WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA W ZIELONEJ GÓRZE ✦ ZESZYTY NAUKOWE NR 74
NR 3 INŻYNIERIA ŚRODOWISKA 1984

Zofia Sadecka

OSAD CZYNNY — NAPOWIETRZANIE, NATLENIANIE

Zusammenfassung

Aus einer Ubersicht der Belüftungsmethoden, mit besonderer Berüchsichtigung ihrer Sauerstoffzufukrleistnug zieht man die Schleussfolgerungen, dass die Belüftung des Abwassers in tiefen Kammeru viele Vorteile wie hohe Reinigungseffekte, sehr kleine Bebaungsfläche der Kläranlage aüfweirt. Es werden Untersuchungen durchgefüht über die Wirtschaftlichkeit dies Prozesses.

Streszczenie

Niniejszy artykuł to przegląd badań innych autorów nad zastosowaniem w metodzie osadu czynego, napowierzania w głębokich komorach oraz czystego tlenu do natleniania komór. W pracy porównano powyższe metody z metodami konwencjonalnymi zwracając uwagę na uzyskiwane OC urządzeń, parametry charakteryzujące pracę osadu czynnego oraz na powierzchnie zajmowane przez poszczególne grupy urządzeń.

Oczyszczanie ścieków osadem czynnym wymaga dostarczenia do układu tlenu, który jest niezbędnym czynnikiem do bioutlenienia zanieczyszczeń organicznych.

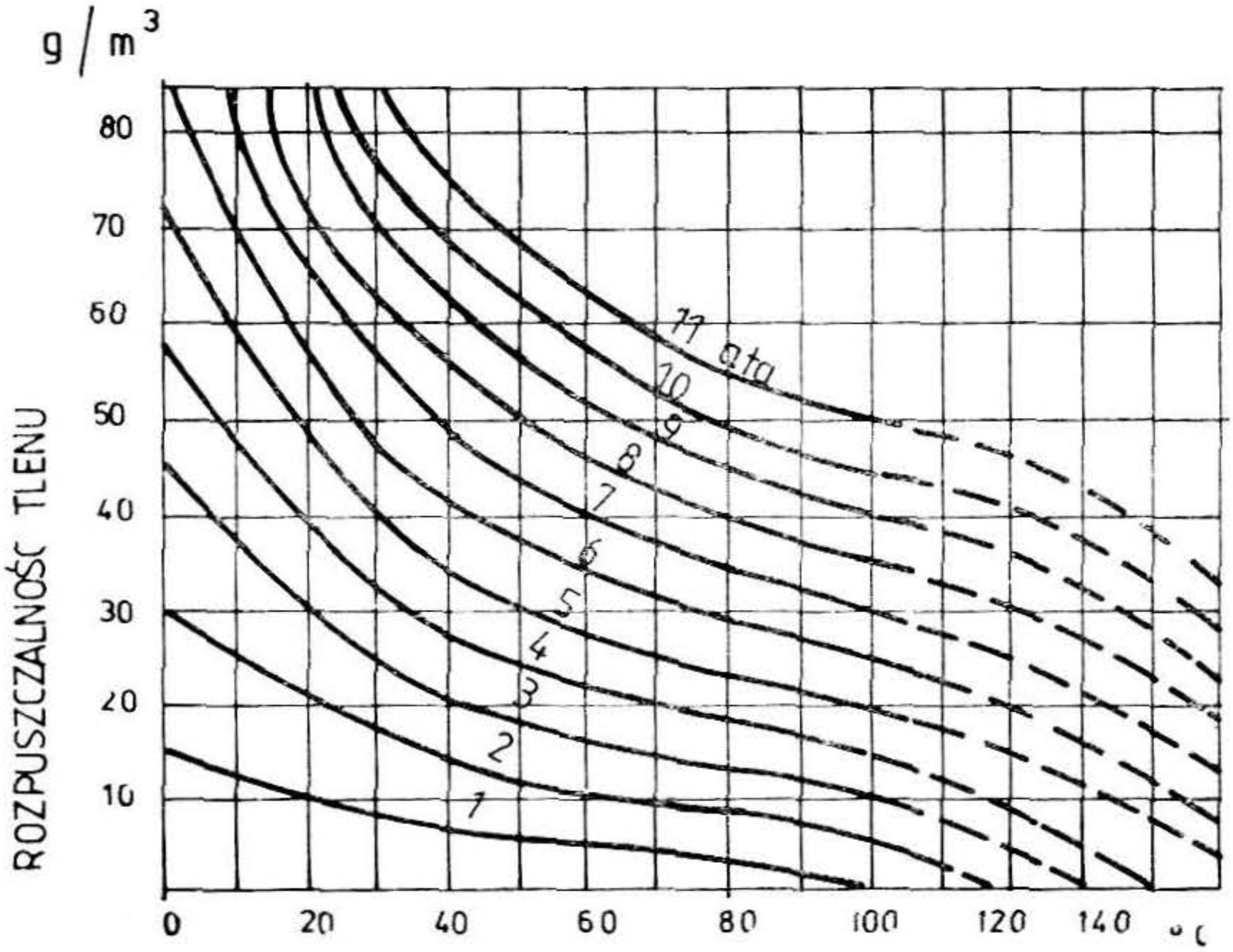
Tlen można wprowadzić do układu wykorzystując:
— sprężone powietrze,
— urządzenia mechaniczne,
— sprężone powietrze i urządzenia mechaniczne (tzw. sposoby złożone),
— inne sposoby.

