



# ZŁOŻA BIOLOGICZNE

## poradnik projektanta

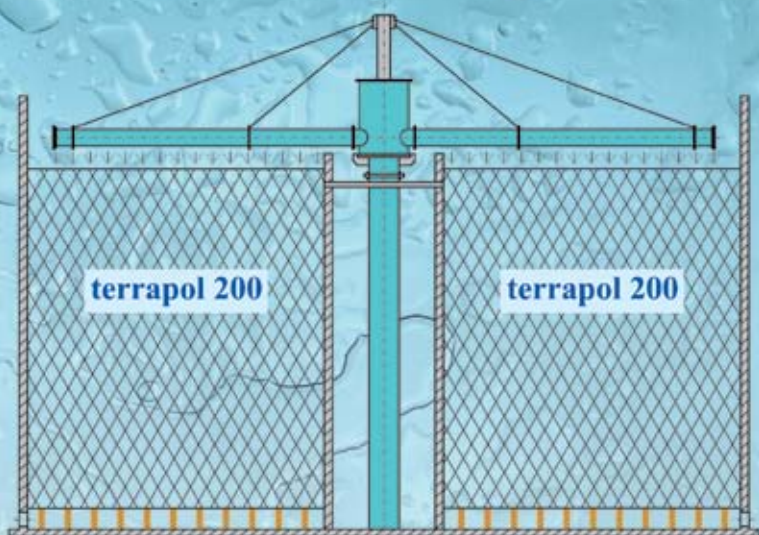
**Zbigniew Heidrich**

Złoża biologiczne - nowe spojrzenie

**Wacław Kusznik**

Wysokoefektywne systemy oczyszczania ścieków  
z użyciem złoż biologicznych nowej generacji

# terracon-pol®



Wypełnienie ziół biologicznych typu terrapol®200



**terracon-pol® sp. z o.o.**

47-300 Krapkowice, ul. Opolska 77

[www.terracon-pol.com](http://www.terracon-pol.com)

**Zbigniew Heidrich**

*Złóża biologiczne. Nowe spojrzenie.*

**Wacław Kusznik**

*Wysokofektywne systemy  
oczyszczania ścieków z użyciem złóż  
biologicznych nowej generacji.*

**P o r a d n i k   p r o j e k t a n t a**

Opole 2006 r.

## Wstęp

Oddajemy w Państwa ręce oczekiwany przez projektantów zajmujących się projektowaniem obiektów oczyszczalni ścieków poradnik.

Ma on na celu przedstawienie zasad projektowania złożeń biologicznych z wykorzystaniem nowoczesnych wypełnień z tworzyw sztucznych, stanowiących złoża biologiczne nowej generacji. Wychodzimy z założenia, że przedstawione zasady projektowania pozwolą na wykorzystywanie złożeń biologicznych wszędzie tam, gdzie jest to technologicznie i ekonomicznie uzasadnione.

Nowoczesne złoża biologiczne ze względu na wysoką skuteczność w eliminacji związków węgla oraz azotu, zachowując przy tym prostą, bardzo energooszczędną zasadę pracy, przeżywają swój renesans.

Poradnik składa się z dwóch części napisanych przez:

Prof. nzw. dr hab. inż. Zbigniewa Heidricha z Politechniki Warszawskiej i doc. dr inż. Waclawa Kusznika z Politechniki Śląskiej w Gliwicach - naukowców uznanych od lat w dziedzinie oczyszczania ścieków.

Poradnik posiada wytyczne projektowania oparte na ATV-A 135, obejmujące aktualny stan techniki światowej.

Przekazując Państwu ten poradnik cieszymy się, że możemy wnieść swój wkład w tworzenie czystego i zdrowego środowiska.

W imieniu wydawcy  
Józef Michali

# Spis treści

Wstęp	3
Spis treści	5
<b>I. Z. Heidrich - Złóża biologiczne. Nowe spojrzenie.</b>	
1. Wprowadzenie	7
2. Ogólne zasady projektowania złóż biologicznych	8
3. Oczyszczalnia ścieków w Starachowicach jako przykład prawidłowego działania złóż biologicznych	14
4. Podsumowanie	15
5. Literatura	15
<b>II. W. Kuszniak - Wysokoefektywne systemy oczyszczania     ścieków z użyciem złóż biologicznych nowej generacji.</b>	
1. Wprowadzenie	16
2. Nitryfikacja i denitryfikacja ścieków na złożach biologicznych	17
2.1. Złóża zraszane nitryfikujące	17
2.1.1. Złoże nitryfikujące z wypełnieniem <b>terrapak®200</b> w Brzeszczach	20
2.2. Układy technologiczne ze złożami nitryfikującymi i denitryfikującymi	22
3. Technologiczne układy hybrydowe z osadem czynnym i złożami biologicznymi	25
3.1. Układy hybrydowe: denitryfikujące złoże biologiczne i nitryfikujący osad czynny	26
3.2. Układy hybrydowe: denitryfikujący osad czynny i złoże biologiczne nitryfikujące	27
4. Podsumowanie	31
5. Literatura	32
Charakterystyka pakietowych wypełnień złóż biologicznych <b>terrapol®200</b> dla procesu nitryfikacji	34
Projektowanie złóż biologicznych wypełnionych pakietami <b>terrapol®200</b>	35

## Złóża biologiczne. Nowe spojrzenie.

### 1. Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach praktycznie zaniechano stosowania złóż biologicznych do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych lub ścieków o zbliżonych właściwościach, na korzyść urządzeń osadu czynnego, często pracujących w bardzo złożonych układach technologicznych wymagających wysoko wykwalifikowanej obsługi. Warto przy tym zwrócić uwagę również na to, że tendencja ta dotyczy nie tylko średnich czy dużych oczyszczalni ścieków ale również oczyszczalni ścieków przeznaczonych dla terenów wiejskich i małych jednostek osadniczych.

Jaka jest przyczyna i czy takie podejście do zagadnienia biologicznego oczyszczania ścieków jest słuszne ?

Przyczyna niechęci do stosowania złóż biologicznych jest bardzo prosta i jednoznaczna, gdyż wielu fachowców zajmujących się oczyszczaniem ścieków twierdzi, że złoża biologiczne nie dają możliwości realizowania procesów nityfikacji i denityfikacji, a jedynie możliwe jest usuwanie związków węgla (BZT<sub>5</sub> i ChZT) oraz zawiesin ogólnych. Nie jest to prawdą o czym mowa w dalszej części niniejszego artykułu.

Niechęć do stosowania złóż biologicznych wynika również z tego, że według powszechnej opinii ich wadą jest konstrukcja obudowy złóż, konstrukcja dna oraz nieodpowiednie materiały wypełniające charakteryzujące się względnie niską powierzchnią właściwą. Są to również argumenty do obalenia. Obudowa złóż biologicznych może być wykonana z lekkich elementów stalowych, natomiast dno złoża może być wykonane z bardzo twardego i trwałego drewna bongossi.

Takie rozwiązanie konstrukcyjne gwarantuje eksploatację złóż biologicznych przez okres 40-50 lat.

Przy wypełnieniu złóż biologicznych należy odstąpić od stosowania materiałów tradycyjnych (kamień, żużel, koks itp.) o małej powierzchni właściwej rzędu  $90 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , na korzyść materiałów luźnych lub pakietowych wykonanych z tworzyw sztucznych o powierzchni właściwej do  $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$  i większej.

Sformułowane tu argumenty o charakterze ogólnym już chyba częściowo przekonują o tym, że zastosowanie złóż biologicznych, w uzasadnionych przypadkach, będzie ze wszech miar uzasadnione.

Dodatkowym argumentem przemawiającym na korzyść złóż biologicznych może być zawsze strona energetyczna, gdyż zużycie energii elektrycznej wiąże się tu jedynie z koniecznością podnoszenia ścieków.

## 2. Ogólne zasady projektowania złóż biologicznych

Zastosowanie złóż biologicznych wymaga na ogół stosowania wstępnego mechanicznego oczyszczania obejmującego takie urządzenia jak kraty, piaskowniki oraz osadniki wstępne. Zaleca się przy tym aby rolę osadników wstępnych pełniły osadniki Imhoffa, gdyż pozwoli to na znaczne uproszczenie gospodarki osadowej bowiem w komorach fermentacyjnych tych osadników można z powodzeniem realizować proces stabilizacji osadu w warunkach beztlenowych, w odniesieniu do osadów wstępnych i wtórnych, jak też osadów po chemicznym strącaniu.

Efekty oczyszczania ścieków w części mechanicznej oczyszczalni ścieków można przyjmować następująco:

- BZT <sub>5</sub>	25 ÷ 40 %
- Zawiesiny ogólne	60 ÷ 70 %
- Azot ogólny	10 ÷ 15 %
- Fosfor ogólny	5 ÷ 10 %

Efekty te mogą być znacznie zwiększone poprzez wprowadzenie wstępnego chemicznego strącania (koagulacji objętościowej).

