

Oczyszczanie ścieków na obrotowych złożach tarczowych z samorzutnym napowietrzaniem

Edward S. Kempa

Złoża zanurzone (zalewane) były jednym z pierwszych rozwiązań biologicznego oczyszczania ścieków. Ze stałych złożeń biologicznych, zraszanych lub spłukiwanych, wypełnionych tłuczniem kamiennym, koksem, lawą wulkaniczną lub pakietami z tworzyw sztucznych, rozwinęły się obrotowe złoże tarczowe. Gdy te ostatnie rozważa się i odpowiednio konstruuje jako modele i rozwiązania symultaniczne, oscylujące między złożami klasycznymi i osadem czynnym, stają się konkurencyjne do tego ostatniego. Artykuł pokazuje zalety jednego z nowoczesnych rozwiązań, bazującego na podwójnym osadzie biologicznym osiadłym w postaci błony biologicznej na tarczach złoża obrotowego i (uwzględnionego w obliczeniach) swobodnie płynącego osadu czynnego w komorze złożeń.

Chyba każdy projektant oczyszczalni ścieków szuka rozwiązań optymalnych lub co najmniej quasi-optymalnych, szczególnie w odniesieniu do biologicznego oczyszczania ścieków i przeróbki osadów. Jedynie w wyjątkowych wypadkach udaje się to znakomicie, dużo jest rozwiązań w miarę dobrych, lecz spotyka się również rozwiązania mniej udane, a nawet chybione. Sukces lub porażka nie są przypisane do wielkości czy przepustowości obiektu. Panuje przekonanie (zdaniem autora artykułu błędne), że duże oczyszczalnie – niejako „z urzędu” – musi wręcz projektować wytrawny projektant, zaś mniejsze może tworzyć inżynier mniej doświadczony, by nie powiedzieć dyletant. Dlatego w dużych oczyszczalniach – mimo ich większej złożoności – spotykamy generalnie mniej błędnych rozwiązań, podczas gdy znacznie więcej może ich być w obiektach małych i średnich. Zdarza się – i to wcale nie tak rzadko – że dla małych jednostek osadniczych proponuje się, lub co gorsza w nich realizuje, rozwiązania sprzed 20 czy 30 lat, choć wówczas mogły one uchodzić za nowoczesne. Dość częste są też propozycje tak złożonych i energochłonnych rozwiązań, że w mniejszych obiektach nie można sobie z nimi następnie poradzić.

Złoże zanurzone (pierwotnie cyklicznie zalewane) nie mają w naszym kraju (gdy chodzi o rozwiązania krajowe, to już z całą pewnością) dobrej renomy [4], [5], [6]. Mamy do dyspozycji usankcjonowane metody obliczeń, co prawda obce, ale stosowane również w Polsce [12], [13]. Polskie rozwiązania techniczne, z osadnikami zespolonymi usytuowanymi pod komorą złożeń tarczowych, nie zdają egzaminu przy ich obliczeniowym i nominalnym obciążeniu ładunkiem, pracują zaś wystarczająco dobrze, gdy ich obciążenie rzeczywiste wynosi około 1/3 obciążenia obliczeniowego. Stąd ich generalna, acz uzasadniona krytyka [4], [5], [6] i coraz rzadsze stosowanie w nowych obiektach.

Celem artykułu jest pokazanie i omówienie rozwiązania mało w Polsce znanego (choć już raz zrealizowanego w

mieście Jedwabno), a sprawdzonego za granicą aż w ponad 500 (!) małych i średnich oczyszczalniach ścieków bytowo-gospodarczych, szpitalnych i niektórych przemysłowych. Potwierdza to imponująca lista referencyjna. Poniżej podana zostanie istota tych nowych złożeń, możliwe do uzyskania wyniki oraz ekonomia. Przedstawione rozwiązania są niejako następną generacją złożeń tarczowych, a pierwszymi z wymuszonym i jednocześnie samorzutnym napowietrzaniem ścieków.

Preferencje rozwiązań w małych i średnich oczyszczalniach

Każda oczyszczalnia ścieków powinna być „garniturem szytym na miarę” i to w miarę możliwości u najlepszego krawca. Lecz z tym bywa różnie, począwszy od nie zawsze trafnych decyzji o przyjęciu lub odrzuceniu ofert w postępowaniu o przetargach publicznych.

Definicje małych i średnich oczyszczalni nie są ani proste, ani łatwe; nie wyjaśnia tego też dostatecznie jasno literatura przedmiotu [1], [2], [7].