Czynnikiem warunkującym przebieg rozpuszczenia się tlenu w wodzie lub ściekach oraz siłą napędową tej operacji jest deficyt tlenowy danego układu D_1 czyli różnica pomiędzy zawartością tlenu w stanie nasycenia C_s i aktualną zawartością tlenu C_a.

$$D = C_s - C_a \tag{1}$$

Wartości C_s (1 mg/dm^3 lub g/m^3) zależą od temperatury (tabela 1), ciśnienia cząstkowego tlenu nad roztworem (rys. 1), oraz zawartości substancji rozpuszczonych.

Mgr inż. Zofia Sadecka — Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze



Rys. 1. Rozpuszczalność tlenu w zależności od temperatury przy różnych prężnościach powietrza [1]

Substancje rozpuszczone powodują obniżkę stanów nasycenia tlenem a tym samym obniżkę deficytu tlenowego (tab. 1). Dane w tabeli 1 dotyczą wody słodkiej, tzn. bez soli mineralnych i wody morskiej zawierającej 20 g/dm³ chlorków.

Tabela 1

ROZPUSZCZALNOŚĆ TLENU W WODZIE (CAŁKOWITE NASYCENIE, mg/dm³)

Temperatura °C	0	5	10	15	20	25	30
Woda słodka	14,6	12,8	11,3	10,2	9,2	8,4	7,6
Woda morska	11,3	10,0	9,0	8,1	7,4	6,7	6,1

W przypadku zaś głębokich komór napowietrzenia stosuje się tzw „średnią wartość nasycenia" (C_{ss}) uwzględniającą dodatkowy wpływ średniego ciśnienia hydrostatycznego słupa cieczy.

Ilość tlenu doprowadzana do komór osadu czynnego powinna równoważyć zapotrzebowanie tlenu na rozkład substancji organicznych, endo

genną respirację mikroorganizmów osadu czynnego oraz na procesy związane z nitryfikacją.

Do pełnego biologicznego oczyszczenia osadem czynnym wysoko obciążonym trzeba doprowadzić ok. 1 kg tlenu na usunięcie 1 kg BZT_5 [1, 2].

W zależności od głębokości zanurzenia i rodzaju napowietrzania wykorzystuje się od 5÷15% tlenu z doprowadzanego powietrza, a zatem przy np. 10% wykorzystaniu tlenu, należy doprowadzić 35,7 m^3 powietrza na usunięcie 1 kg BZT_5.

Ilość doprowadzanego powietrza powinna być tak duża, aby zawartość tlenu rozpuszczonego we wszystkich częściach komory wynosiła 1÷2(3) mg/dm^3. [1, 2].

Ciągły ruch ścieków, kłaczków osadu i powietrza powoduje ich wzajemne wymieszanie się, utrzymuje kłaczki osadu czynnego w ciągłym zawieszeniu oraz zwiększa kinetykę zjawisk dyfuzyjnych poprzez ciągłą odnowę powierzchni granicznej.