Tak przygotowane ścieki podawane są na złoża biologiczne, przy czym dla umożliwienia realizacji procesów biochemicznych rozkładów zanieczyszczeń organicznych, nityfikacji i częściowej denityfikacji zaleca się stosowanie złóż dwustopniowych, gdzie pierwszy stopień to złoża do realizacji biochemicznego rozkładu zanieczyszczeń organicznych, a drugi stopień - to złoża nityfikacyjne, w których realizowany jest również proces częściowej denityfikacji (w dolnej części złoża, gdzie działają bakterie anaerobowe). Pomiedzy złożami pierwszego i drugiego stopnia zaleca się stosowanie osadników wtórnych pośrednich, a po złożach drugiego stopnia osadników wtórnych końcowych.

Do osadników wtórnych końcowych można podawać koagulant (np. PIX), którego zadaniem będzie chemiczne strącanie związków fosforu.

Generalnie rzecz biorąc objętość wypełnienia złóż biologicznych określa się z zależności:

$$V_w = \frac{\Sigma \text{BZT}_5}{A} \quad (1)$$

gdzie:

- $V_w$  - objętość wypełnienia złoża,  $m^3$ ; która stanowi podstawę do określenia liczby i wymiarów złóż biologicznych (średnica i wysokość wypełnienia)
- $\Sigma \text{BZT}_5$  - ładunek zanieczyszczeń, wyrażony przez BZT<sub>5</sub>, obejmujący zanieczyszczenia zawarte w ściekach po oczyszczeniu mechanicznym i w ściekach recykulowanych,  $kg \text{ BZT}_5/d$ ;
- $A$  - obciążenie złoża ładunkiem zanieczyszczeń organicznych,  $kg \text{ BZT}_5/m^3 \cdot d$

Wartość parametru  $A$  zależy od wymaganego stopnia oczyszczania ścieków na złożach ( ${}^{\eta} \text{BZT}_5$ ) oraz temperatury ścieków określonej współczynnikiem  $K$  (dla  $t = 10 \text{ }^{\circ}C$  -  $K = 0,76$ ; dla  $t = 16 \text{ }^{\circ}C$  -  $K = 1,0$ ; oraz dla  $t = 22 \text{ }^{\circ}C$  -  $K = 1,32$ ) i może być wyznaczona z formuły Rinckiego [2], [3]:

$${}^{\eta} \text{BZT}_5 = 0,93 - 0,17 \frac{A}{K} \quad (2)$$

gdzie:

- $A$  - w  $kg \text{ BZT}_5/m^3 \cdot d$

Dla złóż biologicznych I stopnia zaleca się przyjmowanie wartości parametru  $A$  w granicach  $0,4$  do  $0,8 \text{ } kg \text{ BZT}_5/m^3 \cdot d$ , co przy  $K = 0,76$  odpowiada sprawności działania złoża od  $84 \%$  do  $75 \%$ , w odniesieniu do BZT<sub>5</sub>.

Ładunek zanieczyszczeń w ściekach surowych (po wstępnym mechanicznym oczyszczeniu) można wyznaczyć z wzoru:

$$\Sigma \text{BZT}_5 = \frac{S_o \cdot Q_{d\acute{s}r}}{100} \quad (3)$$



gdzie:

- $\Sigma_{BZT5}$  - w kg BZT<sub>5</sub>/d;  
 $S_o$  - wartość BZT<sub>5</sub> ścieków po mechanicznym oczyszczeniu, ale bez uwzględnienia recyrkulacji, g/m<sup>3</sup>;  
 $Q_{d\acute{s}r}$  - średnia dobowa ilość ścieków dopływających do oczyszczalni, m<sup>3</sup>/d

Uwzględniając recyrkulację ścieków, stężenie mieszaniny ścieków trafiających do złóż biologicznych wyrazić można wzorem:

$$S_m = \frac{S_o}{1 + \frac{R}{100}} \quad (4)$$

gdzie:

- $S_m, S_o$  - BZT<sub>5</sub> ścieków w g/m<sup>3</sup>, odpowiednio mieszaniny ścieków i ścieków po mechanicznym oczyszczeniu,  
 $R$  - stopień recyrkulacji ścieków, %; zgodnie z zaleceniami ATV135 -  $R \leq 100$  % [1]

Zgodnie z zaleceniami ATV135 [1] przepływ miarodajny do obliczania złóż biologicznych wynika z wzoru:

$$Q_{hd} = \frac{Q_{d\acute{s}r}}{14} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \quad (5)$$

co powoduje że

$$Q_{d\acute{s}r} = \frac{14 \cdot Q_{hd}}{1 + \frac{R}{100}} \quad (6)$$

Uwzględniając zależności (3), (4) oraz (6) we wzorze (1), objętość złoź biologicznych można obliczyć ze wzoru:

$$V = \frac{14 \cdot S_m \cdot Q_{hd}}{1000 \cdot A} = \frac{14 \cdot S_m \cdot q_m \cdot F}{1000 \cdot A} = F \cdot H \quad (7)$$

gdzie:

- F - powierzchnia złoź biologicznych, m<sup>2</sup>;  
 q<sub>m</sub> - obciążenie hydrauliczne powierzchni złoź łącznie z recyrkulacją, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h;  
 H - wysokość wypełnienia, m; zaleca się przyjmowanie  
 H = 2,8 ÷ 4,2 m

Ze wzoru (7) wynika, że wysokość złoź biologicznych można określić posługując się wzorem:

$$H = \frac{14 \cdot S_m \cdot q_m}{1000 \cdot A} \quad (8)$$

Szczegółowe zalecenie dotyczące projektowania złoź biologicznych zawarte są w ATV135 [1] w podziale na złoź bez nityfikacji i złoź, w których ten proces jest realizowany. Uwzględniając jedynie złoź z wypełnieniem z tworzyw sztucznych zalecenia te można ująć posługując się następującymi parametrami:

#### A. Złoź biologiczne bez nityfikacji

- a) obciążenie złoź ładunkiem zanieczyszczeń organicznych

$$A = 0,004 F_w \quad (9)$$

gdzie:

- A - w kg BZT<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> · d;  
 F<sub>w</sub> - powierzchnia właściwa wypełnienia, m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>;

- b) obciążenie powierzchni właściwej wypełnienia ładunkiem zanieczyszczeń organicznych

$$A' = \frac{14 \cdot S_m \cdot Q_{hd}}{V \cdot F_w} \leq 4 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d} \quad (10)$$

c) obciążenie hydrauliczne powierzchni złoża (łącznie ze ściekami recykulowanymi)

$$q_m = \frac{F_w + 100}{(167 \div 250)} \quad (11)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} q_m & - \text{w } m^3/m^2 \cdot h; \\ F_w & - \text{w } m^2/m^3; \end{aligned}$$

B. Złóża biologiczne z nityfikacją

$$a) \quad A = 0,002 \cdot F_w \quad (12)$$

$$b) \quad A' \leq 2 \text{ g BZT}_5/m^2 \cdot d \quad (13)$$

$$c) \quad q_m = \frac{F_w + 50}{(167 \div 250)} \quad (14)$$

Analizując wzory od (9) do (14) można zauważyć, że praktycznie wszystkie najistotniejsze parametry pracy złóż biologicznych zależne są od powierzchni właściwej wypełnienia ( $F_w$ ). Wykorzystując przedstawione zależności i wstawiając je do wzoru (8) można podać wzór pozwalający na wyznaczenie wymaganej wysokości wypełnienia dla złóż biologicznych bez nityfikacji:

$$H = (0,014 \div 0,021) \cdot S_m (1 + 100 \cdot F_w^{-1}) \quad (15)$$

Podobnie przy wykorzystaniu wzorów (12) i (14) wysokość wypełnienia złóż biologicznych nityfikacyjnych może być wyznaczona ze wzoru:

$$H = (0,028 \div 0,042) \cdot S_m (1 + 50 \cdot F_w^{-1}) \quad (16)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} H & - \text{w } m; \\ S_m & - \text{w } g \text{ BZT}_5/m^3 \\ F_w & - \text{w } m^2/m^3 \end{aligned}$$

we wzorach (15) i (16).

Analizując wzory (15) i (16) można zauważyć, że w celu obniżenia wymiarów złóż biologicznych należy dążyć do stosowania wypełnień o możliwie największej powierzchni właściwej. Takie możliwości dają wypełnienia pakietowe m.in. **terrapol®200** firmy terracon-pol Krapkowice oraz BIO-NET®, produkowane w Niemczech.