W pracy zbiorowej [1] małe oczyszczalnie dzieli się na: domowe, lokalne i osiedlowe. Ale przejście od osiedlowych (przy przepustowości nawet do 1000 m³/d) do średnich, nie jest wcale tak wyraźne. Za małą oczyszczalnię przyjęło się za Imhoffem [7] uważać obiekt obsługujący od 500 do 1000 mieszkańców. Ale w zasadzie rozgraniczenie między małą a średnią oczyszczalnią jest kwestią umowy. Za typowe granice podziału uznaje się raczej wielkość typowej wiejskiej oczyszczalni odniesioną do małomiasteczkowej jednostki osadniczej oraz dyspozycyjność załogi kształconej odpowiednio do potrzeb i konfiguracji obiektu.

Chyba już bezpowrotnie minęły czasy, gdy na placu budowy pozostawał inwestor z inwestycją nieudaną, nieukończoną, źle wykonaną, często przestarzałą, a nawet już przeciążoną. A oto inny, znamieny przykład: w miasteczku liczącym ok. 4500 mieszkańców zamierzano zbudować pięć (!) lokalnych oczyszczalni ścieków, argumentując to tym, że za „jedyną” 16,5 mln starych złotych stoi już cały zakuty w stali Miniblok dla 200 M. I do tego ówczesne wyjaśnienia władz lokalnych: brak wykonawcy, kredytów, materiałów na jedną oczyszczalnię dla całej jednostki osadniczej. Ale to już (przynajmniej w tym miasteczku) nie zrealizowana na szczęście przeszłość.

Najistotniejszą cechą małych i średnich oczyszczalni ścieków powinna być ich prostota technologiczna i techniczna, a także prostota obsługi, którą mogłaby realizować załoga o mniejszych kwalifikacjach. Dlatego stwierdzić wypada, że oferowanie małych (w tym nawet domowych) oczyszczalni ścieków, bazujących na procesie osadu czynnego, jest – głównie z uwagi na uwarunkowania prawidłowej i złożonej przecież eksploatacji – grubym nieporozumieniem. Ale przecież zdarza się, że niedoświadczony, lub co gorsza, źle i błędnie konsultowany inwestor wybiera takie właśnie roz-

wiązanie z opłakanyymi następnie wynikami eksploatacyjnymi, z wysokimi kosztami ruchu włącznie.

Krótką historia złożeń biologicznych

Pierwsze w tzw. sztucznych oczyszczalniach były złoża cyklicznie zalewane [7]. Prostokątne najczęściej zbiorniki żelbetowe, wypełnione koksem hutniczym lub lawą wulkaniczną, cyklicznie zalewano wstępnie mechanicznie oczyszczonymi ściekami. Po kilkugodzinnym zwykle kontakcie ścieków z mikroorganizmami osiadłymi na bryłach wypełnienia złoża (tzn. z błoną biologiczną) spuszczano je, a do wolnych przestrzeni między bryłami wypełnienia samorzutnie wpływało powietrze z atmosfery, potrzebne do procesów metabolicznych tychże drobnoustrojów. Gdy takie cykle – z uwagi na rosnące obciążenie hydrauliczne – stawały się zbyt częste, era złożeń zalewanych minęła, a na ich miejsce pojawiły się złoża zraszane, co prawda również cyklicznie zasilane, ale nieprzerwanie napowietrzane (też samorzutnie) wskutek wywołanych w złożu prądów termicznych. Konstrukcja złożeń zraszanych jest na tyle znana, że ich szczegółowy opis zdaje się tutaj zbędny. I podobnie jak to było poprzednio, narastające przeciążenie hydrauliczne złożeń zraszanych spowodowało, iż stały się one (nieomal samorzutnie) złożami splukiwanymi [7]. W złożach zraszanych za najistotniejszy czynnik i wskaźnik obliczeń przyjmowano obciążenie hydrauliczne, w złożach splukiwanych obciążenie hydrauliczne i obciążenie objętościowe ładunkiem zanieczyszczeń (BZT lub ChZT), nieco później także obciążenie jednostkowe osadu (masy błony biologicznej).