Z powyższego wynika podział urządzeń do napowietrzania na:
— urządzenia, które odnawiają przede wszystkim powierzchnie graniczne obu faz, co decyduje o napowietrzaniu, a wtórnie wywołują ruch cieczy,
— urządzenia działające w pierwszym rzędzie jako urządzenia mieszające, zaś uboczne ich działanie to odnowa powierzchni granicznej faz,
— urządzenia o działaniu pośrednim.

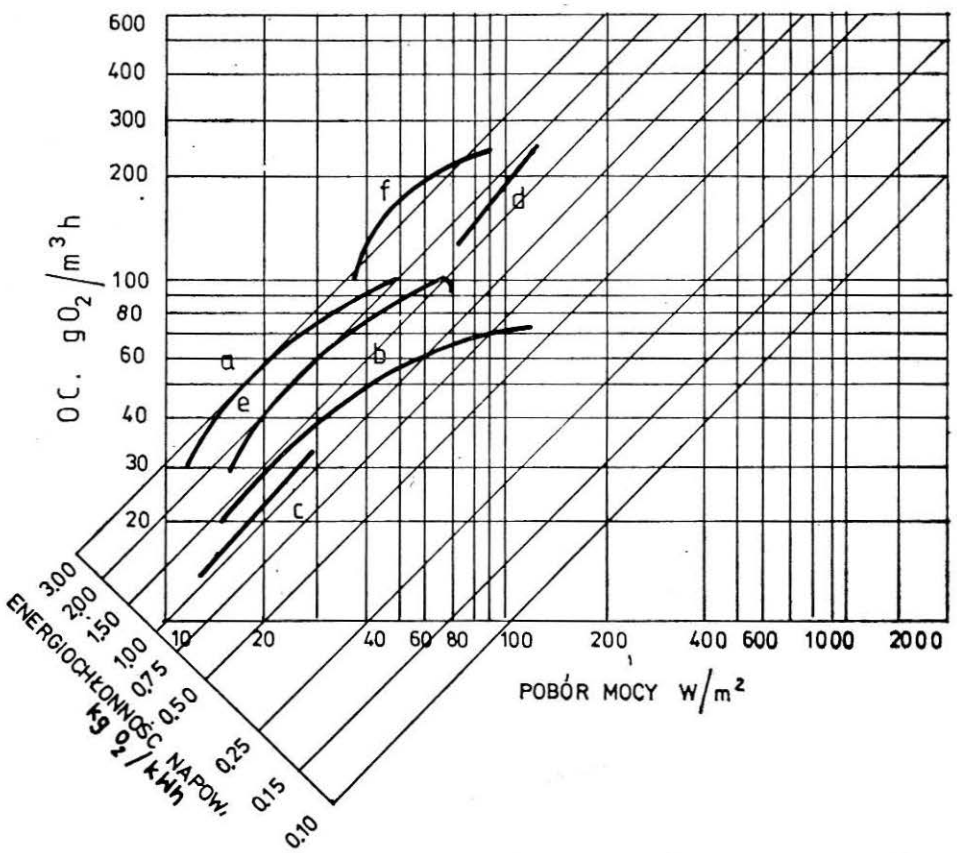
Wspólnym parametrem oceny przydatności urządzeń do napowietrzania jest ich zdolność do wprowadzenia tlenu do roztworu (Oxygenation Capacity — OC).

Wielkość ta określa maksymalną szybkość rozpuszczania się tlenu w wodzie w warunkach pracy danego urządzenia przy stałym znanym deficycie tlenowym.

Badania przeprowadza się na odtlenionej poniżej 1 mg/dm^3 O_2 wodzie wodociągowej i odnoszą się one do warunków standartowych.