Materiał **terrapol®200** produkowany jest z twardego PCV i charakteryzuje się powierzchnią właściwą: 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (**terrapol®200** AF 40/100), 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (**terrapol®200** AF 30/150) oraz 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (**terrapol®200** AF 20/200), i produkowany jest przez firmę **terracon-pol®** sp. z o.o. Krapkowice.

Materiał **terrapol®200** dzięki specjalnej konstrukcji charakteryzuje się:

- a) pewnością niezatkania się drogi przepływu
- b) jasno zdefiniowaną strukturą pracy. Cała powierzchnia wewnętrzna pakietów jest wykorzystana w 100 %. Przekrój kanalików jest tak duży, że powietrze dociera do każdego miejsca złoża biologicznego
- c) materiał **terrapol®200** dopuszcza chodzenie obsługi po jego powierzchni w przypadku gdy zachodzi konieczność np. naprawy zraszacza
- d) pakiety materiału **terrapol®200** nie ulegają zgnieceniu przez co nie osiadają na dnie zbiornika
- e) pakiety nie wywołują żadnego nacisku na ściany zewnętrzne co pozwala na stosowanie lekkiej obudowy złóż biologicznych
- f) ponieważ pakiety materiału **terrapol®200** są samonośne, konstrukcja nośna (ruszt) posiada bardzo dużą powierzchnię przepływu powietrza (powyżej 75 %), co umożliwia bezproblemowy, pewny przepływ tlenu, niezbędnego do realizacji biologicznego oczyszczania ścieków
- g) pakiety materiału **terrapol®200** są wielokrotnie lżejsze od wypełnień tradycyjnych

Pakiety BIO-NET® produkowane są z polietylenu o wymiarach 50x50x60 cm i charakteryzują się powierzchnią 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> oraz 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Struktura siatkowo-rurowa materiału BIO-NET® oddziałuje bardzo korzystnie na równomierne zaopatrzenie złoża w tlen i sprawia że nadają się one zwłaszcza do zastosowania w złożach zanurzonych. Doświadczenia ze stosowaniem pakietów BIO-NET® dowiodły, że oprócz bardzo wysokich efektów obniżenia wskaźników BZT<sub>5</sub> i ChZT, zachodzi również proces pełnej nityfikacji.

Omówione dwa rodzaje wypełnień pakietowych mają charakter przykładowy. Oczywiście nie wolno zapominać o tym, że w złożach biologicznych można również stosować wypełnienia luźne w postaci kształtek, przy czym ich powierzchnia właściwa powinna być bezwzględnie większa od 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

### 3. Oczyszczalnia ścieków w Starachowicach jako przykład prawidłowego działania złóż biologicznych [4]

Biologiczne oczyszczanie ścieków w oczyszczalni miejskiej w Starachowicach realizowane jest na dwustopniowych złożach biologicznych o tradycyjnej konstrukcji i tradycyjnym wypełnieniu.

Ilość ścieków poddawanych oczyszczeniu wynosi ok. 20 000 m<sup>3</sup>/d, przy czym jest to wartość odpowiadająca prawdopodobieństwu występowania 85 %. Ścieki dopływające do oczyszczalni charakteryzują się względnie niskimi stężeniami zanieczyszczeń, charakterystycznymi dla ścieków miejskich.

Przewidywana rozbudowa oczyszczalni ścieków w Starachowicach, dla osiągnięcia przepustowości rzędu 25 000 m<sup>3</sup>/d wymagać będzie przeprowadzenia prac modernizacyjnych w jej części biologicznej.

Podstawowe zabiegi modernizacyjne to:

- a) wymiana wypełnienia w złożach I stopnia na wypełnienie pakietowe typu **terrapol®200** AF 30/150 o powierzchni właściwej 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- b) budowa osadników wtórnych pośrednich, umieszczonych po złożach biologicznych I stopnia
- c) wymiana wypełnienia w złożach II stopnia na wypełnienie pakietowe typu **terrapol®200** AF 20/200 o powierzchni właściwej 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- d) budowa instalacji do chemicznego strącania, np. przy użyciu koagulantu PIX, podawanego do komory rozdziału przed osadnikami wtórnymi końcowymi

Oczywiście modernizacja i rozbudowa oczyszczalni ścieków pociągnie za sobą konieczność modernizacji urządzeń do unieszkodliwiania i przeróbki osadów ściekowych, ze względu na zwiększoną ilość osadów, ale jest to zagadnienie wykraczające poza zakres niniejszego artykułu.

Podsumowując można stwierdzić, że oczyszczalnia ścieków w Starachowicach jest jednym z wielu obiektów w Polsce, które bazuje na oczyszczaniu biologicznym z wykorzystaniem złóż biologicznych, dając szansę na spełnienie wymagań w odniesieniu do ścieków oczyszczonych, wymagań aktualnie obowiązujących.

#### 4. Podsumowanie

Uwzględniając rozważania zaprezentowane w artykule, odpowiedź na pytanie stosować czy nie stosować złożeń biologicznych? **jest zdecydowanie twierdząca.**

Złożeń biologicznych stanowią w wielu przypadkach alternatywę dla urządzeń osadu czynnego. Dotyczy to szczególnie małych i średnich oczyszczalni ścieków.

Projektując mechaniczno-biologiczne oczyszczalnie ścieków z zastosowaniem złożeń biologicznych zaleca się wykorzystanie informacji zebranych w niniejszym artykule ze szczególnym uwzględnieniem zasad projektowania złożeń oraz z uwzględnieniem innego podejścia do wstępnego oczyszczania ścieków, jak też innego spojrzenia na rozwiązanie urządzeń do unieszkodliwiania osadów.

#### 5. Literatura

1. ATV A135. Grundsätze für die Bemessung von Tropfkörpern und Tauchkörpern mit Anschlußwerten über 500 Einwohnergleichwerten  
2. Auflage, St. Augustin 1989.
2. Rincke G.: Neue Gesichtspunkte zur Abwasserreinigung mit Tropfkörper  
Das Gas- und Wasserfach. T.108, 1967, s. 667-673
3. Roman M.: Kanalizacja. Oczyszczanie ścieków. ARKADY Warszawa 1981
4. Heidrich Z., Czumaj P., Dzik M.: Analiza sprawności działania oraz proponowany zakres modernizacji i rozbudowy oczyszczalni ścieków w Starachowicach. Materiały Ogólnopolskiego Seminarium dot. „Eksploatacji oczyszczalni ścieków„. Kielce 1995, s. 287-300.

Warszawa, październik 1995 r.

# Wysokoefektywne systemy oczyszczania ścieków z użyciem złóż biologicznych nowej generacji

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach w technologii oczyszczania ścieków obserwuje się gwałtowny rozwój metody osadu czynnego. Pojawiły się układy wielofazowe i wielostopniowe, przystosowane do biologicznego usuwania związków biogennych. W Polsce tendencje te zostały zapoczątkowane przez Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi [1].

Systemy osadu czynnego do zintegrowanego usuwania związków organicznych i biogennych cechuje zwykle złożony układ technologiczny oraz konieczność dokładnego przestrzegania licznych parametrów technologicznych [2,3]. W konsekwencji na oczyszczalni niezbędne są kosztowne systemy automatycznej kontroli i sterowania procesem technologicznym. Konstrukcje takich systemów jak również niezbędne na ten element oczyszczalni nakłady inwestycyjne są zbliżone dla dużych i małych oczyszczalni ścieków [4].

Praktyka ostatnich lat potwierdziła zasadność stosowania systemów osadu czynnego do zintegrowanego usuwania związków organicznych i biogennych na dużych oczyszczalniach ścieków [5,6].

Otwarty natomiast pozostaje problem małych i średnich oczyszczalni ścieków, w tym modernizacja oczyszczalni ścieków, eksploatujących obecnie złoża biologiczne [7].

Obok aspektów czysto technologicznych duże znaczenie posiadają przy tym wskaźniki ekonomiczne, w tym koszty eksploatacji związane z energochłonnością [8].

Jak słusznie zauważył HEIDRICH w ostatnich kilkunastu latach praktycznie zaniedbano stosowania złoź biologicznych nie tylko w średnich czy dużych oczyszczalniach ścieków lecz również w oczyszczalniach przeznaczonych dla terenów wiejskich [9]. Zjawisko to wynikało głównie z błędnego przekonania, że przy użyciu złoź biologicznych nie można uzyskać procesów nityfikacji i denityfikacji, a także z konieczności stosowania w Polsce do końca lat osiemdziesiątych przestarzałych materiałów do konstrukcji złoź. Materiały te jak żużel, szlaka wielkopieczowa lub koks cechują się małą powierzchnią właściwą i dużym ciężarem, wymagającym masywnych fundamentów i obudów złoź.

Tymczasem należy w pełni zgodzić się z sugestią GROMCA, że złoza biologiczne przeżywają w świecie swój renesans [10]. W wielu krajach w skali technicznej działają złoza nityfikujące i denityfikujące.