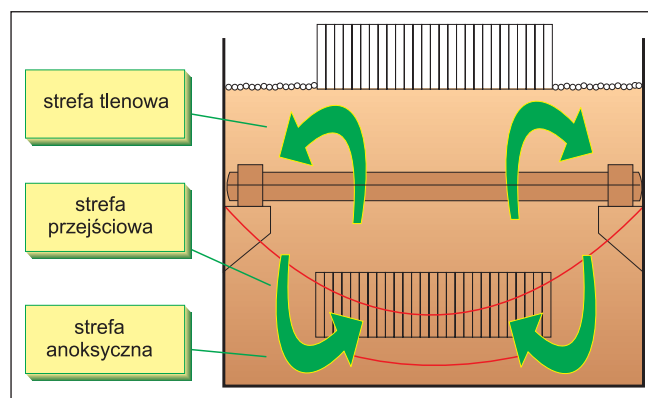
Inwencja inżynierów doprowadziła do wynalezienia w latach 50. ubiegłego stulecia i następnie do praktycznego zastosowania obrotowych złożeń tarczowych. Pierwotne tarcze ze sprasowanego azbestu były bardzo ciężkie, co utrudniało wykonywanie większych długości ze zblokowanych tarcz i wysokie obciążenia zginające na wale. Wnet jednak nastąpiło przejście na tarcze wykonane ze styropianu (!) i ostatecznie z tworzyw sztucznych (PCW, PE, PP, PEHD). Obecnie można chyba powiedzieć, że złoża tarczowe, podobnie jak zraszane czy splukiwane, stosowano i stosuje się przede wszystkim z uwagi na małe zapotrzebowanie na energię (odpada sztuczne napowietrzanie) i na względnie prostą eksploatację. Odstęp między tarczami wyznaczał producent – zwykle 2 cm. Tarcze złożeń miały powierzchnię niewygładzoną, raczej o chropowatej fakturze. Łatwo było obliczyć niezbędną powierzchnię sumaryczną tarcz przy założonym obciążeniu jednostkowym ładunkiem – zwykle od kilku do kilkunastu gramów BZT₅/m²·d, w zależności od zakładanego stopnia oczyszczania ścieków. Dokładne sposoby obliczeń zarówno złożeń klasycznych, jak i tarczowych powinny być czytelnikom znane. Stąd też pomija się je w tym artykule, zwracając jedynie uwagę na fakt, że wzory obliczeń zmieniały się w czasie, przy czym obecnie stosuje się powszechnie dość dobrze opracowane Wytyczne ATV 135 (częściowo też ATV 122 i 126), czego niestety nie można powiedzieć o niedostatkach językowych polskiego tłumaczenia tych pierwszych [12]. Według klasycznych metod postępowania, w obliczeniach nie uwzględniano swobodnie pływającej biomasy.

Obrotowe złoża tarczowe nowej generacji

Nowa generacja złożeń tarczowych omawiana poniżej i uznawana przez autora tego artykułu za złoża nowej generacji, to rozwiązania konstrukcyjne, różniące się zasadniczo od

poprzednio omawianych, mimo że wykorzystują one dwie zasadnicze ich cechy, a mianowicie:

- cechy obrotowe, a zatem cykliczne zanurzanie i wynurzenie poszczególnych sektorów złoża, przy znacznie większym zanurzeniu od poprzednich;
 - powtarzające się cyklicznie podczas każdego obrotu złoża napowietrzanie ścieków i błony biologicznej.
- Z głównych cech, różniących je od poprzednich rozwiązań, można wymienić:
- odpowiednie, obustronne wykształcenie powierzchni tarcz (przez prasowanie), wykonanych z polipropylenu, przez co uzyskuje się ich wyższą odporność mechaniczną oraz powiększoną powierzchnię jednostkową na nominalnym rzucie 1 m²;
 - możliwość bardzo szerokiego różnicowania zarówno samej liczby tarcz, jak i ich średnic oraz płynnej zmiany szybkości obrotowej bloku tarcz przy użyciu falowników;
 - dodatkowe nasadzenia na obwodzie tarcz czepaków rurkowych lub koszykowych, pobierających podczas obrotów złoża określoną ilość ścieków razem z powietrzem, co gwarantuje bardzo dobre, a jednocześnie samorzutne napowietrzanie i natlenienie ścieków wskutek dyfuzji i podwyższonego ciśnienia parcjalego tlenu powietrza;
 - liczba walców z tarczami może wahać się od jednego do czterech, pracujących szeregowo – począwszy od małych oczyszczalni lokalnych, do obiektów obsługujących kilka tysięcy mieszkańców równoważnych;
 - małe obiekty można wykonać ze stali i jako obiekty zblokowane z bocznym osadnikami kieszeniowymi, większe natomiast w żelbecie z wydzielonymi osadnikami wtórnymi;
 - poszczególne walce sytuuje się na jednym poziomie, jednak odległość linii obwodowej nasadek do tarcz złoża od wyoblonego dna komory biologicznego oczyszczania może być różna – największa od strony dopływu ścieków (pod pierwszym walcem), najmniejsza w części odpływowej, tj. pod trzecim lub czwartym walcem. Takie rozwiązanie wpływa bardzo istotnie na biologiczną defosfatację i denitryfikację ścieków. Schemat stref występujących w komorze pokazano na rysunku 1.

