 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

1.6. Skład ścieków po KD

$$C_{\text{OBD}}^{\text{BZT}_5} = 156,60 \text{gO}_2 / \text{m}^3$$

$$C_{\text{OBD}}^{\text{N}_{\text{Kh}}} = 39,94 \text{gN} / \text{m}^3$$

$$C_{\text{OBD}}^{\text{NO}_3^-} = 0 \text{gN} / \text{m}^3$$

2. Obliczenie KN:

2.1. Skład ścieków dopływających do KN

(jak w p.1.6.)

z zastrzeżeniem: $C_{\text{OM}}^{\text{NO}_3^-} = C_{\text{OBD}}^{\text{NO}_3^-} = 0,0 \text{gN} / \text{m}^3$

2.2. Czas napowietrzania

$$t_n = \frac{156,60 - 5}{3.000 \cdot 0,1056} = 0,48 \text{d} = 11,5 \text{h}$$

2.3. Objętość komór napowietrzania

$$V_N = 15.000 \cdot 0,48 = 7.200 \text{m}^3$$

2.4. Wiek osadu

$$\text{WO}_T = 11,35 \text{d}$$

2.5. Przyrost heterotrofów

$$\Delta X_a^H = \frac{15.000 \cdot 0,48 \cdot 3.000}{10^3 \cdot 11,35} = 1903,08 \text{kgsm} / \text{d}$$

2.6. Azot wbudowany w biomasę heterotrofów

$$\Delta N_1 = 0,123 \cdot 0,7 \cdot 1903,08 = 163,86 \text{kgsm} / \text{d}$$

2.7. Azot pozostały po wbudowaniu w biomasę heterotrofów

$$C_{b_1}^{\text{N}_{\text{Kh}}} = \frac{15.000 \cdot 39,94 - 10^3 \cdot 163,86}{15.000} = 29,02 \text{gN} / \text{m}^3$$

2.8. Sprawdzenie WO_{min} (tj. WO wymaganego do nitryfikacji)

$$\text{WO}_{\text{min}} = 6,96 \text{d}; \text{WO}_T > \text{WO}_{\text{min}}$$

2.9. Stężenie N_{Kh} w ściekach po nitryfikacji

$$C_{n_1}^{\text{N}_{\text{Kh}}} = 0,04 \text{gN} / \text{m}^3$$

2.10. Stężenie azotanów po nitryfikacji

$$C_{n_1}^{NO_3^-} = (29,02 - 0,04) + 0,0 = 28,98 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.11. Stężenie nitryfikantów w KN

$$X_{a_1}^N = \frac{1,42 \cdot 11,35 \cdot 0,1(29,02 - 0,04)}{0,48(1 + 0,0175 \cdot 11,35)} = 81,19 \text{ gsm} / \text{m}^3$$

2.12. Przyrost nitryfikantów w KN

$$\Delta X_{a_1}^N = \frac{15.000 \cdot 0,48}{10^3 \cdot 11,35} = 51,50 \text{ kgsm} / \text{m}^3$$

2.13. Azot wbudowany w biomase heterotrofów i nitryfikantów

$$\Delta N_2 = 0,123 \cdot 0,7(1903,08 + 51,50) = 168,29 \text{ kgN} / \text{d}$$

2.14. Sprawdzenie warunku zakończenia obliczeń KN

$$\frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = \frac{168,29}{163,86} = 1,027 > 1,001$$

2.7'. Azot pozostały po wbudowaniu w biomase heterotrofów i nitryfikantów

$$C_{b_2}^{N_{Kh}} = \frac{15.000 \cdot 39,94 - 10^3 \cdot 168,29}{15.000} = 28,72 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.8.' Sprawdzenie WO_{\min} (tj. WO wymaganego do nitryfikacji)

$$WO_{\min} = 6,96 \text{ d}; \quad WO_T > WO_{\min}$$

2.9'. Azot N_{Kh} po nitryfikacji

$$C_{n_2}^{N_{Kh}} = 0,04 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.10.' Stężenie azotanów po nitryfikacji

$$C_{n_2}^{NO_3^-} = 28,72 - 0,04 = 28,68 \text{ gN} / \text{m}^3$$

2.11'. Stężenie nitryfikantów w KN

$$X_{a_2}^N = \frac{1,42 \cdot 11,35 \cdot 0,1(28,72 - 0,04)}{0,48(1 + 0,0175 \cdot 11,35)} = 80,35 \text{ gsm} / \text{m}^3$$

