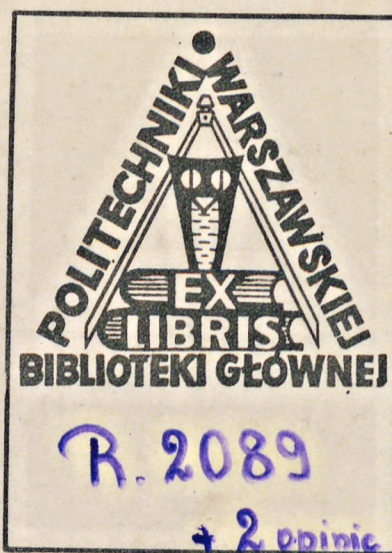


330 335

+ 2 opinie



628.353.15:043

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII SANITARNEJ I WODNEJ

Jerzy Ziętek

Koncepcja wypełnienia złoża biologicznego w postaci
siatki z tworzywa sztucznego oraz opracowanie jego
charakterystyki technologicznej

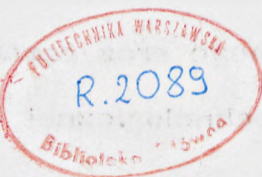
Rozprawa doktorska

Promotor:

doc.dr inż. Marek Roman

Warszawa, maj 1975

WYDZIAŁ INŻYNIERII I ARCHITEKTURY
POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Panu Docentowi Markowi Romanowi
składam serdeczne podziękowania
za kierowanie niniejszą pracą.

Dziękuję Dyrekcji i Zarządze Miej-
skiego Przedsiębiorstwa Wodociągów
i Kanalizacji w Białymstoku za po-
moc w badawczej części pracy.

S P I S T R E Ś C I

1. Przedmiot, cel i zakres pracy	7
2. Istota oczyszczania ścieków na złożach biologicznych	11
2.1. Ogólne wiadomości o oczyszczaniu ścieków na złożach	11
2.2. Czynniki wpływające na efekt redukcji zanieczyszczeń	17
2.3. Modele matematyczne działania złoża biologicznego	26
2.4. Wnioski wynikające z analizy prac dotyczących działania złoża biologicznego	31
3. Analiza stosowanych zagranicą wypełnień złoża biologi- cznych wykonanych z tworzywa sztucznego	33
3.1. Tworzywa stosowane do produkcji wypełnień	33
3.2. Rodzaje wypełnień i ich charakterystyka	36
3.2.1. Wypełnienia w postaci bloków z folii	36
3.2.2. Wypełnienie w postaci rur z PCW	39
3.2.3. Wypełnienia w postaci kształtek z tworzywa sztucznego	40
3.3. Zestawienie porównawcze poszczególnych typów wypełnień	41
4. Przykłady oczyszczania ścieków przemysłowych i miejs- kich na złożach z tworzyw sztucznych	47
5. Koncepcja złoża biologicznego wypełnionego siatką z tworzywa sztucznego	59
6. Określenie niezbędnego zakresu badań dla sprawdzenia koncepcji i opracowania charakterystyki technologicznej wypełnienia siatkowego	62
7. Opracowanie instalacji doświadczalnej	63
7.1. Charakterystyka konstrukcyjna złoża	64

7.2. Usytuowanie instalacji	68
7.3. Doprowadzenie i rozdział ścieków na złożo	70
8. Metodyka i zakres prowadzonych badań	72
8.1. Etapy badań	72
8.2. Badania biologiczne błony	73
8.3. Badania fizyczne chemiczne ścieków	75
8.4. Określenie zmian ilościowych błony biologicznej	75
9. Przebieg badań i uzyskane rezultaty oczyszczania ścieków miejskich	76
9.1. Ogólna charakterystyka ścieków doprowadzonych na złożo	76
9.2. Harmonogram poboru prób	77
9.3. Uruchomienie instalacji i nadzór w czasie badań	78
9.4. Charakterystyka warunków termicznych	81
10. Badania nad rozwojem błony biologicznej	84
10.1. Charakterystyka mikrobiologiczna błony	84
10.2. Masa błony i jej wpływ na obciążenie wypełnienia złoża	88
10.3. Wnioski wynikające z badań nad rozwojem błony biologicznej	90
11. Badania nad efektem oczyszczania ścieków na złożu	95
11.1. Przyjęte kryteria do oceny efektu oczyszczania ścieków	95
11.2. Charakterystyka wartości kryterialnych wskaźników / BZT ₅ , ChZT, utlenialność / w ściekach dopro- wadzanych do złoża	95
11.3. Charakterystyka wartości kryterialnych wskaźników w ściekach po złożu biologicznym	100
11.4. Ocena efektu oczyszczania ścieków na złożu	111

11.5. Wpływ obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń na efekt oczyszczania ścieków	112
11.6. Zależność efektu oczyszczania ścieków od obciążenia hydraulicznego i wysokości złoża	124
11.7. Wnioski wynikające z badań nad efektem oczyszczania ścieków	126
 12. Wstępna charakterystyka techniczno-ekonomiczna złoża o wypełnieniu siatkowym	 131
12.1. Ustalenie podstawowych parametrów technologiczno-konstrukcyjnych dla badanego złoża	131
12.2. Ocena kapitałochłonności badanego złoża	134
12.3. Ocena wielkości zużycia energii elektrycznej	137
12.4. Możliwości typizacji i problemy wykonawstwa	138
 13. Podsumowanie i wnioski	 140
14. Bibliografię	145

Wykaz oznaczeń

Spis rysunków

Spis tablic

Załącznik

Wykaz oznaczeń

Symbol	Określenie	Wymiar	Jednostka
A_v	Powierzchnia właściwa wypełnienia	$L^2 L^{-3}$	m^2/m^3
H	Wysokość złoża	L	m
Q	Obciążenie hydrauliczne	$L^3 L^{-2} t^{-1}$	$m^3/m^2 d$
C_x	Obciążenie ładunkiem	$ML^{-3} t^{-1}$	$kg/m^3 d$
η	Effekt obniżenia zanieczyszczeń	-	-
N	Stopień recyrkulacji	-	-
S	Stężenie ścieków surowych	ML^{-3}	mg/l
S_o	Stężenie ścieków oczyszczonych	ML^{-3}	mg/l
S_m	Stężenie mieszaniny ścieków	ML^{-3}	mg/l
T	Temperatura	T	$^{\circ}C$
t	Czas przepływu przez złożo	t	s
u	Prędkość	$L t^{-1}$	m/s
V	Objętość złoża	L^3	m^3
K, m, n, e	Współczynniki empiryczne	-	-

Spis rysunków.

- 1 Rys.2-1 Schemat przebiegu oczyszczania ścieków na złożu biologicznym
- 2 Rys.2-2 Graficzny sposób wyznaczania współczynników K i n do wzoru Eckenfeldera
- 3 Rys.3-1 Wypełnienie typu "Koroseal PVC"
- 4 Rys.3-2 Wypełnienie typu "Dowpac"
- 5 Rys.3-3 Wypełnienie typu "Surfpac"
- 6 Rys.3-4 Wypełnienie typu "Flocor"
- 7 Rys.3-5 Wypełnienie typu "Polygrit"
- 8 Rys.3-6 Wypełnienie w postaci bloków ze szkła piankowego
- 9 Rys.3-7 Wypełnienie typu "Cloisonyle"
- 10 Rys.3-8 Wypełnienie typu "Flexiring"
- 11 Rys.4-1 Zależność procentu obniżki BZT_5 od obciążenia ładunkiem BZT_5 dla ścieków z przetwórstwa ziemniaków /32/
- 12 Rys.4-2 Zależność procentu redukcji BZT_5 od obciążenia ładunkiem BZT_5 dla ścieków z fabryki papieru /32/
- 13 Rys.4-3 Złoże doświadczalne w Derby. Zależność między obciążeniem ładunkiem ścieków surowych a ładunkiem zredukowanym /97/
- 14 Rys.4-4 Badania w Derby. Zależność między obciążeniem ładunkiem BZT_5 a stężeniem BZT_5 w odpływie /97/
- 15 Rys.4-5 Badania w Cheltenham. Zależność między obciążeniem ładunkiem BZT_5 a stężeniem BZT_5 w odpływie /97/
- 16 Rys.7-1 Schemat instalacji doświadczalnej
- 17 Rys.7-2 Siatka z polietylenu - produkt fabryczny
- 18 Rys.7-3 Pasma siatki sfalowane przez podgrzanie

- 19 Rys.7-4 Rozdział ścieków na złożo - a/ dawkownik i naczynie rozdzielające, b/ wypływ ścieków z naczynia
- 20 Rys.9-1 Wartości średnio-dobowych temperatur powietrza i ścieków
- 21 Rys.10-1 Widok fragmentu siatek porośniętych błoną biologiczną: a/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q \leq 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, b/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- 22 Rys.10-2 Widok fragmentu siatek porośniętych błoną biologiczną: a/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, b/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q = 4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- 23 Rys.11-1 Statystyczne przedstawienie częstotliwości występowania wskaźników zanieczyszczeń w ściekach doprowadzanych na złożo biologiczne
- 24 Rys.11-2 Zależność pomiędzy wartościami BZT_5 i utlenialności w ściekach dopływających na złożo
- 25 Rys.11-3 Zależność pomiędzy wartościami $ChZT$ i utlenialności w ściekach dopływających na złożo
- 26 Rys.11-4 Zależność pomiędzy wartościami BZT_5 i $ChZT$ w ściekach dopływających na złożo
- 27 Rys.11-5 Zależność pomiędzy wartościami $ChZT$ i utlenialności w ściekach po złożu biologicznym
- 28 Rys.11-6 Zależność pomiędzy wartościami $ChZT$ i BZT_5 w ściekach po złożu biologicznym
- 29 Rys.11-7 Zależność pomiędzy wartościami BZT_5 i utlenialności w ściekach po złożu biologicznym
- 30 Rys.11-8 Zależność BZT_5 w odpływie od obciążenia ładunkiem BZT_5 / dla temp. ścieków $t = 20^\circ\text{C}$ /
- 31 Rys.11-9 Zmienność wartości BZT_5 na poszczególnych wysokościach złoża dla obciążeń hydraulicznych $Q=1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, oraz $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

- 32 Rys.11-10 Zmienność wartości BZT_5 na poszczególnych wysokościach złoża dla obciążenia hydraulicznego $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- 33 Rys.11-11 Zmienność wartości $ChZT$ na poszczególnych wysokościach złoża dla obciążeń hydraulicznych $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ oraz $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- 34 Rys.11-12 Zmienność wartości $ChZT$ na poszczególnych wysokościach złoża dla obciążeń hydraulicznych $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ i $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- 35 Rys.11-13 Zmienność wartości utlenialności na poszczególnych wysokościach złoża dla obciążeń hydraulicznych $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ oraz $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- 36 Rys.11-14 Zmienność wartości utlenialności na poszczególnych wysokościach złoża dla obciążenia hydraulicznego $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- 37 Rys.11-15 Charakterystyka usuwania na złożu ładunku zanieczyszczeń określonego przez BZT_5
- 38 Rys.11-16 Charakterystyka usuwania na złożu ładunku zanieczyszczeń określonego przez $ChZT$
- 39 Rys.11-17 Zmienność efektu obniżenia BZT_5 dla poszczególnych obciążeń hydraulicznych
- 40 Rys.11-18 Zmienność efektu obniżenia $ChZT$ dla poszczególnych obciążeń hydraulicznych
- 41 Rys.11-19 Zmienność efektu obniżenia utlenialności dla poszczególnych obciążeń hydraulicznych
- 42 Rys.11-20 Wielkości zmniejszenia zanieczyszczeń wyrażone w BZT_5 na poszczególnych wysokościach złoża, dla różnych obciążeń hydraulicznych

- 43 Rys.11-21 Wielkości zmniejszenia zanieczyszczeń wyrażone przez ChZT i Utlenialność na poszczególnych wysokościach złoża, dla różnych obciążeń hydraulicznych
- 44 Rys.11-22 Wielkość usuniętego ładunku zanieczyszczeń wyrażonego w BZT₅ w zależności od obciążenia ładunkiem BZT₅
- 45 Rys.11-23 Zależność procentu obciążenia BZT₅ od obciążenia ładunkiem BZT₅
- 46 Rys.11-24 Wielkość usuniętego ładunku zanieczyszczeń wyrażonego w ChZT, w zależności od obciążenia ładunkiem ChZT
- 47 Rys.11-25 Zależność procentu obniżenia ChZT od obciążenia ładunkiem ChZT
- 48 Rys.11-26 Wielkość usuniętego ładunku zanieczyszczeń wyrażonego w utlenialności w zależności od obciążenia ładunkiem
- 49 Rys.11-27 Zależność procentu obniżenia utlenialności od obciążenia ładunkiem
- 50 Rys.11-28 Graficzne wyznaczenie wartości "L"
- 51 Rys.11-29 Graficzne wyznaczenie wartości współczynnika "n"
- 52 Rys.11-30 Graficzne wyznaczenie wartości współczynnika "K".

Spis tablic.

- 1 Tabl. 3-1 Zestawienie porównawcze poszczególnych typów wypełnień
- 2 Tabl. 4-1 Oczyszczanie ścieków z przemysłu farmaceutycznego na pięciostopniowym ciągu złóż biologicznych /91/
- 3 Tabl. 4-2 Wyniki badania efektu oczyszczania ścieków z fabryki przetwórstwa ziemniaków /32/
- 4 Tabl. 4-3 Wyniki badań nad oczyszczaniem ścieków celulozowo - papierniczych /32/
- 5 Tabl. 4-4 Charakterystyka pracy złóż biologicznych jedno- i wielostopniowych z wypełnieniem z tworzyw sztucznych /110/
- 6 Tabl. 4-5 Obciążenie hydrauliczne złóż doświadczalnych w Derby / 97/
- 7 Tabl. 4-6 Obciążenie ładunkiem i procent redukcji BZT_5 na złożach w Derby / 97/
- 8 Tabl. 4-7 Dopuszczalne obciążenia hydrauliczne i obciążenie ładunkiem BZT_5 złóż w Derby przy 50 % redukcji zanieczyszczeń /97/
- 9 Tabl. 7-1 Wielkości charakteryzujące wypełnienie siatkowe złoża biologicznego
- 10 Tabl. 7-2 Przeliczenie wielkości przepływów i obciążeń hydraulicznych modelu złoża biologicznego
- 11 Tabl. 8-1 Wartości obciążeń hydraulicznych, czasy trwania serii i sposób dawkowania ścieków
- 12 Tabl. 9-1 Zestawienie wyników badań BZT_5 w ściekach z kolektora miejskiego w przekroju tygodniowym

- 13 Tabl. 9-2 Zestawienie wyników stężeń ChZT w ściekach z kolektora miejskiego w przekroju tygodniowym
- 14 Tabl.10-1 Zestawienie wyników badań błony biologicznej ze złoża o wypełnieniu siatkowym / załącznik/
- 15 Tabl.10-2 Zmiany ciążaru wypełnienia w zależności od obciążenia hydraulicznego
- 16 Tabl.11-1 Wyniki badań fizyko - chemicznych ścieków dopływających do złoża i odpływających ze złoża biologicznego / załącznik/
- 17 Tabl.11-2 Wartości ChZT, Utlenialności i BZT₅ w ściekach pobranych z pośrednich wysokości złoża biologicznego / załącznik/
- 18 Tabl.11-3 Zestawienie wartości ChZT, Utlenialności i BZT₅ na poszczególnych wysokościach złoża dla różnych obciążeń hydraulicznych
- 19 Tabl.11-4 Obciążenie hydrauliczne, obciążenie ładunkiem oraz średnie procenty obniżki BZT₅
- 20 Tabl.11-5 Zestawienie efektów obniżenia ChZT obliczonych różnymi sposobami
- 21 Tabl.11-6 Zestawienie wielkości potrzebnych dla określenia wartości współczynników "K" i "n"
- 22 Tabl.12-1 Koszty wypełnień tradycyjnych, wypełnienia siatkowego oraz wypełnienia typu Flacor .
- 23 Tabl.12-2 Zestawienie porównawcze różnych typów osad biologicznych oczyszczających ścieki miejskie.

1. Przedmiot, cel i zakres pracy.

W dziedzinie oczyszczania ścieków, złoża biologiczne należą do najstarszych urządzeń inżynierskich do prowadzenia procesu biologicznego oczyszczania ścieków.

Pierwsze złoże wykonane były w postaci pryzm ułożonych z kamienia odpowiedniej granulacji bez ścian bocznych, drenażu i skomplikowanych urządzeń do rozprowadzania ścieków.

W miarę upływu czasu dokładniej poznawano procesy zachodzące w złożu biologicznym i modyfikowano konstrukcję złoża, stwarzając lepsze warunki dla przebiegu procesu oczyszczania ścieków. Obecnie w tradycyjnych złożach można wyodrębnić takie elementy składowe jak płytę denną, ruszt podtrzymujący wypełnienie, ściany stanowiące izolację termiczną i jednocześnie podparcie boczne materiału wypełniającego złoże, zraszacz obrotowy lub inny system rozprowadzania ścieków po powierzchni złoża. Najistotniejszym dla prawidłowej pracy złoża jest jego wypełnienie a więc, rodzaj materiału, wielkość poszczególnych elementów wypełnienia, sposób jego ułożenia.

W praktyce inżynierskiej najczęściej wypełnia się złoże tłuczniem kamiennym, grubym żwirem, koksem wielkopieczowym, tufami wulkanicznymi, żużlem itp. Materiały te w zasadzie odpowiadają ogólnym wymaganiom, cechuje je jednak duży ciężar jednostkowy co rzutuje na masywność konstrukcji płyty dennej, rusztu i ścian. W konsekwencji udział tych elementów, w pewnym sensie pomocniczych, w kosztach ogólnych złoża jest duży. Z praktyki wykonawczej wiadomym jest, że bardzo uciążliwym i często niedopełnianym jest warunek utrzymania w miarę jednakowej granulacji

w poszczególnych warstwach złoza. Przy niezbyt dokładnej segregacji materiału wypełnienia trafiają się w złożu materiały, które ulegają łusowaniu i rozdrobnieniu prowadząc w konsekwencji do zmniejszenia przewierności złoza, zmniejszenia sprawności, a niekiedy wręcz uniemożliwiają jego eksploatację.

Innym mankamentem złóż o wypełnieniu mineralnym jest stosunkowo mała ich efektywność wyrażana wielkością ładunku zanieczyszczeń organicznych, który może być doprowadzony do 1 m³ wypełnienia w ciągu doby. Przekroczenie optymalnego dla danego typu złoza obciążenia ładunkiem powoduje niekorzystne zmiany w składzie biocenozy złoza. Bardzo niekorzystny dla pracy złoza jest nadmierny rozwój form nitkowatych gdyż zarastają one wolne przestrzenie pomiędzy poszczególnymi elementami wypełnienia, pogarszają warunki natleniania złoza, co doprowadza do obniżenia efektu oczyszczania, czy nawet do zupełnego wyeliminowania urządzenia z eksploatacji.

Omówione powyżej mankamenty skłoniły badaczy do poszukiwania innych rozwiązań w których wyeliminowane byłyby przynajmniej częściowo wady złóż tradycyjnych.

Od szeregu lat w przodujących, pod względem rozwoju technologii, krajach świata bada się i wprowadza do eksploatacji złoza, w których zastosowano odmienne od tradycyjnych materiały na wypełnienie. Są to przede wszystkim różnego rodzaju tworzywa sztuczne [6] [7] [12] [44] [112] [114] [115] [116] [117] [118] [129] [142]. Złoza w których zastosowano tworzywa sztuczne mają szereg zalet w stosunku do tradycyjnych. Są lżejsze, mniejsze przy zachowaniu tej samej powierzchni kontaktu ścięków z materiałem,

nie wymagają masywnego rusztu i obudowy, są łatwiejsze w budowie i eksploatacji. Charakteryzują się większą efektywnością oczyszczania ścieków. Nie ma możliwości samoistnego zarośnięcia złoża nawet w przypadku obciążenia ładunkiem kilkusetkrotnie większym od jednostkowych obciążeń ładunków dopuszczalnych dla złoża tradycyjnych. Zalety wypełnień z tworzyw sztucznych i ich lepsza efektywność zostały potwierdzone w szeregu pracach badawczych [39] [47] [51] [95] [141] [158] [162].

Utrwalona zagranicą pozycja złoża wypełnionych tworzywem sztucznym, jak również rozwój produkcji krajowych tworzyw sztucznych stwarzają przesłanki do poszukiwania wypełnień złoża opartych na produkowanych i dostępnych na rynku krajowym tworzywach sztucznych.

Przedmiotem pracy jest koncepcja nowego rozwiązania pod względem technologiczno - konstrukcyjnym wypełnienia złoża biologicznego przy wykorzystaniu produkowanych w kraju materiałów z tworzyw sztucznych oraz przeprowadzenie badań nad efektywnością działania złoża o opracowanym rozwiązaniu. Po analizie warunków jakim powinien odpowiadać materiał wypełnienia złoża oraz możliwości produkcji krajowej, przyjęto koncepcję wypełnienia w postaci wiotkiej siatki z tworzywa sztucznego produkowanej w kraju w dużych ilościach i w szerokim asortymencie.

Celem ogólnym pracy jest dostarczenie podstaw do opracowania projektu prototypu złoża zawierającego nowe wypełnienie, charakteryzującego się korzystniejszymi właściwościami technicz-

ny i ekonomicznymi w stosunku do rozwiązań obecnie stosowanych w kraju - zgodnie z założeniami wynikającymi z realizacji problemu węzłowego 10.1.2. w ramach którego niniejsza praca jest realizowana jako temat oznaczony symbolem 03,02,03.

Zakresem pracy objęto badania w skali modelowej-półtechnicznej prowadzone wstępnie w laboratorium na ściekach syntetycznych a w zasadniczej części bezpośrednio w zakładzie kanalizacyjnym na ściekach miejskich charakteryzujących się znaczną zawartością ścieków przemysłowych.

Problemy naukowo-badawcze jakie postawiono sobie do rozwiązania w ramach niniejszej pracy po analizie tendencji rozwojowych konstrukcji złoża biologicznego oraz czynników decydujących o działaniu złoża a także i modeli matematycznych odzwierciedlających to działanie są następujące:

1. Opracowanie nowego typu wypełnienia złoża biologicznego stwarzającego możliwość uzyskania odpowiednich efektów oczyszczania ścieków przy niższym koszcie i prostszej budowie w stosunku do wypełnień tradycyjnych oraz pozwalającego na eliminację importu drogich zagranicznych wypełnień z tworzyw sztucznych.
2. Określenie wstępne wartości parametrów techniczno-ekonomicznych oraz technologicznych dla zaproponowanego wypełnienia a w szczególności wielkości obciążenia masą błony biologicznej i dopuszczalnego zakresu obciążeń hydraulicznych.
3. Sprawdzenie efektu działania złoża o nowym wypełnieniu / z pasm siatki plastikowej / oraz ustalenia zależności efektu oczyszczania ścieków w tego rodzaju złożu od jego

wysokości, obciążenia hydraulicznego i obciążenia ładunkiem zanieczyszczoną.

Całość opracowania została podzielona na trzy zasadnicze części. W części pierwszej / rozdział 1 do 4 / na podstawie analizy piśmiennictwa omówiono rodzaje stosowanych za granicą wypełnień, aktualny stan badań i kierunki rozwoju oczyszczania ścieków na złożach z tworzywa sztucznego. W części drugiej / rozdział 5 do 9 / przedstawiono koncepcję nowego rodzaju wypełnienia, wykonanie instalacji doświadczalnej oraz zakres i przebieg badań praktycznie sprawdzających przydatność opracowanego wypełnienia. W części trzeciej / rozdział 10 do 14 / przedstawiono wyniki badań, wnioski wypływające z analizy tych wyników oraz zebrane piśmiennictwo.

2. Istota oczyszczania ścieków na złożach biologicznych.

2.1. Ogólne wiadomości o oczyszczaniu ścieków na złożach biologicznych.

Pierwsze eksperymenty ze złożami biologicznymi o wypełnieniu kamiennym były przeprowadzone w roku 1889 w Massachusetts /USA/ na Lawrence Experimental Station [155]. Stwierdzono, że ścieki przepływające przez warstwę luźno ułożonego kamienia ulegają oczyszczeniu. Początkowo zjawisko to przypisywano filtracyjnym właściwościom złoża kamiennego. Z biegiem czasu stwierdzono, że na powierzchni kamieni, po których przepływają ścieki, zostaje wytworzona cienka, śluzowata warstewka - błona biologiczna i organizmy oraz bakterie zasiedlające ją biorą czynny udział w

procesie rozkładu związków organicznych zawartych w ściekach.

Pierwsze złoża biologiczne charakteryzowały się niskimi obciążeniami hydraulicznymi i niskim obciążeniem ładunkiem zanieczyszczeń organicznych. W miarę poznawania mechanizmów pracy złóż pojawiły się tendencje zmierzające do zwiększania obciążenia objętościowego złoża, przy równoczesnym zachowaniu odpowiednio wysokiego stopnia oczyszczania ścieków.

Przyjmując za podstawę wielkość objętościowego obciążenia ładunkiem związków organicznych Hinke [154] proponuje następujący podział złóż biologicznych:

- a/ nisko obciążone do $175 \text{ gBZT}_5/\text{m}^3\text{d}$
- b/ średnio obciążone $175 - 450 \text{ gBZT}_5/\text{m}^3\text{d}$
- c/ normalnie obciążone $450 - 750 \text{ gBZT}_5/\text{m}^3\text{d}$
- d/ pełno obciążone $750 - 1100 \text{ gBZT}_5/\text{m}^3\text{d}$
- e/ wysoko obciążone powyżej $1100 \text{ gBZT}_5/\text{m}^3\text{d}$.

Podział ten odniesiony jest do złóż o wypełnieniu tradycyjnym, na których dla wariantów a - c uzyskuje się pełne biologiczne oczyszczenie ścieków, a dla wariantów d, e - częściowe oczyszczenie.

Złoża wysoko-obciążone o wypełnieniu tradycyjnym zostały wprowadzone w 1936 r przez Levine'a [108]. Dalszym etapem rozwojowym było wprowadzenie wypełnień z tworzyw sztucznych, które mogą pracować zarówno jako urządzenie do pełnego biologicznego oczyszczania ścieków, jak i do częściowego oczyszczania ścieków. Ten drugi wariant pracy występuje w praktyce częściej, pozwala na stosowanie dużych obciążeń ładunkiem co w konsekwencji prowadzi do redukcji dużych ładunków przy niskich wskaźnikach kosztów.

W ostatnich latach prowadzone są prace badawcze [132] nad przebiegiem oczyszczania ścieków silnie stężonych przy dużych obciążeniach ładunkiem zanieczyszczeń. Pojawiły się złoża super-wysoko obciążone / super high-rate trickling filters / pracujące przy obciążeniu ładunkiem w granicach 24 - 180 kg BZT₅/m³d [132].

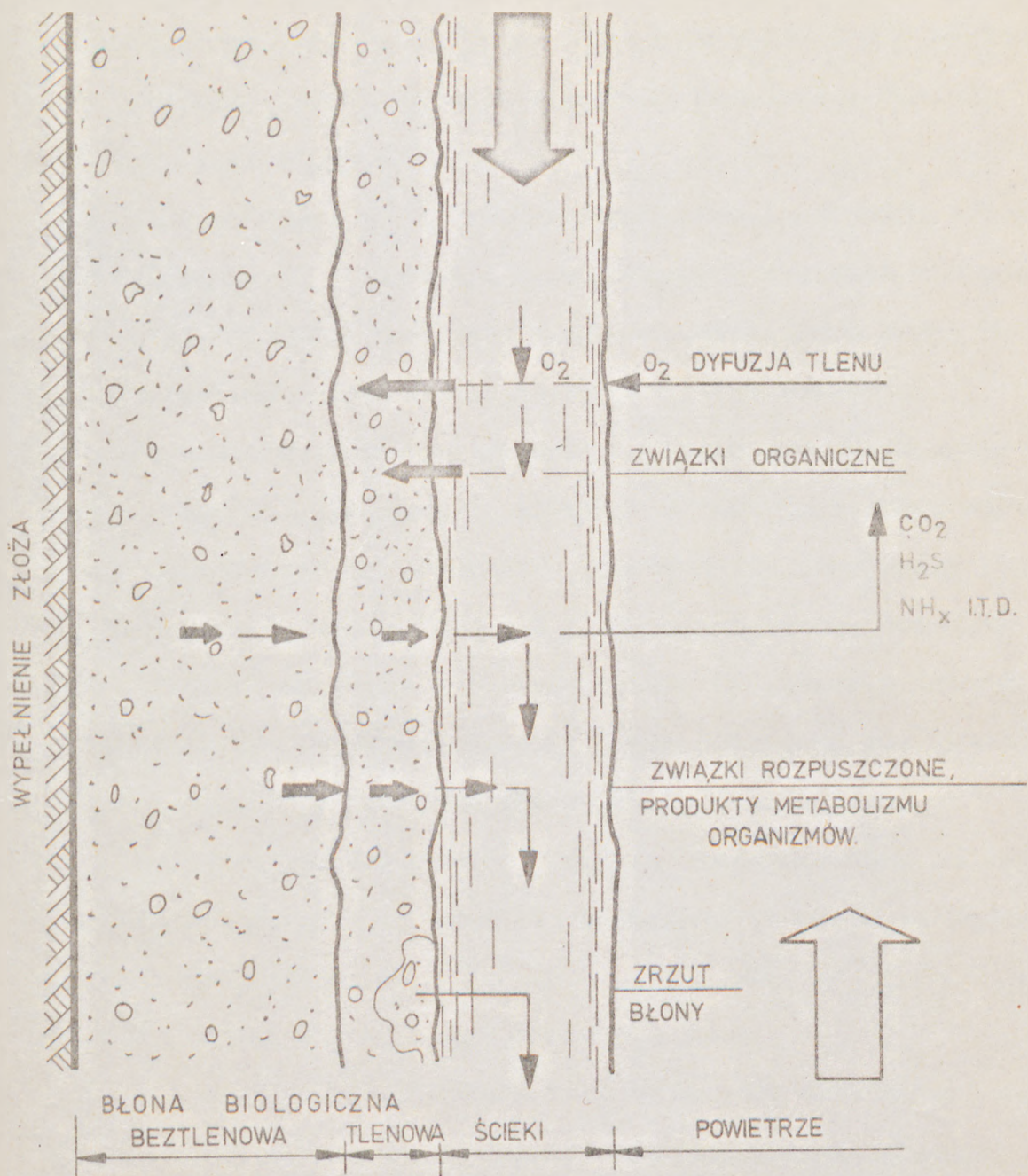
Śród wielu procesów jednostkowych składających się na mechanizm usuwania ze ścieków związków organicznych szczególne znaczenie przypisywano trzem czynnikom z których każdy mógł być modelowany oddzielnie, są to; 1/ biochemiczny rozkład związków organicznych zawartych w ściekach, 2/ dyfuzja tlenu z powietrzem do warstewki cieczy i następnie z warstewki cieczy do błony biologicznej, 3/ przenikanie związków organicznych i pożywek z cieczy do błony biologicznej i następnie dyfuzja w kierunku odwrotnym produktów przemiany materii.

Pierwszy z czynników zależny jest od wpracowania błony biologicznej, temperatury, pH, stężenie zanieczyszczeń w dopływie, podatności związków organicznych na rozkład biologiczny, warunków natleniania, stosunku grubości warstwy błony tlenowej do beztlenowej.

Drugi czynnik zależny jest od hydraulicznych parametrów przepływu przez złożo / liczby Re, Fr, Pe/, obciążenia hydraulicznego Q, prędkości przepływu u, temperatury, deficytu tlenu rozpuszczonego, sposobu i częstotliwości dawkowania ścieków oraz od fizycznych właściwości otoczenia jak ciśnienie atmosferyczne, stężenie jonów, zawartość tlenu w powietrzu.

Trzeci czynnik zależy od biosorpcyjnych własności błony /adsorpcja, podatność na wymywanie / charakteru przepływu /Re, Fr, Pe /, grubości warstewki cieczy, typu usuwanych związków, temperatury, stopnia zanieczyszczenia i aktywności błony biologicznej.