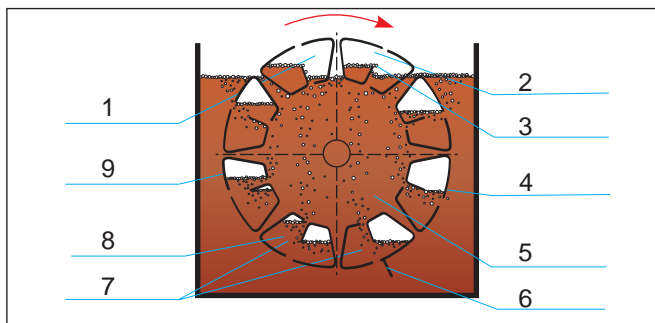


Rys. 1 Typowy układ strumieni ścieków w komorze [3]

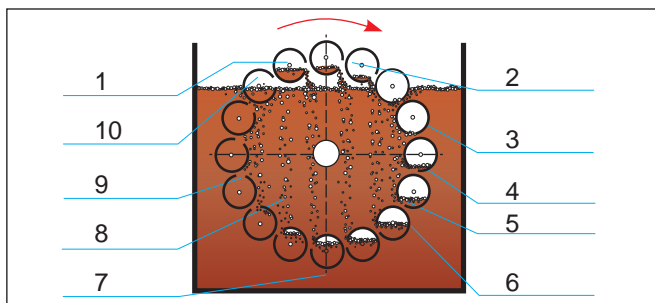
- znacznie większe zanurzenie omawianych złożeń w stosunku do poprzednich umożliwia zmniejszenie komory biologicznego oczyszczania, lepsze wykorzystanie powietrza, a jednocześnie oferuje większą pojemność dla swobodnie pływającego osadu czynnego.

Zasady działania nowoczesnego złoża zanurzanego

Podczas obrotu złoża i fazy wynurzenia wylewa się nasadki, niezależnie od jej typu, nadmiar ścieków zaczerpniętych

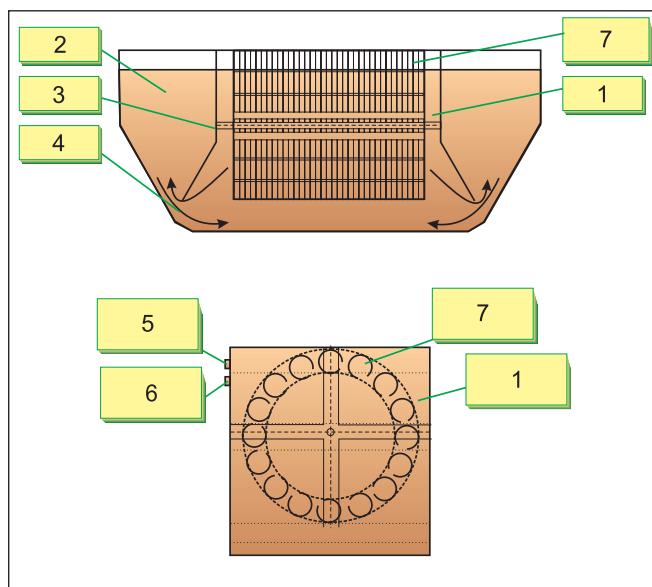


Rys. 2 Schemat działania złoza STM¹ z nasadkami koszykowymi [3], [10]; 1 – dopływ powietrza przez dyfuzję z atmosfery wskutek deficytu tlenowego, 2 – zaopatrzenie biomasy w tlen, 3 – dyfuzja tlenu na przelewie, 4 – wymuszone sprężanie powietrza, 5 – napowietrzanie ścieków przez uciekające bąbelki gazu, 6 – zgrzebło wznoszące osiadły osad, 7 – dalsza wymiana tlenu na granicy faz ścieki/powietrze, 8 – odgazowanie ścieków, 9 – wspomaganie wyporu złoza przez poduszkę powietrza