2.12'. Przyrost nitryfikantów

$$\Delta X_{a_2}^N = \frac{15.000 \cdot 0,48 \cdot 80,35}{10^3 \cdot 11,35} = 50,97 \text{ kgsm} / \text{d}$$

2.13.' Azot wbudowany w biomase heterotrofów i nitryfikantów

$$\Delta N_3 = 0,123 \cdot 0,7(1903,08 + 50,97) = 168,24 \text{ kgN} / \text{m}^3$$

2.14'. Sprawdzenie warunku zakończenia obliczeń KN

$$\frac{\Delta N_3}{\Delta N_2} = \frac{168,24}{168,29} = 0,9997 > 0,999$$

2.15. Skład ścieków po KN

$$C_{OBN}^{BZT_5} = 5 \text{ gO}_2 / \text{m}^3,$$

$$C_{OBN}^{NH_4^+} = 0,04 \text{ gN} / \text{m}^3$$

$$C_{OBN}^{NO_3^-} = C_{n_2}^{NO_3^-} - \Delta C_{DN}^N = 28,68 - 18,87 = 9,81 \text{ gN} / \text{m}^3$$

$$|9,81 - 10,0| = 0,19 \text{ gN} / \text{m}^3 < 0,5 \text{ gN} / \text{m}^3$$

3. Usuwanie fosforu na drodze biologicznej.

3.1. Fosfor wbudowany w przyrastającą biomasę w KD i KN

$$\Delta P = a_2 \cdot f_v \cdot (\Delta X_D + \Delta X_a^H + \Delta X_a^N) = 0,05 \cdot 0,7(184,39 + 1903,08 + 50,97) = 74,84 \text{ kgP/d}$$

3.2. Fosfor pozostały po wbudowaniu w biomasę

$$C_{OB_r}^{P_{og}} = (C_{OM}^{P_{og}} \cdot Q_{SK}^{d_{sr}} - \Delta P \cdot 10^3) \cdot \frac{1}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = (10 \cdot 15.000 - 74,84 \cdot 10^3) \cdot \frac{1}{15.000} = 5,01 \text{ gP/m}^3$$

4. Stężenia zanieczyszczeń po biologicznym oczyszczaniu

4.1. Zawiesina

$$C_{OB_r}^{zaw} = f(O_z)$$

$$C_{OB}^{zaw} = f(O_z = 2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}) = 20 \text{ g/m}^3 \quad (< C_{dop}^{zaw})$$

O_z – obciążenie powierzchni osadnika wtórnego zawiesinami, $\text{kg/m}^2\text{h}$ (Cywiński, rys.10.25b)

4.2. BZT₅

$$C_{OB}^{BZT_5} = C_{obl}^{BZT_5} + C_{ref}^{BZT_5} + C_{zaw}^{BZT_5}$$

$$C_{OB}^{zaw} = f_z \cdot C_{OB}^{zaw}$$

$$f_z = f(WO) \rightarrow (\text{Bartoszewski, str.246})$$

$$WO = 11,35d \rightarrow f_z = 0,18 \text{ gO}_2 / \text{gsm}$$

$$C_{OB}^{BZT_5} = 5 + 4 + (0,18 \cdot 20) = 12,6 \frac{\text{gO}_2}{\text{m}^3} (< C_{dop}^{BZT_5})$$

4.3. Azot amonowy

$$C_{OB}^{NH_4^+} = C_n^{N_{kh}} = 0,04 \frac{\text{gN}}{\text{m}^3}$$

4.4. Azot Kjeldahla

$$C_{OB}^{N_{kh}} = C_{OB}^{NH_4^+} + a_1 \cdot f_v \cdot C_{OB}^{zaw} = 0,04 + 0,123 \cdot 0,7 \cdot 20 = 1,76 \text{ gN/m}^3$$

4.5. Azot azotanowy

$$C_{OB}^{NO_3^-} = C_{OBN}^{NO_3^-} = 9,81 \text{ gN/m}^3$$

4.6. Azot ogólny

$$C_{OB}^{N_{og}} = C_{OB}^{N_{kh}} + C_{OB}^{NO_3^-} = 1,76 + 9,81 = 11,57 \text{ gN/m}^3 \quad (< C_{dop}^{N_{og}})$$

4.7. Fosfor ogólny

$$C_{OB}^{P_{og}} = C_{OBr}^{P_{og}} + C_{zaw}^{P_{og}} = C_{OBr}^{P_{og}} + a_2 \cdot f_v \cdot C_{OB}^{zaw} = 5,01 + 0,05 \cdot 0,7 \cdot 20 = 5,71 \text{ gP/m}^3 \rightarrow (> C_{OB}^{P_{og}})$$