Schemat przebiegu oczyszczania ścieków w złożu biologicznym przedstawiono na rys. 2-1 [52].



RYS. 2.1. SCHEMAT PRZEBIEGU OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW
NA ZŁOŻU BIOLOGICZNYM.

Drogą dyfuzji następuje przenoszenie C, O, H, N, P, S i innych mikroelementów oraz witamin do mikroorganizmów błony biologicznej. Źródłem energii są zwykle związki chemiczne, rzadziej światło, lecz nigdy ciepło.

Faza pierwsza [52] procesu oczyszczania ścieków polega na biokoagulacji substancji koloidalnych i zawiesin nie opadających oraz adsorpcji związków rozpuszczonych przez błonę komórkową mikroorganizmów a następnie biologiczny ich rozkład.

Faza druga polega na utlenieniu azotu amonowego przez bakterie grupy Nitrosomonas do azotynów a następnie przez bakterie grupy Nitrobacter do azotanów. Procesom tym towarzyszy przyrost mikroorganizmów zasiedlających błonę biologiczną. Przebieg procesów nitryfikacyjnych jest najbardziej efektywny w dolnych partiach złoża. W górnej strefie złoża rozwijają się głównie bakterie i organizmy rozkładające substancje organiczne.

W wyniku biochemicznego rozkładu zanieczyszczeń do ścieków przenikają /dyfundują/ produkty przemiany materii. Do najważniejszych z nich należą CO_2 , H_2O , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2 , H_2 , H_2S , O_2 , CH_4 , kwasy organiczne, alkohole i inne.

Stosunek grubości warstewki tlenowej do beztlenowej zależy od takich czynników jak obciążenie organiczne, stężenie zanieczyszczeń, wielkości przepływu, lepkości, wielkości sił ścinających i wymywających, typu ścieków, pH, temperatury, potencjału oksydo-redukcyjnego, sił przyczepności, typu wypełnienia, sposobu dawkowania ścieków, warunków ekologicznych [57].

Głębokość powierzchni wypełnienia nie jest czynnikiem mającym wpływ na grubość błony biologicznej [46] .

W złożach tradycyjnych nisko i średnio obciążonych dominującą rolę w rozkładzie związków organicznych przypisywano procesom biologicznym. W przypadku oczyszczania ścieków ^{stężonych} silnie na złożach wysokoobciążonych, wypełnionych tworzywem sztucznym stwierdzono, że dominujące znaczenie dla oczyszczenia mają procesy fizyko - chemiczne. Najważniejsze z nich to strącanie, aglomeracja, adsorpcja, wymiana jonowa, rozdział faz, chemiczne utlenianie i inne [132].

Natomiast w znikomym stopniu zachodzą procesy nitryfikacyjne. Dlatego też celowym jest dla uzyskania pełnej nitryfikacji stosowanie układów oczyszczalni dwu lub wielostopniowych np. złoża z tworzywa - złoża tradycyjne nisko obciążone lub złożo z tworzywa - osad czynny niskoobciążony.

2.2. Czynniki wpływające na efekt obniżenia zanieczyszczeń.

Wysokość złoża, obciążenie hydrauliczne - czas przepływu ścieków przez złożo.

Czas kontaktu ścieków z błoną biologiczną zależy od rodzaju wypełnienia, wysokości złoża oraz obciążenia hydraulicznego. Pierwsze złoża biologiczne nisko-obciążone miały wysokość ok. 1,8 m. W latach 1955 - 60 zaczęto budować złoża wyższe 2-4 m, pojawiły się również złoża wieżowe o wysokości do 9 m.

Średni czas przepływu ścieków przez złoża wzrasta wraz z wysokością złoża i maleje ze wzrostem obciążenia hydraulicznego. Zależność ta nie jest liniowa. Eckenfelder [59] podaje następujący wzór na średni czas przepływu ścieków przez złoża:

$$t = CH/Q^n \quad - / 1 /$$

gdzie: t - średni czas zatrzymania / t / ,

H - wysokość złoża / L / ,

Q - obciążenie hydrauliczne / $L^3 L^{-2} t^{-1}$ / ,

C, n , - stałe zależne od konfiguracji i charakteru wypełnienia.

Doświadczenia przeprowadzone z różnego rodzaju wypełnieniami pozwoliły na określenie wartości C w postaci:

$$C = C' A^m \quad / 2 /$$

gdzie:

A - powierzchnia właściwa różna dla różnych typów wypełnień / $L^2 L^{-3}$ / .

Dla wypełnienia w postaci kul ze szkła i ceramiki, kamieni oraz wypełnienia " Polygrid " bez błony biologicznej, C' przyjmuje wartość 0,7 zaś $m = 0,75$ [59] .

Czas przepływu można również określić wzorem o postaci [61] [145] :

$$t = CH^m/Q^n \quad / 3 /$$

gdzie: C, H, Q, n - jak poprzednio,

m - współczynnik zależny od rodzaju wypełnienia.

Dla złoża z tworzywa pokrytych błoną biologiczną $m = 1$ [61] [145] .

Różne są poglądy co do wartości współczynnika n . W większości przypadków w literaturze amerykańskiej [21] [52] [173] określa się wartość $n = 0,43 - 0,90$. Przyjmuje się, że jest to wartość stała dla danego typu wypełnienia bez błony i nie ulega zmianie gdy wypełnienie pokryje się błoną biologiczną [21].

W literaturze angielskiej w oparciu o badania prowadzone w Water Pollution Research Laboratory podaje się wartości $n = 0,92 - 1,0$, dla wypełnień z tworzywa sztucznego, oraz $n=0,5$ dla wypełnienia kamiennego [132] [146].

Dla wypełnienia Surfpac określone na drodze badań hydraulicznych $n = 0,5$ [21] [79].

Natomiast w badaniach Nationall Canassers Associations [132] gdzie analizę oparto na wielkości usuniętego ładunku / metoda graficzna podana przez Eckenfeldera / dla wypełnienia Surfpac uzyskano $n = 0,936$.

Rozbieżność w wartościach n prawdopodobnie wynika z różnic metodycznych jakie występują przy wyznaczaniu współczynnika na podstawie badań hydraulicznych i sposobem wykreślnym podanym przez Eckenfeldera [51]. Czasem jednakże oba sposoby dają wyniki bardzo zbliżone i tak np. dla wypełnienia Korosenal i ścieków fenolowych, określone na podstawie badań hydraulicznych $n = 1$, a wyznaczone metodą wykreślną $n = 0,918$ [132].

Wpływ obciążenia hydraulicznego na efekt oczyszczania ścieków jest kontrowersyjny. Galler i Go-tnas [12] [76] stwierdzili, że obciążenie hydrauliczne nie jest podstawowym czynnikiem wpływającym na efekt oczyszczania ścieków.

Inni badacze [36] [82] stwierdzają, że wielkość obciążenia

hydraulicznego ma decydujący wpływ na efekt obniżenia zanieczyszczeń.

Istnieją również poglądy [64] / [127], że wpływ Q na efekt redukcji jest znikomy przy niskich obciążeniach hydraulicznych, a występuje wyraźnie dopiero przy dużych obciążeniach hydraulicznych.

Askew [10] / [11] / [12] stwierdził, że dla niskich obciążeń ładunkiem, wtedy gdy ładunek doprowadzony do złoża jest równy w przybliżeniu ładunkowi usuniętemu, to wysokość złoża /czas przepływu/ nie jest istotna.

Oleszkiewicz [132] sugeruje, że w przypadkach oczyszczania ścieków zawierających związki rozpuszczone powoli sorbowalne, działające hamująco na przebieg reakcji, czas kontaktu ścieków z błoną biologiczną może mieć znaczenie. W przypadkach gdy ścieki zawierają związki koloidalne, łatwo aglomerujące, substancje łatwo usuwalne czy utleniaalne czas kontaktu ścieków z błoną biologiczną nie jest istotny.

Również mniej istotny jest czas kontaktu ścieków z błoną w przypadku złożów wysoko i super wysoko obciążonych gdzie dominują procesy fizyko-chemiczne. Przeciętne czasy przepływu ścieków przez złoża z tworzyw sztucznych wynoszą 2-12 min gdy w złożach tradycyjnych czas zatrzymania ścieków wynosił 15-30 min.

Ogólnie można stwierdzić [132], że dla małego obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń organicznych i dla ścieków słabo stężonych mogą być stosowane złoża o małej wysokości /1,4 - 2,1 m/, natomiast duże obciążenie ładunkiem i stężone ścieki wymagają stosowania złożów wysokich / do 14 m / .

Obciążenie ładunkiem, stężenie ścieków dopły-
wających do złoża, recyrkulacja.

Wpływ na efekt pracy złoża stężenia / S_d / zanieczyszczeń w ściekach dopływających do złoża oraz związane z tym obciążenie ładunkiem / O_t / i zagadnienie recyrkulacji / N / są kontrolowane i jak dotychczas nie ma jednolitego poglądu na ten temat.

Szereg badaczy [152]/[154]/[172]/[173] stwierdza, że wraz ze wzrostem obciążenia ładunkiem / O_t / maleje wielkość redukcji zanieczyszczeń / sprawność złoża / η . Sorrels i Zeller [172] stwierdzają, że istnieje graniczne obciążenie ładunkiem, przekroczenie którego powoduje gwałtowny spadek redukcji / η /. Velz [183] określił graniczne obciążenie ładunkiem na bazie przesłanek teoretycznych obliczając chłonność złoża.

Badania Water Pollution Research Laboratory w Stevenage [32] wykazały, że efekt redukcji na złożu jest mniej zależny od wysokości złoża i czasu przepływu, i że dominującym czynnikiem jest wielkość obciążenia ładunkiem. Do podobnych wniosków doszedł Cook [54] .

Klasyczne ujęcie zagadnienia w pracach Schulze, Velz'a, Eckenfelder'a [60]/[61]/[183] uzależniając wielkość usuniętego ładunku od czasu przepływu lub wysokości złoża.

Rinke badając wypełnienia o dużej powierzchni właściwej / ok. $270 \text{ m}^2/\text{m}^3$ / stwierdził, że wzrost obciążenia ładunkiem nie powoduje zmniejszenia wielkości ładunku zredukowanego, wręcz występuje proporcjonalny wzrost wielkości ładunku zredukowanego [152]/[154] .

Bruce [37][32][42] uzależnia wielkość usuniętego ładunku od czasu przepływu ścieków / w swych doświadczeniach zmieniał jedynie obciążenie hydrauliczne przy stałym stężeniu ścieków /. Chipperfield inicjując w Wielkiej Brytanii badanie złóż typu Flocor opart się na zależności wielkości usuniętego ładunku od obciążenia ładunkiem [47][51][52].

Richard [15] opierając się na badaniach Ethyl Corporation stwierdza, że wysokość złoża i czas przepływu nie mają najważniejszego wpływu na efekt redukcji. Istotnymi parametrami są obciążenie ładunkiem, graniczne obciążenie hydrauliczne, powierzchnia właściwa wypełnienia. Kontrowersyjnym jest zagadnienie czy istnieje graniczne obciążenie dla złóż z tworzywa sztucznego. W szeregu pracach [14][137][141][152][154] autorzy stwierdzają, że wraz ze wzrostem obciążenia ładunkiem wzrasta wielkość ładunku usuniętego, natomiast nie stwierdzają występowania granicy obciążenia ładunkiem. Przy podczyszczaniu ścieków stosowane są obciążenia ładunkiem w granicach $Q_k = 24 - 180 \text{ kg BZT}_5/\text{m}^3\text{d}$ [132], co nawet przy niskiej sprawności np. $\eta = 25 \%$ / bez stosowania recyrkulacji/ pozwala na usunięcie ładunku w granicach $6 - 45 \text{ kg BZT}_5/\text{m}^3\text{d}$.

Przyjmując pogląd, że stosowanie recyrkulacji ścieków jest niekorzystne z uwagi na zwiększone koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, schłodzenie ścieków itd., należy zacytować szereg prac [42][33][123][132] w których stwierdzono, że zastosowanie recyrkulacji pozwala na znaczne zwiększenie efektu redukcji / η /.

Szybkość przepływu ścieków po powierzchni wypełnienia.

W złożach tradycyjnych nisko obciążonych prędkość przepływu ścieków jest mała, natomiast w złożach z tworzywa sztucznego w których powierzchnie spływu są pionowe lub zbliżone do kierunku pionowego, prędkość przepływu jest znacznie większa. Zauważano, że wraz ze wzrostem prędkości przepływu ścieków po powierzchni wypełnienia zwiększa się przyrost błony biologicznej [46]. Wytłumaczeniem tego zjawiska jest fakt, iż przy większej prędkości przepływu występuje zwiększona turbulencja co stwarza lepsze warunki dla przenikania cząstek do błony biologicznej / do wnętrza komórek bakterii/ [54]. Błona aktywna biologicznie jest zwarta i spoiasta, a wraz ze wzrostem prędkości / wzrostem sił ścinających/ staje się ona bardziej zwarta, jednolita, mniej jest części obumarłych które są łatwiej wypłukiwane przez przepływającą warstwę cieczy.

Hydrauliczne aspekty złoż biologicznych.

Szereg czynników mających wpływ na rodzaj i szybkość przebiegu procesów w złożach biologicznych ujmowane jest za pomocą ogólnego współczynnika przenoszenia masy / współczynnika szybkości reakcji/ K , który jest wartością stałą dla określonych ścieków, określonego rodzaju wypełnienia i zdefiniowanych warunków prowadzenia procesu oczyszczania ścieków na złożu. Współczynnik ten jest wypadkową własności ścieków, właściwości wypełnie-

nia na któryś wytwarza się błona biologiczna oraz charakteru i własności błony biologicznej. Wydzielenie poszczególnych składowych, pomiar ich parametrów i zdefiniowanie ich wpływu na przebieg procesu oczyszczania jest trudne a często wręcz niemożliwe. Jednym z czynników mających wpływ na wartość współczynnika K jest charakter przepływu ścieków przez złoża bezpośrednio związany z własnościami wypełnienia złoża.

Przy przepływie ścieków po powierzchni błony biologicznej / wypełnienia / może występować ruch laminarny lub turbulentny. Charakter przepływu jest określony liczbami Re / Reynolds'a / , Fr / Froude'a / , Pe / Peclet'a / .

Jeżeli przepływ jest laminarny, przemieszczanie się cząstek gazów i związków chemicznych pomiędzy poszczególnymi równoległymi warstewkami cieczy następuje jedynie na drodze dyfuzji molekularnej. Jeżeli prędkość przepływu jest znana istnieje możliwość określenia wielkości dyfuzji w oparciu o podstawowe równanie dyfuzji molekularnej. Jeżeli przepływ jest turbulentny takie określenie wielkości dyfuzji nie jest możliwe, gdyż mechanizmy przenikania cząstek gazów w czasie ruchu turbulentnego nie są dokładnie poznane i wyjaśnione teoretycznie. Bazuje się wtedy zwykle na metodach empirycznych. Pomiar wielkości dyfuzji dla ruchu turbulentnego, dla dużych liczb Re , wykazał, że dla gazów wartość ta wzrasta 100-krotnie w stosunku do dyfuzji molekularnej a dla cieczy ponad 100 000 razy. Maier $\frac{[11]}{[12]}$ określił współczynnik dyfuzji turbulentnej jako równy $10 \text{ cm}^2/\text{s}$, podczas gdy dla dyfuzji molekularnej wynosił on $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ / dla modelu spływu po płaszczyźnie pochyłej /. To obrazuje wagę zagadnienia rodzaju przepływu jaki występuje w złożach biologicznych.

Analiza hydrauliki złóż pozwala na stwierdzenie, że warunki przepływu laminarnego występują przy złóżach tradycyjnych [132].

Określenie liczby Pr i Re dla złóż z tworzywa sztucznego wykazały, że występuje tu ruch turbulentny [93]. Badając wypełnienie typu Floccor Barona [22] stwierdził, że liczba Reynoldsa wynosi 20 - 115 / dla przepływu laminarnego Re 4 - 25 dla modelu spływu po płyszczalnie pochyłej /, liczba $Pe = 0,74-2,0$. Te dane pozwalają na założenie modelu przepływu turbulentnego. Przy ruchu turbulentnym dyfuzja molekularna nie stanowi ogranicznika wymiany masy.

Ostatnie badania / 1973 r. / wykazały, że grubość laminarnej warstewki przy powierzchni błony biologicznej stanowi poważną barierę dyfuzji cząstek do i z błony biologicznej, jest zależna ona nie tylko od warunków mieszania / Re / ale również od liczby Prandtla i Schmidt'a / tzw. "statej dyfuzji pożywek" / [432].

Wpływ Temperatura.

Temperatura jest czynnikiem istotnie wpływającym na szybkość przebiegu procesów biologicznych. Jakość błony biologicznej, rodzaj organizmów i bakterii ją zasiedlających oraz ich aktywność zmieniają się w zależności od temperatury. Dyskusyjna jest wysokość temperatury optymalnej dla błony biologicznej. Szereg badaczy [72] [148] stwierdza, że optymalna temperatura wynosi 20-30°C. Sanders [161] określił zakres temperatur optymalnych na 20-40°C. We wzorach do obliczania złóż wpływ temperatury najczęściej od-

niesiony jest do współczynnika szybkości reakcji / stałej wynia-
ny masy / K w postaci

$$K_T = K_{20} \theta^{20-T}$$

/4/

gdzie:

K_T - stała szybkość reakcji dla temp. T /°C/

K_{20} - stała szybkość reakcji dla temp. 20°C

θ - współczynnik korekcyjny zależny od rodzaju
ścieków i typu wypełnienia.

Geber [72] badając złoża tradycyjne określił $\theta = 1,047$.

Bruce [41] i Gromiec [78] dla złóż wysoko-obciążonych z tworzy-
wa sztucznego określili $\theta = 1,025$. Najczęściej jednak [72][132]
[146] przyjmuje się dla złóż z tworzywa i ścieków bytowo-gospo-
darczych $\theta = 1,035$.

2.3. Modele matematyczne działania złóż biologicznych.

Mechanizm usuwania zanieczyszczeń na złożach biologicznych
jest złożony i trudny do ujęcia w postaci formuły matematycznej.
Istnieje szereg wzorów do obliczania złóż lecz wszystkie te wzo-
ry mają ograniczenie co do przedziału zmienności poszczególnych
parametrów i wyprowadzone są przy szeregu założeniach upraszcza-
jących. Szereg modeli bazuje na podanym w 1925 roku przez Stree-
fera i Phelps'a równaniu biochemicznego utlenienia / równanie
reakcji I rzędu /. Velz [183] opierając się na tym równaniu
przyjął, że wielkość usuniętego ładunku odniesiona do wysokości
złoża jest proporcjonalna do stężenia związków organicznych.

Zależność tę wyraził równaniem różniczkowym o postaci:

$$\frac{dS}{dH} = -K_H S \quad /5/$$

po scałkowaniu którego otrzymuje się zależność

$$\frac{S_H}{S_0} = \exp / - K_H H / \quad /6/$$

gdzie:

S_0 i S_H wielkości BZT₅ odpowiednio na wysokościach 0 i H licząc od górnej części złoża.

Równanie to znajduje potwierdzenie dla złóż niskich $H_{max} = 3$ m i o małym obciążeniu hydraulicznym $Q_{max} = 8,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dob}$, oraz dla ścieków zawierających związki łatwo ulegające biodegradacji. Velz stwierdził, że istnieje graniczna wartość obciążenia ładunkiem zależna od zdolności utleniających i akumulacyjnych złoża. Model Velz'a jest zgodny z praktyką tylko dla ograniczonego zakresu obciążenia ładunkiem i wysokości złoża.

Howland oraz Sinkoff [170] opracowali podstawy teoretyczne przepływu cieczy przez porowaty materiał złóż. Czas przepływu cieczy przez złożo został wyrażony jako wielkość proporcjonalna do ilorazu H/Q^n .

Schulze [165][167] opracował równanie na bazie krzywej logarytmicznej o podstawie 10, opierając się na wielkości ładunku usuniętego.

Najbardziej rozpowszechniony i najczęściej stosowany jest wzór podany przez Eckenfeldera [59][60][61]. Model działania złoża podany przez Eckenfeldera jest stosunkowo prosty, dający dobre, zgodne z praktyką wyniki [83]. Technologiczne projektowanie złoża biologicznego w oparciu o ten wzór wymaga jednakże wy-

naczenia dla każdego rodzaju ścieków i typu wypełnienia wartości współczynników K i n . Wzór ma postać:

$$\frac{S_e}{S_a} = \exp / - KH^{1-n}/Q^n / \quad /7/$$

gdzie:

n - współczynnik zależny od rodzaju powierzchni wypełnienia bez błony biologicznej, / często - pomija się wartość n /,

n - współczynnik zależny od charakterystyki hydraulicznej wypełnienia,

H - wysokość złoża / L /,

Q - obciążenie hydrauliczne / $L^3 L^{-2} t^{-1}$ /,

S_a - stężenie zanieczyszczeń w ściekach dopływających do złoża / ML^{-3} /,

S_e - stężenie zanieczyszczeń w odpływie ze złoża / ML^{-3} /.

Eckenfelder zinterpretował znaczenie współczynnika K .

Opierając się na szeregu badaniach stwierdził, że wartość K zależy od powierzchni właściwej wypełnienia A / $L^2 L^{-3}$ /, szczególnie gdy stosuje się wypełnienie z tworzyw sztucznych, oraz od charakteru ścieków /szybkości przebiegu reakcji/ określonych współczynnikiem k . Zależność ta może być zapisana w postaci

$$K = k A \quad /8/$$

W przypadku zastosowania recyrkulacji o wielkości N wzór Eckenfeldera ma postać

$$\frac{S_e}{S_a} = \frac{\exp / - KHQ^{-n} /}{1+N - N \exp / - KHQ^{-n} /} \quad /9/$$

Prowadząc badania oczyszczania ścieków miejskich i przemysł-

wych Eckenfelder stwierdził w szeregu przypadkach, że nie wszystkie składniki zanieczyszczeń są usuwane w takim samym czasie. W szeregu przypadkach zdolność do usuwania ładunku zmniejszała się wraz ze wzrostem czasu i koncentracji zanieczyszczeń [60]. Zależności te podał w postaci wzoru bazującego na reakcji II-go rzędu:

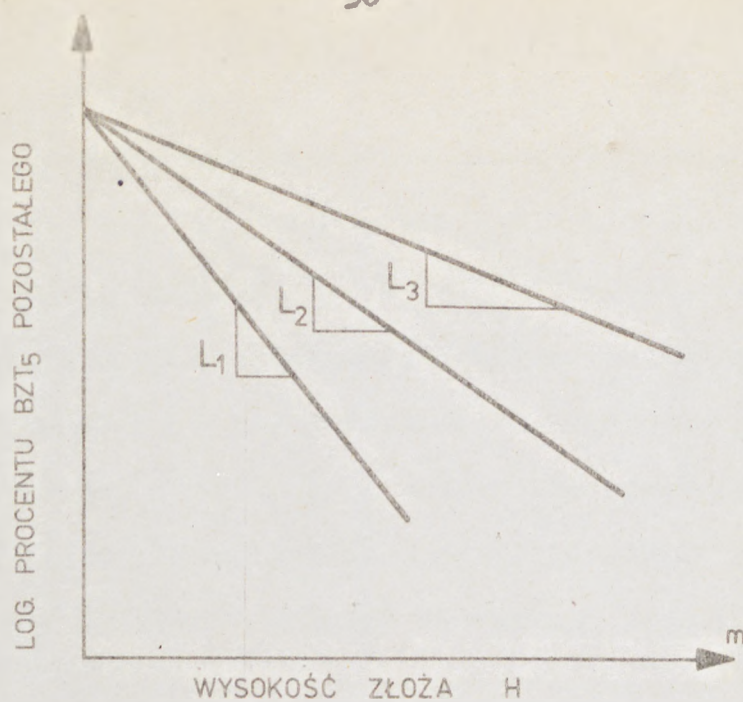
$$\frac{S_e}{S_a} = \frac{1}{1 + Kt^{1-n} C^n} \quad /10/$$

Zmiany w błonie, jej skład i aktywność opisuje współczynnik n który jest zmienny wraz z głębokością złoża. Najczęściej jednakże przyjmuje się wartość współczynnika równą zero i pomija jego wpływ.

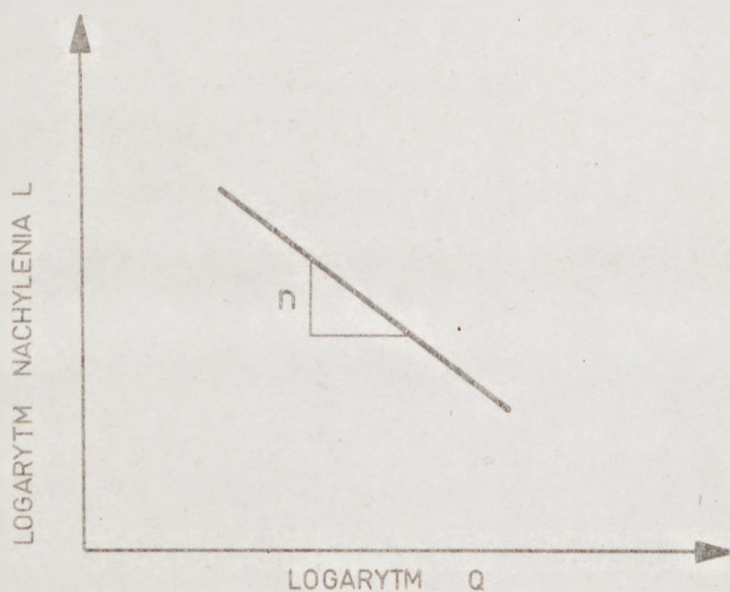
Badając efekt oczyszczania różnego rodzaju ścieków na złożach biologicznych, Eckenfelder podał metodę określania i określił wartości współczynników K i n do wzoru /7/. Sposób graficznego wyznaczania wartości współczynników K i n podano na rys. 2.2.

Szereg modeli teoretycznych powstawało w oparciu o równania bilansu masy [26][27][101][102][104]. Ames [4] traktuje złoża biologiczne jako kolumnę adsorpcyjną w której następuje wymiana masy pomiędzy błoną biologiczną a fazą ciekłą. Głównym mechanizmem jest adsorpcja ujęta matematycznie układem równań różniczkowych podanych przez Amado [3] i Roberts'a [155][132]. Brown [36] stwierdza, że głównymi czynnikami, które należy odwzorować matematycznie są; /1/ stężenie związków organicznych w cieczy, /2/ czas przepływu przez złożo, /3/ stopień turbulencji przepływającej cieczy. Jego wzór bazuje na równaniu reakcji I rzędu.

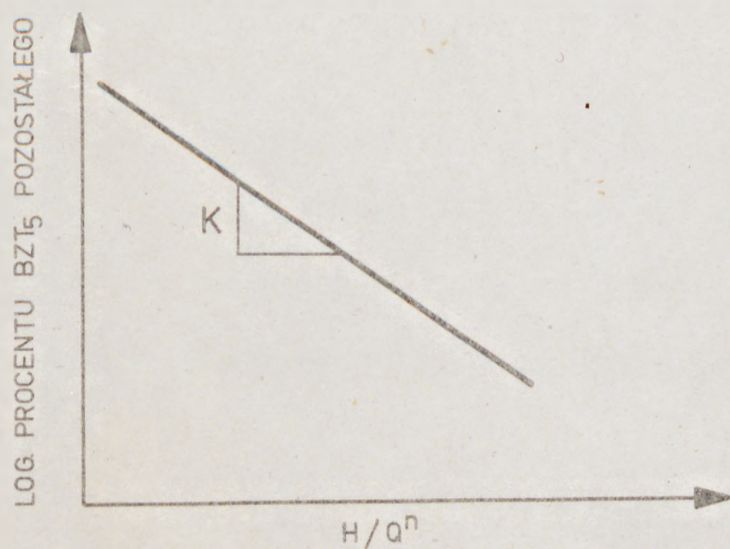
a)



b)



c)



RYS. 2.2. GRAFICZNY SPOSÓB WYZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKÓW n i K DO WZORU ECKENFELDER'A.

Szereg badaczy omawia zagalunienie dyfuzji [100][111][120] i jej wpływ na szybkość przebiegu procesów oczyszczania ścieków.

Wielu badaczy [14][15][16][17] stwierdza, że szybkość przebiegu procesów oczyszczania ścieków ograniczona jest szybkością przenoszenia tlenu z powietrza do warstewki cieczy i do błony biologicznej oraz dyfuzji substratów w kierunku przeciwnym.

Odrębną grupę stanowią wzory semiempiryczne [21][48][132] uzyskane na drodze analizy wymiarowej oraz modele empiryczne [101][122][18].

W roku 1954 Geber [12] zaproponował wzór empiryczny ujmający zależność pomiędzy obciążeniem Q i wysokością złoża H w postaci

$$Se/So = 0,00524 Q/HK + 0,069 \quad /11/$$

gdzie:

K - stała prędkość reakcji dla $20^{\circ}C$,

$$K_T = K \cdot 1,047^{T-20} \quad /12/$$

Schulze [162] podał wzory uzależniające efekt obniżki związków organicznych od czasu przepływu ścieków przez złożo.

Galler i Gotthas [72] podali matematyczny model złoża i przeprowadzili optymalizację poszczególnych parametrów pracy złoża.

Szereg metod obliczania złóż np. Rumpfa, Jakowlewa i Gałani-na, Rincke'a bazuje na wykresach lub nomogramach uzyskanych na drodze analizy pracy istniejących złóż biologicznych.

2.4. Wnioski wynikające z analizy prac dotyczących działania złóż biologicznych.

Złóża biologiczne nisko-obciążone zapewniające pełne biologiczne oczyszczanie ścieków były szeroko stosowane w pierwszym

okresie rozwojowym złóż.

W miarę rozwoju i udoskonalania oczyszczania ścieków sposobem osadu czynnego, złoża biologiczne wskutek szeregu swoich wad zajęły miejsce drugoplanowe. Jednocześnie badania i modernizacja złóż szły w kierunku zwiększenia dopuszczalnego obciążenia ładunkiem przy jednoczesnym utrzymaniu możliwie wysokiego stopnia oczyszczania ścieków. To też spowodowało, że zaczęto budować złoża wyższe o większej granulacji kruszywa wypełniającego, wreszcie zapoczątkowano eksploatację złóż wysoko-obciążonych zapewniających jedynie częściowe oczyszczanie ścieków.

Prowadzone w szeregu krajach badania złóż mające na celu poznanie mechanizmów oczyszczania ścieków, oraz określenie czynników wpływających na działanie złóż, walości szereg teorii i poglądów często kontrowersyjnych dotyczących wpływu na procesy biologiczne takich parametrów jak obciążenie hydrauliczne, stopień zanieczyszczeń, obciążenie ładunkiem, wpływ temperatury, itd. W miarę rozwoju badań i poznawania niektórych mechanizmów oczyszczania ścieków pojawiają się coraz to nowe czynniki których wpływ jest nieokreślony i wymaga dalszych badań.

Swoistego rodzaju renesansem złóż biologicznych było pojawienie się złóż o wypełnieniu z tworzywa sztucznego. Określona wielkość i kształt powierzchni wypełnienia dała możliwość prowadzenia dokładniejszych badań hydrauliki złóż, które w powiązaniu z innymi badaniami dały podwaliny do uszczegółowienia szeregu wniosków i poglądów na mechanizm usuwania zanieczyszczeń na złożach biologicznych.

Szereg modeli matematycznych i wzorów empirycznych opisujących działanie złóż daje wyniki zgodne z praktyką jedynie dla określo-

nych przypadków lub określonego zakresu wartości parametrów pracy złóż.

Nie istnieje wzór uniwersalny dający zadowalające, zgodne z praktyką wyniki dla wszystkich przypadków działania złóż. Najbardziej rozpowszechniony i dający dobre, zgodne z praktyką, wyniki jest wzór Eckenfeldera. Wymagane jest jednak przy jego stosowaniu, wyznaczenie dla każdego rodzaju ścieków i typu wypełnienia wartości współczynników K i n .