Rys. 3 Schemat działania złoza STM¹ z nasadkami rurowymi [3], [10]; 1 – wnikanie tlenu na przelewie, 2 – kąt wypływu ścieków (różny przy różnych średnicach tarcz), 3 – zaopatrzenie biomasy w tlen przez dyfuzję na granicy faz, 4 – samorzutne sprężanie powietrza, 5 – dopływ ścieków do rury, 6 – wymiana tlenu na granicy faz gaz/ciecz, 7 – zgrzebło dla wznoszenia osiadłego osadu, 8 – napowietrzanie przez wznoszące się bąbelki gazu; jednocześnie omywanie tarcz przez gazy i wznoszące się strugi ścieków, 9 – położenie otworów (szczelin) wylotowych, 10 – pobór nowej porcji powietrza

w następującej po niej fazie zanurzania. W fazie zanurzania nasadki czerpią określoną porcję ścieków wraz z powietrzem atmosferycznym. W trakcie dalszego obrotu i zanurzania rozważanego wycinka złoza, ma miejsce intensywny, dyfuzyjny kontakt ścieków z powietrzem, wspomagany dodatkowo rosnącym ciśnieniem parcjnym w coraz głębszej części komory. Następuje tu ad- i absorpcja tlenu, wymiana gazów, a częściowo również odrywanie się mikroorganizmów z osiadłej błony biologicznej i ich przepływ do osadu czynnego swobodnie płynącego w komorze. Rozwiązania złozy z różnymi formami nasadek oraz schemat ich działania pokazano na rysunkach 2 i 3.



Rys. 4 Komora biologiczna, zblokowana z kieszeniowymi osadnikami wtórnymi [10]; 1 – komora biologiczna, 2 – osadnik wtórny, 3 – ścianka rozdzielająca, 4 – osad powrotny, 5 – króciec dopływu ścieków, 6 – króciec odpływu, opcja jedno- lub dwustronna, 7 – złoże tarczowe z nasadkami rurowymi

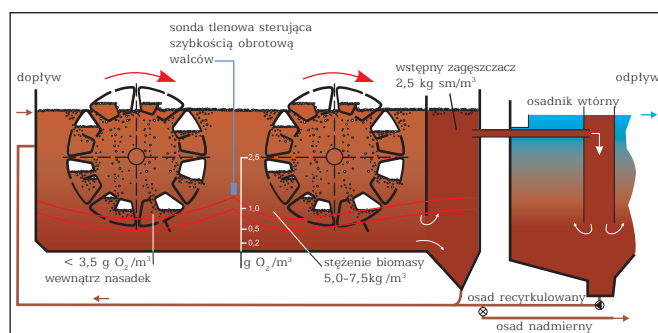
| | ze wstępną sedimentacją | bez wstępnej sedimentacji |
|--|---|--------------------------------|
| sucha masa w komorze biologicznego oczyszczania [kg/m ³], oczyszczanie pełne bez nityfikacji | 4,0–6,0 | 4,5–7,0 |
| jak wyżej, lecz z nityfikacją i denityfikacją | 4,0–7,0 | 5,0–8,0 |
| jak wyżej, lecz z symultaniczną tlenową stabilizacją osadu, defosfatacją, denityfikacją i nityfikacją | – | 5,0–9,0 |
| Objęściowy indeks osadu (SVI) | obciąż. osadu > 0,05 | obciąż. osadu < 0,05 |
| ścieki bytowo-gospodarcze z małym udziałem organicznych ścieków z rzemiosła | 40–100 | 40–80 |
| ścieki bytowo-gospodarcze z dużym udziałem organicznych ścieków z rzemiosła | 50–120 | 50–100 |
| Aktywna biomasa osiadła (w postaci błony biologicznej) wynosi 20–25 g s.m/m² powierzchni | | |
| Zdolność usuwania BZT₅ przez osiadłą biomasa: | | |
| pełne oczyszczenia ścieków | 10–18 g BZT ₅ /m ² ·d | |
| pełne oczyszczenie ścieków + nityfikacja | 8–12 g BZT ₅ /m ² ·d | |
| j.w. + symultaniczna, tlenowa stabilizacja osadu | 4–8 g BZT ₅ /m ² ·d | |

Tabela 1 Zalecane parametry wymiarowania (na podstawie Wytycznych ATV A122, A126, A131)

Układy techniczne

Z dotychczasowych rozwiązań są znane:

- małe przydomowe, jednozbiornikowe oczyszczalnie obsługujące od 5 do 20 mieszkańców – te nie będą dalej omawiane, z uwagi na dość znaczne koszty zakupu;
- oczyszczalnie dla kilkuset mieszkańców, zblokowane i ze-spolone z kieszeniowym osadnikiem wtórnym, w wykonaniu ze stali;



Rys. 5 Komora Stählermatic® z symultaniczną nityrą i denityfikacją oraz biologiczną defosfatacją [10]

- oczyszczalnie w wykonaniu żelbetowym, począwszy od kilku tysięcy mieszkańców wzwyż i z 1-4 zblokowanymi złożami tarczowymi.