Z przeglądu literatury wynika, że:
— w napowietrzaniu sprężonym powietrzem największy stopień wykorzystania tlenu daje napowietrzanie drobnopęcherzykowe (rys. 2).
— w grupie urządzeń do napowietrzania powierzchniowego największymi wartościami OC charakteryzują się wirniki:

Simplex	— 150 $gO_2/m^3 \cdot h$
Simcar	— 200 $gO_2/m^3 \cdot h$
turbiny BSK	— 250 $gO_2/m^3 \cdot h$



Rys. 2. Charakterystyka porównawcza niektórych znanych sposobów napowietrzania [2, 15]
a — napowietrzanie małymi banieczkami powietrza, b — napowietrzanie banieczkami o średniej wielkości, c — napowietrzanie dużymi banieczkami powietrza, d — szczotki „Kessenera" nowoczesne, e — wirniki systemu „Simpleks", f — turbiny „BSK"

— złożone sposoby napowietrzania prowadzą do dużych efektów natleniania. I tak np. stosując modyfikację szczotka Kessenera i napowietrzanie rurami perforowanymi uzyskuje się wzrost zdolności natleniania o 50÷150 $gO_2/m^3 \cdot h$, w porównaniu do działania samych szczotek.

Polepszenie zdolności napowietrzania może nastąpić przez:

— wprowadzenie ulepszonych urządzeń,
— zwiększenie stężenia tlenu w stanie gazowym,
— pogłębienie deficytu tlenowego.

Głębokie komory napowietrzania

Rozwój urządzeń do napowietrzania osadu czynnego ciągle trwa, świadczą o tym zmiany konstrukcyjne wirników napowietrzających oraz stosowanie głębokich komór napowietrzania.

Badania prowadzone przez Schmidta i Redmona [4] potwierdzają opinię v.d. Emdego co do wzrostu wykorzystania tlenu wraz ze wzrostem głębokości doprowadzania powietrza.

Przykładem zastosowania głębokich komór napowietrzania jest oczyszczalnia w Nowym Jorku, lub półtechniczne urządzenie zaproponowane przez Hinesa [5].

Komorę napowietrzającą stanowi szyb o głębokości 20÷150 m, a cyrkulacja cieczy zachodzi w kierunku przeciwnym do wprowadzonego powietrza.

Uzyskano w tym systemie zdolności natleniania w zakresie 1,9÷3,0 $kgO_2/m^3 \cdot h$.

Zapotrzebowanie na moc maleje ze wzrostem głębokości wprowadzenia powietrza. I tak np. dla głębokości 2,5 m, $\frac{OC}{E} = 4{,}5$ kgO_2/kWh, zaś dla 50 m, $\frac{OC}{E} = 2{,}7$ kgO_2/kWh.

Istnieje szereg oczyszczalni pracujących w układach napowietrzania w głębokich komorach [16, 17].