Ciekawym rozwiązaniem są tak zwane systemy hybrydowe, łączące w jednym układzie technologicznym osad czynny oraz złoza zraszane. Z uwagi na identyczną strefę klimatyczną ciekawe są doświadczenia niemieckie [11,12,13].

W praktyce zastosowanie złoź biologicznych nowej generacji można rozważyć w następujących przypadkach:

- jako złoź nityfikujących
- jako złoź nityfikujących i denityfikujących
- w układach hybrydowych, w połączeniu z procesem osadu czynnego
- do podczyszczania stężonych ścieków przed ich zrzutem do kanalizacji miejskich np. w przemyśle spożywczym

## 2. Nityfikacja i denityfikacja ścieków na złożach biologicznych

### 2.1. Złoza zraszane nityfikujące

Jak wykazali KURBIEL i BANAS [14] w wielu przypadkach, dla spełnienia wymagań Rozporządzenia z dnia 5 listopada 1991 roku [1] obok usuwania związków organicznych i fosforu wystarczający jest proces nityfikacji. Rozwiązanie takie jest słuszne dla małych oczyszczalni ścieków oraz przy modernizacji oczyszczalni istniejących, stosujących złoza biologiczne.

Według wymagań ATV [15], nityfikacje na złożu biologicznym można uzyskać przy spełnieniu warunków:

- obciążenie powierzchni wypełnienia złoza  $B_A \leq 2 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
- skład ścieków zapewnia proporcję  $N_{\text{og}} : \text{BZT}_5 \leq 0,3$



Przy stosowaniu nowoczesnych wypełnień z tworzyw sztucznych odpowiada to obciążeniom objętości złoża:

<b>Pow. właściwa wypełnienia złoża AR:</b>	<b>Obciążenie objętości złoża BR:</b>
100 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,2 kg BZT <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> · d
150 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,3 kg BZT <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> · d
200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,4 kg BZT <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> · d

Zasady projektowania złóż biologicznych podają wytyczne ATV [15]:

Wymagana objętość złoża wynosi

$$V = \frac{C_o \cdot Q_d}{1000 B_R} \quad , m^3 \quad (1)$$

Zaś wysokość wypełnienia

$$H = \frac{14 \cdot q_A(1 + RV) \cdot C_m}{1000 B_R} \quad , m \quad (2)$$

gdzie:

$C_o$  - stężenie ścieków oczyszczonych mechanicznie, g BZT<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>

$C_m = \frac{C_o}{1 + RV}$  - stężenie mieszaniny ścieków oczyszczonych mechanicznie i recyrkulatu, g BZT<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>

$Q_d$  - przepływ średniodobowy, m<sup>3</sup>/d

$B_R$  - obciążenie objętości złoża, kg BZT<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> · d

$q_A$  - obciążenie powierzchni złoża (bez recyrkulacji), m/h

$RV$  - stopień recyrkulacji, l

przy uwzględnieniu, że przepływ dzienny godzinowy

$$Q_{dh} = \frac{Q_d}{14} \quad , m^3/h \quad (3)$$

uzyskuje się wzór na objętość złoża

$$V = \frac{14 \cdot C_o \cdot Q_{dh}}{1000 B_R} \quad , m^3 \quad (4)$$

Dla złożeń nityfikujących zaleca się następujące obciążenia powierzchni:

$A_R \approx 100 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$q_A (1 + RV)$	$= 0,6 \div 1,0$	, m/h
$A_R \approx 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$q_A (1 + RV)$	$= 0,8 \div 1,2$	, m/h
$A_R \approx 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$	$q_A (1 + RV)$	$= 1,0 \div 1,5$	, m/h

oraz stopień recyrkulacji w odniesieniu do  $Q_d$

$$RV \leq 1$$

Dla obliczenia skuteczności procesu nityfikacji konieczna jest znajomość współczynnika nityfikacji [16]

$$r = X \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Dla wypełnienia pakietowego ze sztucznego tworzywa typu **terrapol®200** w temp. 10 °C maksymalna wartość współczynnika nityfikacji wynosi:

$$r_{10} = 40 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Wpływ temperatury w zakresie pomiędzy 10 °C a 20 °C przedstawia wzór

$$r_t = r_{10^\circ\text{C}} \cdot 1,035^{(T-10)} \quad (5)$$

co daje wielkości:

$$r_{10^\circ\text{C}} = 40,0 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$r_{14^\circ\text{C}} = 45,9 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$r_{17^\circ\text{C}} = 50,8 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$r_{20^\circ\text{C}} = 56,4 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Współczynnik nityfikacji obniża się przy stężeniu azotu amonowego w ściekach poniżej 5 mg N-NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>.

Zależność tę podaje wzór:

$$r' = \frac{C_{\text{N-NH}_4}}{K + C_{\text{N-NH}_4}} \cdot r_{\text{max}} \quad (6)$$

gdzie:

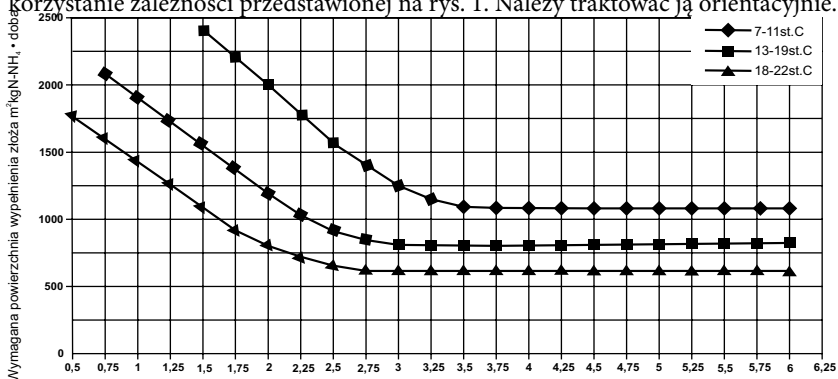
$C_{\text{N-NH}_4}$  - stężenie azotu amonowego w ściekach, mg N-NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>

$K$  - stała wynosząca 2 mg N-NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>

$r_{\text{max}}$  - maksymalny współczynnik w danej temperaturze

Podane wyżej obliczenia dla procesu nityfikacji i wypełnienia **terrapol<sup>®</sup>200** obejmują wartości maksymalne. Do obliczeń tych należy przyjmować średnie wartości stężenia azotu amonowego z dłuższego okresu czasu. Należy również przyjąć pewien współczynnik bezpieczeństwa, zmniejszający współczynnik nityfikacji, zależnie od zaobserwowanych wahań stężenia azotu amonowego.

Przy obliczaniu procesu nityfikacji pewne ułatwienie może spowodować wykorzystanie zależności przedstawionej na rys. 1. Należy traktować ją orientacyjnie.



Rys.1 Zależność stężenia azotu amonowego w odplywie ze zloza oraz powierzchni wypehnienia zloza, przypadajacego na 1 kg N-NH<sub>4</sub> i dobe

### 2.1.1. Zloze nityfikujace z wypehieniem terrapak<sup>®</sup>200 w Brzeszczach

Zloze nityfikacyjne z wypehieniem pakietowym z tworzywa sztucznego **terrapak<sup>®</sup>200** zastosowano przy modernizacji oczyszczalni sciekow w Brzeszczach. Oczyszczalnia sciekow w Brzeszczach przed modernizacja pracowala przy wykorzystaniu nastepujacych urzadzen:

- krata
- piaskownik
- osadnik Imhoffa
- zloze biologiczne splukiwane
- osadnik wtorny

Osady z osadnika wtornego zawracano przed osadnik Imhoffa.