3. Analiza stosowanych zagranicą wypełnień złóż biologicznych wykonanych z tworzywa sztucznego.

3.1. Tworzywa stosowane do produkcji wypełnień.

Stosowanie do produkcji wypełnień tworzywa powinny mieć odpowiednie własności mechaniczno - wytrzymałościowe, powinny być odporne na działanie chemiczne związków zawartych w ściekach oraz powinny wykazywać odporność na działanie mikroorganizmów zasiedlających błonę biologiczną. Ważnym elementem jest łatwość obróbki zastosowanego tworzywa oraz jego koszt. Najczęściej stosowanymi do produkcji wypełnień tworzywami są polichlorek winylu i polistyren. Ze względu na swoje cechy mogą również znaleźć zastosowanie jako materiał wypełnienia polietylen, styropian oraz polocel.

Polichlorek winylu - występuje zazwyczaj jako tworzywo bez zmiękczaczy - twardy PCW znany pod nazwą winidur, lub tworzy-

wo modyfikowane zmiękczaciami - plastyfikowany PCW, zwany niewłaściwie z niemieckiego - igielitem.

Wyroby z PCW twardego odznaczają się bardzo dobrą odpornością chemiczną na działanie cieczy i gazów. Ogólnie można stwierdzić, że twarde PCW wykazuje dobrą odporność na działanie wody i roztworów wodnych oraz na większość bezwodnych kwasów, truszczy, ługów, benzyny, olejów mineralnych i gazów przemysłowych. Odporny jest również na działanie wszelkiego rodzaju pleśni, grzybów i bakterii gnilnych. Wyroby z PCW nie są odporne na aceton, chlorek metylenu, chlorek etylenu, chlorek tianylu, cykloheksanol, cykloheksanon, czterochlorek węgla, kwas octowy, wilgotne gazy nitrozowe, metyloaminę, octan butylu, octan winylu, trójchloroetylen.

Wyroby z twardego PCW mogą w zasadzie stale pracować w temperaturze od -10 do $+50^{\circ}\text{C}$ zakładając, że mają zagwarantowaną możliwość rozszerzania się i kurczenia co jest konieczne ze względu na stosunkowo duży współczynnik rozszerzalności liniowej.

Polistyren jest termoplastycznym tworzywem sztucznym otrzymywanym przez polimeryzację blokową, perełkową lub emulacyjną styrenu. Niebarwiony polistyren stanowi przezroczystą o szklistym wyglądzie masę o ciężarze właściwym 1.06 G/cm^3 . Charakteryzuje się dobrymi właściwościami elektroizolacyjnymi, jest odporny na działanie większości chemikaliów, daje się łatwo formować i barwić. Różni się polistyren niskoudarowy, który ma małą wytrzymałość na długotrwałe działanie podwyższonej temperatury /ok. 65°C /, jest kruchy i skłonny do pokrywania się siatką drobnych spękań, oraz polistyren wysokoudarowy, mniej kruchy i bardziej

odporny na działanie temperatury.

Polietylen - w zależności od ciężaru właściwego, na co mają wpływ metody otrzymywania, występuje jako:

- polietylen o małej gęstości 0,910 - 0,925 T/m³
- polietylen o średniej gęstości 0,926 - 0,940 T/m³
- polietylen o dużej gęstości 0,941 - 0,965 T/m³

Polietylen jest odporny na dużą liczbę chemikaliów /około 150 /, natomiast nie jest odporny na większość alkoholi, aceton, anilinę, benzen, chlor, chlorek etylenu i metylenu, cykloheksanol, cykloheksanon, czterochlorek węgla, dwuchloroetylen, estery, fenol, fosforan trójkrezyłowy, krezol, kwas chlorosulfonowy, nafta, olej parafinowy, oleje roślinne i zwierzęce, dwusiarczek węgla, tlenochlorek fosforu, toluen i tróchloroetylen. Poza tym polietylen o dużej gęstości jest jeszcze warunkowo odporny/tzn. w ściśle określonych warunkach np. temperatura nie wyższa niż 20°C i przy stężeniu związku poniżej 50 % / na działanie ; emulacji parafinowych, fluoru, jodu, ketonów, nitrobenzenu, octanu etylu i oleju lnianego oraz stężonych kwasów azotowego, fosforowego, nadchlorowego i siarkowego.

Obecnie z polietylenu produkuje się między innymi rury, siatki ogrodzeniowe, siatki opakunkowe bezwzględnie. Wyroby z polietylenu podobnie jak z PCW mogą być łączone przez zgrzewanie lub klejenie.

Styropian - spieniony polistyren stanowi tworzywo porowate, bardzo lekkie. Ciężar objętościowy 20-40 kg/m³. Odporność na działanie temperatury od -200 do +65°C. Nasiąkliwość wodą po 5 dobach nie większa niż 40% ciężarowo, 1,5 % objętościowo. Wyroby styropia-

nowe uzyskuje się przez formowanie styropianu w granulkach po uprzednim ich spienieniu.

Polocel - spieniony polichlorek winylu charakteryzuje się lepszymi własnościami wytrzymałościowymi od styropianu. Ciężar objętościowy polocelu w granicach $50-150 \text{ kg/m}^3$, chłonność wody nie większa niż 3-7,5 % objętości. Można go stosować w zakresie temperatur od -60°C do $+80^\circ\text{C}$. Jest całkowicie odporny na działanie czynników biologicznych. Spieniony polichlorek winylu produkuje się w postaci płyt twardych /typ I / o wytrzymałości na ściskanie w granicach $2,5 - 10 \text{ kg/cm}^2$, oraz płyt miękkich /typ II/ o wytrzymałości na ściskanie $0,12 - 0,3 \text{ kg/cm}^2$

3.2. Rodzaje wypełnień i ich charakterystyka.

Wypełnienie zbiór biologicznych wykonane z tworzywa sztucznego zaczęto wprowadzać do eksploatacji około 17 lat temu. W okresie tych kilkunastu lat powstało szereg typów wypełnień produkowanych głównie przez firmy amerykańskie, angielskie, zachodniemieckie oraz francuskie. Ogólnie można wyróżnić wypełnienie w postaci bloków, wypełnienie typu rur z przegrodami oraz wypełnienie w postaci różnego rodzaju kształtek z tworzywa sztucznego.

3.2.1. Wypełnienie w postaci bloków sklejanych lub zgrzewanych z cienkich, odpowiednio uformowanych folii.

Pierwszym zastosowanym na skalę przemysłową było wypełnie-

nie Koroseal PVC /Vinyl Core/ produkowane przez firmę Goodrich Industrial Product Co" /USA/ [65][184].

Elementy wypełnienia " Koroseal PVC " mają wymiary 0,6 x 0,6 x 1,2 i 0,3 x 0,3 x 1,2 m, a powietrzne przestrzenie mają długość 9,5 cm i szerokość 3,7 cm /rys. 3.1./. Waga elementów waha się od 20,2 do 29,7 kg w zależności od grubości płyt, która uwarunkowana jest sztywnością konstrukcji, wielkością hydraulicznych i biologicznych obciążeń. Bardziej ciężkie, sztywne i wytrzymałe elementy układane są w dolnej części złoża, elementy zaś lżejsze, mniej obciążone - w górnej części złoża. Dla ułatwienia rozpoznania elementy jednakowych rozmiarów o różnych ciężarach mają różne znaki barwne. Zastosowanie bloków o różnych ciężarach pozwala na najbardziej efektywne wykorzystanie materiału. Wypełnienie " Koroseal PVC" jest lekkie, ma dużą powierzchnię adsorpcji, dużą porowatość / 97 %/. [122].

Innym rodzajem jest wypełnienie typu "Dowpac" /rys.3.2./ oraz jego zmodyfikowane odmiany o nazwie "Surfpac Standart" oraz "Surfpac Crinkle Close" /rys.3.3./ produkowane przez firmę "Dow Chemical Co" /USA/ [32][138][139].

Bloki z płyt "Dowpac" uzyskuje się poprzez sklejenie lub zgrzanie odpowiednio sfałowanych płyt. Wysokość fali w płytach "Dowpac" wynosi około 2,5 cm. Płyty łączy się w ten sposób, że jedna w stosunku do drugiej przekręcona jest o 180° przez co uzyskuje się to, że fale płyty następnej biegną w przeciwnym kierunku do poprzedniej.

Płyty ułożone w ten sposób tworzą blok przez który ścieki mają swobodny przepływ. Bloki o wymiarach 37,5 x 37,5 x 21 cali

składają się z 37 płyt. Dobrze sklejone płyty tworzą sztywną konstrukcję [158].

W Wielkiej Brytanii Koncern "Imperial Chemical Industries Ltd" /ICI/ produkuje wyrób o nazwie "Flocor"/rys.3.4./[110][113].

Płyty Flocor formowane są z cienkich /rzędu 0,3 - 0,5 mm grubości/ folii metodą formowania próżniowego. Poszczególne płyty łączone są poprzez klejenie lub zgrzewanie w bloki o odpowiedniej sztywności i wytrzymałości na ściskanie. Wypełnienie tego typu wykonywane jest w dwóch odmianach różniących się wielkością, powierzchnią czynną i objętością przestrzeni powietrznych.

Innego typu jest wypełnienie o nazwie "Polygrid" produkowane przez amerykańską firmę "Fluor Corporation"/rys.3.5/[158][122].

Wypełnienie to stanowi rodzaj kratownicy wykonywanej metodą formowania wtryskowego. Wysokość pasm z których składa się krata wynosi 2 1/2 cala lub 1 1/2 cala, odległość między poszczególnymi pasmami jest równa wysokości pasm. Kratownice formowane są w bloki tak, aby ścieki spadające przez otwór płyty trafiały na powierzchnię ścianki płyty następnej.

W ZSRR prowadzono badania nad nowym typem wypełnienia w postaci bloków ze szkła piankowego ze sztucznie wykonanymi otworami [178]/rys.3.6/.

Szkło piankowe jest materiałem lekkim, odpornym na działanie tlenu, wody, mikroorganizmów, bakterii gnilnych, posiada odpowiednią wytrzymałość mechaniczną. Materiał wypełnienia był przygotowany w postaci bloków z czarnego szkła piankowego w których wykonano otwory o średnicy 18 mm. Ciężar objętościowy wypełnienia wynosił 100 kg/m^3 , objętość przestrzeni powietrznych 65 %,

powierzchnia czynna 100 - 120 m². Badania początkowo prowadzono w skali laboratoryjnej, a następnie w skali technicznej.

3.2.2. Wypełnienie w postaci rur z PCW.

Francuska firma Cegedur" produkuje wypełnienia o nazwie "Cloisonyle" /rys.3.7/. [137]. Ten typ wypełnienia produkuje się od 1965 roku w postaci rur o średnicy 80 mm oraz grubości ścianek 0,5 mm. Wnętrze rury podzielone jest przegrodami, dzięki którym uzyskano dużą powierzchnię kontaktu, oraz uzyskano sztywną konstrukcję rury. Materiałem wyjściowym do produkcji rur są płyty PCW o grubości 2-6 cm, z których po podgrzaniu formuje się na matrycach żądany kształt rury. Minimalna odległość między przegrodami wynosi 20 mm ze względu na to, żeby wytwarzające się kłaczkii osadu dochodzące do kilkunastu mm nie zapychały otworów w rurach.

Rury wchodzące w skład wypełnienia typu "Cloisonyle" ustawione są pionowo. Na 1 m³ potrzeba około 160 m rur. Ciężar rur wynosi 500 g/m, ciężar 1 m³ wypełnienia w stanie suchym wynosi 80 kg.

Powierzchnia kontaktu ze ściekami na 1 m³ wypełnienia wynosi 225 m². Ilość przestrzeni powietrznych w stanie suchym wynosi 94 %. Rury produkowane są o długościach od 2 do 6 m. Ze względu na swą lekkość, rury wykazują dużo zalet. Są wygodne w transporcie, pozwalają na łatwy montaż i nie wymagają użycia sprzętu mechanicznego. Przy stosowaniu wypełnienia z rur "Cloisonyle"

można znacznie zmniejszyć koszt obudowy oraz rusztu. Rury te są elementami nośnymi i nie wymagają dodatkowych podpór bocznych, konstrukcja ścian złoza powinna być liczona na parcie boczne wiatru. Badania nad wypełnieniem typu "Cloisonyle" przeprowadzone były w Zakładzie Badań Chemicznych w Instytucie Naukowym w Vertle-Petit [137].

3.2.3. Wypełnienia w postaci luźno nasypanych kształtek z tworzywa sztucznego.

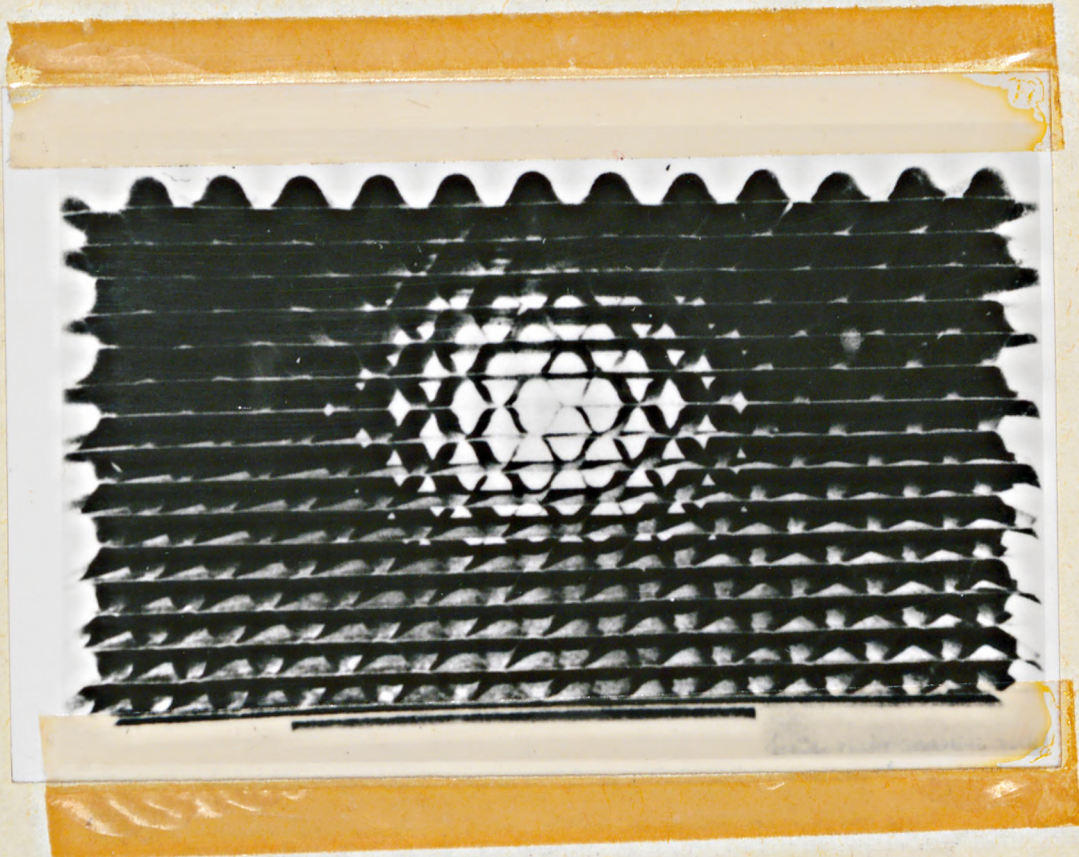
Innym typem wypełnienia reklamowanego na rynkach zachodnich są różnego rodzaju kształtki, przestrzenne z tworzyw sztucznych. Luźno nasypane kształtki nie stanowią konstrukcji samonośnej, są w pewnym sensie imitacją wypełnień tradycyjnych. Tego typu wypełnienie w postaci odcinków rur o średnicy 40-50 mm wykonanych ze spienionego polichlorku winylu / polski odpowiednik - polocel / produkuje firma "EMALL - PORIT" [110]/[114]. Wypełnienie to posiada powierzchnię czynną większą o 40-70 % w porównaniu z wypełnieniami tradycyjnymi.

Inny rodzaj kształtek o nazwie "Filterpak" oraz "Monsanto's Biodize" produkuje angielska firma "Mass Transfer - Limited" [110]/[115]. W USA firma "Koch Engineering Company INC" produkowała kształtki o nazwie "Flexiring" [117] /rys.3.8/. Tego typu wypełnienia zalecane są przede wszystkim do renowacji starych zbiór biologicznych. Stosowane są z powodzeniem do podczyszczania ścieków przemysłowych oraz do pełnego biologicznego oczyszczania ścieków miejskich.

Prace nad nowymi typami wypełnień są kontynuowane w wielu krajach. Ostatnio pojawiły się w USA [142] oraz w RFN [122], nowe typy wypełnień charakteryzujące się dużą powierzchnią właściwą.

3.3. Zestawienie porównawcze poszczególnych typów wypełnień.

Podstawowe parametry charakteryzujące niektóre typy wypełnień przedstawiono w tabelicy 3.1.



Rys. 3.1. Wypełnienie typu "Koroseal PVC"

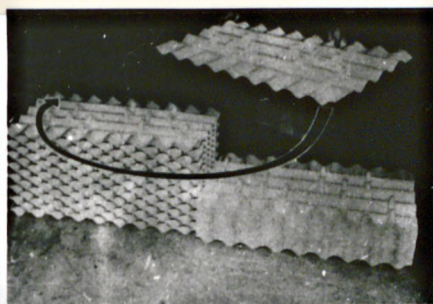
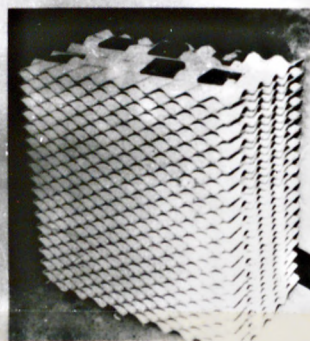
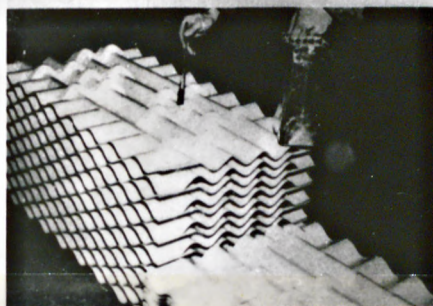


Figure 4

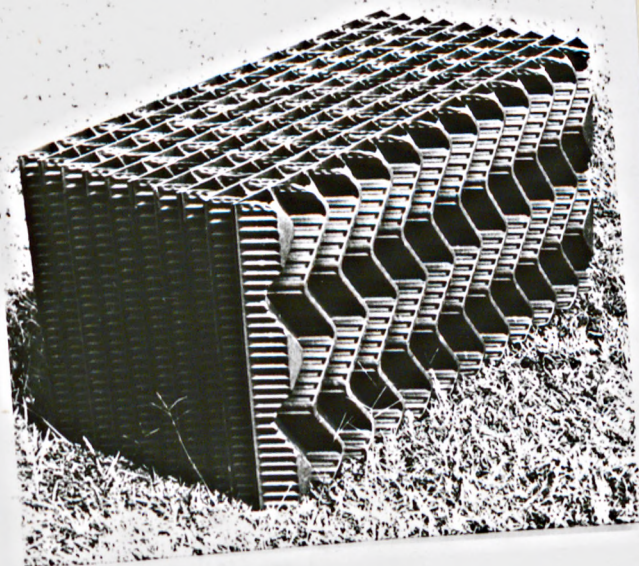
Alternate sheets of Dowpac 10 are turned end for end and stacked to form expanded module.



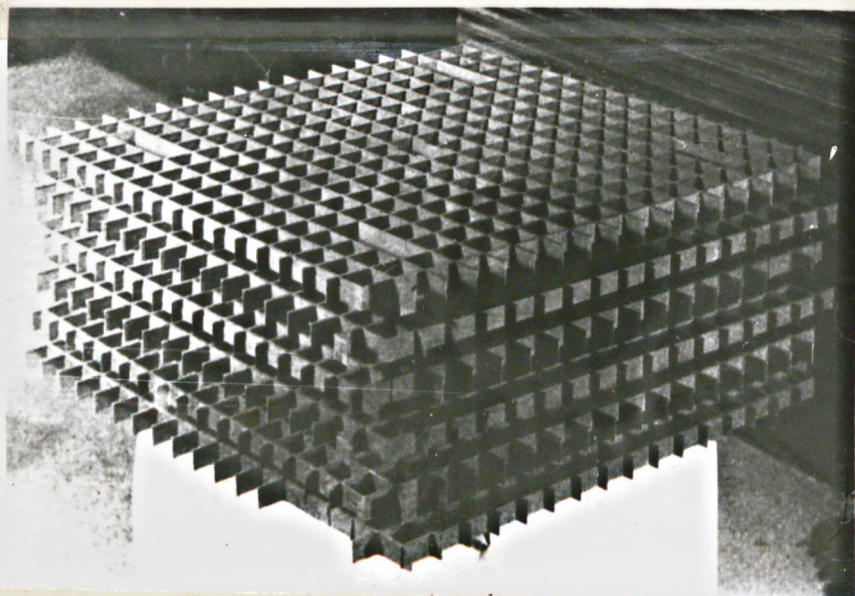
Rys. 3.2. Wypełnienie typu "Dowpac"



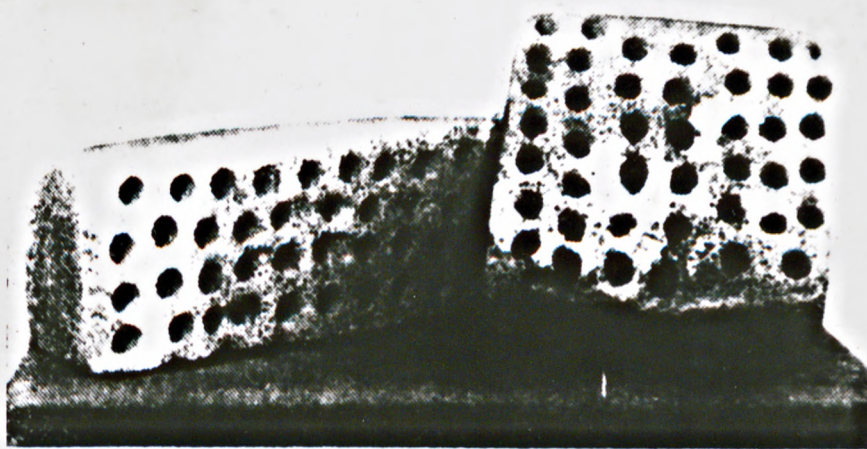
Rys.3.3. Wypełnienie typu "Surfpac"



Rys.3.4. Wypełnienie typu "Plocor"



Rys.3.5. Wypełnienie typu "Polygrid"



Rys.3.6. Wypełnienie w postaci bloków ze szkła piankowego



Rys.3.7. Wypełnienie typu "Cloisonné"



Rys.3.8. Wypełnienie typu "Flexiring"

Tablica 3.1.

Zestawienie porównawcze poszczególnych
typów wypełnień.

Rodzaj wypełnienia	Wymiary w /cm/	Ciepota obj.wy- peł. w stanie suchym /kg/m ³ /	Powierze- nia właś- ciwa /m ² /m ³ /	Obję- tość przes- trzen. powie- trz. 5
1	2	3	4	5
"Korosal PCV"	bloki 60x60x120 30x30x120	430-66	122-133	97
"Dowpac" później zwane "Surfpac" typu a/crinkle-close b/standard	bloki 100x100x55	96	137 82,5	94
"Flocor"	bloki 120x60x60 120x60x30 100x100x60	56 x/	82,5 lub 164	97
"Cloisonyle"	rury Ø 8	80	225	94
"ELEXIRING"	kształtki 3 1/2 cala	65	92	97
Szkło piankowe	bloki 45x45x12 z otworami Ø 1,8-3,2	100	100 do 120	65
Zutel	frakcje 6-8	1070 1100	69	45-53
Zwir /otoczaki/	frakcje 6-7	1440	66 do 85	52
Koka wielko- piecowy	6-8	500	-	50

x/
ciężar objętościowy po zarodnięciu błoną
biologiczną max 243 kg/m³

Obecnie w kraju produkowane są tworzywa sztuczne które mogłyby stanowić materiał na wypełnienie złóż biologicznych. Podstawowe tworzywa z których zagranicą wykonywane są najbardziej rozpowszechnione wypełnienia to polistyren i polichlorek winylu.

Obecnie wykonywane zagranicą wypełnienia z tworzyw sztucznych można generalnie podzielić na dwie kategorie: a/ wypełnienia w postaci różnego rodzaju kształtek imitujące naturalne kruszywo o dużej powierzchni właściwej, b/ wypełnienie samonośne, o większych wymiarach, w postaci bloków składających się z cienkich, odpowiednio ukształtowanych folii. Badania nad zastosowaniem tworzyw jako wypełnienia złoża prowadzone są w szeregu krajach i wynikiem ich są nowe doskonalsze typy wypełnień.

Tendencje w poszukiwaniu nowych rozwiązań zacierają w kierunku obniżenia ciętaru objętościowego wypełnienia / mniejsze zużycie tworzywa, lżejsza konstrukcja złoża/, przy jednoczesnym uzyskaniu dobrych efektów oczyszczania ścieków.

4. Przykłady oczyszczania ścieków przemysłowych i miejskich na złożach biologicznych z tworzywa sztucznego.

Złoża z tworzyw sztucznych stosowane są do oczyszczania ścieków miejskich [50], podczyszczania ścieków przemysłowych [11] [33] przed zrzutem do kanalizacji lub do odbiorników oraz do pełnego oczyszczania ścieków przemysłowych. W tym drugim przypadku

złoża najczęściej stosowane są jako pierwszy stopień przed osadem czynnym lub w układzie wielostopniowym. Szczególnie korzystne jest stosowanie złóż z tworzywa dla oczyszczania ścieków stężonych takich jak ścieki mleczarskie [9] [57], browarniane [23] [36], ścieki z rzeźni [20] [31], z przetwórstwa owocowo-warzywnego [32] [51] oraz szeregu innych przemysłów [8] [49] [52].

Wyniki badań nad oczyszczaniem ścieków przemysłowych na złożach o wypełnieniu z tworzywa sztucznego podano w tabl. 4.1. do tabl. 4.4. oraz na rys. 4.1. i rys. 4.2.

W związku z planowaną rozbudową oczyszczalni w mieście Derby / Wielka Brytania/ prowadzono badania nad oczyszczaniem ścieków na kilku rodzajach wypełnienia [37]. Wyniki badań przedstawiono w tabl. 4.5. do tabl. 4.7.

Tablica 4.1.

Oczyszczanie ścieków z przemysłu farmaceutycznego na pięciostopniowym ciągu złóż biologicznych /31/

Instalacja	P o c z a t k o w e BZT ₅ 5000 mg/l							
	Nr stopnia	Obciążenie ładunkiem kgBZT ₅ /m ³ db	Wysokość wypełnienia m	Wielkość dopływu		Redukcja BZT ₅ %	BZT ₅ w odpływie mg/l	
				Ścieki m ³ /m ³ db	Racyzm lat m ³ /m ³ db			
4-stopniowe Złoża typu "Floccor"	1	7,12	9,14	1,42	1,77	35	3250	
	2	7,12	9,14	2,18	1,00	30	2275	
	3	2,82	9,14	1,30	1,89	45	1250	
	4	2,37	9,14	1,89	1,30	50	625	
Złoża tradycyjne wypełnione 50 mm frakcją granitu	5	0,30	1,83	0,74	-	83,5	50	

Tablica 4.2.

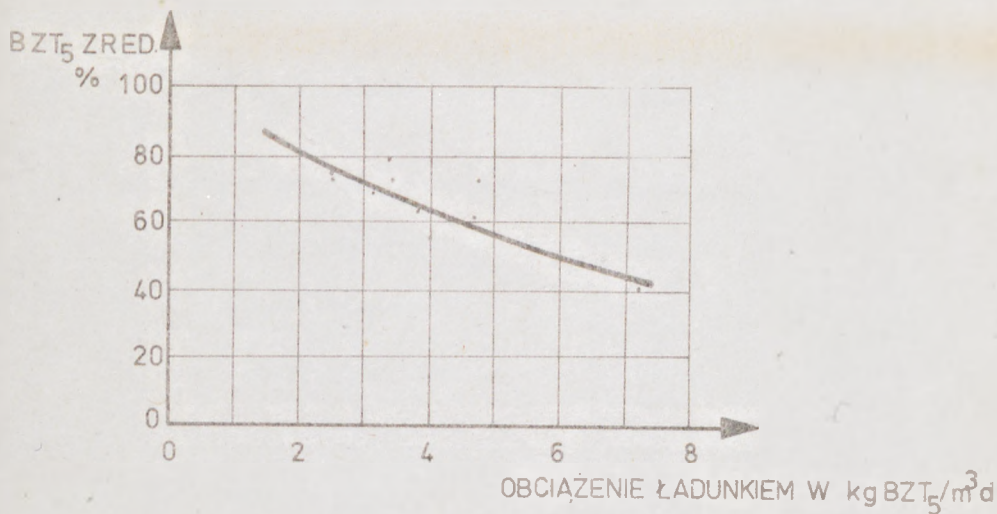
Wyniki badania efektu oczyszczania ścieków
z fabryki przetwórstwa ziemniaków [327.

Przepływ		$Q = 1400 \text{ m}^3/\text{db} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$		
Ładunek BZT_5		2300 kg/db		
Stężenie BZT_5		2000 mgO_2/l		
BZT_5 odpływu		400 - 600 mg/l		
W A R I A N T		1	2	3
$S_{\text{odpł}}$	$\text{mg BZT}_5/\text{l}$	600	500	400
redukcja η	%	70	75	80
Ładunek zreduk.	kg/db	2016	2160	2304
O_t /bez recyrkulacji/	$\text{kg}/\text{m}^3/\text{db}$	4,0	3,24	2,70
$Q + Q_{\text{recyrk}}$	m^3/h	150	150	180
$O_t + O_t^{\text{recyrk}}$	$\text{kg}/\text{m}^3/\text{db}$	5,8	4,45	3,8
Parametry Złoza biolog.	$V / \text{m}^3 /$	720	890	1060
	$H / \text{m} /$	8	10	10
	$F / \text{m}^2 /$	90	89	106
Obciąż.hydr. O_h	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$	1,67	1,68	1,70
Zużycie energii kWh/kg BZT_5 zred.		0,119	0,132	0,148
Wskaźnik red.pojem. V/BZT_5 zred.		0,36	0,41	0,46

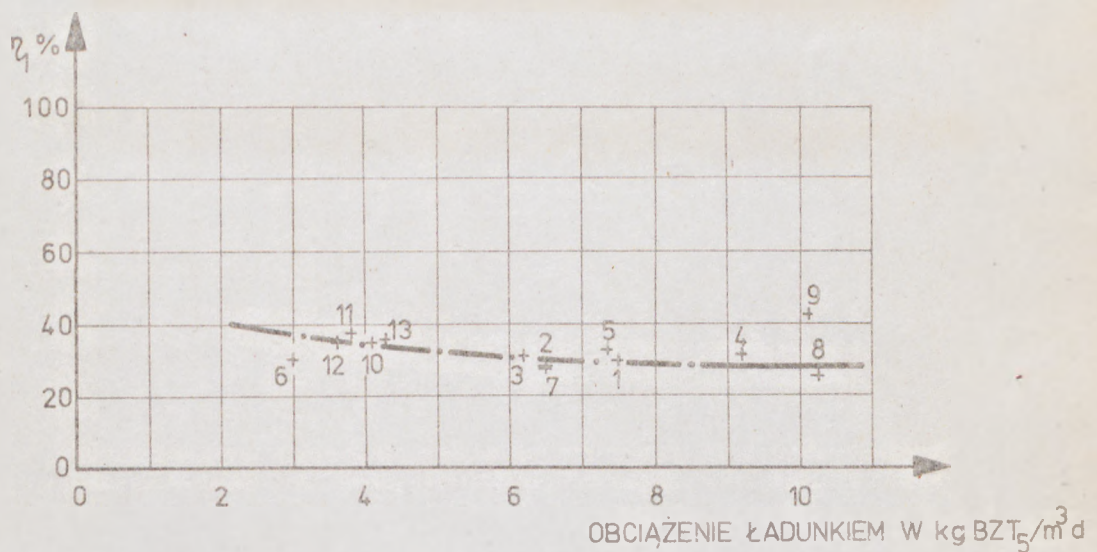
Tablica 4.3.