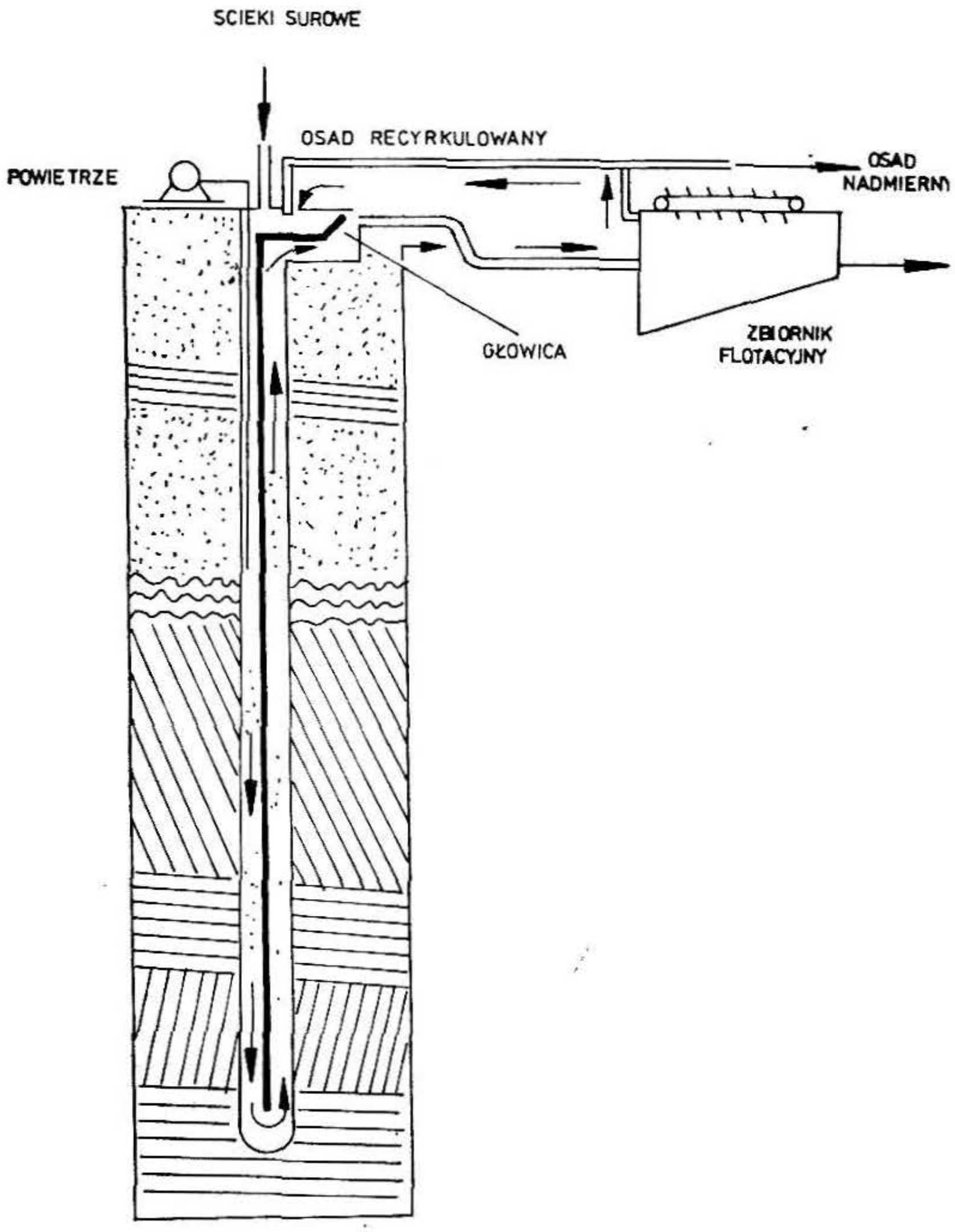
Jedną z nich jest metoda oczyszczania przez napowietrzanie w głębokich zbiornikach i klarowanie flotacyjne, zastosowana w celulozowi produkującej ok. 500 t/d masy celulozowej [16].

Zastosowany układ oczyszczania ścieków celulozowych, w którego skład wchodzą, dwa zbiorniki o głębokości 21 m każdy, pracujące równolegle a zasilane powietrzem systemem dysz, w porównaniu z konwencjonalnymi metodami oczyszczania jest odporny na bardzo duże obciążenia szczytowe, doskonale usuwa BZT_5, zajmuje mało miejsca, mniejsze są również koszty inwestycyjne i eksploatacyjne.

W oczyszczalni ścieków w browarze Molson's Brewery Ltd w Barrie [17] zastosowano metodę „deep shaft".

Instalacja szybowa ma zdolność oczyszczania ścieków w ilości ok. 189 tys. m^3/d, zapewnia bardzo szybkie przenikanie tlenu, zajmuje tylko 640 m^2 powierzchni.

Uzyskano tą metodą 95% ubytek BZT_5 i 90% ubytek zawiesin. Dobrą pracą charakteryzują się również bioreaktory wieżowe [18] o głębokości 25 m, napowietrzane od dołu, zajmujące minimalną powierzchnię niezbędną do oczyszczania ścieków.



Rys. 3. Szyb studzienny. Średnica 0,5÷5,5 m, głębokość do 600 m

Innym przykładem jest szyb studzienny (rys. 3) w którym uzyskano następujące parametry:

rozpuszczalność tlenu	— 40 mg/dm³
OC	— 641 kgO_2/d
czas zatrzymania	— 40'
recyrkulacja	— 100%

Budowa głębokich komór napowietrzania związana jest niewątpliwie z większym nakładem finansowym, równocześnie jednak zmniejsza się poważnie koszt sprężarek oraz armatury sprężonego powietrza, z uwagi na lepsze wykorzystanie tlenu z powietrza.