5. Usuwanie fosforu w procesie chemicznego strącania

5.1. Dawka i zapotrzebowanie koagulantu

koagulant: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (siarczan glinu hamuje fermentację osadów)

zapotrzebowanie teoretyczne: 2mole metalu/1mol P_{us} (w tym: 1mol metalu-strącanie fosforanów oraz 1 mol metalu – hydroliza soli i koagulacja);
odpowiada temu: 1 mol koagulantu/1mol P_{us}

zapotrzebowanie rzeczywiste: 0,5 mol koagul./1mol P_{us} (z powodu recyrkulacji osadu, który zawiera $\text{Fe}(\text{OH})_3$ i FePO_4)

$$D_K = 0,5 \frac{M_{cz}^K}{M_{cz}^P} (C_{OBr}^{P_{og}} - C_S^{P_{og}}) = 0,5 \cdot \frac{562}{31} (5,01 - 0,6) \cong 40,0 \text{ g/m}^3$$

$$Z_K = Q_{SK}^{d_{sr}} \cdot D_K \cdot 10^{-3} = 15.000 \cdot 40,0 \cdot 10^{-3} = 600 \text{ kg/d}$$

5.2. Stężenie fosforu ogólnego po chemicznym strącaniu

$$C_{OBC}^{P_{og}} = C_S^{P_{og}} + a_2 \cdot f_v \cdot C_{OB}^{zaw} = 0,6 + 0,05 \cdot 0,7 \cdot 20 = 1,30 \text{ gP/m}^3 \rightarrow (< C_d^{P_{og}})$$

5.3. Przyrost osadu z chemicznego strącania

$$\Delta X_p = Q_{SK}^{d_{sr}} \cdot p_1 \cdot (C_{OBr}^{P_{og}} - C_S^{P_{og}}) \cdot 10^{-3} = 15.000 \cdot 4,87 (5,01 - 0,6) \cdot 10^{-3} = 322,2 \text{ kgsm/d}$$

p_1 -jednostkowa ilość osadu, g sm/g P_{us} ;

$p_1=4,87 \text{ gsm/gP}_{us}$, (dla $D_k=1 \text{ mol Fe}^{3+}/\text{molP}_{us}$)

5.4. Przyrost osadu w KOCZ (KD i KN) po chemicznym strącaniu

$$\Delta X = \Delta X_a + \Delta X_p = \Delta X_D + \Delta X_a^H + \Delta X_a^N + \Delta X_p = 184,39 + 1903,08 + 50,97 + 322,2 = 2460,64 \text{ kgsm/d}$$

$\Delta X_a = 2138,44$

5.5. Stężenie osadu w KOCZ po chemicznym strącaniu

$$X = \frac{WO_c \cdot \Delta X}{V_c} = \frac{15,3 \cdot 2460,64}{10621} = 3,54 \text{ kgsm/m}^3 = 3540 \text{ gsm/m}^3 ;$$

gdzie: WO_c – całkowity wiek osadu aktywnego biologicznie, d

$$WO_c = \frac{V_c (X_a^H + X_a^N) \cdot 10^{-3}}{\Delta X_a} = \frac{10.621 \cdot (3.000 + 80,35) \cdot 10^{-3}}{2138,44} = 15,3 \text{ d}$$

$$V_C = V_{KD} + V_{KN} = 3.421 + 7.200 = 10621 \text{ m}^3;$$

V_C - objętość komór, w których zachodzi przyrost osadu czynnego

6. Sedymentacja osadu oraz recykulacja osadu (α) i azotanów (β)

6.1. Obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika wtórnego

$$O_h = \frac{O_z}{X} = \frac{2,0}{3,54} = 0,56 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{h}$$

Na podstawie O_h projektuje się osadnik wtórny (dobór – na podstawie katalogu dla osadników wtórnych OR_{wt})

6.2. Zawartość suchej masy w osadzie recykulowanym

$$X_r = \frac{10^6}{IO} \text{ przyjęto: } IO = 100 \text{ cm}^3/\text{gsm} \text{ (} IO=80-150 \text{ cm}^3/\text{g)}$$

$$X_r = \frac{10^6}{100} = 10.000 \text{ gsm} / \text{m}^3$$

6.3. Stopień recykulacji i przepływ osadu recykulowanego

$$\alpha = \frac{Q_\alpha}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{X}{X_r - X} = \frac{3540}{10.000 - 3540} = 0,55;$$

$$Q_\alpha = \alpha \cdot Q_{SK}^{d_{sr}} = 0,55 \cdot 15.000 = 8.250 \text{ m}^3 / \text{d}$$