Zloze pracowalo jako splukiwane, jego wypehienie skladlo sie z bazaltu o powierzchni wlasciwej 50 ÷ 60 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Poniewaz powierzchnia zloza byla slabo rozwinieta, przy ilosci sciekow rzędu 3800 m<sup>3</sup>/d w sciekach oczyszczonych uzyskiwano:

- BZT<sub>5</sub> 32 ÷ 45 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>
- zawiesiny ogolne 22 ÷ 43 mg/dm<sup>3</sup>

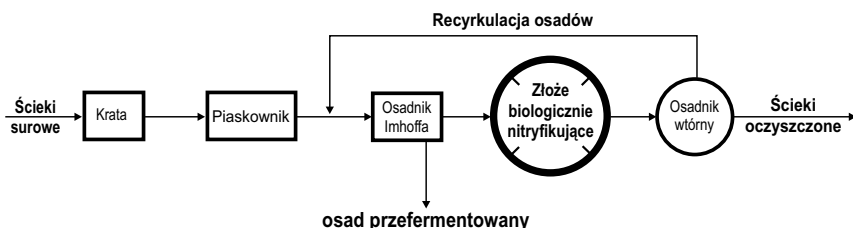
- azot amonowy 22 ÷ 23,4 mg N-NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>
- azot ogólny 27 ÷ 36,8 mg N/dm<sup>3</sup>
- fosfor ogólny 5,6 ÷ 7,8 mg P/dm<sup>3</sup>

Proces modernizacji oczyszczalni w Brzeszczach podzielono na dwa etapy:

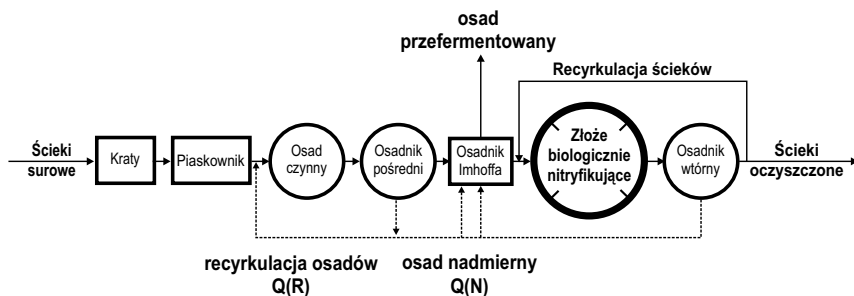
pierwszy, zakończony w 1994 roku obejmował wymianę wypełnienia złoża z bazaltowego na pakietowe z tworzyw sztucznych typu **terrapak®200**, o powierzchni właściwej 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,

drugi, obejmował włączenie instalacji osadu czynnego, wysokoobciążonego, pomiędzy piaskownikiem i osadnikiem Imhoffa. Zakończenie tego etapu przewiduje się w końcu 1995 roku.

Układy technologiczne obu etapów modernizacji charakteryzują rysunki 2 i 3.



Rys. 2 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków BRZESZCZE po I etapie modernizacji



Rys. 3 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków BRZESZCZE po II etapie modernizacji

Celem pierwszego etapu modernizacji było uzyskanie składu ścieków oczyszczonych wymaganego przez Rozporządzenie z dnia 5 listopada 1991 roku.

Zamiar ten się w pełni powiódł.

Włączenie w drugim etapie modernizacji instalacji osadu czynnego, pracującej przy parametrach stopnia A z technologii AB ma na celu umożliwienie przyjęcia ilości ścieków zwiększonej do ponad 5000 m<sup>3</sup>/d oraz uzyskanie parametrów ścieków obowiązujących od 1.01.2000 r.

Dla dotrzymania warunków dotyczących stopnia usunięcia fosforu zaprojektowano końcowe, przed osadnikami wtórnymi, strącanie chemiczne przy użyciu preparatu PIX.

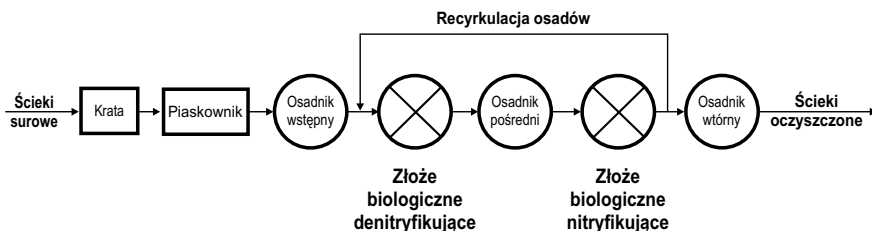
## 2.2. Układy technologiczne ze złożami nitryfikującymi i denitryfikującymi

Złóża biologiczne znalazły również zastosowanie w procesie denitryfikacji ścieków, po ich modyfikacji polegającej głównie na szczelnym przykryciu złożeń za pomocą materiału z tworzyw sztucznych.

Przykładem wykorzystania złożeń biologicznych do procesów nitryfikacji i denitryfikacji jest oczyszczalnia ścieków w Neuhausen. Na rysunku 4 przedstawiono schemat technologiczny tak pracującej oczyszczalni, który obejmuje [17]:

- wstępne oczyszczanie mechaniczne,
- złożo biologiczne przystosowane do denitryfikacji,
- osadnik pośredni,
- złożo biologiczne przystosowane do nitryfikacji,
- osadnik wtórny.

Ścieki po złożu nitryfikującym są recykulowane przed złożo denitryfikujące.



Rys. 4

Dwustopniowa oczyszczalnia biologiczna (złożo denitryfikujące + złożo nitryfikujące) przystosowana do usuwania związków azotowych (Neuhausen).

W tabeli 1 [17] zebrano dane dotyczące pracy oczyszczalni ścieków w Neuhausen. Po zastosowaniu denitryfikacji na złożu w tej oczyszczalni uzyskano bardzo dobrą redukcję azotanów wynoszącą ponad 80 %.

Tabela 1

Parametry pracy oczyszczalni ścieków w Neuhausen (X ,92) [17].

Charakterystyka oczyszczalni	Parametr	Jednostka	Wielkość
Liczba mieszkańców		RM	15 000
złoże biologiczne denitryf.	powierzchnia	m <sup>2</sup>	600
złoże biologiczne denitryf.	objętość	m <sup>3</sup>	2 100
odpływ z osadnika wstępnego	przepływ	m <sup>3</sup> /d	2 778
	temperatura	°C	15,4
	ChZT	mg/l	269,9
	BZT <sub>5</sub>	mg/l	127,5
	N-NH <sub>4</sub>	mg/l	33,3
	N <sub>og</sub>	mg/l	42,1
złoże biologiczne denitryfikujące	obc. substr.	kg/(m <sup>3</sup> d)	0,43
	obc. hydraulicz.	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	1,26
	stop. recyr.	I	1,1
dopływ do złoża	N-NO <sub>3</sub>	mg/l	8,9
odpływ ze złoża	N-NO <sub>3</sub>	mg/l	1,7
usunięcie na złożu	ChZT	%	44,4
	BZT <sub>5</sub>	%	64,2
	N-NO <sub>3</sub>	%	80,9
odpływ po osadniku wtórnym	ChZT	mg/l	32,9
	N-NO <sub>3</sub>	mg/l	15,4
	N-NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
	N-NH <sub>4</sub>	mg/l	1,7

Ciekawym sposobem usuwania związków azotowych ze ścieków jest prowadzenie **symultanicznej** denitryfikacji przy użyciu złóż biologicznych. Przez symultaniczną denitryfikację należy rozumieć takie rozwiązanie , w którym denitryfikacja zachodzi na tym samym złożu co nityfikacja. Na razie nie ustalono dokładnej pracy takiego złoża. Jest to najczęściej złożo z wypełnieniem z tworzyw sztucznych.

Górna część takiego złoża musi być szczelnie obudowana, gdyż tam zachodzi denitryfikacja. W dolnej części złoża zachodzi nityfikacja.

Przykładem tak prowadzonego procesu oczyszczania ścieków jest oczyszczalnia w Zwosten (Niemcy). Schemat oczyszczalni w Zwosten obejmuje [17]:

- wstępne oczyszczanie mechaniczne,
- złoże biologiczne,
- osadnik wtórny.

Konieczna jest recyrkulacja ścieków po osadniku wtórnym przed złoże biologiczne. Prowadzona jest także recyrkulacja osadów przed piaskownik. Parametry pracy oczyszczalni zebrano w tabeli 2.

Tabela 2

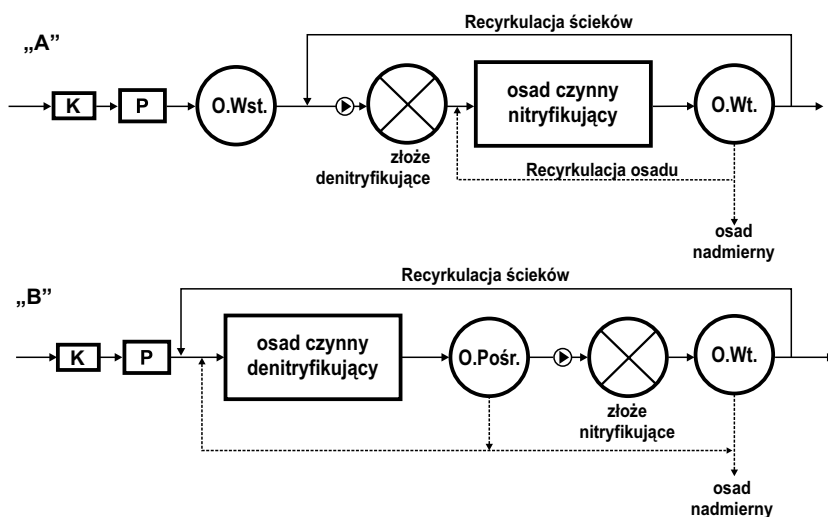
Parametry pracy oczyszczalni ścieków w Zwosten [12]