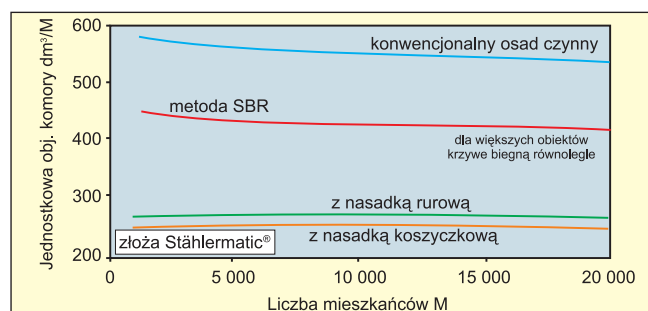
Istnieje też możliwość różnicowania średnicy tarcz i wyboru typu nasadek. Dlatego otrzymujemy niezwykle elastyczne rozwiązania, o bardzo płynnym dostosowaniu wielkości komór i złożów do praktycznie dowolnej liczby mieszkańców czy ładunków zanieczyszczeń. Należy też podkreślić możliwość sterowania szybkością obrotową złoża, każdego pojedynczego osobno lub wszystkich razem impulsami z sond tlenowych zanurzonych w komorze biologicznego oczyszczania. Przykłady różnych komór podano na rysunkach 4 i 5.

Charakterystyka i zalety systemu

- Zapewniona podaż dużych powierzchni dla wytworzenia i utrzymywania błony biologicznej, czyli mikroorganizmów osiadłych na tarczach;
- Podwyższony wiek osadu wskutek nagromadzenia wolniej rozmnażających się autotrofów w błonie biologicznej złoża;
- Intensywne napowietrzanie ścieków w komorze biologicznego oczyszczania i zawartych w niej swobodnie pływających mikroorganizmów (osad czynny);
- Wysoki udział procentowy aktywnej biomasy – do 50% masy osadu czynnego;
- Równomierne względnie wolne mieszanie zawartości komory bez dodatkowego urządzenia i energii;
- Polepszenie objętościowego indeksu osadu (SVI), stąd mniejsze osadniki wtórne, wyższe stężenia biomasy w wydzielonym osadzie, lepsze właściwości zagęszczania i odwadniania osadów;
- Niższe koszty budowy i oszczędności na objętości bloku biologicznego i na powierzchni terenu;
- Niższe koszty eksploatacyjne wskutek zastosowania prostych rozwiązań, sprawdzonych materiałów konstrukcyjnych, solidnych i stabilnych rozwiązań o małej awaryjności i długim okresie użytkowania (czyli „cyklu życia” urządzeń);

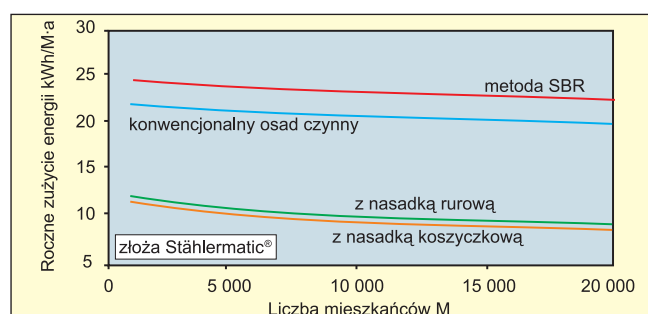
- Ekonomiczny ruch oczyszczalni poprzez optymalną ekonomię natleniania, niski pobór mocy, wysoki wskaźnik niezawodności, najwyższą stabilność procesu.

Możliwość znacznego podwyższenia stężenia aktywnej biomasy w komorze biologicznego oczyszczania objawia się w bardzo dużym obniżeniu wskaźnika jej jednostkowej objętości. Stwierdzono to wielokrotnie na wykonanych obiektach, które przecież odpowiednio wcześniej musiano „oszczędnościowo” zwymiarować. Przedstawia to rysunek 6.