Wyniki badań nad oczyszczaniem ścieków celulozowo-papierniczych /32/.

Próbki Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Recykulacja H /%	0	0	0	0	0	200	200	400	400	400	400	400	500
O_2 /mgBTL ₅ /m ³ d ₀ /	7,5	6,5	6,2	9,2	7,4	3,0	6,5	10,2	10,1	4,1	3,8	3,6	4,3
S_d /mgBTL ₅ /l/	1192	1171	1054	1120	912	1105	1009	1065	1208	1043	1040	1007	980
S_m /mgBTL ₅ /l/	1192	1171	1054	1120	912	834	800	755	744	555	542	528	506
S_o /mgBTL ₅ /l/	836	842	729	770	610	585	584	557	274	364	334	338	324
$\eta_1 = \frac{S_m - S_o}{S_m} \cdot 100\%$	30	28	30	31	33	30	27	26	43	35	38	36	36
$\eta_2 = \frac{S_d - S_o}{S_d} \cdot 100\%$	30	28	30	31	33	47	41,5	53,7	77,2	65	68	65	67



RYS.4.1. ZALEŻNOŚĆ PROCENTU REDUKCJI BZT₅ OD OBciążENIA ŁADUNKIEM BZT₅ DLA ŚCIEKÓW Z PRZETWóRSTWA ZIEMNIAKÓW. [32]



RYS.4.2. ZALEŻNOŚĆ PROCENTU REDUKCJI BZT₅ OD OBciążENIA ŁADUNKIEM BZT₅ DLA ŚCIEKÓW Z FABRYKI PAPIERU [32].

Tablica 4.4.

Charakterystyka pracy złoź biologicznych jedno-
i wielostopniowych z wypełnieniem z tworzyw
sztucznych [110].

Lp.	Rodzaj ścieków	Układ	Obciążenie kg/m ³ .d	Ogólny % reduk- cji
1	Destylacja whisky	wielosto- pniowy	1,75	93
2	Destylacja whisky	"	1,33	87
3	Żywiec syntetyczne	"	0,55	94
4	Wódno syntetyczne	"	0,59	97
5	Wódno syntetyczne	jednosto- pniowy	1,33	76
6	Ścieki fenolowe	"	1,84	94
7	Koksownia	wielosto- pniowy	1,78	91
8	Koksownia	jednosto- pniowy	2,89	79,5
9	Przemysł owocowo- warzywny	"	1,63	80
10	Browar	wielosto- pniowy	2,72	86
11	Serownia	jednosto- pniowy	5,05	89
12	Farbiarnia tek- stylna	"	3,20	63
13	Przemysł farma- ceutyczny	wielosto- pniowy	5,16	86
14	Przemysł mięsny	jednosto- pniowy	3,68	76
15	Drożdżownie	"	5,93	67
16	Przetwory owoco- we /jabłkowe/	"	1,25	67

Tablica 4.5.

Obciążenie hydrauliczne złóż
doświadczalnych w Derby [97].

Rodzaj wypełnienia	Obciążenie hydrauliczne m^3/m^3d	
	1-sza część badań	2-ga część badań
102 mm/4 cale/ granit		
102 mm/4 cale/ żużel	4,5	6,3
152 mm/6 cali/ żużel		
Flocor	15,0	22,5
Surfpac		

Tabela 4.6.

Obciążenie ładunkiem i procent
redukcji BZT₅ na złożach w Derby [97].

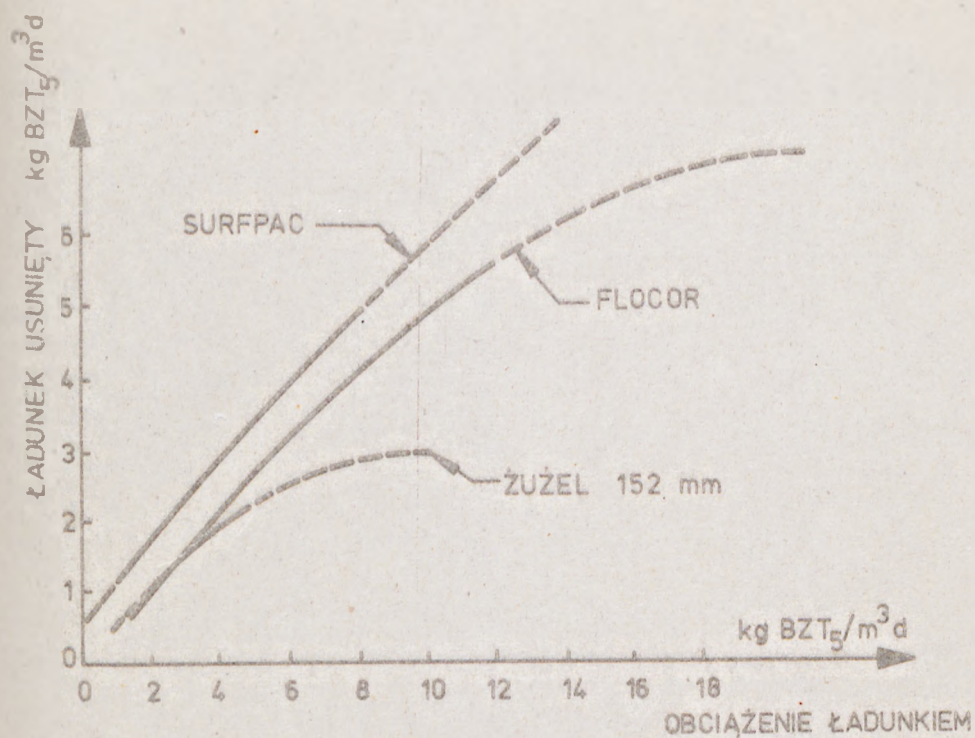
Obciążenie hydr. m^3/m^3d	Obciążenie ład. $kgBZT_5/m^3d$	Procent redukcji BZT ₅	
		102 mm żużel	152 mm żużel
4,5	1,5	58	58
6,8	2,3	55	52
10,0	3,0	--	49
		Flocor	Surfpec
15,0	5,0	55	69
22,5	7,5	50	60
32,5	10,0	49	-

Tablica 4.7.

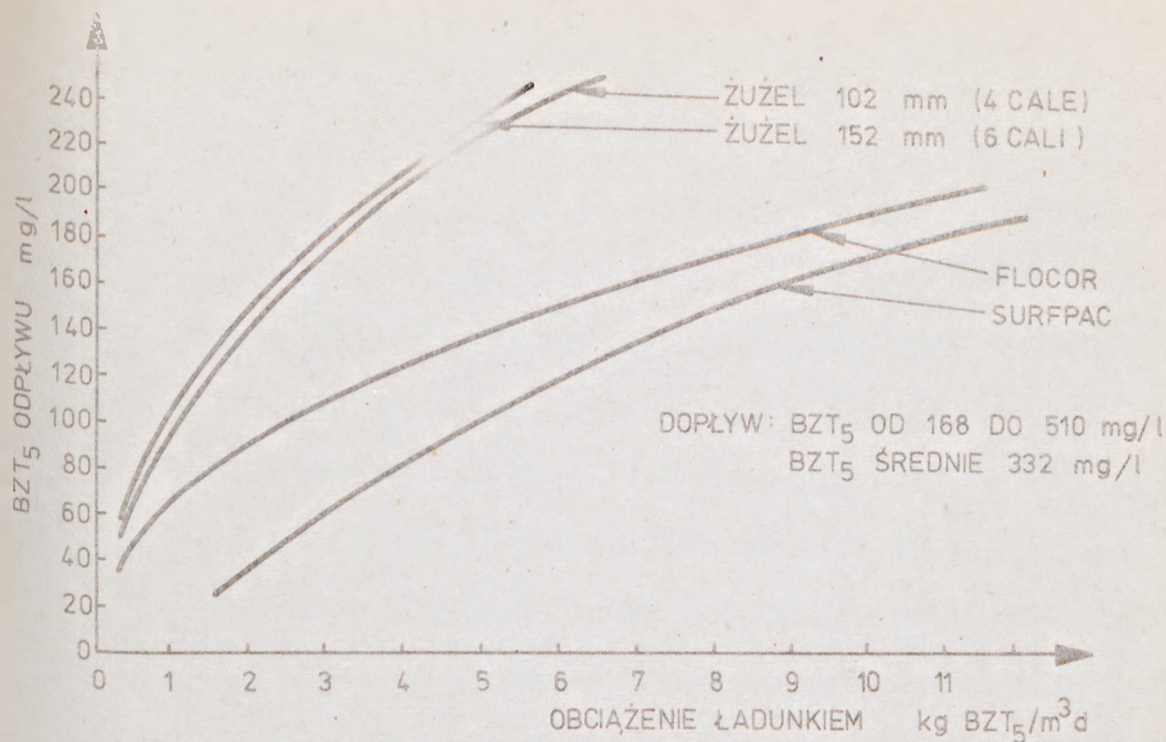
Dopuszczalne obciążenia hydrauliczne
i ładunkiem złóż w Derby przy 50 %
redukcji zanieczyszczeń [97].

Rodzaj wypełnienia	Obciążenie hydrauliczne m^3/m^3d	Obciążenie ładunkiem $kg\ BZT_5/m^3d$
102 mm żużel	nie rozpatrywano	
152 mm żużel	6,7	2,7
Flocor	19,3	7,3
Surfpac	24,4	10,0

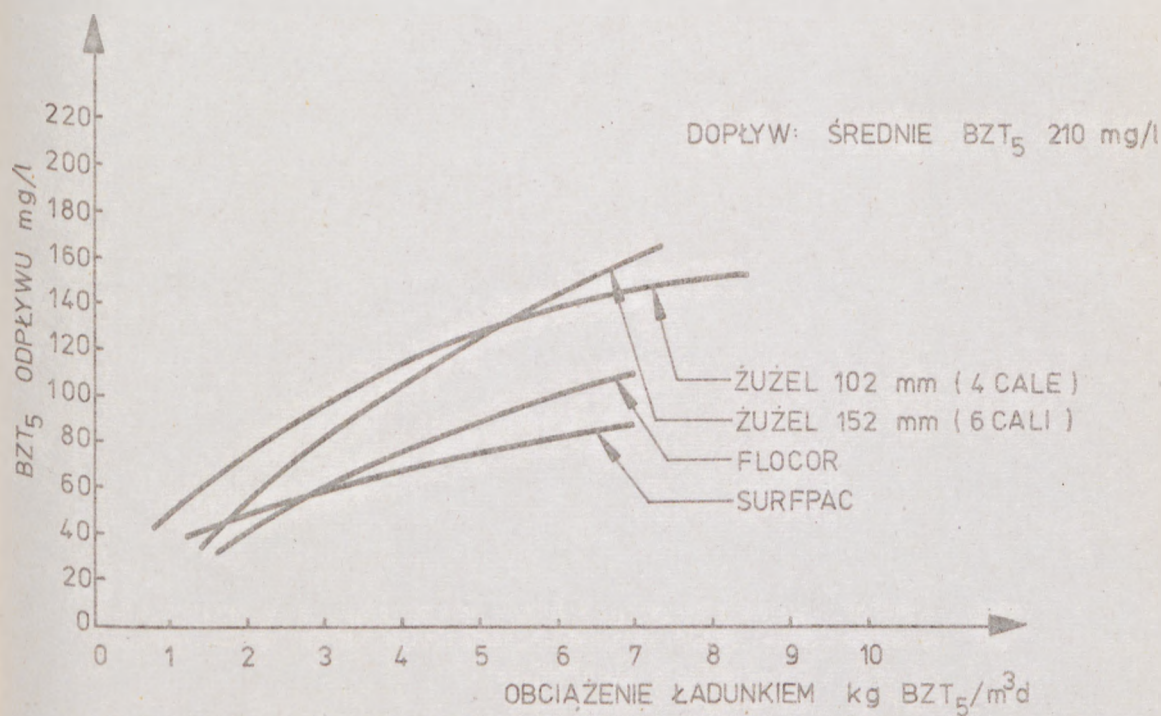
Równoległe z badaniami w Derby prowadzone były badania w Cheltenham / Wielka Brytania /. Ścieki miejskie w Cheltenham różniły się charakterem i stężeniem zanieczyszczeń od ścieków z miasta Derby. Średnie stężenie BZT_5 ścieków miejskich w Cheltenham wynosiło około 210 mg/l . Wyniki badań oczyszczania ścieków w Derby i Cheltenham przedstawiają rys. 4.3., rys.4.4. i rys. 4.5.



RYS.4.3. ZŁOŻE DOŚWIADCZALNE W DERBY. ZALEŻNOŚĆ MIEDZY OBCIĄŻENIEM ŁADUNKIEM ŚCIEKÓW SUROWYCH A ŁADUNKIEM ZREDUKOWANYM. (97)



RYS. 4.4. BADANIA W DERBY. ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY OBCIĄŻENIEM ŁADUNKIEM A STEŻENIEM BZT₅ W ODPŁYWIE. (97)



RYS. 4.5. BADANIA W CHELTENHAM. ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY OBCIĄŻENIEM ŁADUNKIEM A STEŻENIEM BZT₅ W ODPŁYWIE. (97)

Podsumowanie.

Złoża biologiczne wypełnione tworzywem stosowane są do oczyszczania zarówno ścieków przemysłowych jak i miejskich. Jednakże bardziej celowe i ekonomiczniejsze jest stosowanie tego typu złóż do oczyszczania lub podczyszczania / jako I stopień / silnie zstężonych ścieków przemysłowych.

W przypadku podczyszczania ścieków na złożu z tworzywa nie stosuje się regrykulacji lub też recyrkulacja jest mała i wynika z konieczności utrzymania równowagi w ciągu doby obciążenia hydraulicznego. W przypadku oczyszczania ścieków zstężonych, zawierających zanieczyszczenia trudnorozkładalne, zastosowanie recyrkulacji pozwala znacznie zwiększyć procent obniżenia zanieczyszczeń w ściekach i korzystnie wpływa na całość procesu oczyszczania ścieków na złożu.

Optymalna wielkość recyrkulacji dla szeregu rodzaju przykładów oczyszczania ścieków przemysłowych wynosiła $N \leq 400 \%$.

5. Koncepcja złoża biologicznego wypełnionego siatką z tworzywa sztucznego.

Główne tezy pracy można sformułować następująco:

- a/ opracowanie nowego typu wypełnienia z tworzywa sztucznego dostępnego na rynku krajowym, niedeficytowego, taniego,
- b/ sprawdzenie efektu oczyszczania ścieków miejskich na nowym typie wypełnienia,

c/ określenie współczynników K i n do wzoru Eckenfeldera oraz określenie innych parametrów technologiczno-konstrukcyjnych charakteryzujących wypełnienie.

Opracowanie koncepcji nowego wypełnienia poprzedzono szerokim rozeznaniem aktualnie produkowanych i badanych wypełnień zagranicą oraz gruntowną analizą techniczno-ekonomiczną asortymentu krajowych tworzyw sztucznych oraz wyrobów z tworzyw sztucznych, pod kątem możliwości wykorzystania ich jako materiału wypełniającego złoża biologiczne. Tworzywo sztuczne i wykonane z niego elementy wypełnienia powinny spełniać następujące warunki:

1. Zastosowane na wypełnienie złoża tworzywo sztuczne powinno być dostępne na rynku krajowym, nie deficytowe i stosunkowo tanie.
2. Zastosowany materiał powinien mieć odpowiednie własności fizyko - chemiczne tj. odpowiednią wytrzymałość i trwałość mechaniczną, odporność na działanie czynników chemicznych, temperatury, bakterii, grzybów itp.
3. Materiał powinien być łatwy w obróbce i formowaniu, co pozwoliłoby na prostą technologię wykonawstwa elementów wypełnienia.
4. Elementy wypełnienia powinny być lekkie, charakteryzować się dużą powierzchnią właściwą na której następuje rozwój błony biologicznej. Powinna być zachowana odpowiednio duża objętość przestrzeni powietrznych w jednostce objętości co stanowi warunek prawidłowego natleniania błony biologicznej i zapobiega pełnemu zarosnięciu złoża.
5. Elementy wypełnienia powinny być tak zaprojektowane aby można je było produkować systemem przemysłowym, łatwo transportować

na plac budowy, łatwo układać w obudowie złoża.

Z powyższych przesłanek po teoretycznym opracowaniu i przeanalizowaniu szeregu wariantów, wyłoniła się koncepcja zastosowania wypełnienia w postaci swobodnie zwisających pasm siatki z tworzywa sztucznego, zawieszonych na ruszcie podtrzymującym, umieszczonym w górnej części konstrukcji złoża biologicznego. Tego rodzaju pasma rozmieszczone równomiernie w jednostce objętości, stanowią osnowę na której rozwija się błona biologiczna. Tak uzyskane wypełnienie pozwala na ograniczenie do minimum ilości materiału zużytego na wyprodukowanie 1 m³ wypełnienia złoża. Pasma wypełnienia pracują wytrzymałościowo na "rozciąganie" w odróżnieniu od wszystkich poprzednio omówionych wypełnień, które pracują na "ściskanie". Zastosowanie tworzywa o odpowiednio dużej wytrzymałości na rozciąganie pozwala na stosowanie cienkich folii lub siatek i ogranicze do minimum zużycie surowca. Dzięki małemu ciężarowi wypełnienia nawet obciążonego błoną biologiczną, przesunięcie punktu podparcia wypełnienia /rusztu/ do górnej części konstrukcji złoża nie stanowi problemu konstrukcyjnego.

Elementami nośnymi w tym przypadku mogą być słupy i system belek opartych na słupach, które będą stanowiły podparcie dla rusztu, na którym zawieszane będą pasma wypełnienia. Ściany stanowią konstrukcję pomocniczą o charakterze izolacyjnym i liczone muszą być wytrzymałościowo jedynie na parcie wiatru.

6. Niezbędny zakres badań dla sprawdzenia koncepcji i opracowanie charakterystyki technologicznej wypełnienia siatkowego.

Aby sprawdzić przydatność do celów praktycznych wypełnienia w postaci pasm siatki należało uzyskać odpowiedzi na następujące pytania:

- Czy błona biologiczna będzie rozwijała się na siatce i czy jej przyczepność do podłoża będzie wystarczająca aby przeciwdziałać opłukującemu działaniu ścieków?
- Jakiego można uzyskać efekty oczyszczenia ścieków?
- Dla jakich parametrów pracy / Q , Q_L / złoża siatkowego można prowadzić proces oczyszczania czy też podczyszczania określonego rodzaju ścieków?
- Jaki jest cięzar 1 m^3 wypełnienia obciążonego błoną biologiczną?

Wstępne badania przeprowadzono w skali laboratoryjnej na modelu złoża zasilanym ściekami syntetycznymi [183]. Obudowę złoża stanowiła rura z "plexi" o długości 2 m i średnicy wewnętrznej 0,10 m. Wewnątrz rury zawieszono kilka pasm siatki. Na tak wykonane wypełnienia przez kilka dni doprowadzano ścieki miejskie a następnie ścieki syntetyczne. Już po kilkunastu dniach na siatce wytworzyła się wyraźnie widoczna warstewka błony biologicznej. Badania prowadzono przez około trzy miesiące określając redukcję BZT_5 , utlenialności i $ChZT$ oraz przeprowadzając badania biologiczne błony [183].

Uzyskane pozytywne wyniki badania przyczepności błony do siatki oraz stopnia redukcji zanieczyszczenia ścieków, zachęcały do kontynuowania badań, które pozwoliłyby uzyskać odpowiedzi na pozostałe pytania.

Badania wykonano na instalacji doświadczalnej zasilanej ściekami miejskimi /m.Białystok/, pracującej w warunkach zbliżonych do naturalnych warunków panujących na oczyszczalni ścieków.

Ponieważ złoża biologiczne o wypełnieniu z tworzywa sztucznego oczyszczające ścieki niezbyt często pracują najczęściej bez recyrkulacji w badaniach nie uwzględniono wpływu recyrkulacji na efekt oczyszczania ścieków. Nie badano również ilości osadów powstałych przy oczyszczaniu ścieków /brak osadnika wtórnego/.

Nie uwzględnienie wpływu recyrkulacji pozwoliło na określenie efektu oczyszczania ścieków przy jednorazowym ich kontakcie z błoną biologiczną. Zastosowanie recyrkulacji pozwala z reguły podwyższyć bezwzględny stopień oczyszczania ścieków, jednakże ustalenie optymalnego stopnia recyrkulacji jest zagadnieniem odrębnym, wykraczającym poza ramy niniejszej pracy.

7. Opracowanie instalacji doświadczalnej.

Instalacja doświadczalna składała się z następujących elementów / rys. 7.1./:

- osadników wstępnych,
- modelu złoża biologicznego,
- dawkopłuk przechylnego sprzężonego z licznikiem ilości przechyleń,

- sieci przewodów doprowadzających i odprowadzających ścieki z instalacji doświadczalnej.

7.1. Charakterystyka konstrukcyjna modelu złoża.

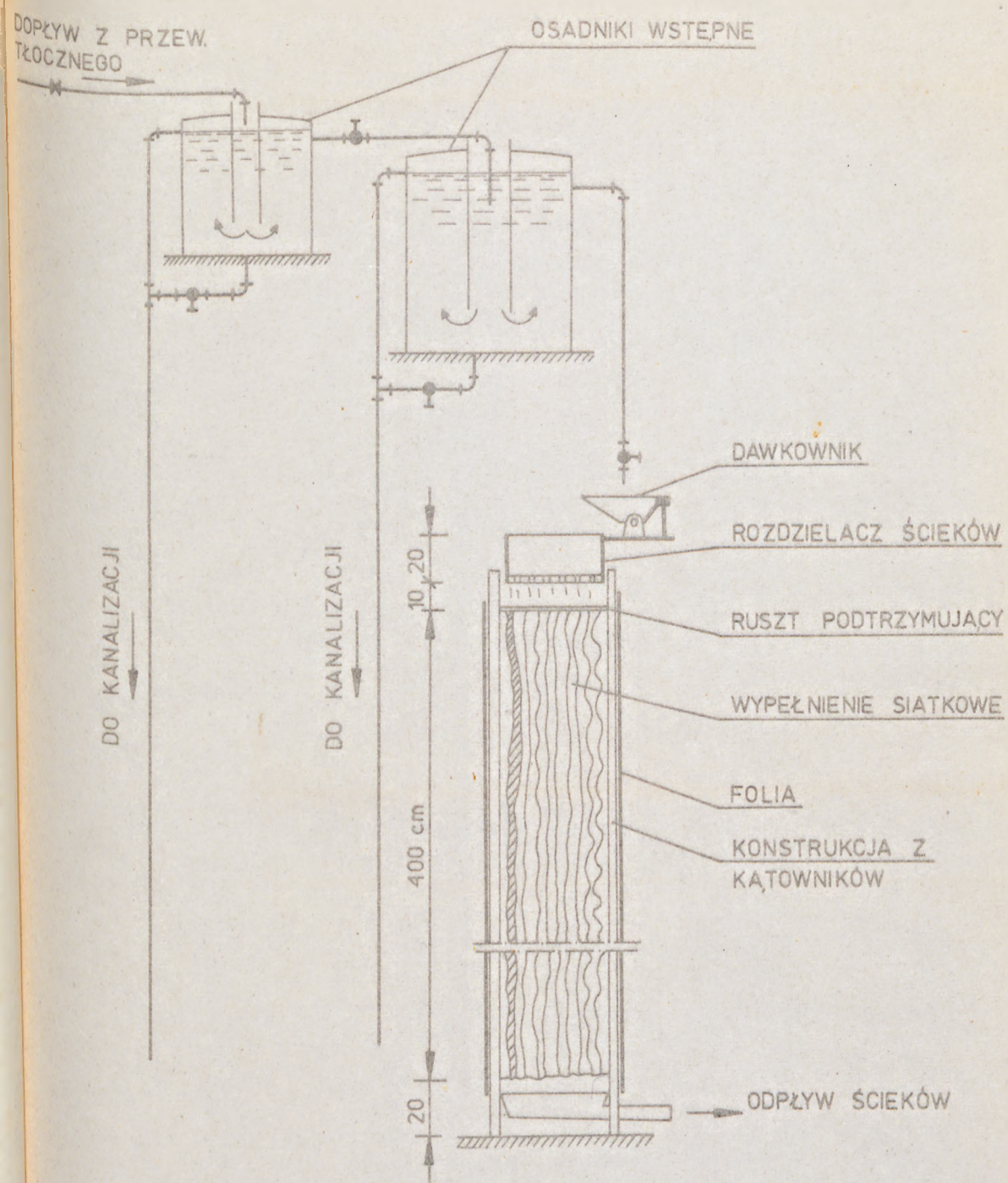
Konstrukcja nośna modelu wykonana została w postaci szkieletu z kątowników stalowych połączonych stężeniami poprzecznymi wykonanymi z płaskowników. Wymiary modelu - przekrój poprzeczny / w świetle / $0,23 \times 0,23$ m, wysokość wypełnienia $H = 4$ m, wysokość całkowita ok. 4,5 m.

Ścianki złoża stanowiła folia polietylenowa, która izolowała wypełnienie złoża od wpływów zewnętrznych oraz umożliwiała obserwację wypełnienia w czasie eksploatacji modelu.

Jako wypełnienie zastosowano wiotką siatkę z polietylenu /opakunkową/. Wykonana fabrycznie siatka dostarczana jest w bobinach o wadze ok. 4 kg / rys.7.2./. Jedna bobina /szpula/ zawiera 500 mb siatki odpowiadającej normie BN-71/6366-01.

Przygotowanie siatki do wypełnienia modelu polegało na podgrzaniu jej do temperatury mięknięcia polietylenu, dzięki czemu uzyskiwano zdeformowane, pofalowane pasma o dużej ilości przestrzeni powietrznych /rys.7.3./.

Siatkę umocowano w szkielecie konstrukcji nośnej zawieszając ją na prętach rusztu / w postaci kratownicy/ zamocowanego w górnej części konstrukcji złoża. Pasma siatki rozkieszczone równomiernie w całej objętości złoża, odstęp pomiędzy poszczególnymi pasmami siatki wynosił ok. 2 - 2,5 cm.



RYŚ. 7.1. SCHEMAT INSTALACJI DOŚWIADCZALNEJ

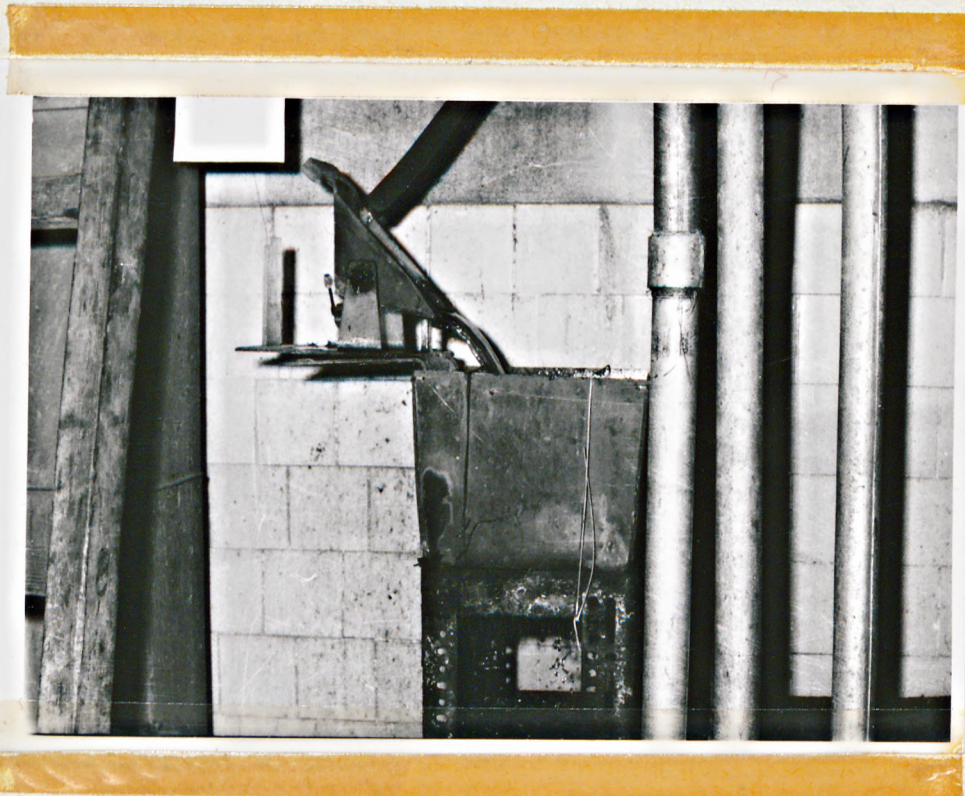


Rys.7.2. Siatka z polietylemu - produkt fabryczny.

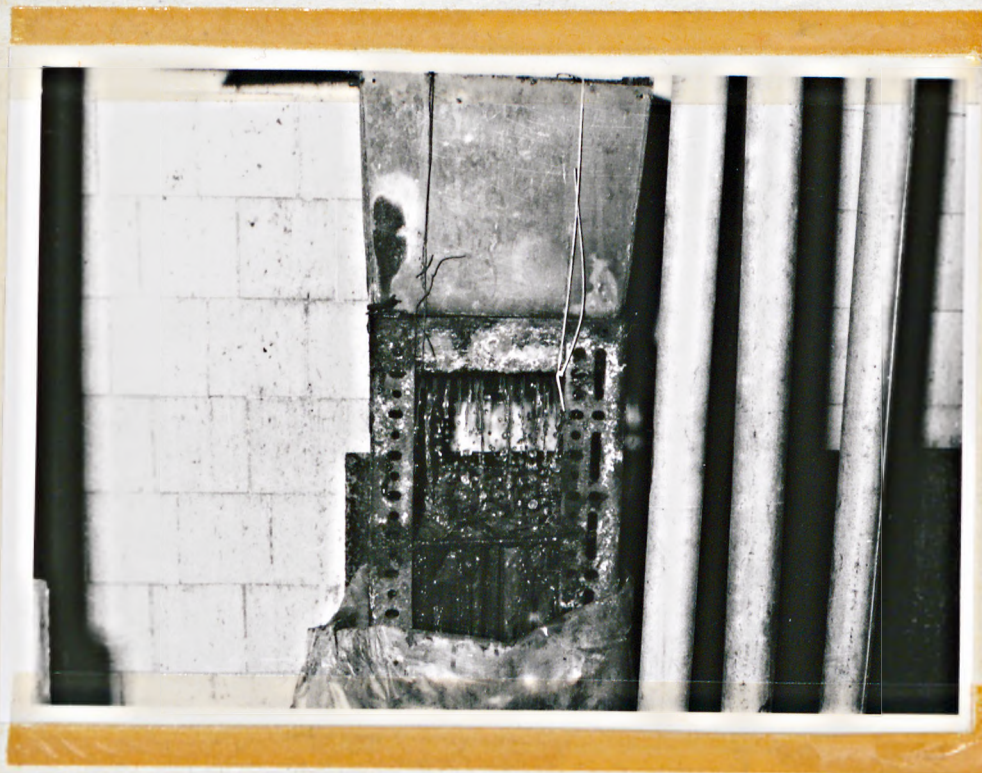


Rys.7.3. Pasma siatki sfalowane przez podgrzanie.

a/



b/



Rys.7.4. Rozdzielacz ścieków na złoże; a/ dawtownik,
b/ wypływ ścieków z naczynia rozdzielającego.

W rezultacie na powierzchni $0,23 \times 0,23$ m umieszczono 80 pasm siatki o długości pojedynczego pasma równej 4 m, czyli całkowita ilość zużytej siatki wynosiła 320 mb.

Ruszt podtrzymujący siatkę zamocowany był do konstrukcji nośnej w sposób umożliwiający okresowe ważenie siatki obciążonej błoną biologiczną.