Charakterystyka oczyszczalni	Parametr	Jednostka	Wielkość
Liczba mieszkańców		RM	4 500
Objętość złoża		m <sup>3</sup>	730
Powierzchnia złoża		m <sup>2</sup>	201
po osadniku wstępnym	przepływ	m <sup>3</sup> /d	1 346
	temperatura	°C	14,9
	BZT <sub>5</sub>	mg/l	120
	N-NH <sub>4</sub>	mg/l	22
	N <sub>og</sub>	mg/l	25,7
parametry złoża	obc. substr.	kg/(m <sup>3</sup> · d)	0,22
	obc. hydraulicz.	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> · h)	0,53
	recyrkulacja	I	0,9
Ścieki oczyszczone	N-NO <sub>3</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	4,5
	N-NO <sub>2</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	0,35
	N-NH <sub>4</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	9,9
	N <sub>og</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	14,7

### 3. Technologiczne układy hybrydowe z osadem czynnymi i złożami biologicznymi

Układy technologiczne, obejmujące instalację osadu czynnego i złoża biologiczne przedstawiono na rysunku 5. Jako podstawowe można wyróżnić dwa rozwiązania:

- złożo biologiczne denitryfikujące i nityfikujący osad czynny (schemat „A” z rys. 5)
- osad czynny denitryfikujący i nityfikujące złożo biologiczne (schemat „B” z rys. 5)



Oznaczenia:

K - krata

P - piaskownik

O.Wst. - osadnik wstępny

O.Wt. - osadnik wtórny

O.Pośr. - osadnik pośredni

Rys. 5

Przykłady zastosowania złóż biologicznych w hybrydowych układach technologicznych do zintegrowanego usuwania węgla i azotu.



### 3. 1. Układy hybrydowe: denitryfikujące złoża biologiczne i nityfikujący osad czynny

Taki układ technologiczny zastosowano między innymi na oczyszczalni miejskiej w Esslingen-Berkheim. Oczyszczalnia ta obejmuje (rys. 5 „A”):

- wstępne oczyszczanie mechaniczne,
- złożo biologiczne przystosowane do denitryfikacji,
- osad czynny nityfikujący,
- osadnik wtórny.

Stosowane są dwie recyrkulacje:

- osadów z osadnika wtórnego do komory osadu czynnego,
- ścieków sklarowanych w osadniku wtórnym na złożo biologiczne.

Zmodyfikowane złożo biologiczne zastosowane do denitryfikacji musi być szczelnie obudowane aby wyeliminować dostęp powietrza do złoża.

W tabeli 3 zebrano dane dotyczące oczyszczalni w Esslingen-Berkheim obsługującej 13 000 RLM. Dzięki wykorzystaniu złoża zraszanego do denitryfikacji, na złożu tym uzyskano dobre usunięcie N-NO<sub>3</sub> do 79,5 %

Tabela 3.  
Parametry pracy oczyszczalni miejskiej w Esslingen-Berkheim[17]

Charakterystyka oczyszczalni	Parametr	Jednostka	Wielkość
Liczba mieszkańców		RM	13 000
Złożo biologiczne	powierzchnia	m <sup>2</sup>	143
Złożo biologiczne	objętość	m <sup>3</sup>	406
odpływ z osadnika wstępnego	przepływ	m <sup>3</sup> /d	1 830
	temperatura	°C	13,1
	ChZT	mg/l	267
	BZT <sub>5</sub>	mg/l	161
	N-NH <sub>4</sub>	mg/l	30,7
	N <sub>og</sub>	mg/l	39,3
złożo biologiczne denitryfikujące	obc. substr.	kg/(m <sup>3</sup> d)	0,63
	obc. hydraul.	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)	1,54
	stopień recyrkulacji	%	123
dopływ na złożo biologiczne	N-NO <sub>3</sub>	mg/l	7,8
odpływ ze złoża biologicznego	N-NO <sub>3</sub>	mg/l	1,6
usunięcie na złożu biologicznym	ChZT	%	38
	BZT <sub>5</sub>	%	62,1
	N-NO <sub>3</sub>	%	79,5
odpływ po osadniku wtórnym	ChZT	mgO <sub>2</sub> /l	26,1
	N-NO <sub>3</sub>	mg/l	13,7
	N-NO <sub>2</sub>	mg/l	0,1
	N-NH <sub>4</sub>	mg/l	0,4

### 3. 2. Układy hybrydowe: denitryfikujący osad czynny i złożo biologiczne nitryfikujące

Przykładem dwustopniowej oczyszczalni ścieków, obejmującej osad czynny i złożo biologiczne uwzględniające nitryfikację i symultaniczne strącanie fosforu, jest wybudowana w 1989 r. oczyszczalnia dla miasta Roth (Niemcy). Zaostrenie przepisów dotyczących usuwania biogenów, skłoniło miasto do podjęcia prób denitryfikacji na nieobciążonej w pełni oczyszczalni. Nasunęła się tu koncepcja zastosowania denitryfikacji wstępnej w anoksycznej części komory osadu czynnego poprzez recyrkulację ścieków zawierających azotany ze złóż biologicznych.

Badania modelowe dowiodły, iż w instalacji osad czynny - złożo biologiczne ze wstępną denitryfikacją pomimo znacznego obciążenia hydraulicznego osadu przez dodatkową recyrkulację, można było uzyskać bardzo wysokie usunięcie azotu. Wykonane badania laboratoryjne wskazały na graniczne wartości parametrów takiego układu [13]:

- BZT5 przed biologią powinno wynosić od 150 ÷ 200 mg/l
- temperatura 15 ÷ 17 °C
- stężenie osadu 3 ÷ 4,5 g/l
- 250 % recyrkulacji (100 % z osadnika pośredniego + 150 % z osadnika wtórnego)

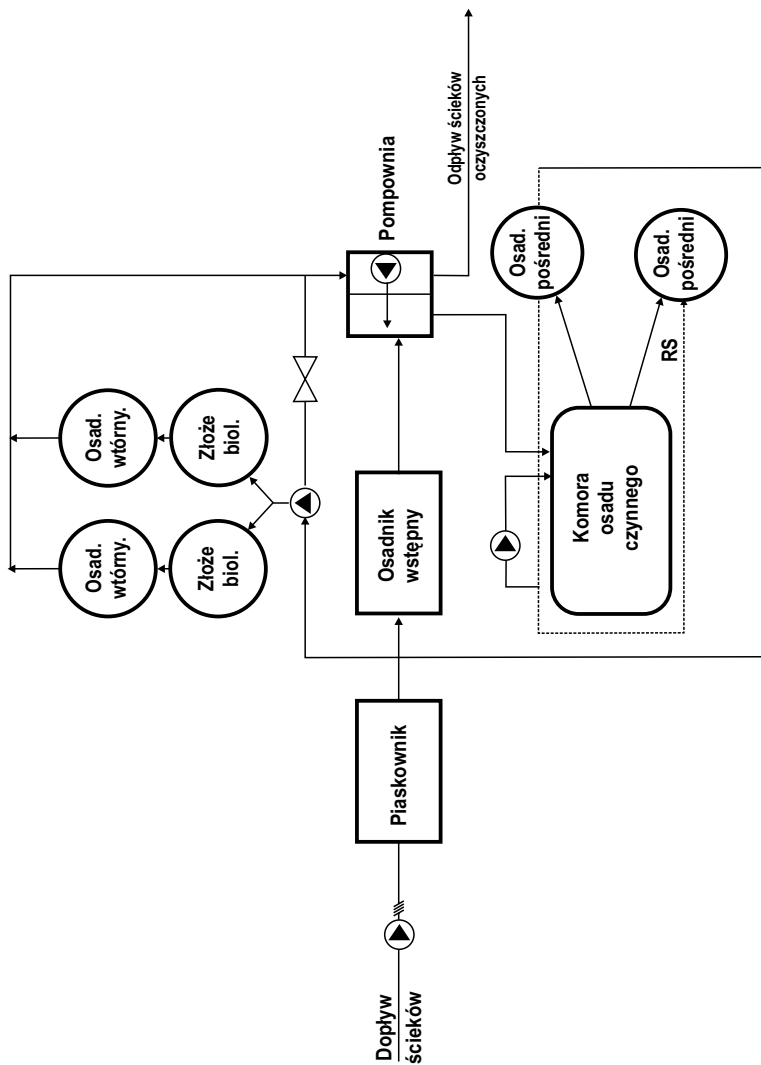
W badaniach modelowych uzyskane obciążenie komory przez N-NO<sub>3</sub> wynosiło przeciętnie 0,22 kg N/dobę. Po dobrych efektach uzyskanych w skali modelowej jesienią 1992 r. wdrożono proces denitryfikacji w skali technicznej. Zakres wymaganej modernizacji był niewielki, gdyż należało jedynie zainstalować pompy recyrkulacyjne o dużej wydajności oraz zapewnić mieszanie w nienapowietrzanej części komory osadu czynnego.