Na oczyszczalni w Nowym Jorku [5] wykazano, że przeciętne koszty eksploatacyjne kształtują się na poziomie kosztów dla komór (o gł. rzędu 4÷5 m) wyposażonych w dyfuzory.

Za stosowaniem głębokich komór napowietrzania przemawiają również aspekty ochrony środowiska jak: wyeliminowanie uciążliwych zapachów, brak aerozoli rozpryskiwanych ścieków co ma miejsce np: przy napowietrzaniu aeratorami powierzchniowymi. W związku z powyższym zmniejsza się rozmiar stref ochronnych a sama powierzchnia zajmowana przez oczyszczalnię wyposażoną w głębokie komory będzie mniejsza w porównaniu z powierzchnią oczyszczalni klasycznej.

Za oszczędnym gospodarowaniem powierzchni niech również przemawiają dane statystyczne.

Ilość gruntów ornych przypadająca na 1 M naszego kraju kurczy się i tak:

w roku 1946 przypadało	— 0,86 ha/M
w roku 1970 —"—	— 0,60 ha/M
w roku 1980 —"—	— 0,54 ha/M
a w roku 1990 przewiduje się	— 0,50 ha/M

ZTE przyszłej oczyszczalni ścieków dla Zielonej Góry, przewidują zapotrzebowanie powierzchni ok. 150 ha, (koszt wykupu ziemi ok. 1,5 mld. zł.) pod budowę obiektów oczyszczalni. Przyjmując, że ilość powstających ścieków w Zielonej Górze jest rzędu 200 tys. m^3/d, pod obiekty typowej mechaniczno-biologicznej oczyszczalni wystarczyłby obszar 10 ha.

Przeprowadzając orientacyjne obliczenia przy następujących założeniach:

— czas przetrzymania ścieków w osadnikach — 2 h
— średnie obciążenie dobowe — 1000 $gBZT_5/m^3$ komory osadu czynnego,
— obciążenie wg liczby mieszkańców przy ładunku zanieczyszczeń 40 $gBZT_5/M \cdot d$—25 M/m^3 komory.

Powierzchnia osadników dla wyżej wymienionej ilości ścieków z Zielonej Góry wynosi 3,4 ha, natomiast komory osadu czynnego przy założonej głębokości 4 m zajmują powierzchnię — 0,2 ha. Daje to w sumie 4 ha.

Przewidując teren pod obiekty towarzyszące i teren pod rozbudowę perspektywiczną, można powiedzieć, że 10 ha ziemi będzie wykorzystanych w perspektywie przez obiekty oczyszczalni. Porównując powyższe dane jeszcze np. z metodą „deep shaft" oczyszczającą ścieki w ilościach odpowiadających ilości ścieków Zielonej Góry, a zajmującą tylko 640 m^2 powierzchni, nie można uznać, że w ZTE przewidziano ekonomiczne wykorzystanie powierzchni.

Zastosowanie czystego tlenu do oczyszczania ścieków osadem czynnym

Polepszenie zdolności napowietrzania może nastąpić przez zwiększenie stężenia tlenu np. przy zastosowaniu powietrza wzbogaconego w tlen lub czystego tlenu w metodzie osadu czynnego.

Nasycając wodę czystym tlenem możemy przy temp. 293 K (20°C) i ciśnieniu 101,3 kPa uzyskać stężenie tlenu w wodzie ok. 43 mg/dm^3, co w stosunku do wymaganej minimalnej zawartości tlenu w komorze 2÷3 mg/dm^3 stanowi nadwyżkę 42 mg/dm^3.

W latach czterdziestych Okun [7] podjął badania laboratoryjne nad zastosowaniem czystego tlenu w konwencjonalnej metodzie osadu czynnego, uzyskał on zwiększenie ubytu BZT_5 o ponad 20%, przy obciążeniu komory 2,88 kg $BZT_5/m^3 \cdot d$.

Na podstawie badań stwierdził on, że podstawową zaletą stosowania czystego tlenu jest możliwość utrzymania wysokiej zawartości tlenu rozpuszczonego w komorze i uniknięcie okresowych deficytów tlenowych tak niekorzystnych dla biocenozy osadu czynnego.