Wielkości charakteryzujące wypełnienie złoża podano w tabl. 7.1.

7.2. Usytuowanie instalacji doświadczalnej.

Pomieszczenie w którym należało zainstalować model musiało spełniać następujące warunki:

- a/ Posiadać stały dopływ ścieków w ilości od kilkunastu do kilkuset litrów na godzinę.
- b/ Temperatura powietrza w otoczeniu złoża powinna być wyższa od zera ze względu na obsługę modelu oraz z uwagi na fakt, że konstrukcja modelu nie jest przystosowana do pracy na otwartym powietrzu w warunkach zimowych /mała średnica złoża, ścianki z folii /.
- c/ Pomieszczenie powinno mieć odpowiednią wysokość /min 6 m /.
- d/ Miejsce usytuowania instalacji powinno umożliwiać ciągłą kontrolę pracy instalacji, łatwość pobierania próbek, możliwość wykonania analiz technologicznych.

Warunki powyższe zostały spełnione poprzez umieszczenie instalacji doświadczalnej w przepompowni ścieków miejskich w Białymstoku. Trzymianowy system pracy załogi przepompowni umożliwił

Tablica 7.1.

Wielkości charakteryzujące wypełnienie
siatkowe złoża biologicznego.

Wyszczególnienie	Jednostki	Ilość
Wymiary złoża a x b x H	m	0,23x0,23x4,0
Przekrój poprzeczny F	m ²	0,053
Objętość wypełnienia V	m ³	0,212
Ilość zużytej siatki ^{x/}	m	320
Ciepłota wypełnienia	kg	2,56
Objętość przestrzeni powietrznych	%	95
Ilość siatki na 1 m ³ wypełnienia ^{xx/}	mb/m ³	300 -1500
Ciepłota 1 m ³ wypełnienia /bez błony biologicznej / ^{xx/}	kg/m ³	6,4- 12,0

^{x/} Maksymalna dopuszczalna ilość siatki. Większe zagęszczenie siatki powodowało zarastanie /wspólne łączenie się/ pasm siatki

^{xx/} Zależnie od sposobu przygotowania /sfalowania/ siatki.

zorganizowanie całodobowego nadzoru nad pracą instalacji doświadczalnej / utrzymanie stałego obciążenia hydraulicznego, pomiar temperatury powietrza i ścieków /.

7.3. Doprowadzenie i rozdział ścieków na złożo.

Złożo zasilane było ściekami surowymi, doprowadzanymi ze zbiorczego przewodu tłocznego. Zaistniała więc konieczność wydzielenia z nich większych części stałych, które mogłyby zatykać zawory i przewody doprowadzające ścieki na złożo. W tym celu zastosowano dwa osadniki wstępne w postaci beczek z tworzywa sztucznego o pojemności 50 l i 100 l, działające na zasadzie osadników o przepływie pionowym rys. 7.1.

W górnej części większej beczki zainstalowano przelew nadmiarowy a poniżej przelewu odprowadzenie ścieków na dawkownik, który spełniał zarazem zadanie przepływomierza. Dzięki stałej wysokości słupa cieczy w beczce oraz grawitacyjnemu napływowi ścieków do dawkownika utrzymywano niezmiennie obciążenie hydrauliczne /stałą wydajność wypływu/ złoża. Wielkość przepływu na złożo regulowana była zaworem odcinającym. Wywrotkowy dawkownik ścieków sprzężony był z mechanicznym licznikiem wychyleń, dzięki czemu mając pojemność dawkownika można było określić objętość ścieków doprowadzonych na złożo w dowolnym przedziale czasu.

Mechaniczny licznik wychyleń był jednakże wykorzystywany jedynie w pierwszym okresie badań. Wskutek dużej agresywności korozyjnej par zawartych w powietrzu, metalowe części licznika szybko skorodowały i uległy zniszczeniu. W dalszym etapie badań

stałą wielkość obciążenia hydraulicznego utrzymywano , mierząc co 1 - 2 godzin wydatek za pomocą naczynia pomiarowego i ewentualnie przeprowadzając korektę zaworem odcinającym.

Wielkość obciążenia hydraulicznego złoża w zależności od ilości wychyleń dawkownika podano w tablicy 7.2.

Tablica 7.2.

Przeliczenie wielkości przepływów i obciążeń hydraulicznych modelu złoża biologicznego.

Odstęp czasu między opróżnieniami dawkownika $V=0,44 \text{ l}$	Ilość opróżnień w ciągu minuty	Ilość ścieków doprowadzana na złożo	Obciążenie hydrauliczne powierzchni złoża	
/sec/	n/min	l/godz	$\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	$\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$
120	0,5	13,25	0,25	6,0
60	1	26,50	0,50	12,0
30	2	53,00	1,00	24,0
20	3	79,50	1,50	36,0
15	4	106,00	2,00	48,0
12	5	132,50	2,50	60,0
10	6	159,00	3,00	72,0
6	10	265,00	5,00	120,0

Równomierny rozdział ścieków na złożo następował poprzez rozdzielacz ścieków wykonany w postaci zbiornika z PCW /rys.7.4/

o przekroju kwadratowym i wymiarach / w płaszczyźnie dna / $0,23 \times 0,23$ m. W dnie zbiornika nawiercono, w siatce kwadratu o boku $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$, otwory o średnicy 3 mm .

Ścieki z dawkownika gywrotkowego o pojemności $0,44 \text{ l}$ wylwane były do rozdzielacza, skąd równomiernie spływały na całą powierzchnię przekroju poprzecznego złoża.

Dawkownik stosowany był dla mniejszych obciążeń hydraulicznych tabl. 8.1., natomiast przy większych obciążeniach hydraulicznych dawkowano ścieki na złożo w sposób ciągły/ pomijając dawkownik/.

8. Metodyka i zakres prowadzonych badań.

8.1. Etapy badań.

Badania na instalacji doświadczalnej prowadzone były w dwóch etapach. W pierwszym, rozpoznawczym etapie, który trwał w okresie od 10.06.73 do 9.08.1973r. badano jedynie ścieki dopływające i odpływające ze złoża stosując trzy wartości obciążenia hydraulicznego, dawkując ścieki na złożo w sposób ciągły.

Drugi etap badań trwał od 10.01.74 do 15.06.1974 obejmował więc okres zimy, wiosny oraz wczesnego lata. Badania prowadzono dla sześciu wartości obciążenia hydraulicznego stosując periodyczne doprowadzenie ścieków na złożo dla małych oraz ciągłe dla większych obciążeń hydraulicznych. Wartości obciążeń hydraulicznych czasy trwania serii i sposób dawkowania ścieków podano w tablicy 8.1.

W drugim etapie badań próbki ścieków pobierano z dopływu do złoża, dwóch pośrednich wysokości złoża oraz po złożu.

Określano również zmiany ciążaru wypełnienia obciążonego błoną biologiczną.

3.2. Badania biologiczne błony.

Badania błony biologicznej przeprowadzono w dniach: 26.01, 11.02, 15.03, 11.05, 4.06 i 19.06.1974 r. tj. jednorazowo dla każdego obciążenia hydraulicznego.

Próbki pobierano z czterech poziomów złoża; z powierzchni oraz z warstw umiejscowionych na głębokości 1,3, 2,6 i 4,0 m. Próbki przewożono do laboratorium biologicznego w termotorbie obłożone lodem. Analizę mikroskopową wykonywano natychmiast po ich dostarczeniu.

Całkowitą próbkę błony przenoszono do kalibrowanych próbówek z doszlifowanym korkiem. Odczytywano objętość próbki, wstrząsano do uzyskania równomiernej zawiesiny i pobierano 0,05 cm³ do badań ilościowych i taksonomicznych.

W badaniach stosowano mikroskop biologiczny. Ilość organizmów przeliczono na 1 cm³ próbki, wyniki podawano w tys.organizmów/cm³ próbki. Ilość bakterii wolnopływających i z rodzaju *Spirillum* określano szacunkowo przy użyciu kontrastu anoptralno-fazowego. Wyniki podawano szacunkowo przyjmując następującą skalę częstotliwości występowania:

- sp występowanie sporadyczne
- + 1 - 5 w polu widzenia
- ++ 6 - 20 " "
- +++ 21 - 100 " "
- ++++ występowanie masowe.

Tablica B.1.

Wartości obciążeń hydraulicznych, czasy trwania serii
i sposób dawkowania ścieków.

Czas trwania serii	Obciążenie hydr.po- wierz. m^3/m^2h	Obciążenie hydr.objęt. m^3/m^3d	Sposób dawkowania ścieków
10.06 - 1.07.1973 wpracowanie złoża	0,2 - 0,6	1,2 - 3,6	ciągły
2.07 - 16.07.1973	0,6	3,6	ciągły
17.07 - 28.07.1973	1,2	7,2	ciągły
29.07 - 9.08.1973	6,0	36	ciągły
10.01 - 23.01.1974 wpracowanie złoża	0,2 - 1,0	1,2 - 6,0	periodycz.
24.01 - 15.02.1974	1,0	6,0	periodycz.
16.02 - 15.03.1974	1,4	8,4	periodycz.
16.03 - 11.05.1974	1,8	10,8	periodycz.
12.05 - 31.05.1974	2,5	15,0	periodycz.
1.06 - 6.06.1974	4	24,0	ciągły
7.06 - 15.06.1974	5	30,0	ciągły

3.3. Badania fizyczno-chemiczne ścieków.

Próbki ścieków pobierano wg opracowanego harmonogramu, zgodnie z metodyką poboru prób. Przed wykonaniem oznaczeń fizyko-chemicznych próbki ścieków poddawane były 30 minutowej sedymentacji celem oddzielenia zawieszin opadalnych. Oznaczenia wykonywano zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką.^{x/}

W skład oznaczeń fizyko-chemicznych wchodziły następujące wskaźniki i parametry:

- a/ Temperatura powietrza w pomieszczeniu przy złożu,
- b/ Temperatura ścieków dopływających na złoże,
- c/ Odczyn,
- d/ Utlenialność ,
- e/ ChZT,
- f/ BZT₅,
- g/ Tlen rozpuszczony,
- h/ Azot amonowy,
- i/ Azot azotynowy,
- j/ Azot azotanowy.

Oznaczenia wymienione w punktach a/ do f/ uznano jako podstawowe, natomiast oznaczenia g/ do j/ były uzupełniającymi i były wykonywane z mniejszą częstotliwością. Oznaczenia utlenialności, ChZT i BZT₅ wykonywane były dla próbek ścieków w następujących punktach:

- Ścieki po osadniku / przed złożem /,

^{x/} Hermanowicz W., i inni : " Fizyko-chemiczne badanie ścieków miejskich i osadów ściekowych "
 " Arkady, 1967

- Ścieki po $\frac{1}{3}$ wysokości złoża,
- ścieki po $\frac{2}{3}$ wysokości złoża,
- ścieki po złożu.

8.4. Określenie zmian ilościowych błony biologicznej.

Jednorazowo dla każdego obciążenia hydraulicznego, pod koniec serii, ważono wypełnienie wraz z błoną biologiczną używając do tego celu dwóch dynamometrów sprężynowych, z których każdy miał zakres pomiarowy od 0 - 20 kg oraz dokładność wskazań ok. 0,5 kg.

9. Przebieg badań i uzyskane wyniki oczyszczania ścieków miejskich.

9.1. Ogólna charakterystyka ścieków doprowadzanych na złoże.^{1/}

W celu określenia charakterystyki ilościowej i jakościowej ścieków niezbędnej dla opracowania projektu oczyszczalni dla m. Białegostoku, w okresie od września 1972 roku do marca 1973 roku Laboratorium Badania Wody i Ścieków MPWiK w Białymstoku przeprowadzało badanie ścieków odpływających z terenu miasta. Zmiany stężenia zanieczyszczeń ścieków zostały określone w przekroju tygodniowym/ we wszystkich dniach tygodnia/.

Próby wyrwykowe pobierano co 2 godziny w ciągu każdej badanej doby tygodnia. Z prób wyrwykowych przechowywanych w niskiej temperaturze aż do chwili zakończenia doby pomiarowej przygotowy-

^{1/} N. Łosakiewicz: "Wyniki badań ścieków przemysłowo-miejskich m. Białegostoku". Laborat. Bad. W. i S., MPWiK Białystok, 1973 rok / maszynopis /

wano próbę średnio-dobową proporcjonalną do przepływu w poszczególnych godzinach. Tak przygotowaną próbkę ścieków poddawano następnie badaniom analitycznym.

Wyniki badań wskazują, że ścieki m. Białegostoku mają charakterystykę ścieków średniostężonych. Średniodobowe BZT_5 waha się w granicach od 217 mgO_2/l /niedziela-poniedziałek/ do 489 mgO_2/l /środa-czwartek/. Średnie $ChZT$ znajduje się w przedziale od 329 mgO_2/l /niedziela-poniedziałek/ do 1146 mgO_2/l /środa-czwartek/.

Średnie stężenie zawiesiny ogólnej wynosi od 193 mg/l do 570 mg/l , sucha pozostałość zawiera się w granicach od 716 mg/l do 3358 mg/l . Tłuszcze zawarte są w przedziale od 82 mg/l do 250 mg/l . Zawartość azotu ogólnego kształtuje się w granicach od 28 mg/l do 70 mg/l . Z substancji toksycznych wykryto fenole, miedź, cynk, chrom. Średnie wartości stężeń zanieczyszczeń ścieków w poszczególnych dobach tygodnia, wyrażone przez BZT_5 i $ChZT$ przedstawiono w tablicy 9.1. i tablicy 9.2.

9.2. Harmonogram poboru prób.

Przez okres kilku pierwszych tygodni badań pobierano wyrównkowe oraz średnio-dobowe próbki ścieków wg następującego harmonogramu:

Dni tygodnie	Pon.	Wtorek	Środa	Czwart.	Piątek	Sobota
1	x	-	x	s	s	-
2	s	s	s	s	x	-
3	x	s	s	-	s	s
4	x	-	s	s	x	-
5	-	x	-	x	s	s
6	x	-	x	-	x	-

s/s - próbka średniodobowa / z próbek pobieranych co 2 godziny/
x - próbka jednorazowa pobierana w godz. 9-11.

W dalszym okresie badań zrezygnowano z poboru próbek średniodobowych a oparto się wyłącznie na próbkach jednorazowych odpowiednio zwiększając ich ilość. Przyjęto, że przy dużej nierównomierności i przypadkowości występowania zanieczyszczeń w ściekach analiza wyników oparta na dużej liczbie próbek jednorazowych pozwoli na uzyskanie wniosków bardzo zbliżonych do wniosków uzyskanych z analizy próbek średniodobowych. Pogląd taki reprezentowany jest również przez innych badaczy [79].

9.3. Uruchomienie instalacji i nadzór w czasie badań.

W celu wytworzenia błony biologicznej na siatce przez okres 2-3 tygodni doprowadzano na złoża małe ilości ścieków stopniowo je zwiększając, tak że obciążenie hydrauliczne złoża wzrastało od $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ do $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

W okresie upracowywania złoża kilkakrotnie oznaczano ChZT i utlenialność w ściekach dopływających i odpływających ze złoża.

Po uzyskaniu efektu obniżenia zanieczyszczeń w granicach 40 - 50 % przystępowano do pierwszej serii badań przy ustalonym obciążeniu hydraulicznym.

W czasie przeprowadzania badań najważniejszym zagadnieniem związanym z obsługą instalacji było utrzymanie stałego w poszczególnych seriach obciążenia hydraulicznego.

W tym celu szczególną uwagę zwracano na:

a/ utrzymanie stałego poziomu zwierciadła ścieków /na poziomie przelewu nadmiarowego / w osadniku,

Tablica 9.1.

Zestawienie wyników stężeń BZT_5 w ściekach
z kolektora miejskiego w przekroju tygodniowym.

Data	22/23 IX.72	10/11 XII.72	2/3 X.72	6/7 II.73	10/11 I.73	25/26 I.73
Dzień tygodnia	piątek sobota	niedziela poniedz.	poniedz. wtorek	wtorek środa	środa czwart.	czwartek piątek
Srednie BZT_5 mgO_2/l	275	217	337	309	489	346
Min BZT_5 mgO_2/l	80	30	160	120	90	200
Godzina występowania	5 ⁰⁰	5 ⁰⁰	1 ⁰⁰	3 ⁰⁰	3 ⁰⁰	9 ⁰⁰ 1 ⁰⁰
min BZT_5			5 ⁰⁰			5 ⁰⁰ 7 ⁰⁰
max BZT_5 mgO_2/l	600	300	500	520	950	500
Godzina występowania max BZT_5	11 ⁰⁰ 13 ⁰⁰	15 ⁰⁰	13 ⁰⁰	9 ⁰⁰ 11 ⁰⁰	15 ⁰⁰	13 ⁰⁰ 17 ⁰⁰ 19 ⁰⁰
BZT_5 średnio z godzin dziennych mgO_2/l	431	266	431	442	631	324

Tablica 9.2

Zestawienie wyników stężeń ChZT w ściekach
z kolektora miejskiego w przekroju tygodniowym.

Data	22/23 IX.72	2/3 XII.72	10/11 XII.72	2/3 X.72	6/7 II.73	10/11 I.73	25/26 I.73
Dzień tygodnia	piątek sobota	sobota niedz.	niedziela poniedz.	poniedz. wtorek	wtorek środa	środa czwartek	czwartek piątek
średnie ChZT mgO ₂ /l	680	704	329	593	679	1146	854
min ChZT mgO ₂ /l	179	280	115	150	331	313	259
Godziny występowania ChZT min	3 ⁰⁰	7 ⁰⁰	5 ⁰⁰	3 ⁰⁰	5 ⁰⁰	3 ⁰⁰	1 ⁰⁰
max ChZT mgO ₂ /l	1126	1340	576	752	1280	3237	1516
Godziny występowania max ChZT	9 ⁰⁰	17 ⁰⁰	11 ⁰⁰	9 ⁰⁰	21 ⁰⁰	11 ⁰⁰	23 ⁰⁰
ChZT średnie z godzin dziennych mgO ₂ /l	946	768	453	468	-	1666	921

- b/ drożność przewodu doprowadzającego ścieki na złożę oraz sprawdzenie co 1 - 2 godz., wielkości dopływu na złożę,
- c/ okresowe / raz na dobę/ odprowadzenie nagromadzonego w beczce osadu,
- d/ pomiar co 2 - 4 godz. temperatury ścieków i powietrza,
- e/ okresowego / raz na kilka dni/ czyszczenia dawkownika oraz naczynia rozdzielającego ścieki,
- f/ okresowego /raz na kilka tygodni/ czyszczenia przewodów doprowadzających ścieki do osadników.

Wszelkie czynności związane z eksploatacją instalacji były odnotowywane w dzienniku pracy instalacji doświadczalnej.

9.4. Charakterystyka warunków termicznych.

Sredniodobowe temperatury ścieków w okresie od stycznia do końca marca zmieniały się w granicach od 10°C do 15°C ., natomiast w kwietniu od 12°C do 16°C .

W miesiącach maja i czerwca temperatura ścieków zmieniała się w przedziale od 16°C do 19°C , zaś w miesiącach lipcu i sierpniu od 17°C do 21°C .

W miesiącach od maja do sierpnia zaobserwowano mniejszą częstotliwość zmian temperatury ścieków w stosunku do miesięcy zimowych i wiosennych. Średnie wartości temperatury ścieków dla okresów w których utrzymywano stałe obciążenie hydrauliczne złoża, podano w tablicy 14.4.

Średnio-dobowa temperatura powietrza w otoczeniu złoża zmieniała się w miesiącach od stycznia do końca marca w granicach

od $+1^{\circ}\text{C}$ do 13°C . Średnia temperatura tego okresu wynosiła ok. $+7^{\circ}\text{C}$. Różnica między temperaturą ścieków a temperaturą powietrza wynosiła około $T = 6^{\circ}\text{C}$.

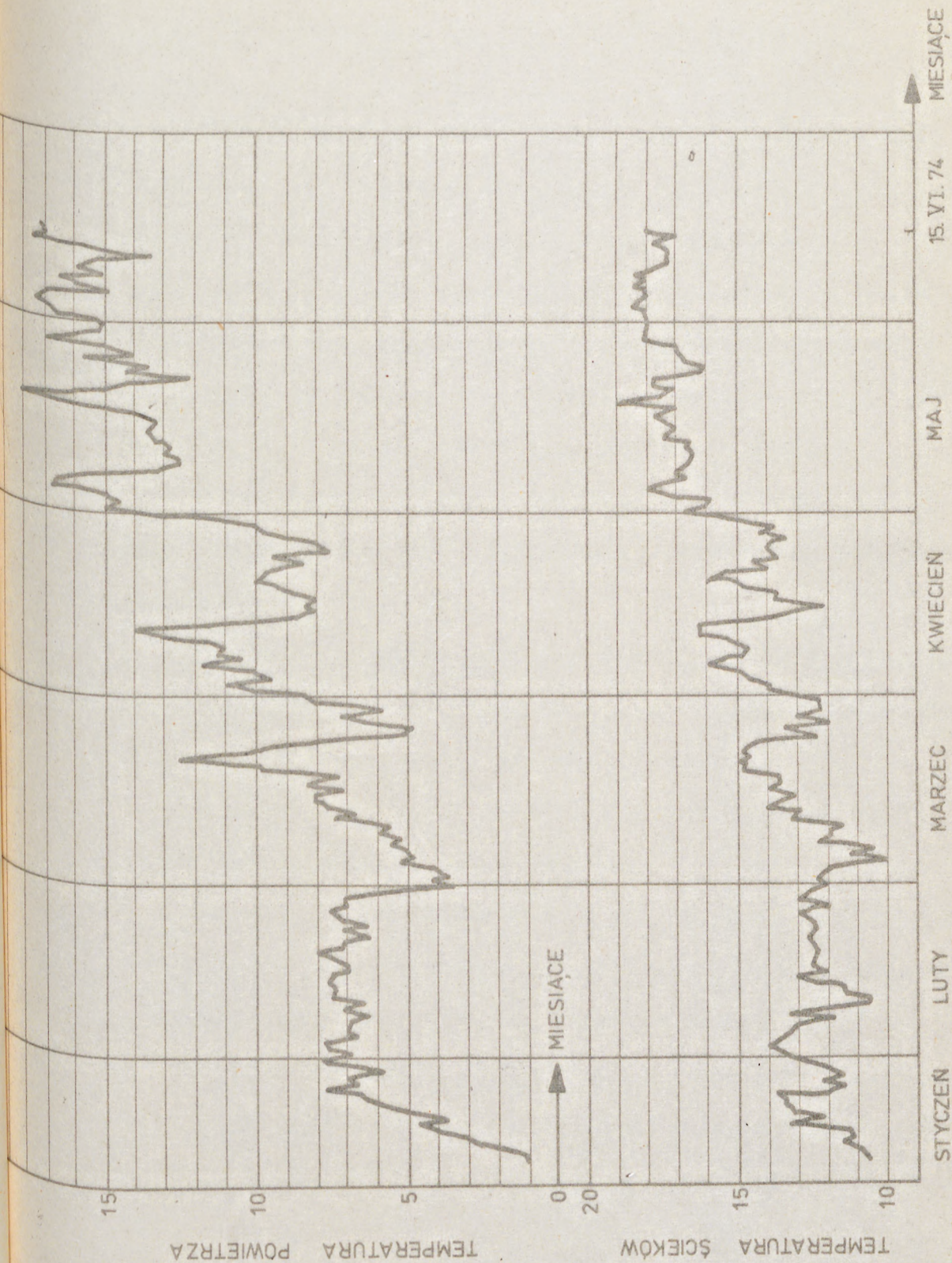
W kwietniu temperatura powietrza zmieniała się w zakresie od 8°C do 14°C , średnia temperatura miesiąca ok. 10°C , średnia różnica temperatury powietrza i ścieków w miesiącu kwietniu $T = 4,5^{\circ}\text{C}$.

W miesiącach maj, czerwiec temperatura powietrza zmieniała się w zakresie od 12°C do 18°C , średnia temperatura powietrza dla tego okresu wynosiła około 15°C , różnica pomiędzy średnią temperaturą powietrza i średnią temperaturą ścieków miała wartość $T = 2,5^{\circ}\text{C}$.

W okresie lipca i sierpnia temperatury powietrza w pomieszczeniu zmieniały się w przedziale od 18°C do 24°C , średnia temperatura powietrza dla tego okresu wynosiła ok. 20°C , zaś różnica temperatury ścieków i powietrza $T = 2^{\circ}\text{C}$.

W okresach gdy występowała mała różnica temperatury powietrza i temperatury ścieków istniały niekorzystne warunki dla grawitacyjnej wentylacji złoża. Mogły w tych okresach zaistnieć gorze warunki natleniania ścieków i błony biologicznej.

Przebieg zmian średniodobowych wartości temperatury ścieków oraz temperatury powietrza przedstawiono na rys. 9.1.



RY. S. 9.1. WARTOŚCI ŚREDNIODOBOWYCH TEMPERATUR POWIETRZA I ŚCIEKÓW.

10. Badania nad rozwojem błony biologicznej.

10.1. Charakterystyka mikrobiologiczna błony.

Próbki błony do badań biologicznych pobierane były sześć-ciekrotnie tj. w dniach 26.01., 11.02, 15.03, 11.05, 4.06 i 19.06.74r. Ilość błony biologicznej dostarczonej do badań ulegała znacznym wahaniom zarówno w czasie jak i na poszczególnych poziomach złoża. Najmniejszą objętość próbek uzyskano w badaniu pierwszym, objętość jednej próbki wynosiła $1,0 - 2,0 \text{ cm}^3$ i zróżnicowana była na poszczególnych poziomach złoża.

W kolejnych badaniach wielkość próbek błony biologicznej była większa, objętość pojedynczej próbki błony wahała się w granicach $4,0 - 6,0 \text{ cm}^3$.

Barwa błony biologicznej w badanym okresie zmieniała się z szaro-beżowej na szaro-brunatną, a następnie brunatno-czarną. Konsystencja przez cały czas była śluzowata.

W okresie od 26.01 do 11.05.74 r. biocenoza osadu czynnego złoża nie ulegała większym zmianom.

Przez cały ten okres w dość dużych ilościach występowały bakterie nitkowate z rodz. *Sphaerotilus*. Na ogół bakterie te najliczniejsze były w górnej warstwie złoża, ilość ich malała w głębszych warstwach. Bakterie wolnopływające bardzo liczne były w całym okresie badań. W górnej warstwie przeważały formy cylindryczne, charakteryzujące się dużymi wymiarami, w głębszych dominowały bakterie o mniejszych wymiarach. Bakterie z rodz. *Zoogloea* najliczniejsze w pierwszym badaniu występowały tylko

w górnych warstwach, w dolnych zaś nie były wykrywane. Liczba bakterii z rodz. *Spirillum* i *Beggiatoa alba* wzrastała w kolejnych badaniach osiągając największe wartości w badaniu ostatnim. Grzyby występujące w zmiennych ilościach również najliczniej-
sze były w 2 badaniach ostatnich.

Organizmy zwierzęce reprezentowane były przez Protozoa / *Mastigophora*, *Rhizopoda* i *Ciliata*/ oraz *Nematoda*. Liczba *Mastigophora* bardzo duża w początkowym okresie malała z upływem czasu. Przy czym największe ich ilości stwierdzano w powierzchniowej warstwie złoża, mniejsze w głębszych warstwach. *Rhizopoda* reprezentowane były przez: *Testacea* nd występujące przez cały okres badań w zmiennych ilościach na różnych poziomach złoża i z rodz. *Amoeba* sp., które dość liczne były w 2 pierwszych badaniach, sporadycznie występowały w dalszych. Spośród *Ciliata* wykrywano przedstawicieli następujących gatunków: *Aspidisca costata*, *Chilodonella* sp., *Colpidium colpoda*, *Lionotus* sp., *Oxytricha* sp., *Paramecium caudatum*, *Opercularia* sp., *Vorticella convallaria*, *Morticella* sp., Liczebność *Ciliata* i różnorodność gatunków największa była w warstwach dolnych. W warstwie górnej wykrywano zwykle jeden gatunek, w najniższych 5 gatunków. Formy osiadłe orzęsków występowały tylko w warstwach dolnych.

Nicień występowały w zmiennych ilościach, najmniej liczne były w badaniu 1, najliczniejsze w badaniu 3.

Próbki błony pobrane z poszczególnych poziomów w dniach 4.06 i 19.06.74 a więc przy obciążeniach hydraulicznych odpowiednio $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ i $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ znacznie różniły się pod względem

składu biocenozy i liczebności organizmów od próbek pobranych w poprzednim okresie.

W dniu 4.VI.74 organizmami dominującymi były we wszystkich warstwach bakterie z rodz. *Spirillum* i *Beggiatoa*. Ponadto w dolnych warstwach w znacznych ilościach występowała *Zoogloea* sp. i bakterie nitkowate z rodz. *Sphaerotilus*.

Grzyby najliczniej występowały w warstwie powierzchniowej i w głębszych warstwach w zmiennej ilości.

W złożu występowała bardzo mała ilość pierwotniaków z których najliczniejsze we wszystkich warstwach były wiciowce. Orzęski wolnopływające występowały tylko w 3 górnych warstwach i na powierzchni reprezentowane były przez 2 rodzaje - *Lionotus* i *Ciliata* nd, na głębokości 1,3 i 2,6 m występowały tylko niewielkie ilości *Ciliata* nd. Nicienie obserwowano w 3 górnych warstwach, przy czym najliczniejsze były na głębokości 2,6 m. Poza tym na powierzchni złoża liczne były skąposzczety.

Próbki błony dostarczone 19.VI. miały objętość, wzrastającą począwszy od powierzchni złoża. Wynosiła ona odpowiednio 2,5; 3,0; 4,5; 4,0 cm³.

Spośród bakterii najliczniej reprezentowane były *Beggiatoa* sp., które masowo występowały począwszy od głębokości 1,3 m. Na wszystkich poziomach złoża wykrywano znaczne ilości bakterii nitkowatych z rodz. *Sphaerotilus*, a w mniejszych ilościach zaś bakterie z rodz. *Spirillum*. Bakterie z rodz. *Zoogloea* w największej ilości występowały w warstwie dolnej.

Grzyby wykrywano na głębokości 1,3 i 2,6 m, natomiast na powierzchni rozwijały się nieliczne glony.

Organizmy zwierzęce reprezentowane były przez pierwotniaki, nicienie. Z pierwotniaków na powierzchni złoża występowały tylko wiciowce. Organizmy te masowo pojawiły się na głębokości 1,3 m, a następnie liczba ich malała. Natomiast największą liczbę orzęsków zaobserwowano na głębokości 2,6 m. Były one reprezentowane przez orzęski wolnopływające z rodz. *Lionotus* i *Ciliata* nd. oraz osiadłe *Epistylia* sp.

Nicienie występowały we wszystkich warstwach / w najgłębszej warstwie były martwe/.

Podsumowując wyniki badań należy stwierdzić, że w biocenozie złoża w okresie od 26.01 do 11.05.74 nie zachodziły wyraźne zmiany. W górnych warstwach złoża wykrywano większe ilości *Mastigophora*, *Rhizopoda*, grzybów i bakterii nitkowatych tj. organizmów charakterystycznych dla górnych warstw dobrze pracującego złoża, do którego dopływają najbardziej stężone ścieki. W głębszych warstwach w miarę oczyszczania ścieków wykrywano większą różnorodność form organizmów. Zmniejszenie się ilości *Ciliata* i pojawienie się w ostatnim badaniu większych ilości bakterii z rodz. *Spirillum* i *Beggiatoa* mogło być związane ze zwiększeniem grubości błony i pogorszeniem się warunków tlenowych. Na szybki przyrost błony mógł mieć wpływ brak typowej dla złóż fauny żerującej.

Ogólnie można powiedzieć, że w omawianym okresie badań biocenoza złoża charakterystyczna była dla urządzenia dobrze pracującego o obciążeniu konwencjonalnym. Nadmierny przyrost błony w końcowym okresie badań, związany prawdopodobnie z pogorszeniem warunków tlenowych, mógł spowodować pojawienie się

organizmów występujących zwykle w okresie gorszych warunków pracy złoża.