Rys.6 przedstawia schemat pracy oczyszczalni od grudnia 1992 r. po zastosowaniu denitryfikacji. W tabeli 4 podane są wartości (50 i 85 %) dopływu do części biologicznej w okresie XII ,92 do X ,93, wartości te zarejestrowano z 48 pomiarów 24 godzinnych i porównano z wielkościami projektowanymi.

Tabela 4.

Porównanie parametrów ścieków oczyszczalni Roth z wielkościami projektowymi [13].

Parametr	Jednostka	Wielkości projekt. 1989 r	XII 92		X 93	
			50%	85%	50%	85%
Liczba mieszkańców	RM	65000	38000		48000	
Dopływ w okresie bezdeszczowym	m <sup>3</sup> /d	15115	10000		10800	
Dopływ w okresie deszczowym	m <sup>3</sup> /d		14000		24000	
BZT <sub>5</sub>	kg/d	2600	1500		1920	
N <sub>ogólny</sub>	kg/d	650	350		450	
P <sub>ogólny</sub>	kg/d	150	68		85	
Obciążenie osadu czynnego	kg/(m <sup>3</sup> d)	1,8	1		1,3	
Obciążenie złóż biologicznych	kg/(m <sup>3</sup> d)	0,1	0,04		0,07	



Rys. 6 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Roth, (XII 1992 r.)

Na oczyszczalni w Roth przeprowadzono również badania dotyczące parametrów hydraulicznych zmodernizowanej oczyszczalni oraz zachowania związków azotowych w I i II stopniu biologii [13].

Przez oczyszczalnię płynęło 420 m<sup>3</sup>/h, w tym od 20 ÷ 30 % wód obcych. Maksymalny przepływ dwugodzinny wynosił 650 m<sup>3</sup>/h.

Recyrkulację osadów z osadnika pośredniego do komór osadu czynnego realizowano przy pomocy pompy bezstopniowej (przy użyciu falownika) w celu zachowania 100 % recyrkulacji. Natomiast recyrkulację ścieków z osadnika wtórnego do strefy denitryfikacji, utrzymywano na stałym poziomie około 650 m<sup>3</sup>/h.

Dla obu stopni biologii w okresie bezdeszczowej stosowano łącznie 250 % recyrkulacji do komór osadu czynnego i 150 % recyrkulacji na złożo biologiczne. W czasie opadów przy dopływie do oczyszczalni powyżej 700 m<sup>3</sup>/h wyłączano recyrkulację na I stopień (osad czynny) dla uniknięcia przeciążenia hydraulicznego.

Z uwagi na rozcieńczenie azotu całkowitego, wartości azotu w odpływie nie przekraczały z reguły 18 mg/l.

Przemiany związków azotowych w I i II stopniu biologii oczyszczalni w Roth (dla dopływu bezdeszczowego 10 000 m<sup>3</sup>/d) zestawiono w tabeli 5 [13].

Tabela 5.  
Przemiany związków azotowych w I i II stopniu biologii oczyszczalni  
Roth (dla przepływu bezdeszczowego) V - X 1993 r. [13].

Charakterystyka ścieków	Parametr	kg/d	mg/l
Dopływ do stopnia I	N <sub>og</sub>	350	35
Dopływ do stopnia II	N-NH <sub>4</sub>	2,0	0,2
	N-NO <sub>2</sub>	2,0	0,2
	N-NO <sub>3</sub>	119,0	11,9
Usunięcie N	N <sub>wbudowany</sub> w biomasę	74	7,4
	N <sub>den.</sub>	153	15,3
	N <sub>całk.</sub>	227	22,7

Usunięcie azotu wynosiło przeciętnie 227 kg/dobę co daje skuteczność 86 %, w tym na denitryfikację przypada usunięcie 153 kg N/d (44 %).

Dane zestawione w tabeli 6 [13] wskazują, że po wprowadzeniu denitryfikacji uzyskano również podwyższone usunięcie fosforu. Dla defosfatacji chemicznej, do odcieku z sadu czynnego dozowane są sole glinu i żelaza. Dozowanie stosuje się według wartości molo-wych (Me/P = 0,4).

Stechiometrycznie można w ten sposób ( na drodze chemicznej) usunąć 40 % ładunku fosforu tj. 27 kg/dobę. Średnie stężenie fosforu w odpływie z całej oczyszczalni (przy suchej pogodzie) wynosi 0,8 mg/l [13]. Z tego wynika że 48 % ładunku fosforu jest usuwane biologicznie. Jest to 2 razy więcej niż wynika z normalnego wbudowania w biomasę.

Dwustopniowy układ technologiczny oparty w I stopniu na osadzie czynnym, a w II stopniu na nityfikującym złożu biologicznym znalazł zastosowanie także w takich miastach jak Karlsruhe, Werden, Kempten [11]. Również modernizacja oczyszczalni ze złożami biologicznymi w Sindelfingen była oparta o taki właśnie schemat technologiczny. Pierwszy stopień biologii stanowi denitryfikujący osad czynny, zaś na złożu biologicznym prowadzona jest nityfikacja (rys. 5 „B”).

Parametry pracy tej oczyszczalni podano w tabeli 7.

Tabela 6.  
Usuwanie fosforu I i II stopniu biologicznym oczyszczalni Roth(V÷X 1993 r.) [13]

Charakterystyka ścieków	Parametr	kg/d	mg/l
Dopływ do I stopnia	$P_{og}$	68	6,8
Odpływ po II stopniu	$P_{og}$	8	0,8
Usunięcie P poprzez zastosowanie:			
- chemicznego strącania	$P_{og}$	27	2,7
- wbudowanie w biomasę	$P_{og}$	15	1,5
- podwyższone	$P_{og}$	18	1,8

Tabela 7.  
Parametry pracy oczyszczalni w Sindelfingen [12].

Parametr	Jednostka	Wielkość
Liczba mieszkańców	RM	226 000
Objętość złoża	$m^3$	30 360
Powierzchnia złoża	$m^2$	6 600
Parametry oczyszczania:		
- po osadniku wstępnym		
♦ przepływ	$m^3/d$	44 300
♦ temperatura	$^{\circ}C$	10,2
♦ ChZT	$mg/dm^3$	280,3
♦ BZT <sub>5</sub>	$mg/dm^3$	164,4
♦ N-NH <sub>4</sub>	$mg/dm^3$	27,5
♦ N <sub>og</sub>	$mg/dm^3$	39,3
- osad czynny denitryfikujący		
♦ recyrkulacja	%	240
♦ obciążenie osadu (A)	$kg/kg \cdot d$	0,12
♦ obciążenie komory napow. (A')	$kg/m^3 \cdot d$	0,216
♦ zaw. os. czynnego (2)	$g/m^3$	1,80
- ścieki oczyszczone		
♦ ChZT	$mg/dm^3$	112,2
♦ BZT <sub>5</sub>	$mg/dm^3$	15
♦ N-NO <sub>3</sub>	$mg/dm^3$	1,7
♦ N-NH <sub>4</sub>	$mg/dm^3$	11,1

#### 4. Podsumowanie

Fascynacja możliwościami procesu osadu czynnego oraz brak materiałów do konstrukcji nowoczesnych złożeń biologicznych zahamowały przez wiele lat rozwój technologii złożeń biologicznych. Przełom nastąpił kilka lat temu, wraz z pojawieniem się wypełnień pakietowych z tworzyw sztucznych oraz lekkich obudów złożeń.

Przykładem mogą tu być sprawdzone w Polsce z dużymi efektami samonośne wypełnienia pakietowe wykonane z twardego PCV przez firmę **terracon-pol® sp. z o.o. Krapkowice** o nazwie **terrapol®200** o powierzchni właściwej 100, 150 i 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> oraz 95 % przestrzeni wolnej.

Przykładem nowoczesnej, lekkiej obudowy mogą być konstrukcje z blach obustronnie emaliowanych, oferowane między innymi przez Hutę „Pokój” w Rudzie Śląskiej.

Nowoczesne złoża biologiczne mogą być stosowane przy budowie nowych i modernizacji istniejących oczyszczalni jako:

- złoża nityfikujące,
- złoża denityfikujące i nityfikujące pracujące szeregowo,
- złoża z symultaniczną denityfikacją i nityfikacją,
- złoża denityfikujące w układach hybrydowych - złoża i osad czynny nityfikujący
- złoża nityfikujące w układach hybrydowych - osad czynny denityfikujący i złożo
- złoża do podczyszczenia stężonych ścieków przemysłowych o charakterze organicznym

Szczególne znaczenie posiadają złoża nityfikujące z uwagi na bardzo dużą energooszczędność. Układ hybrydowy: osad czynny denityfikujący oraz złoża biologiczne nityfikujące wydają się być najbardziej energooszczędnym układem do usuwania węgla organicznego i azotu.