6.4. Stopień recykulacji i przepływ strumienia azotanów

$$(\alpha + \beta) = \frac{Q_{\alpha+\beta}}{Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{L_{DN}^N \cdot 10^3}{C_{OB}^{NO_3^-} \cdot Q_{SK}^{d_{sr}}} = \frac{283,05 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 15.000} = 1,924$$

$$\beta = (\alpha + \beta) - \alpha = 1,924 - 0,55 = 1,374$$

$$Q_\beta = \beta \cdot Q_{SK}^{d_{sr}} = 1,374 \cdot 15.000 = 20.610 \text{ m}^3 / \text{d}$$

7. Komora beztlenowa

$$V_{KB} = t_{KB} \times Q_{SK}^{d_{sr}} = 0,083 \times 15.000 = 1245 \text{ m}^3$$

$$t_{KB} = 1,5 - 2 \text{ h, przyjęto } 2 \text{ h} = 0,083 \text{ d}$$

8. Napowietrzanie (KN)

8.1. Zapotrzebowanie tlenu

$$Z_{O_2} = 1,47(C_{O_2}^{BZT_5} - C_{O_2}^{BZT_5}) \cdot Q_{sr}^{d_{sr}} \cdot 10^{-3} - 1,42 \cdot 0,7 \cdot \Delta X^H + b' \cdot f \cdot (X^H + X^N) V_{KM} \cdot 10^{-3} \\ + 4,6(C_{N_{Kh}}^{N_{Kh}} - C_{N_{Kh}}^{N_{Kh}}) Q_{sr}^{d_{sr}} \cdot 10^{-3}, kgO_2 / d$$

I – zapotrzebowanie O₂ na utlenienie rozpuszczonych związków węgla dopływających do KOCZ,

II – zmniejszenie Z_{O₂} uwzględniające węgiel wbudowany w przyrastającą biomasę,

III – zapotrzebowanie O₂ związane z oddychaniem wewnątrzkomórkowym,

IV – zapotrzebowanie O₂ na nityfikację

Gdzie: $C_{O_2}^{BZT_5} = C_{obl}^{BZT_5} + C_{ref}^{BZT_5} = 5 + 4 = 9 gO_2 / m^3$

b' – współczynnik zapotrzebowania O₂ na oddychanie wewnątrzkomórkowe;

$b' = (0,1-0,12)gO_2/gsmo$

$$Z_{O_2} = 1,47(156,6 - 9) \cdot 15.000 \cdot 10^{-3} - 1,42 \cdot 0,7 \cdot 1903,08 + 0,1 \cdot 0,7(3000 + 80,35)7200 \cdot 10^{-3} \\ + 4,6(28,72 - 0,04) \cdot 15.000 \cdot 10^{-3} = \underset{I}{3254,6} - \underset{II}{1891,7} + \underset{III}{1552,5} + \underset{IV}{1978,9} = 4.894,3 kgO_2 / d$$

8.2. Zapotrzebowanie powietrza

$$Z_{pow} = \frac{Z_{O_2}}{U_{O_2} \times \rho_{pow} \times K_P} = \frac{4.894,3}{0,2314 \times 1,2928 \times K_P} = \dots\dots\dots, m^3/d$$

U_{O₂} – udział masowy tlenu w powietrzu atmosferycznym, 0,2314 kgO₂/kg pow.

ρ_{pow.} – gęstość powietrza, 1,2928 kg/m³

K_P – współczynnik wykorzystania tlenu, -

Dla konkretnego urządzenia do napowietrzania drobnopęcherzykowego należy z jego charakterystyki odczytać wartości parametrów: K_P oraz jednostkowej wydajności dyfuzora q_d [m³/h·szt.].

Wówczas wymagana liczba dyfuzorów wynosi:

$$n = 1,2 \frac{Z_{pow}}{24 \times q_d} = \dots\dots\dots, \text{ szt.}$$

Otrzymaną wartość należy traktować jako minimalną liczbę dyfuzorów i po zestawieniu z wartościami zalecanymi przez producenta wybrać większą z nich. Następnie należy rozmieścić dyfuzory w komorach w zależności od ich kształtu oraz koncepcji rozmieszczenia.

Dyfuzory można dobierać w oparciu o dane z załącznika **Z10** lub inne udostępniane przez producentów systemów napowietrzania drobnopęcherzykowego.