Natomiast można stwierdzić, że w dn. 4 i 19.VI. biocenoza złoża była uboga. Szczególnie w dn. 4.VI. dominowały organizmy wskazujące na przeciążenie i złą pracę złoża. / Duża ilość bakterii z rodz. *Beggiatoa* i *Spirillum* przy małej ilości pierwotniaków, których zanik stwierdzono w warstwie najgłębszej /. W dn. 19.VI. zaobserwowano pewną poprawę, jak zmniejszenie liczebności *Spirillum* sp. Przy czym najuboższa biocenoza była w warstwie powierzchniowej. Najlepsze warunki rozwoju i największą różnorodność organizmów stwierdzono na głębokości 2,6m.

Wyniki badań zebrano w tabl. 10-1 / Załącznik Nr 1 /.

10.2. Masa błony biologicznej i jej wpływ na ciężar wypełnienia złoża.

W trakcie prowadzenia procesu oczyszczania ścieków na instalacji doświadczalnej obserwowano przebieg zmian ilościowych błony biologicznej wytworzonej na siatce. Ciężar wypełnienia wraz z błoną badano bez uwzględnienia obciążenia statycznego i dynamicznego ściekami.

Zaobserwowano systematyczny przyrost ciężaru błony w trakcie stosowania małych obciążeń hydraulicznych $Q = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Błona biologiczna pokrywała wypełnienie warstwą o grubości do kilku mm. Przy waroście obciążenia hydraulicznego od $Q = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ do $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ nastąpiło zahamowanie przyrostu ciężaru wypełnienia złoża, dalszy wzrost obciążenia hydraulicznego powodował zmniejszanie się ciężaru wypełnienia złoża. Przy du-

zych wartościach obciążenia hydraulicznego $Q = 5 - 6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ilość błony biologicznej na siatce była przeszło dwukrotnie mniejsza niż dla obciążenia $Q = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Zaobserwowano w niektórych miejscach na siatce prawie całkowite wypłukanie błony biologicznej. Nastąpiło to prawdopodobnie w wyniku nierównomiernego rozdziału ścieków oraz nierównomiernej intensywności zwilżania powierzchni siatki wynikającej ze specyfiki wypełnienia.

Zwiększenie obciążenia hydraulicznego do wartości $Q=8\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ wykazało iż przy tak dużej intensywności przepływu wielkość sił ścinających i wyrywających przewyższa wielkość sił przyczepności błony do siatki. Małe ilości błony utrzymywały się jedynie wewnątrz pasm /oczek/ siatki.

Zmiany ciężaru wypełnienia złoża w zależności od obciążenia hydraulicznego przedstawiono w tabl. 10-2.

Tablica 10-2.

Zmiany ciężaru wypełnienia w zależności od wielkości obciążenia hydraulicznego.

Czas trwania serii	Obciążenie hydrauliczne		Ciężar wypeł- nienia z błony bio- log. kg	Ciężar 1m ³ wy- pełnienia wraz z błoną, kg/m ³	Obciążenie po- wierzchni rusztu kg/m ²
	powierzchn. m ³ /m ² h	objętość m ³ /m ³ d			
10.01-23.01.74 wpracowanie złoża	0,2-1,4	1,2-6,0	16,5	78	312
24.01-15.02.74	1,0	6,0	21,0	99	396
16.02-15.03.74	1,4	8,4	25,5	120	480
16.03-11.05.74	1,8	10,8	23,5	110	440
12.05-31.05.74	2,5	15,0	20,5	97	383
1.06-6.06.74	4,0	24,0	17,5	82	328
7.06-15.06.74	5,0	30,0	8,5	40	160

Błona biologiczna obrastała siatkę nierównomiernie na wysokości złoza. Najbardziej obrosnięta była siatka w górnych i środkowych partiach, mniej zaś w dolnych częściach złoza. Różnice te były bardziej wyraźne przy stosowaniu małych obciążeń hydraulicznych, natomiast dla większych obciążeń zróżnicowanie ilości błony na poszczególnych wysokościach złoza było mniejsze.

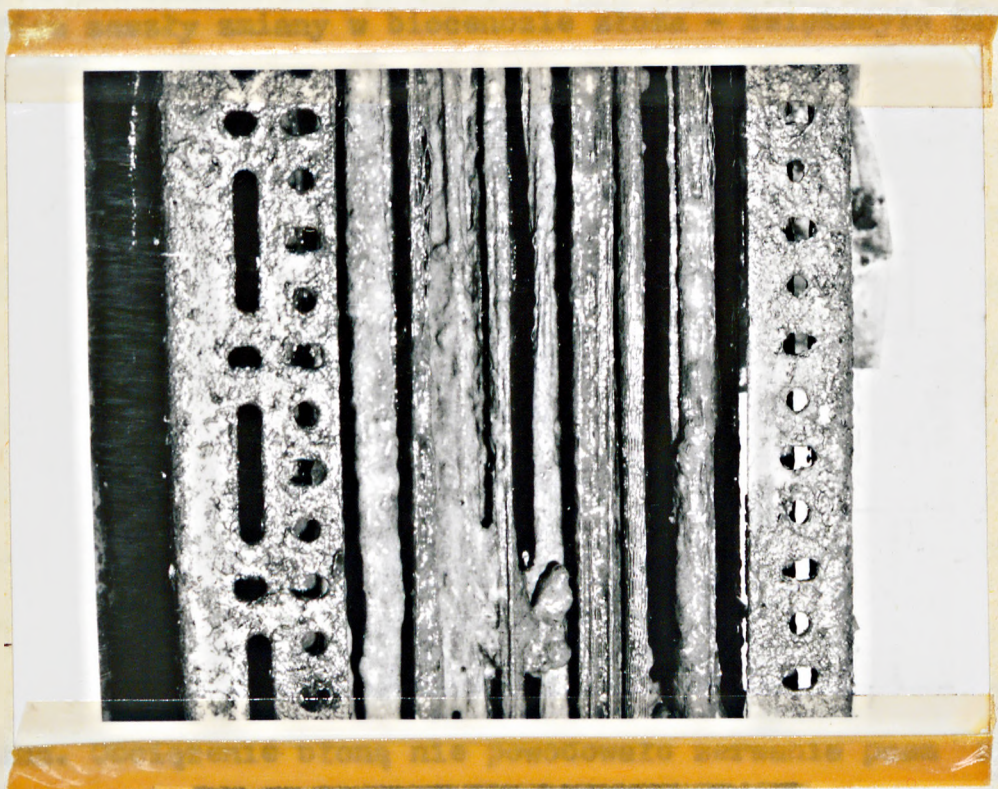
Widok siatek obrosniętych błoną /na wysokości ok. 1-1,5 m od górnej powierzchni złoza/ dla różnych obciążeń hydraulicznych przedstawiono na rys. 10.1 i rys. 10.2.

10.3. Wnioski wynikające z badań nad rozwojem błony biologicznej.

Badania wykazały, że siatka z tworzywa może stanowić podłoże /osnowę/ na którym rozwija się błona biologiczna. Oczka siatki przesklepiane były błoną biologiczną, która charakteryzowała się dużą zwartością i dużą przyczepnością do podłoża. Przy stosowaniu obciążenia hydraulicznego mniejszego od $1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ następował przyrost masy błony biologicznej a wypełnienie pokryte było nierównomierną warstwą błony o grubości dochodzącej miejscami do kilku milimetrów. Dla obciążeń $1,4 - 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ nastąpiła równowaga pomiędzy przyrostem ilości błony i jej wypłukiwaniem.

Badania biologiczne biocenozy złoza wykazały, że dla mniejszych obciążeń ładunkiem zanieczyszczeń błona biologiczna charakteryzowała się dużą różnorodnością organizmów.

a/



b/



Rys.10.1. Widok fragmentu siatek porośniętych błoną biologiczną; a/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q \leq 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, b/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

a/



b/



Rys.10.1. Widok fragmentu siatek porośniętych błoną biologiczną: a/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q \leq 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$, b/ przy obciążeniu hydraulicznym $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$.

W końcowej fazie badań, gdy stosowano duże obciążenie ładunkiem zaszły zmiany w biocenozie złoża - zwiększyła się ilość bakterii a zmniejszyła ilość pierwotniaków. Obciążenie wypełnienia /siatki/ błoną biologiczną było znaczne i spowodowało wielokrotne, w stosunku do samej siatki, zwiększenie ciężaru 1 m³ wypełnienia. W przeprowadzonych badaniach maksymalny ciężar 1 m³ wypełnienia wynosił ok. 120 kg/m³. Należy jednakże podkreślić, że ciężar ten dla innych parametrów pracy złoża /inny rodzaj ścieków, H ≠ 4 m, inny sposób przygotowania wypełnienia/ może odbiegać od 120 kg/m³, w związku z czym należy traktować tę wartość jako orientacyjną.

Wytrzymałość mechaniczna zastosowanej siatki była dostateczna. Obciążenie błoną nie powodowało zerwania pasm siatki ani też zbytniego ich wydłużenia.

Po okresie kilkumiesięcznego kontaktu siatki z błoną biologiczną i ściekami nie stwierdzono dostrzegalnych zmian własności fizycznych i wytrzymałościowych siatki. W okresie prowadzenia badań nie stwierdzono przypadku całkowitego zarosnięcia złoża błoną biologiczną.

Interesującym zagadnieniem dotychczas niezbadanym jest wpływ grubości warstewki błony biologicznej na efekt działania złoża. W dotychczasowych badaniach i rozważaniach nad efektem działania złóż autorzy najczęściej przyjmują za kryterium powierzchnię właściwą wypełnienia / powierzchnię kontaktu ścieków z błoną biologiczną/, nie uwzględniając objętości /lub masy/ błony biologicznej wytworzonej na wypełnieniu.

W trakcie prowadzonych badań objętość błony biologicznej

zmieniała się w szerokim zakresie jednakże uzyskane wyniki nie pozwalają na określenie wpływu grubości warstewki błony na efekt działania złoza. Zagadnienie to mogłoby być przedmiotem odrębnych badań.

11. Badania nad efektem oczyszczania ścieków na złożu.

11.1. Przyjęte kryteria do oceny efektu oczyszczania ścieków.

Jako podstawę dla oceny efektu działania złoża przyjęto zmianę wartości wskaźników BZT_5 , Utlenialności oraz $ChZT$ charakteryzujących wielkość zanieczyszczeń w ściekach dopływających do złoża i odpływających ze złoża. Kontrolowano również zawartość związków azotowych w ściekach oraz zawartość tlenu rozpuszczonego w odpływie ze złoża. Z uwagi na dużą zmienność wartości wskaźników/duży rozrzut punktów pomiarowych/ do oceny przyjmowano wartości średnie arytmetyczne oraz porównawczo wartości medialne /dla przedziałów o większej ilości punktów pomiarowych/.

Wyniki badań fizyczno-chemicznych przedstawiono w załączniku nr 1 tabl.11-1 oraz tabl.11-2.

11.2. Charakterystyka wartości kryterialnych wskaźników / BZT_5 , $ChZT$, Utlenialność/ w ściekach doprowadzanych do złoża.

W całym okresie badań ścieki miały odczyn lekko zasadowy, pH zmieniało się w granicach od 7,1 do 8,5, średnio $pH=8,0$.

Stężenie zanieczyszczeń ścieków wyrażone wielkością BZT_5 zmieniało się w zakresie od 30 do 490 mgO_2/l . Wyższe wartości BZT_5 występowały w miesiącach letnich, niższe w zimowych.

Wartość BZT_5 odpowiadająca 50 % prób z całego okresu badań

/wartość medialna/ wynosiła $215 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

ChZT ścieków dopływających na złożo zmieniało się w zakresie od 210 do $830 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Wartość ChZT odpowiadająca 50% prób wynosiła $445 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

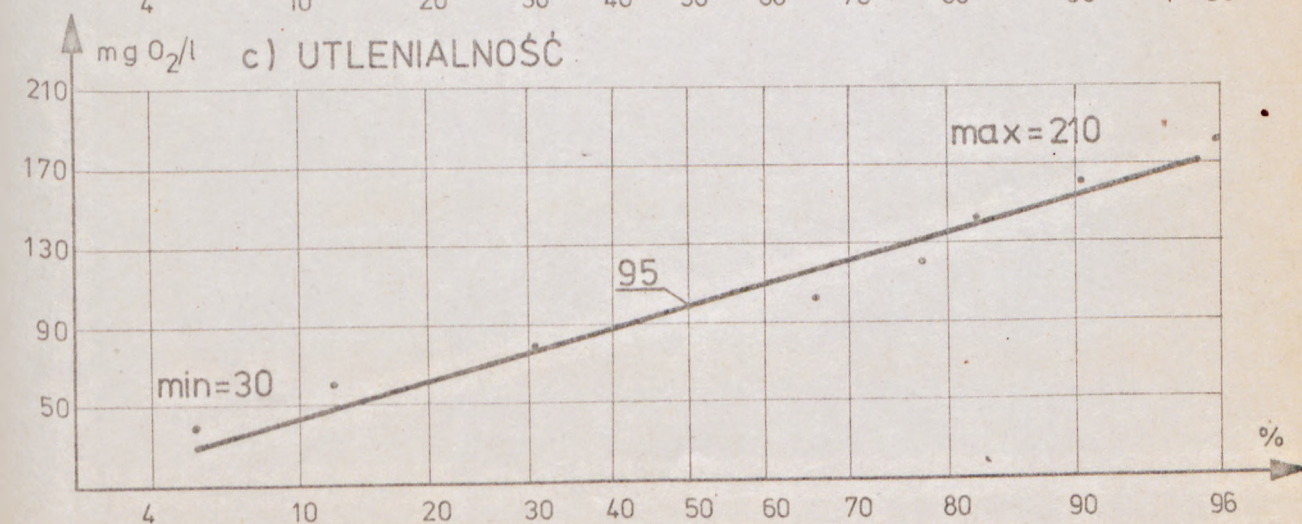
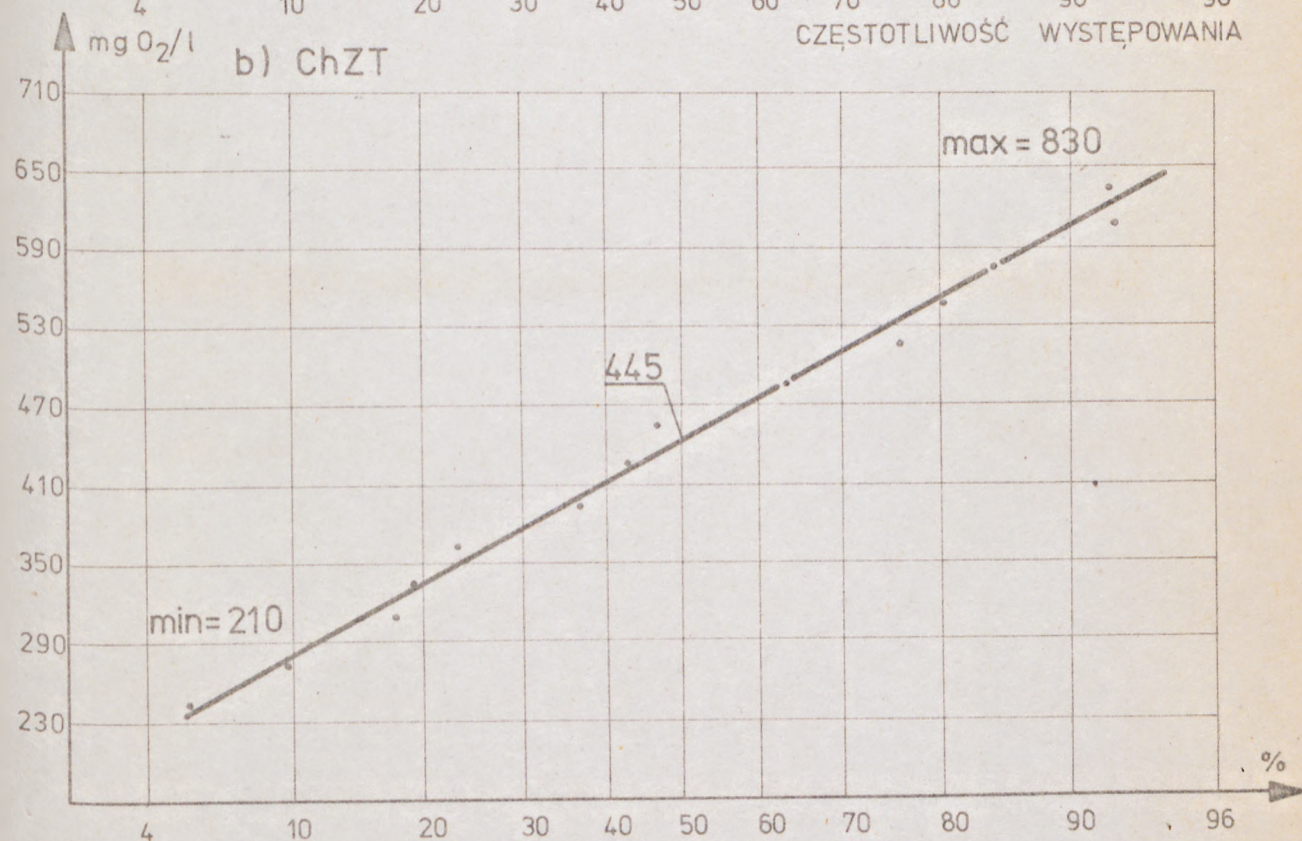
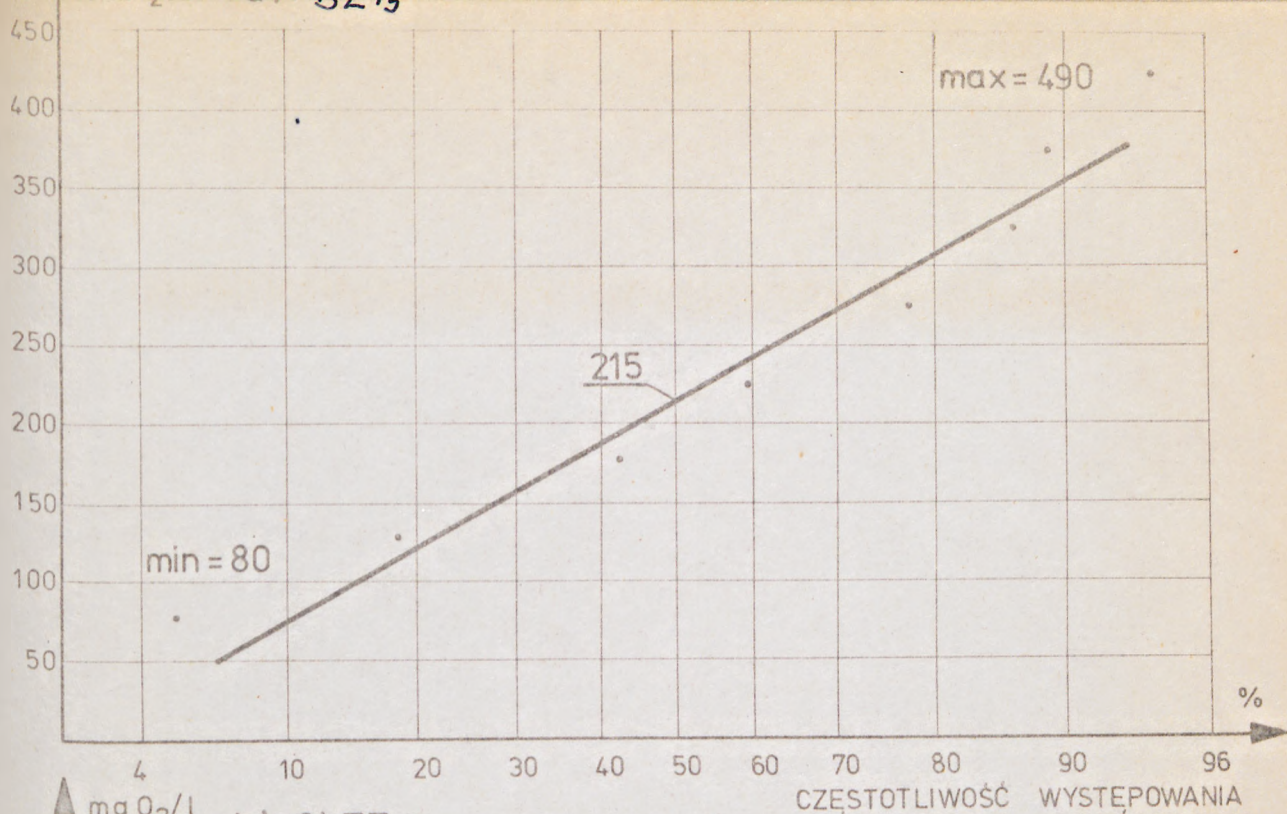
Utlentialność ścieków przed złożem zmieniała się w granicach od 30 do $210 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Medialna wartość utlentialności / dla 50% prób/ wynosiła $95 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

Wartości BZT₅, ChZT i utlentialności oraz ich zmienność w badanych ściekach pozwalają na scharakteryzowanie ich jako ścieków miejskich średnio stężonych.

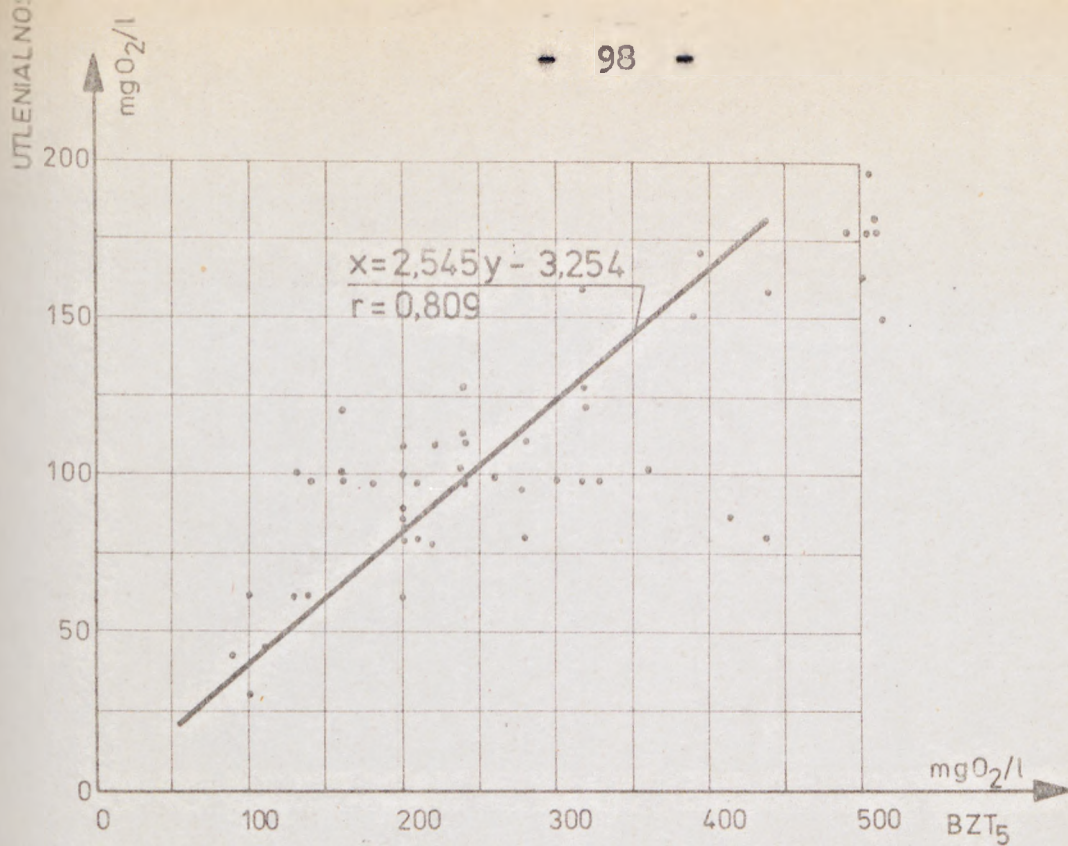
Statystyczne zestawienie zmienności wartości BZT₅, ChZT i utlentialności w ściekach doprowadzanych na złożo przedstawiono na rys. 11-1.

Zależność pomiędzy wartościami poszczególnych wskaźników kryterialnych przedstawiono na rys. 11-2 do rys.11-4. Obliczone współczynniki korelacji /r/ wykazały, że największa korelacja $r = 0,809$ występowała pomiędzy wartościami utlentialności i BZT₅, zaś najmniejsza $r=0,225$ pomiędzy wartościami ChZT i utlentialności.

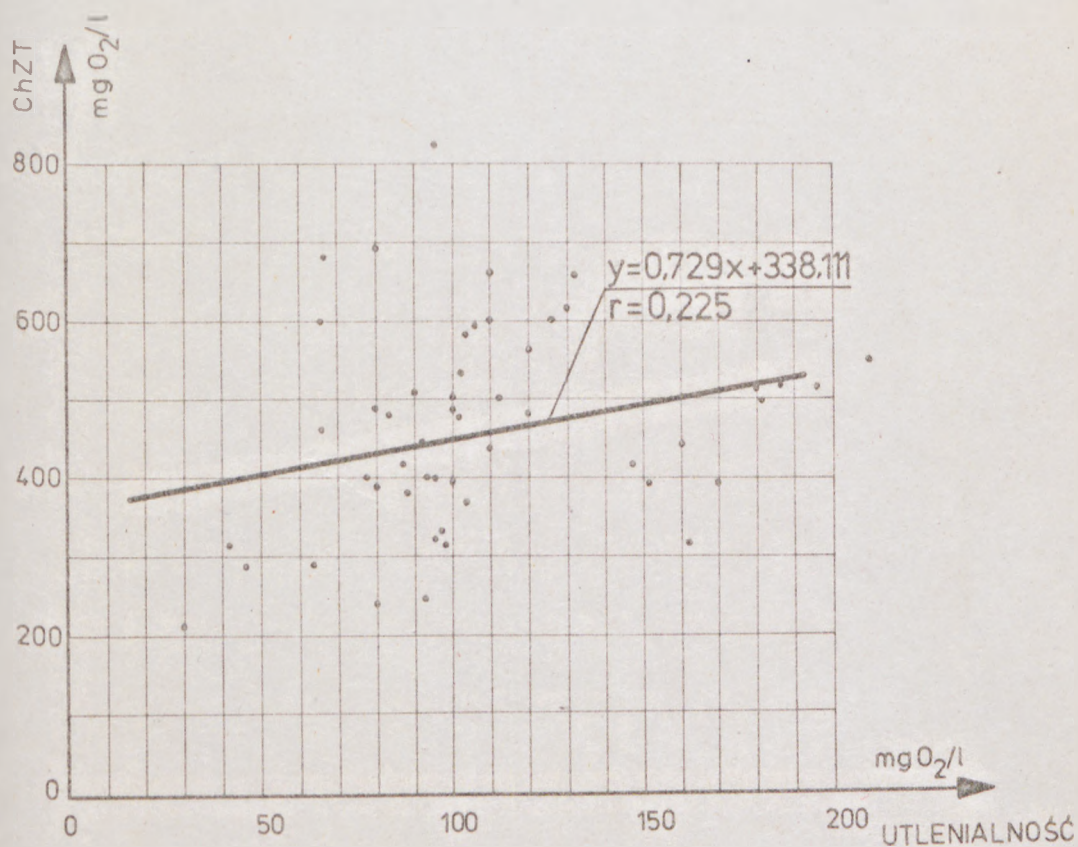
Ścieki doprowadzone na złożo pozbawione były zawiesin większych, zawierały jednakże znaczne ilości zawiesin drobnych, trudniej opadających. Ilość zawiesin ogólnych zawartych w ściekach dopływających była zmienna w czasie badań i wahała się w granicach od 45 do 385 mg/l . Znaczna część tych zawiesin była sorbowana na błonie biologicznej, szczególnie przy stosowaniu małych obciążeń hydraulicznych.



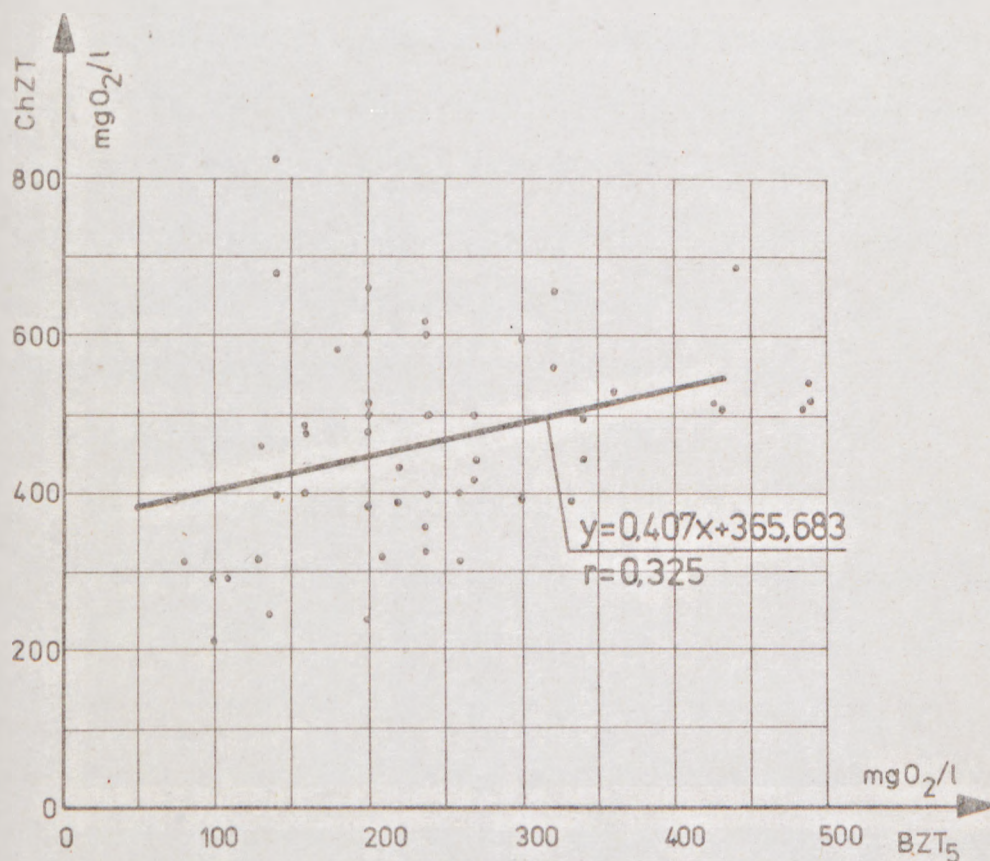
RYS. 11-1 STATYSTYCZNE PRZEDSTAWIENIE CZĘSTOTLIWOŚCI WYSTĘPOWANIA WSKAŹNIKÓW ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH DOPROWADZANYCH NA ZŁOŻE BIOLOGICZNE.



RYS. 11-2 ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WARTOŚCIAMI BZT_5 I UTLENIALNOŚCI W ŚCIEKACH DOPŁYWAJĄCYCH NA ZŁOŻE.



RYS. 11-3 ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WARTOŚCIAMI $ChZT$ I UTLENIALNOŚCI W ŚCIEKACH DOPŁYWAJĄCYCH NA ZŁOŻE.



RYS. 11-4. ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WARTOŚCIAMI BZT₅ I ChZT
W ŚCIEKACH DOPŁYWAJĄCYCH NA ZŁOŻE.