Układy technologiczne do biologicznego usuwania związków organicznych i azotowych należy uzupełnić o instalację do chemicznego strącania fosforu.

Do podstawowych zalet złożeń biologicznych, ważnych zwłaszcza dla małych i średnich oczyszczalni ścieków należą:

- prosta konstrukcja,
- małe zapotrzebowanie terenu,
- prostota obsługi,
- duża energooszczędność,
- duża tolerancja na gwałtowne zmiany obciążenia,
- mała wrażliwość na zmiany składu ścieków.

Zalety te czynią złoza biologiczne również szczególnie przydatnymi przy oczyszczaniu wybranych ścieków przemysłowych.  
Potwierdzają to szerokie przykłady krajowe i europejskie.

## 5. Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi.  
Dziennik Ustaw RP nr. 116 z dnia 16 grudnia 1991 r.
2. BIERNACKA J., KURBIEL J.: „Ocena systemów osadu czynnego do zintegrowanego usuwania związków organicznych i biogenych”.  
Materiały konferencji naukowej: „Transfer i ocena technologii oczyszczania ścieków”, Kielce, marzec 1995 r.
3. KUSZNIK W.: „Aktualne rozwiązania w technologii oczyszczania ścieków oraz wymagania dotyczące eksploatacji”.  
Materiały sympozjum „Hydroforum II”, Wisła, 1995 r.
4. KUSZNIK W.: „Ocena systemów kontroli i sterowania procesami w oczyszczalni ścieków”.  
Materiały konferencji naukowej „Transfer i ocena technologii oczyszczania ścieków”, Kielce, marzec 1995 r.
5. KUSZNIK W.: „Oczyszczalnia ścieków w Cieszynie, spostrzeżenia z rozruchu i wstępnej eksploatacji”.  
Materiały ogólnopolskiego seminarium „Eksploatacja oczyszczalni ścieków”, Cieszyn, maj 1995 r.
6. KUSZNIK W.: „Oczyszczalnie ścieków w Cieszynie i Czechowicach-Dziedzicach, charakterystyka technologii”.  
Materiały seminarium projektantów. Ustroń, maj 1995 r.
7. KUSZNIK W., SIKORA J.: „Problemy modernizacji mechaniczno-biologicznych oczyszczalni ścieków”.  
Materiały na XXIX Konferencję „Postęp techniczny w dziedzinie oczyszczania ścieków”. Katowice, październik 1995 r.

8. KUSZNIK W.: „Energoozczędność jako jeden z efektów modernizacji oczyszczalni ścieków”.  
Materiały konferencji naukowo-technicznej „Energetyczne aspekty oczyszczania ścieków”. Ustroń, wrzesień 1995 r.
9. HEIDRICH Z.: „Złoza biologiczne - tak czy nie”.  
Materiały na XXIX Konferencję „Postęp techniczny w dziedzinie oczyszczania ścieków”. Katowice, październik 1995 r.
10. GROMIEC M.: „Ocena technologii i rozwiązań złoź biologicznych”.  
Materiały konferencji naukowej „Transfer i ocena technologii oczyszczania ścieków”. Kielce, marzec 1995 r.
11. Praca zbiorowa: „Umgestaltung zweistufiger biologischer Kläranlage zur Stickstoffelimination”. Korrespondenz Abwasser, 41. 1, 95-100, (1994).
12. MAISCH H., SCHWENTNER B.: „Umrüstung einer Tropfkörperanlage zur Stickstoffelimination am Beispiel des Klärwerkes Sindelfingen”.  
Korrespondenz Abwasser, 41. 9, 1564-1578, (1994).
13. SCHLEYPEN P., NORDMAN W.: „Stickstoff und Pfosphatelimination an einer zweistufigen Belebungs- Tropfkörperanlage”.  
Korrespondenz Abwasser, 41. 12, 2242-2249, (1994).
14. KURBIEL J., BANAS J.: „Technologiczne implikacje zmiany normatywów ochrony wód w Polsce”. Maszynopis.
15. Praca zbiorowa: „Grundsätze für die Bemessung von Tropfkörper und Tauchkörper mit Anschlußwerten über 500 Einwohnergleichwerten”.  
ATV, Arbeitsblatt A135, 1989.
16. Praca zbiorowa: „*terrapak*<sup>®</sup>200 w procesie nityfikacji”. Maszynopis.
17. Praca zbiorowa: „Denitrifikation bei Tropfkörperanlagen”.  
Korrespondenz Abwasser, 41. 11, 2077-2081, (1994).



## Charakterystyka pakietowych wypełnień złóż biologicznych terrapol®200 dla procesu nitryfikacji.

Optymalny rodzaj materiału terrapol®200 dla procesu nitryfikacji należy dobrać uwzględniając następujące współczynniki:

<b>terrapol®200</b> , AF 40/100, 100 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	<b>1,0</b>
<b>terrapol®200</b> , AF 30/150, 150 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	<b>0,93</b>
<b>terrapol®200</b> , AF 20/200, 200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	<b>0,88</b>




z czego wynika:

<b>terrapol®200</b> , AF 40/100, 100 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	$r_{10^{\circ}\text{C}} = 40 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
<b>terrapol®200</b> , AF 30/150, 150 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	$r_{10^{\circ}\text{C}} = 37 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
<b>terrapol®200</b> , AF 20/200, 200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	$r_{10^{\circ}\text{C}} = 35 \text{ mg H-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{h}$

lub jako współczynnik objętościowy:

<b>terrapol®200</b> , AF 40/100, 100 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	$r_{10^{\circ}\text{C}} = 4,0 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
<b>terrapol®200</b> , AF 30/150, 150 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	$r_{10^{\circ}\text{C}} = 5,5 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
<b>terrapol®200</b> , AF 20/200, 200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	-	$r_{10^{\circ}\text{C}} = 7,0 \text{ mg N-NH}_4/\text{m}^3 \cdot \text{h}$

Gliwice, listopad 1995 r.

Typ	Parametry techniczne (Wielkości standardowe)	Fot.
<b>terracon® 200</b> AF40/100	<p>powierzchnia aktywna <b>A</b> 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></p> <p>pole pow. kanałika <b>a</b> 30 cm<sup>2</sup></p> <p>długość <b>d</b> 990 mm</p> <p>szerokość <b>s</b> 600 mm</p> <p>wysokość <b>h</b> 600 mm</p> <p>materiał: twarde PCV</p> <p>przekrój kanałików: sześciobok foremny</p> <p>konstrukcja kanałików: krzyżowa</p> <p>objętość wolna 96%</p>	
<b>terracon® 200</b> AF30/150	<p>powierzchnia aktywna <b>A</b> 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></p> <p>pole pow. kanałika <b>a</b> 18 cm<sup>2</sup></p> <p>długość <b>d</b> 990 mm</p> <p>szerokość <b>s</b> 600 mm</p> <p>wysokość <b>h</b> 600 mm</p> <p>materiał: twarde PCV</p> <p>przekrój kanałików: sześciobok foremny</p> <p>konstrukcja kanałików: krzyżowa</p> <p>objętość wolna 96%</p>	
<b>terracon® 200</b> AF20/200	<p>powierzchnia aktywna <b>A</b> 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></p> <p>pole pow. kanałika <b>a</b> 10 cm<sup>2</sup></p> <p>długość <b>d</b> 990 mm</p> <p>szerokość <b>s</b> 600 mm</p> <p>wysokość <b>h</b> 600 mm</p> <p>materiał: twarde PCV</p> <p>przekrój kanałików: sześciobok foremny</p> <p>konstrukcja kanałików: krzyżowa</p> <p>objętość wolna 96%</p>	

\* na życzenie klienta może być wykonana wysokość pakietu h = 1200 mm

**APROBATA TECHNICZNA AT/2003-08-0005 wydana przez IOŚ w Warszawie**

**terracon-pol® spółka z o.o.**

ul. Opolska 77, 47-300 Krapkowice

tel. 77-4665452, tel. 77-4422888, 77-4467600

[info@terracon-pol.com](mailto:info@terracon-pol.com), [www.terracon-pol.com](http://www.terracon-pol.com)

Sąd Rejonowy w Opolu, VIII Wydział Gospodarczy

Krajowego Rejestru Sądowego.

Nr KRS 0000185132 Regon 530949159

NIP 754-10-02-037, Nr EU PL7541002037

Kapitał zakładowy 400.000,00 zł

ING Bank Śląski Katowice O/Krapkowice

51 1050 1487-1000 0022 1023 9493