W latach 1969 — 72 amerykańsa firma Union Garbide Corporation przeprowadziła badania w pełnej skali nad zastosowaniem tlenu w oczyszczalni ścieków miejskich „Batavia" w New York. Opracowany system [8, 9] „Unox" umożliwił uzyskanie wysokiego stopnia wykorzystania tlenu 90÷95%, utrzymanie stężenia zawiesin osadu czynnego w komorze od 6000÷10000 mg/dm^3 przy poziomie tlenu rozpuszczonego 6÷10 mg/dm^3 w porównaniu ze stężeniem zawiesin osadu czynnego w zakresie od 1500÷4000 mg/dm^3 i przy poziomie tlenu rozpuszczonego od 1÷2 mg/dm^3 w systemie konwencjonalnym.

Ponadto badania wykazały, że nadmierny osad czynny produkowany w systemie z tlenem wykazywał lepsze zdolności do osiadania i zagęszczania niż osad w układzie z powietrzem a ilość nadmiernego osadu dla systemu z tlenem jest mniejsza o ok. 40÷45% od ilości osadu powstającego w systemie z powietrzem [10], a co za tym idzie umożliwia zmniejszenie objętości komór napowietrzania.

W latach 1970—73 wybudowano w USA, Kanadzie, Anglii i Japonii ok. 55 oczyszczalni w skali półtechnicznej opartych na systemie „Unox", natomiast 8 takich oczyszczalni w skali technicznej działa już w USA, Kanadzie, Japonii [11]. W Polsce badania porównawcze obu systemów w skali laboratoryjnej prowadził Łanowy [12], Apolinarski [13], Biczysko [14]. Wykazali oni niższe wartości wskaźników zanieczyszczeń w odpływie z komory osadu czynnego zasilanej tlenem. Jednocześnie w komorze z tlenem uzyskali wyższą redukcję związków azotowych, stwierdzili bardziej stabilną pracę osadu czynnego w tej komorze oraz lepsze

zdolności sedymentacyjne i mniejszy przyrost nadmiernego osadu czynnego.

Badania nad wykorzystaniem czystego tlenu do oczyszczania ścieków prowadziła również Graczyk [20]. Zastosowała ona czysty tlen pod zwiększonym ciśnieniem jako intensyfikator termofilowej stabilizacji wysoko stężonych ścieków organicznych. Wybór ten okazał się trafny, bo badania wykazały, że:

— przy zastosowaniu czystego tlenu czas procesów stabilizacji wysoko stężonych ścieków organicznych ulega skróceniu od 33÷50%,
— ubytek ładunku zanieczyszczeń (CZT) jest podobny przy użyciu tlenu i powietrza,
— proces stabilizacji cechuje się większą stabilnością aniżeli przy napowietrzaniu powietrzem. Nie obserwuje się obniżenia aktywności mikroorganizmów nawet przy dużych stężeniach zanieczyszczeń.

Podsumowanie

Z dokonanego przeglądu literatury wynika, że oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego nie jest sprawą zamkniętą i w dalszym ciągu poszukuje się rozwiązań bardziej skutecznych biorących pod uwagę wysoki stopień oczyszczania z jednoczesną minimalizacją kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

Obecnie powszechnie stosuje się klasyczne metody napowietrzania osadu czynnego.

Badania i zastosowanie głębokich komór napowietrzania wskazują, że ten sposób napowietrzania poza wysokim OC, charakteryzuje się nieco mniejszymi kosztami eksploatacyjnymi i inwestycyjnymi, przy czym zajmuje małą powierzchnię i jest z punktu widzenia ochrony środowiska o wiele mniej uciążliwy w porównaniu z urządzeniami oczyszczalni klasycznych.

Zastosowanie czystego tlenu — poza wysokim stopniem wykorzystania tlenu pozwala utrzymać wysokie stężenie zawiesin osadu czynnego w komorach co zmniejsza objętość komór a tym samym zapotrzebowanie na powierzchnię maleje. Biorąc pod uwagę trudności związane z właściwym rozwiązaniem gospodarki osadowej, istotną sprawą jest też mniejsza produkcja nadmiernego osadu w systemie z tlenem niż w systemie z powietrzem oraz łatwiejsze jest jego unieszkodliwianie. Do korzyści płynących z zastosowania czystego tlenu należy również zaliczyć możliwość oczyszczania wysokostężonych ścieków organicznych zapewniając tą metodą pokrycie wysokiego natychmiastowego zapotrzebowania tlenu.