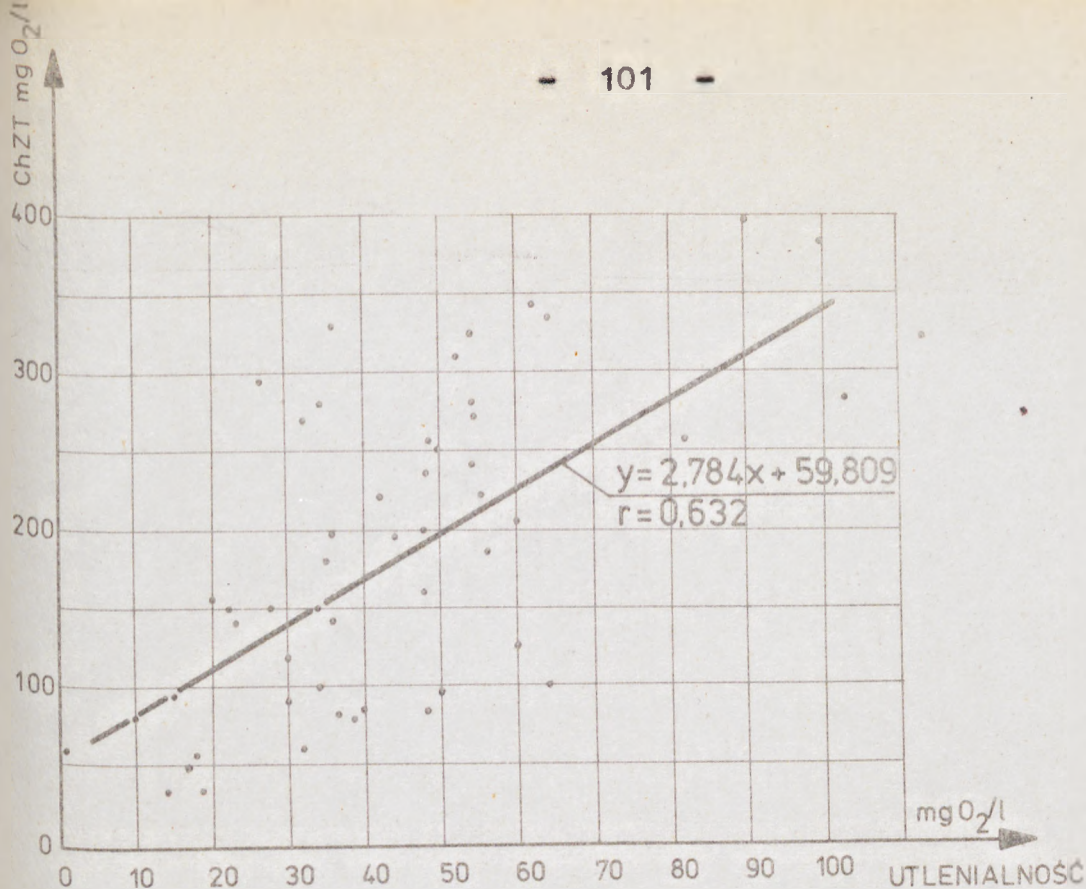
11.3. Charakterystyka wartości kryterialnych wskaźników w ściekach po złożu biologicznym.

Wartości BZT_5 ścieków po złożu zawarta były w przedziale od 17 do 300 mgO_2/l , $ChZT$ od 33 do 380 mgO_2/l , zaś utlenialności od 10 do 82 mgO_2/l . Zależności oraz współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami przedstawiono na rys.11-5 do rys.11-7. Największą zależność / $r = 0,739$ / zaobserwowano pomiędzy wartościami BZT_5 i utlenialności, najmniejszą $r=0,459$ pomiędzy wartościami $ChZT$ i BZT_5 .

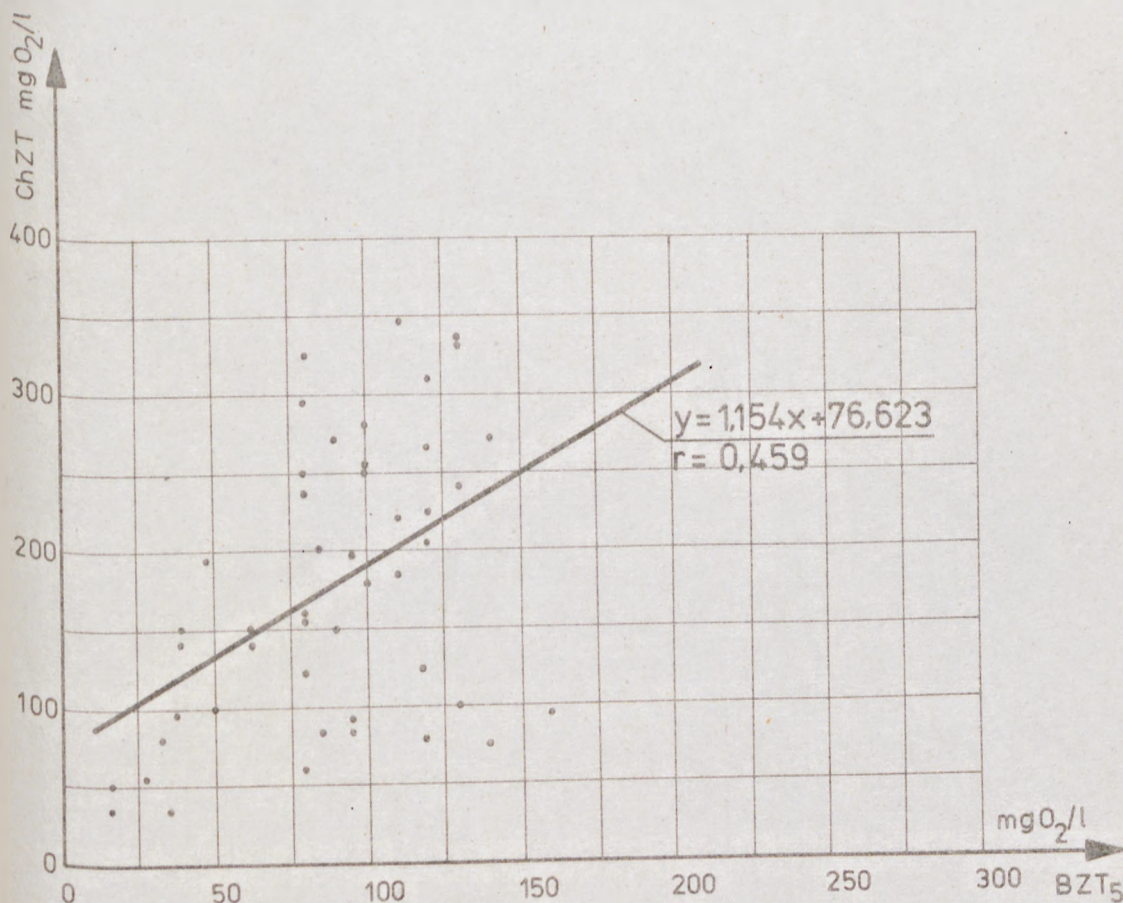
Na wartość poszczególnych wskaźników kryterialnych w odpływie miały wpływ takie czynniki jak obciążenie hydrauliczne, stężenie ścieków w dopływie, obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń. Wraz ze wzrostem obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń wzrastały wartości wskaźników BZT_5 , $ChZT$ i utlenialności w odpływie. Zależność BZT_5 w odpływie od obciążenia ładunkiem przedstawiono na rys. 11-8.

Ponieważ wzrost obciążenia ładunkiem uzyskiwano drogą zwiększenia obciążenia hydraulicznego, dlatego też ogólnie można stwierdzić, że ze wzrostem obciążenia hydraulicznego wzrastała wartość BZT_5 / rys.11-9 i rys.11-10 / i wartość $ChZT$ w odpływie rys.11-11 oraz rys. 11-12. Stwierdzono mniejsze uzależnienie wartości utlenialności w odpływie od zmian obciążenia hydraulicznego rys. 11-13 oraz rys.11-14.

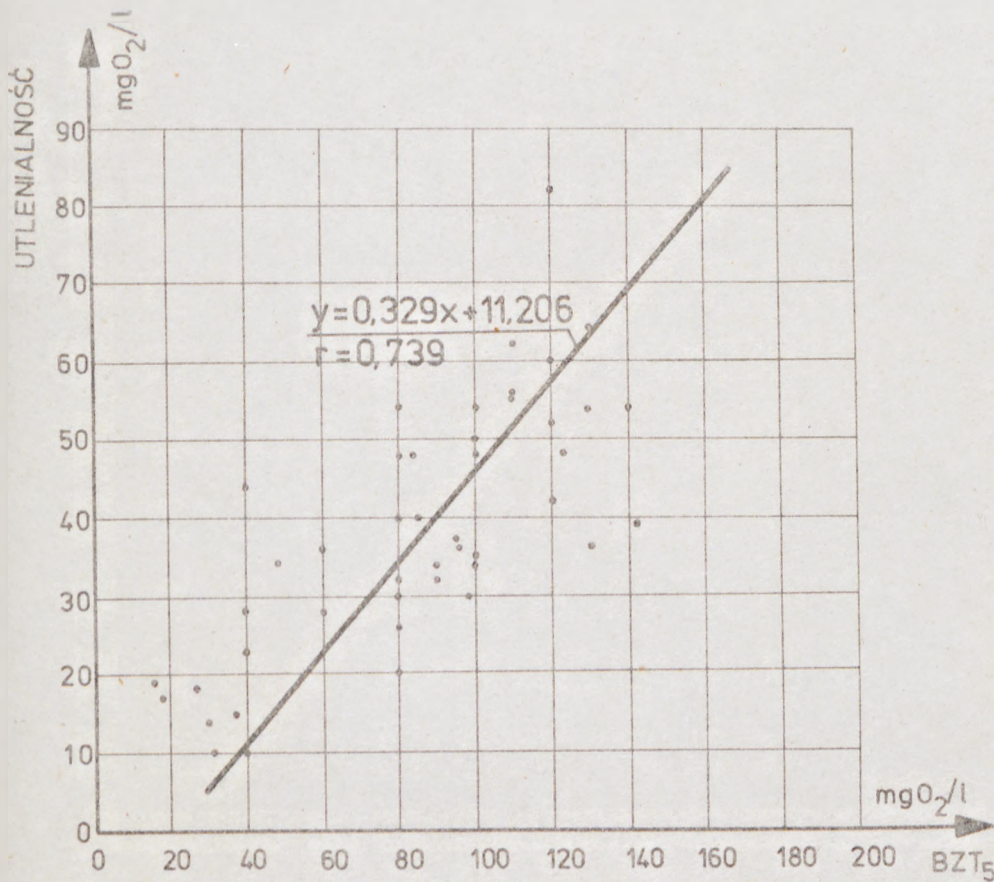
Zestawienie wartości medialnych i średnich arytmetycznych wskaźników BZT_5 , $ChZT$ i utlenialności na poszczególnych wysokościach złoża i w odpływie w zależności od obciążenia hydraulicznego przedstawiono w tabl. 11-3.



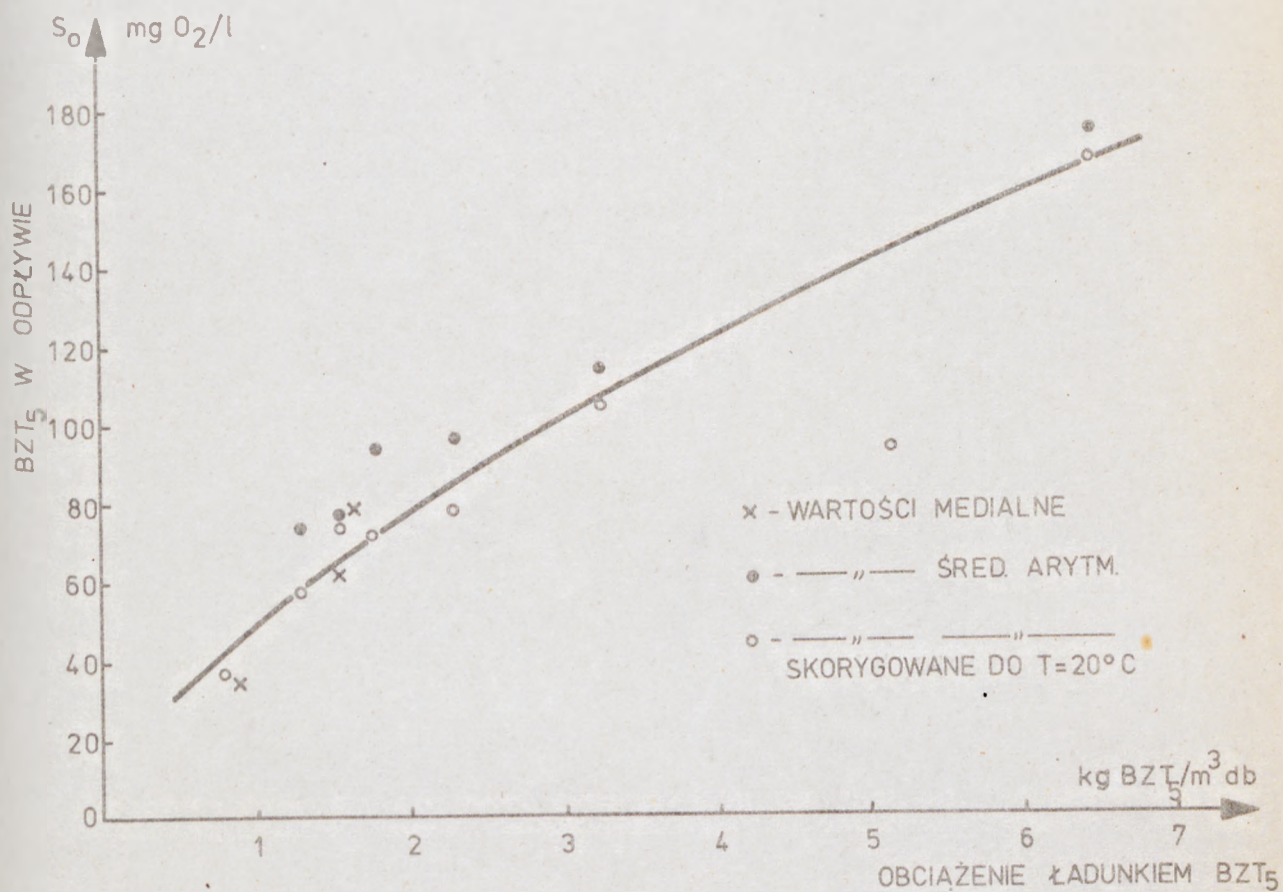
RYS. 11-5 ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WARTOŚCIAMI ChZT I UTLENIALNOŚCI W ŚCIEKACH PO ZŁOŻU BIOLOGICZNYM.



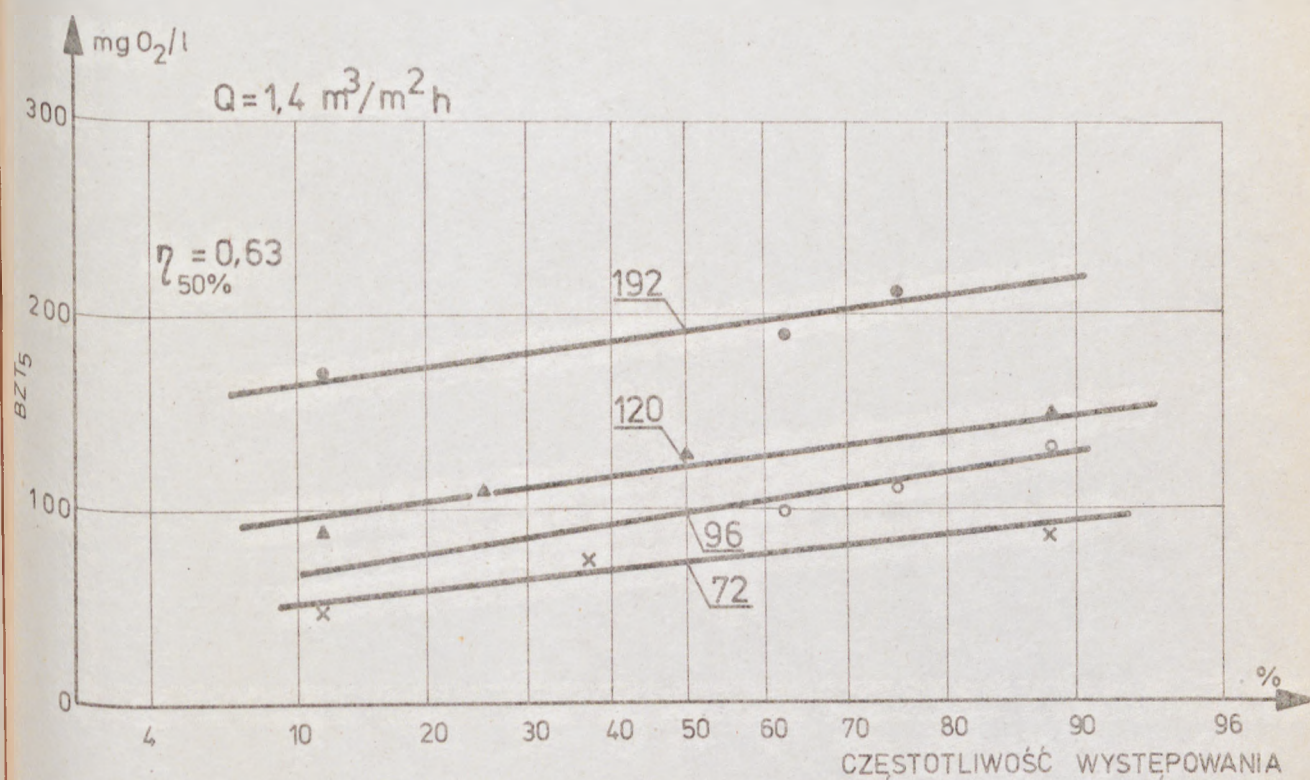
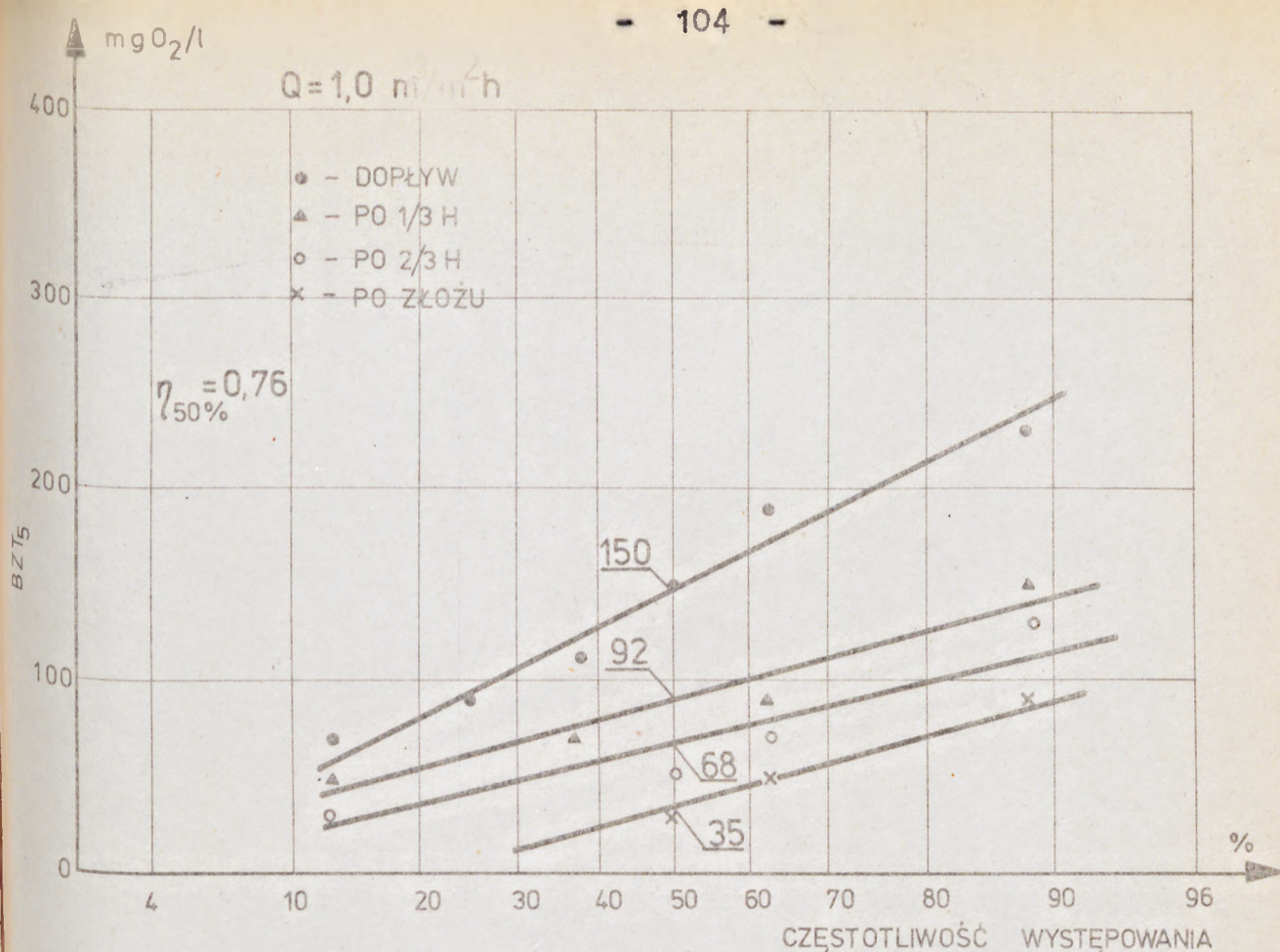
RYS. 11-6 ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WARTOŚCIAMI ChZT I BZT₅ W ŚCIEKACH PO ZŁOŻU BIOLOGICZNYM.



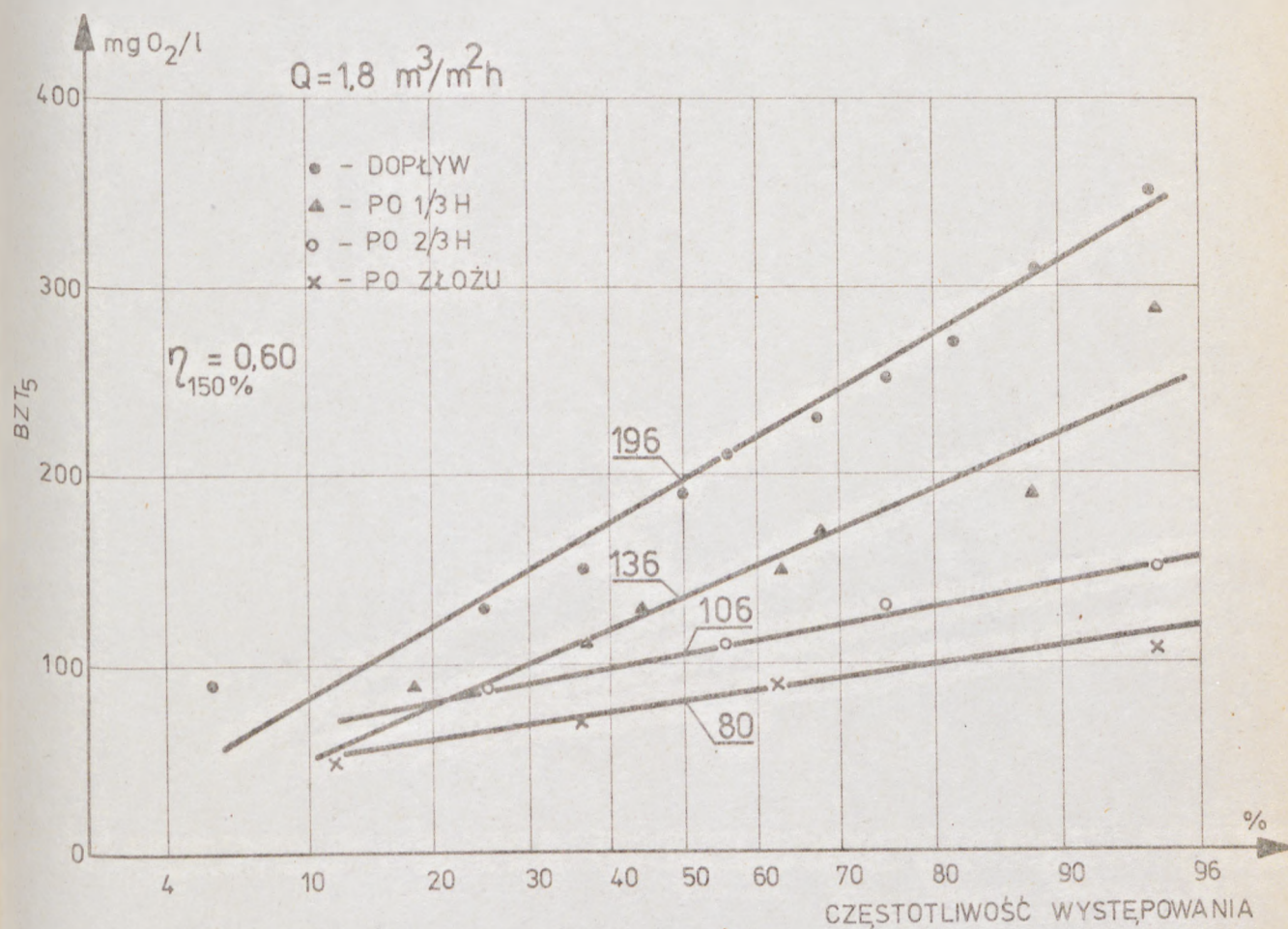
RYS. 11-7 ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WARTOŚCIAMI BZT₅ I UTLENIALNOŚCI W ŚCIEKACH PO ZŁOŻU.



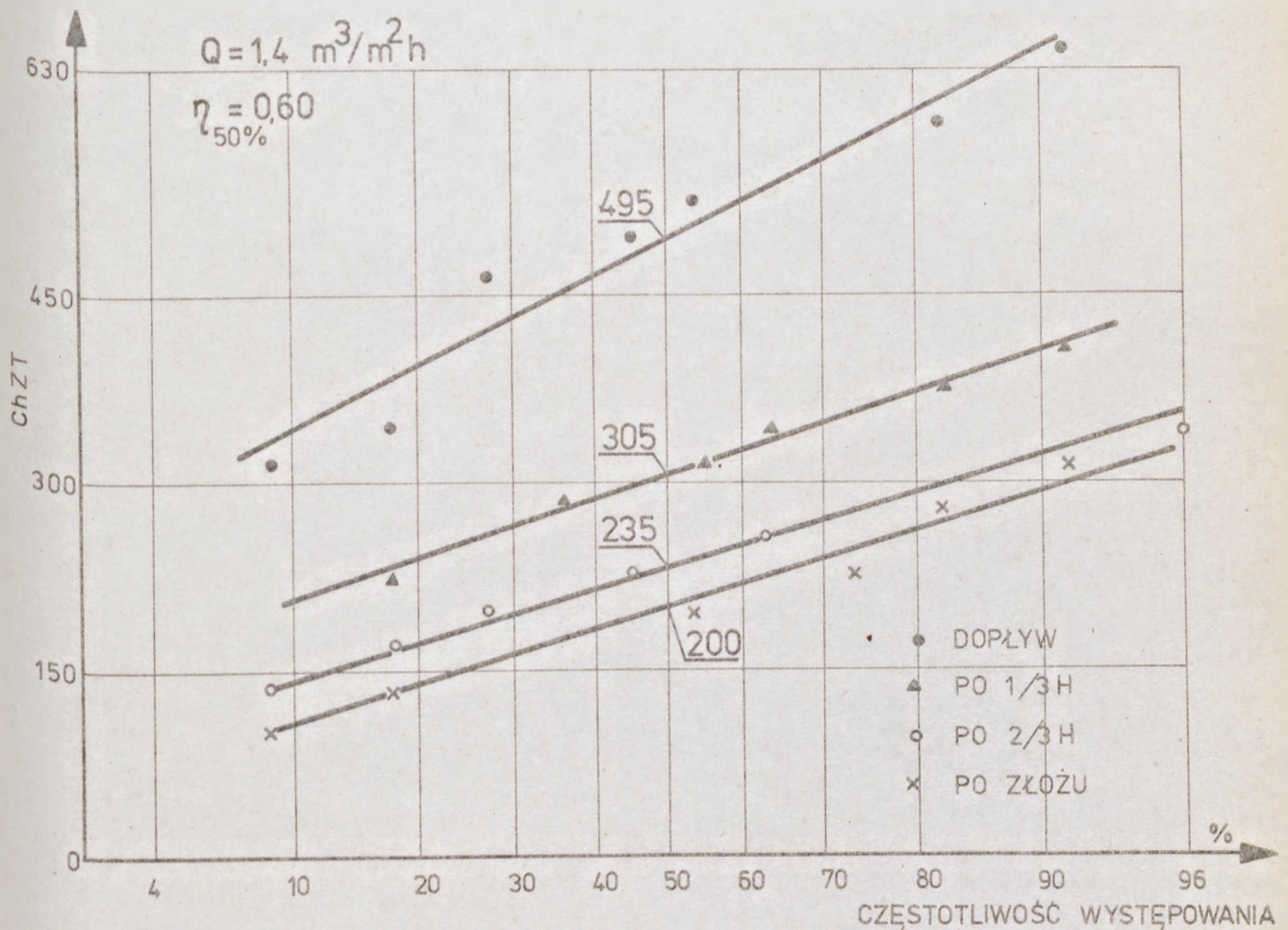
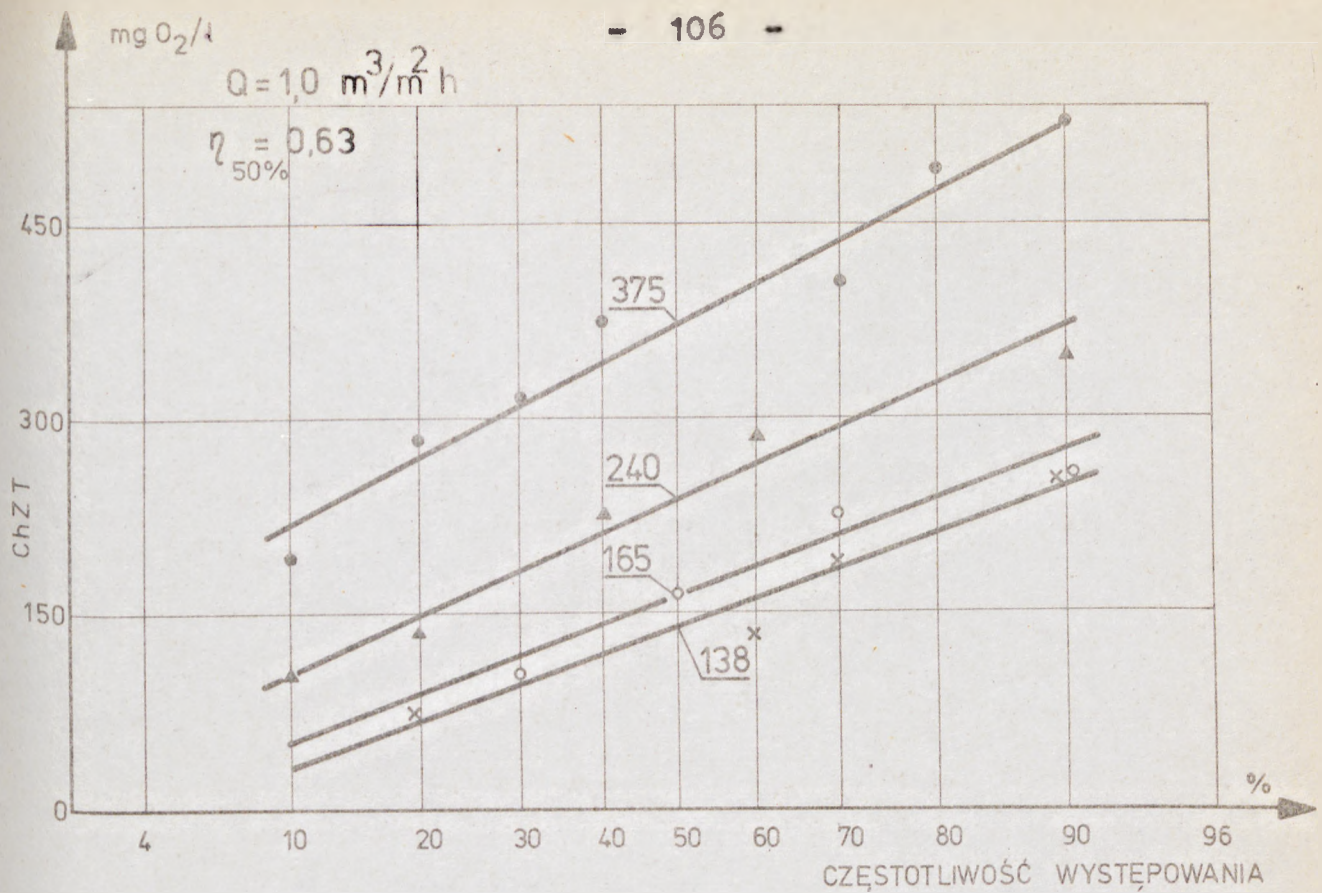
RYS. 11-8. ZALEŻNOŚĆ BZT_5 W ODPŁYWIE OD OBCIĄŻENIA ŁADUNKIEM BZT_5 (TEMP ŚCIEKÓW $T=20^\circ C$)