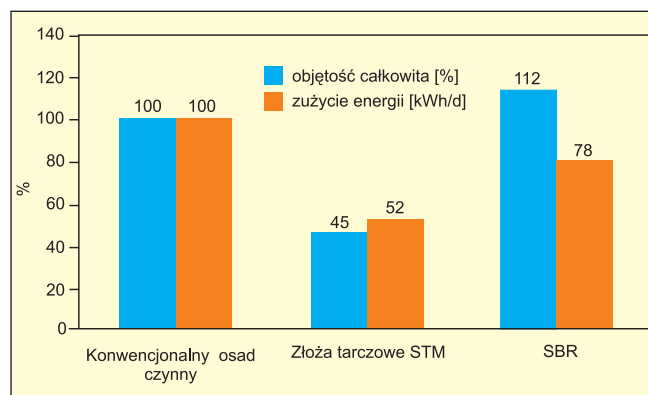
Rys. 6 Porównawcza objętość komór biologicznego oczyszczania [10]

Podobnie jest z niezwykle niskim zapotrzebowaniem na energię. Siła niezbędna do wolnego mieszania, czyli do obracania się złożów, jest porównawczo mała, dlatego trzeba bardzo niewiele mocy zainstalowanej dla napędu tarcz złoża, zaś napowietrzanie mamy niejako „za darmo”. Odpowiedni wykres zbiorczy, opracowany na podstawie wyników z wielu oczyszczalni, pokazano na rysunku 7 [10].



Rys. 7 Roczne zapotrzebowanie na energię w oczyszczalniach z nowoczesnymi złożami tarczowymi [10]

Omówione powyżej zalety nowoczesnych złożów tarczowych, jak też ostateczna interpretacja wyników licznych badań i ekspertyz pozwala stwierdzić, że objętość, a zatem i koszty inwestycyjne bloku biologicznego oczyszczania wynoszą zaledwie 45% w porównaniu do rozwiązań z klasycznym

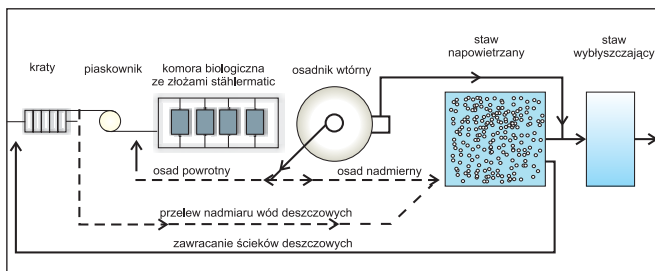


Rys. 8 Ekonomia rozwiązań typu Stählermatic®

osadem czynnym, zaś wielkość zużywanej energii odpowiednio 52% (rys. 8). Powyższe dane wyliczono przykładowo wg Wytycznych ATV A 131 dla oczyszczalni ścieków z osadem czynnym obsługującej 10 000 mieszkańców.

Oczyszczalnia ścieków w Niederzeuzheim

Jest to jedna z oczyszczalni średniej wielkości w Niemczech, wyposażona w omawiane wyżej złoża tarczowe typu Stählermatic®, obsługująca 3200 RLM i pracująca już wiele lat. Jej pracę badał uznany przez państwo instytut badawczy. Konfigurację oczyszczalni przedstawiono na rysunku 9, a jej dane techniczne podano w tabeli 2.



Rys. 9 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Niederzeuzheim [10]

| Dane techniczne | |
|---|--------------------------|
| Liczba obsługiwanych mieszkańców | 3 200 RLM |
| Ładunek dobowy BZT ₅ | 192 kg O ₂ /d |
| Dopływ sekundowy pogody bezdeszczowej | 28 l/s |
| Dopływ podczas deszczu | 55 l/s |
| Objętość komory biologicznej | 250 m ³ |
| Cztery zespoły złoża tarczowych o ogólnej powierzchni | 9 700 m ² |

Tabela 2 Dane techniczne oczyszczalni ścieków w Niederzeuzheim [10]