Uwzględniając jednomyślne pozytywne opinie i zgodne komunikaty z wyników badań nad zastosowaniem głębokich komór i tlenu technicznego w metodzie osadu czynnego należy zaznaczyć, że wybór metody oczyszczania to trudny i najważniejszy problem projektanta technologa, którego rozwiązanie powinno zawsze uwzględniać dobry efekt oczyszczania przy jak najmniejszych nakładach inwestycyjnych i eksploatacyjnych jak również to, że w przyszłości wybudowana oczyszczalnia powinna stanowić część składową naszego środowiska.

LITERATURA

[1] Imhoff K. — *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków.* Poradnik A-dy 1981 rok.

[2] Kempa E., Cywiński T. — *Oczyszczanie ścieków miejskich.* Arkady 1976 rok.

[3] Möller U. — *Die Abwasserreinigung in der Totalkläranlage.* Wass, Wirt, Wass — Techn. 16/1966/,291.

[4] Schmit F. L., Redmon D. T. — *Oxygen transfer efficiency in depp tanks.* J. Water Poll, Chontroll. Fed. 1975 t. 47. s. 2586.

[5] Moore T. — *Basic Criteria and design aspects for depp aeration tanks.* Water Res. 1972 t. 6 Nr 4/5 s. 407.

[6] Ball J. E., Hemenick M. J. — *High — purity Oxygen in Biological treatment of Municipal Wastewater.* Jour. Water. Poll. Control Fed. 1973, 44, 1, 65—67.

[7] Okun A. D. — *Pure Oxygen in Bio-Precipitation Process May Reduce Sewage Teratment Gasts.* Civil. Eng. 1948, 91, 288.

[8] Anon. — *Unox Process Campressed.* Air 1970, 75, 12, 68.

[9] Anon. — *Oxygen Can. Replace Aeration. American City.* 1970, 85, 6, 90.

[10] Matsch L. C. — *Using Pure Oxygen for Secondary Treatment.* Chemical Enginering Progress 1973, 8, 75—78.

[11] Gromiec J. — *Aktualny stan badań nad zastosowaniem tlenu do oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego.* GWTS nr 7/8 tom XXII str. 232—235.

[12] Łanowy T. i inni — *Badania technologiczne nad oczyszczaniem wybranych ścieków przemysłowych.* Instytut Meteorologii i Gosp. Wodnej, Wrocław wrzesień 1973 (maszynopis).

[13] Apolinarski M., Roman M. — *Badania nad oczyszczaniem ścieków celulozowych metodą osadu czynnego z użyciem czystego tlenu.* Gosp. Wodna 3/1977.

[14] Biczysko J. i inni — *Zastosowanie tlenu do biochemicznego oczyszczania ścieków z koksowni.* Gosp. Wodna 5/72.

[15] Suschka J., Zieliński J. — *Urządzenia do natlenianie ścieków.* Arkady wrzesień 1979 r.

[16] Seweried D. E. — *Development of an improved secondary treatment process.* Dep. tank aeration and flotation clarification. TAPPI 1979 t. 62 nr 2 61—63.

[17] Swientek R. J. — *Depp-shaft wasterwater traetment reduces BOD 95% and TSS 90%* Food Process 1982 vol 43 str. 136—137.

[18] Leislner G. — *Abwasserreinigung alof kleinstem Raum mit dem Bio — Hochreaktor Von Hoechst.* Forum — Stadte-Hyg. 1979 T. 30 s. 70—73.

[19] Nelson J. K. — *Start — up and operation of Denver's oxygen activated sludge plant.* JWPCF 1979 T. 51 nr 5 s. 907—917.

[20] Graczyk M. — *Zastosowanie czystego tlenu do termofilowej stabilizacji wysokostężonych ścieków organicznych.* GWTS 6/1982.