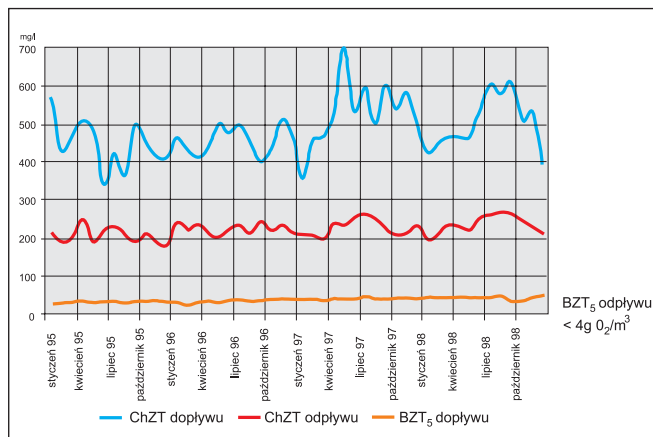
| Wskaźniki ścieków oczyszczonych | urzędowe, w pozwoleniu | średnie z wielolecia |
|--|------------------------|----------------------|
| Chemiczne zapotrzebowanie na tlen, g O ₂ /m ³ | 75 | 35 |
| Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen, g O ₂ /m ³ | 10 | < 5 |
| Azot amonowy, g N/m ³ | 10 | 5 |
| Azot ogólny, g N/m ³ | 16 | 10 |
| Fosfor ogólny, g P/m ³ | 5 | 1 |

Tabela 3 Wskaźniki ścieków oczyszczonych w oczyszczalni Niederzeuzheim [10]

Aby potwierdzić powyższe dane, przytacza się przykładowo (rys. 10) uśrednione wartości stężeń zarówno ścieków dopływających do i odpływających z oczyszczalni w latach 1995–98 dla ChZT i BZT₅. Jak już wspomniano, podobne referencje można uzyskać z ponad 500 wykonanych oczyszczalni omawianego tu typu i dla innych wskaźników zanieczyszczeń.

Podsumowanie

Obrotowe złoża zanurzone typu Stählermatic® są w naszym kraju prawie nieznanymi. A zatem nie projektuje się oczysz-



Rys. 10 Sprawność oczyszczalni ścieków w Niederzeuzheim – dane z wielolecia dla ChZT i BZT₅

czalni ścieków z wykorzystaniem takich złoża. Opisane wyżej zalety tego rozwiązania pozwalają domniemywać, że mogą one, będąc konkurencyjne pod kosztów budowy i niskiego zużycia energii do klasycznego procesu osadu czynnego, stać się rozwiązaniami preferowanymi w postępowaniach przetargowych na projektowanie i budowę małych i średnich oczyszczalni ścieków. □

Literatura (wykorzystana i uzupełniająca)

[1] Cywiński B. i in. (1972): *Oczyszczanie ścieków miejskich*. Wyd. ARKADY, Warszawa.
 [2] Dymaczewski Z., Oleszkiewicz J. A., Sozański M. M. (1997): *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. Wyd. PZITS o/Poznań.
 [3] Gethke H.-G., Stahler Th. (1997): *Simultane biologische Abwasserreinigung*, WAP nr 6, s. 36.
 [4] Grygorczuk-Petersons E. H. (1995): *Efektywność oczyszczania ścieków w oczyszczalniach z biologicznymi złożami obrotowymi*, Mat. Konf. „Kontenerowe i przydomowe oczyszczalnie ścieków oraz stacje uzdatniania wody”. Wyd. Politechniki Białostockiej, Wigry, str. 162.
 [5] Grygorczuk-Petersons E. H. (1997): *Ocena pracy kontenerowych oczyszczalni ścieków z biologicznymi złożami obrotowymi*. Mat. IX Konf. „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Wyd. Politechniki Białostockiej, Rajgród, s. 227.
 [6] Heidrich Z., Mikulski B. (1995): *Złoża biologiczne do oczyszczania małych ilości ścieków*. Mat. Konf. jak w poz. [4], s. 193.
 [7] Imhoff K., Imhoff K. R. (1993): *Taschenbuch der Stadtentwässerung*, R. Oldäbourg Verlag, München–Wien.
 [8] Kempa E. S. (2000): *Stählermatic® - Technologia i Ekonomia*. Mat. Konf. „Oczyszczanie ścieków – technologie i urządzenia 2000”. Wyd. REDOR, Szczyrk, s. 80.
 [9] Łomotowski J., Szpindor A. (1999): *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*, Wyd. ARKADY, Warszawa.
 [10] Stähler Th. (1997): *Firmowe materiały informacyjne*.
 [11] Totczyk G. (1997): *Możliwości intensyfikacji efektywności technologicznej zablokowanych oczyszczalni ścieków ze złożami tarczowymi*. Mat. Konf. jak w poz. [5], str. 151.
 [12] Wytyczne ATV A 135, r. 1989, Wyd. GFA, St. Augustin.
 [13] Wytyczne ATV A 131, r. 2000, Wyd. GFA, Hennef.

¹⁾ Rozwiązanie chronione patentem