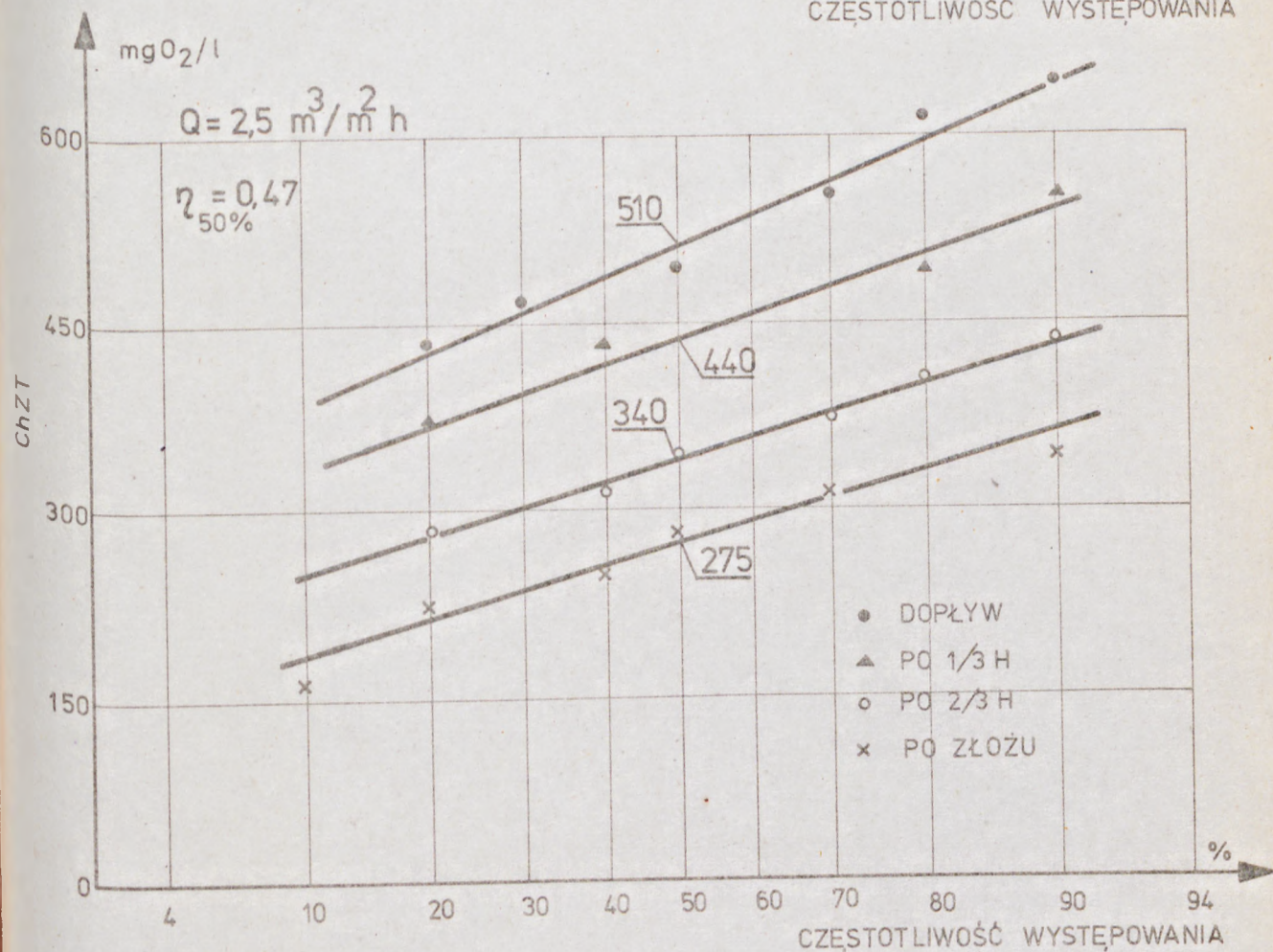
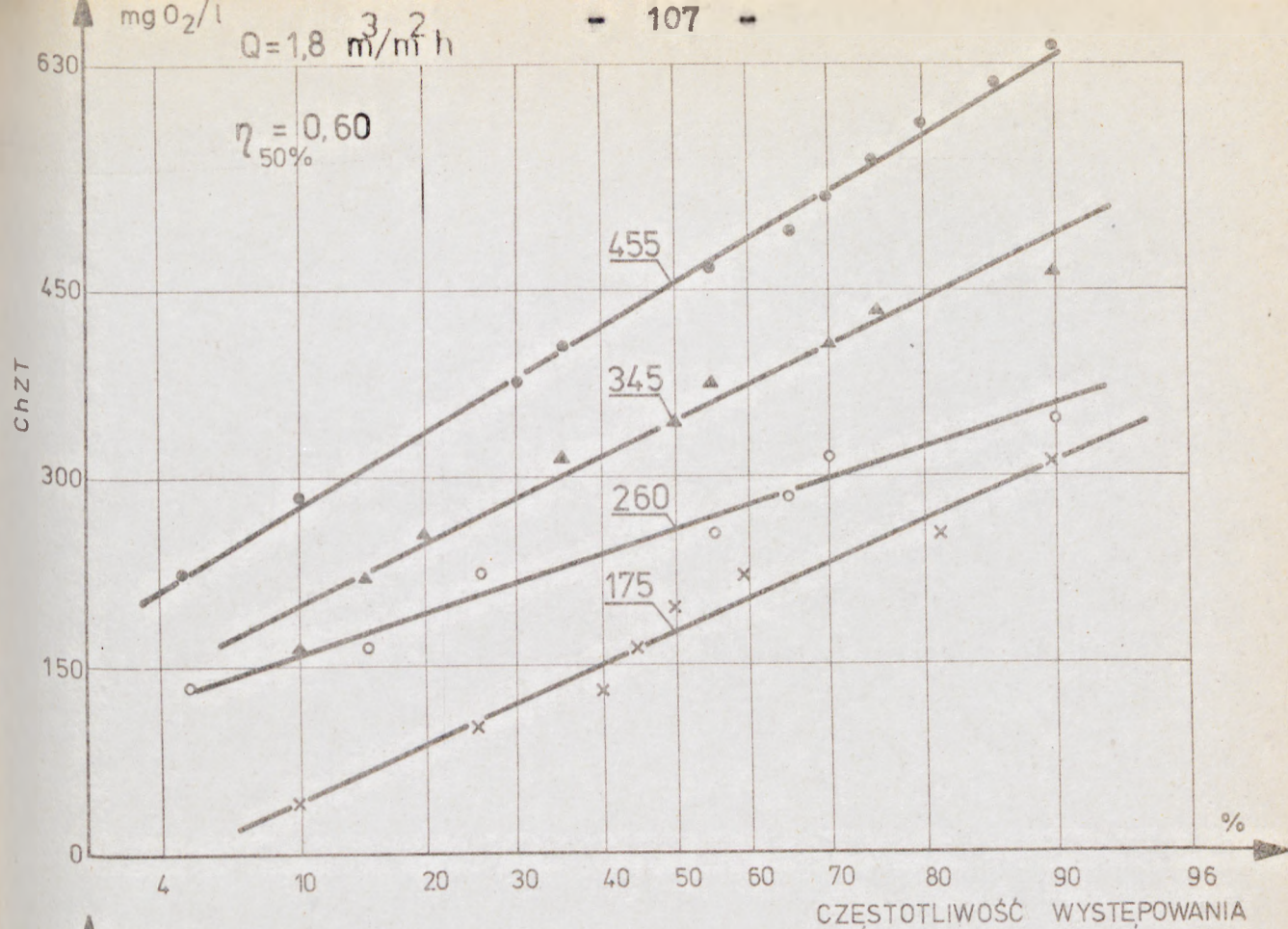
RYS. 11-9. ZMIENNOŚĆ WARTOŚCI BZT₅ NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA DLA OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ORAZ $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.



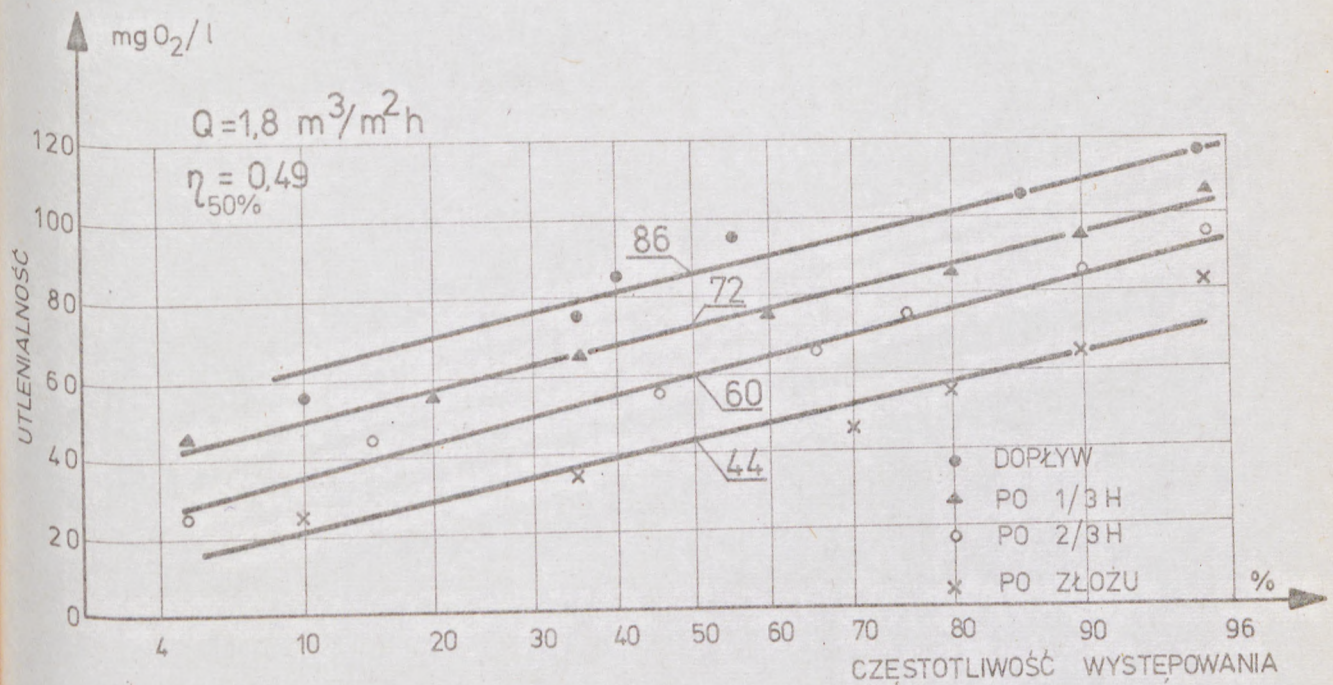
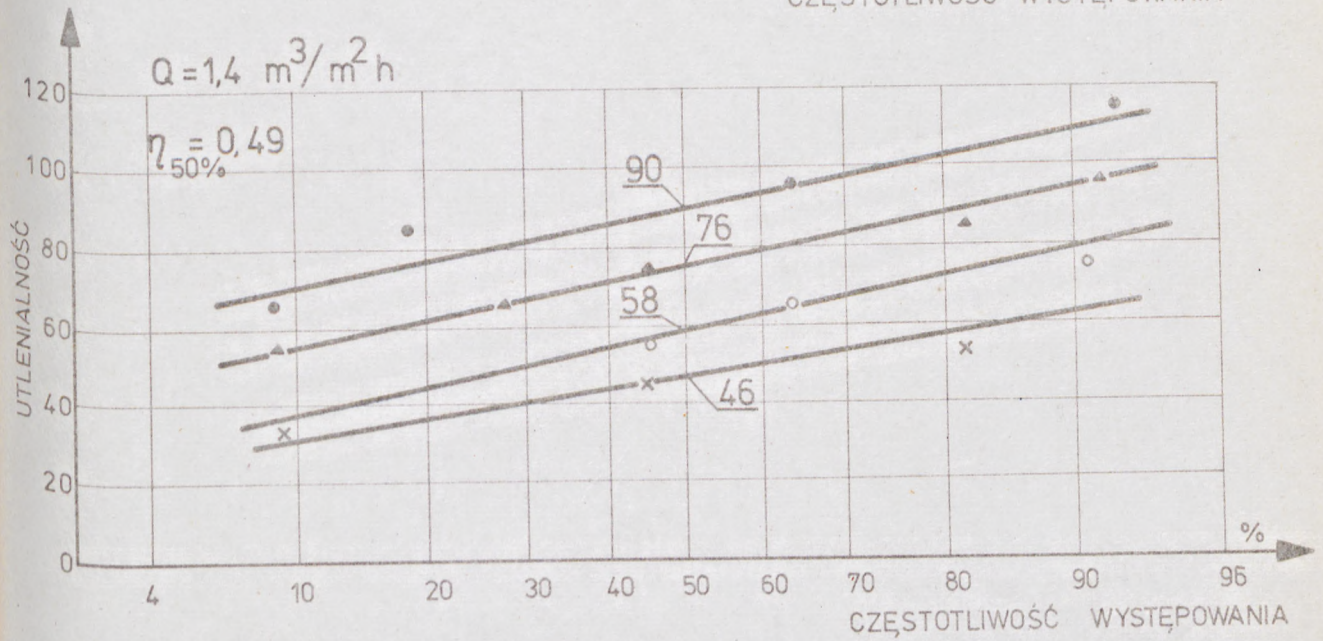
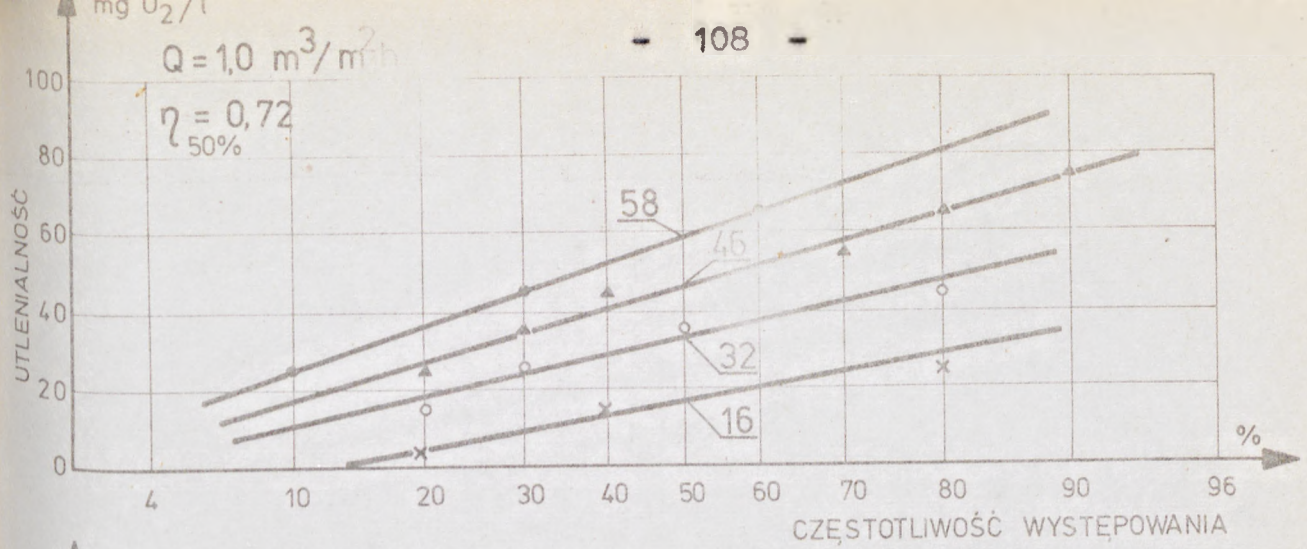
RYS. 11-10 ZMIENNOŚĆ WARTOŚCI BZT₅ NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA DLA OBCIĄŻENIA HYDRAULICZNEGO $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.



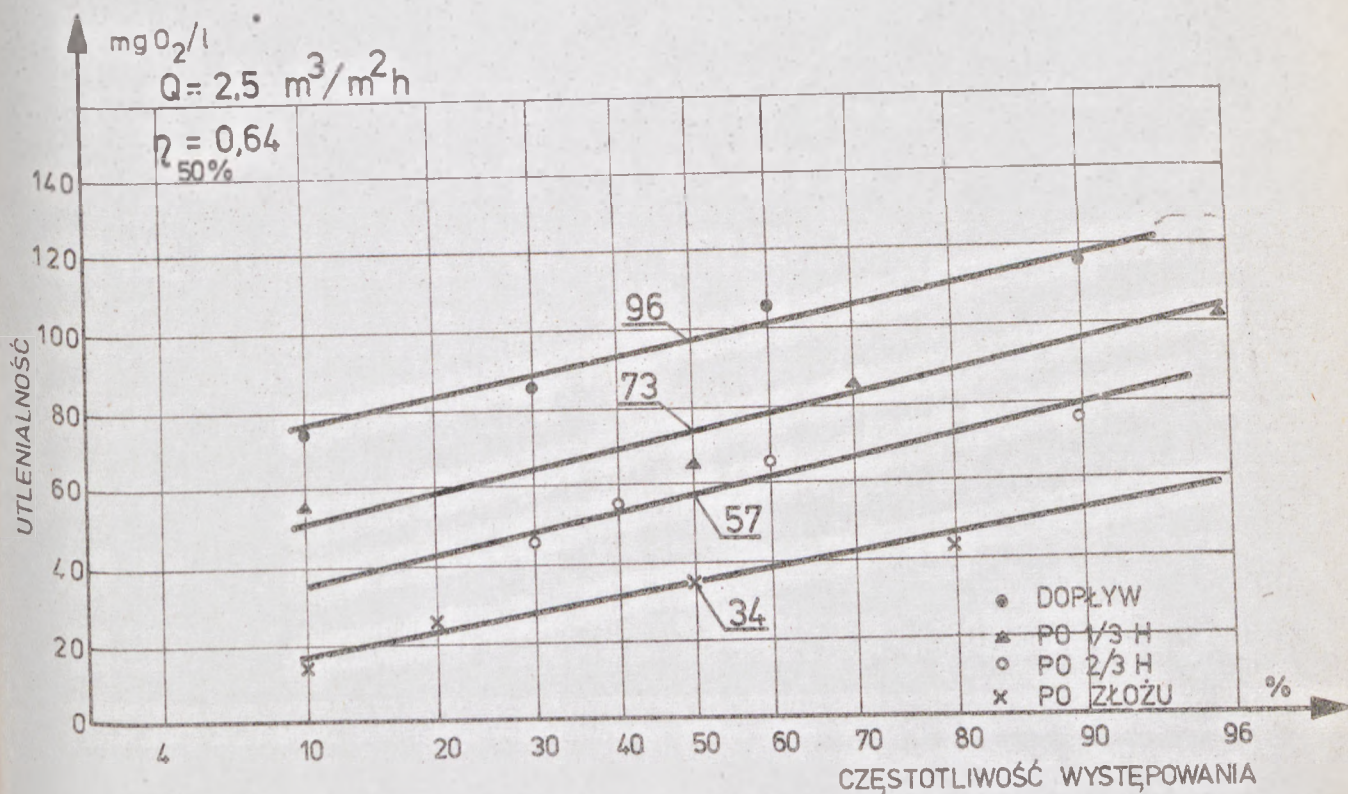
RYS. 11-11 ZMIENNOŚĆ WARTOŚCI ChZT NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA DLA OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ I $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$.



RYS. 11-12. ZMIENNOŚĆ WARTOŚCI ChZT NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA DLA OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ I $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$.



RYS. 11-13 ZMIENNOŚĆ WARTOŚCI UTLENIALNOŚCI NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA DLA OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ I $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.



RYŚ. 11-14 ZMIENNOŚĆ WARTOŚCI UTLENIALNOŚCI NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA DLA OBCIĄŻENIA HYDRAULICZNEGO $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

TABLICA 11-3

Zestawienie wartości CHT , utlenialności i BZT_5 na poszczególne wysokościach złoża, dla różnych obciążeń hydraulicznych

Wskaźnik	Obciążenie hydr. $Q / m^2 / \text{godz}$	$Q = 1,0$		$Q = 1,4$		$Q = 1,8$		$Q = 2,5$		$Q=4$	$Q=5$
		śred. arytm.	wartość medialna	śred. arytm.	wartość medialna	śred. arytm.	wartość medialna	śred. arytm.	wartość medialna	śred. arytm.	śred. arytm.
CHT w O_2/l	przed złożem	402	375	520	495	408	455	559	510	600	448
	po 1/3 H	270	240	340	305	361	345	464	440	405	390
	po 2/3 H	205	165	250	235	204	260	363	340	320	315
	po złożu	164	130	220	200	199	175	238	275	155	256
utlenialność w O_2/l	przed złożem	75	58	100	90	95	86	105	96	77	91
	po 1/3 H	50	46	80	76	78	72	78	73	66	75
	po 2/3 H	41	32	66	58	63	60	65	57	46	59
	po złożu	30	16	52	46	44	44	47	34	36	43
BZT_5 w O_2/l	przed złożem	181	150	209	192	224	196	252	/		240
	po 1/3 H	112	92	145	120	167	136	190			220
	po 2/3 H	89	68	114	96	128	106	157			200
	po złożu	66	35	95	72	97	80	115			175

11.4. Ocena efektu oczyszczania ścieków na złożu.

Dla małych obciążeń hydraulicznych i małych obciążeń ładunkiem /do 1 kg BZT₅/m³d/ uzyskiwano obniżkę zanieczyszczeń w granicach $\eta = 70 \pm 75\%$. Wraz ze wzrostem obciążenia hydraulicznego i obciążenia ładunkiem efekt usuwania zanieczyszczeń zmniejszał się /bezwzględna wartość usuniętego ładunku wzrastała/ i dla obciążenia hydraulicznego 5 m³/m²h wynosił dla BZT₅ $\eta = 27\%$, dla ChZT $\eta = 43\%$ i dla utlenialności $\eta = 53\%$.

Wartości obciążenia ładunkiem BZT₅ oraz średni procent obniżki BZT₅ dla poszczególnych serii podano w tabl.11-4.

Zależność wielkości usuniętego ładunku zanieczyszczeń od obciążenia ładunkiem dla wskaźników BZT₅ i ChZT przedstawiono na rys.11-15 i rys.11-16. Rozrzut punktów pomiarowych jest dość duży, wynika to między innymi z różnej temperatury ścieków w poszczególnych okresach badań.

Dyskusyjnym może być sposób oceny średniego efektu pracy złoża w określonym przedziale czasu /np.dla stałego obciążenia hydraulicznego /. Wartość tę można określić przyjmując jako podstawę średnie arytmetyczne / lub medialne / wartości stężeń wskaźników w dopływie i odpływie ze złoża, uzyskane w danym okresie czasu.

W tym przypadku efekt obniżenia zanieczyszczeń będzie wyrażony następująco:

$$\eta = \frac{\frac{1}{a} \sum_{i=1}^{i=a} S_i - \frac{1}{a} \sum_{i=1}^{i=a} (S_o)_i}{\frac{1}{a} \sum_{i=1}^{i=a} S_i} \cdot 100\% \quad /13/$$

gdzie: S, S_0 - stężenie wskaźnika w dopływie i odpływie,
 a - ilość prób.

Średni efekt pracy złoża w danym okresie czasu można wyznaczyć również jak średnią arytmetyczną /lub medialną/ wartość z efektów jednostkowych. W tym przypadku będzie:

$$\eta = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^{i=a} \left(\frac{S - S_0}{S} \right)_i \cdot 100 \% = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^{i=a} \eta_i \quad /14/$$

Na rys.11-17 do rys.11-19 przedstawiono zależność¹ zależność procentu obniżki zanieczyszczeń od obciążenia hydraulicznego. Wartości η dla poszczególnych wskaźników kryterialnych i poszczególnych obciążeń hydraulicznych określono jako wartości medialne z minimum 10 punktów pomiarowych.

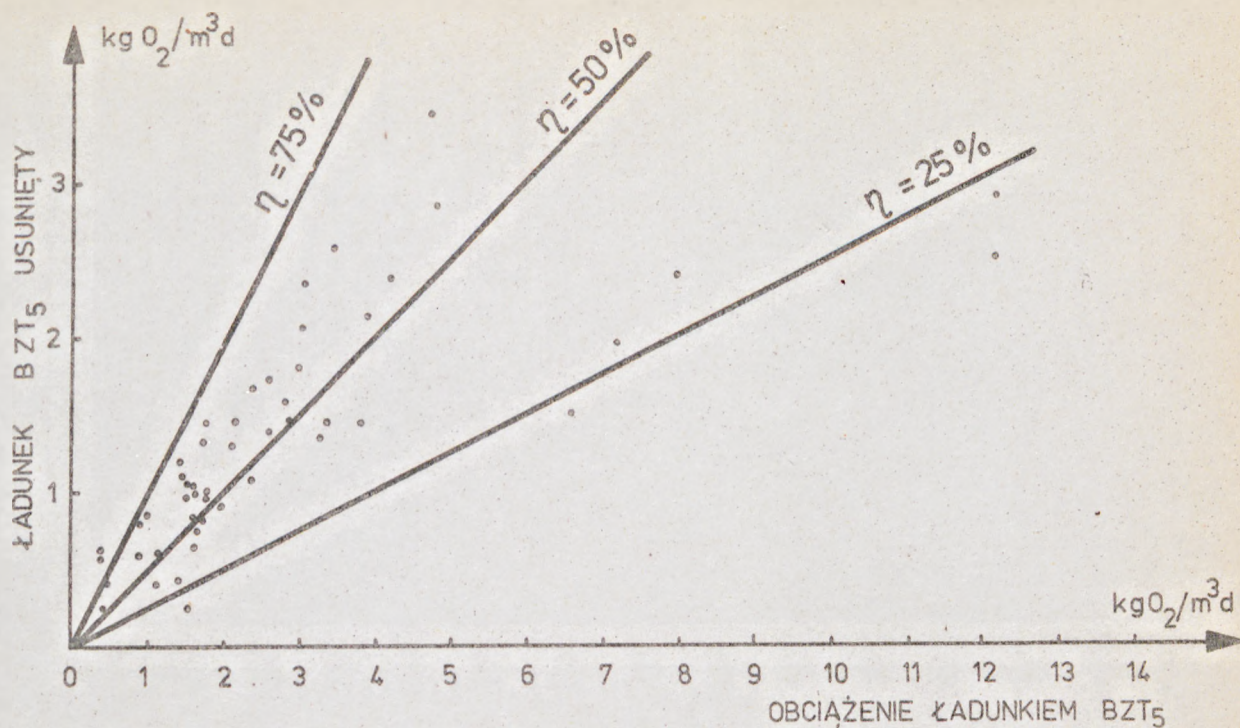
Dla porównania w tabl. 11-5 przedstawiono zestawienie efektów obniżki ChZT określone sposobami wyżej omówionymi. Obliczone w różny sposób wartości η różnią się pomiędzy sobą o ok. 3-5 %, w jednym tylko przypadku maksymalna różnica wynosi 11 %.

11.5. Wpływ obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń na efekt oczyszczania ścieków.

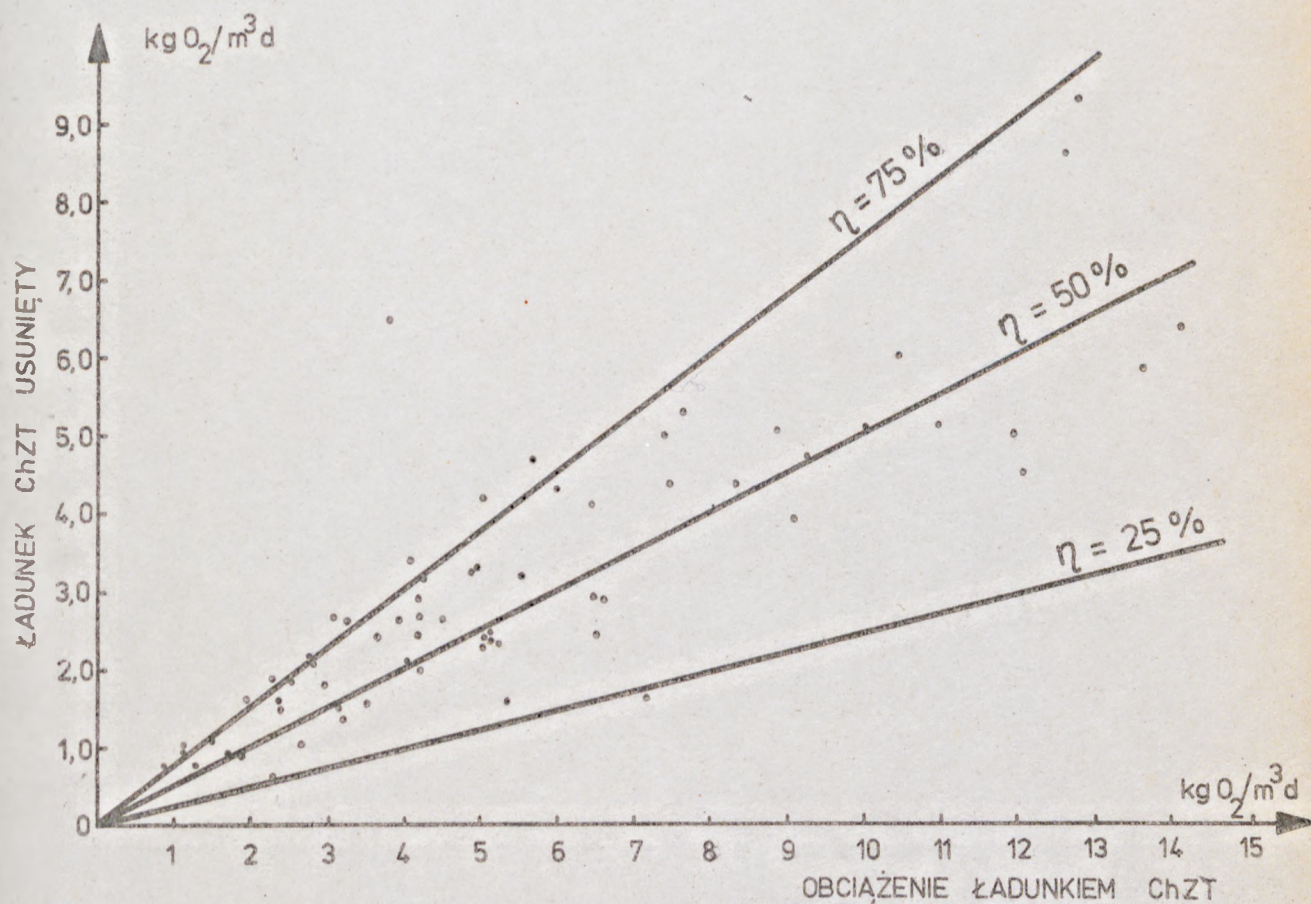
Obciążenie ładunkiem BZT₅ zmieniało się w przedziale od 1,08 kgO₂/m³d w pierwszej serii do 7,2 kgO₂/m³d dla obciążenia hydraulicznego 5 m³/m²h. Ponieważ próbki ścieków pobierane były również z pośrednich wysokości złoża, można było prześledzić jaka część ładunku usuwana była na poszczególnych wysokościach złoża.

Таблица 11-4
Обогащение гидравлическо, обогащения лодунком
орна средние проценты обнѣлки БЗТ₅

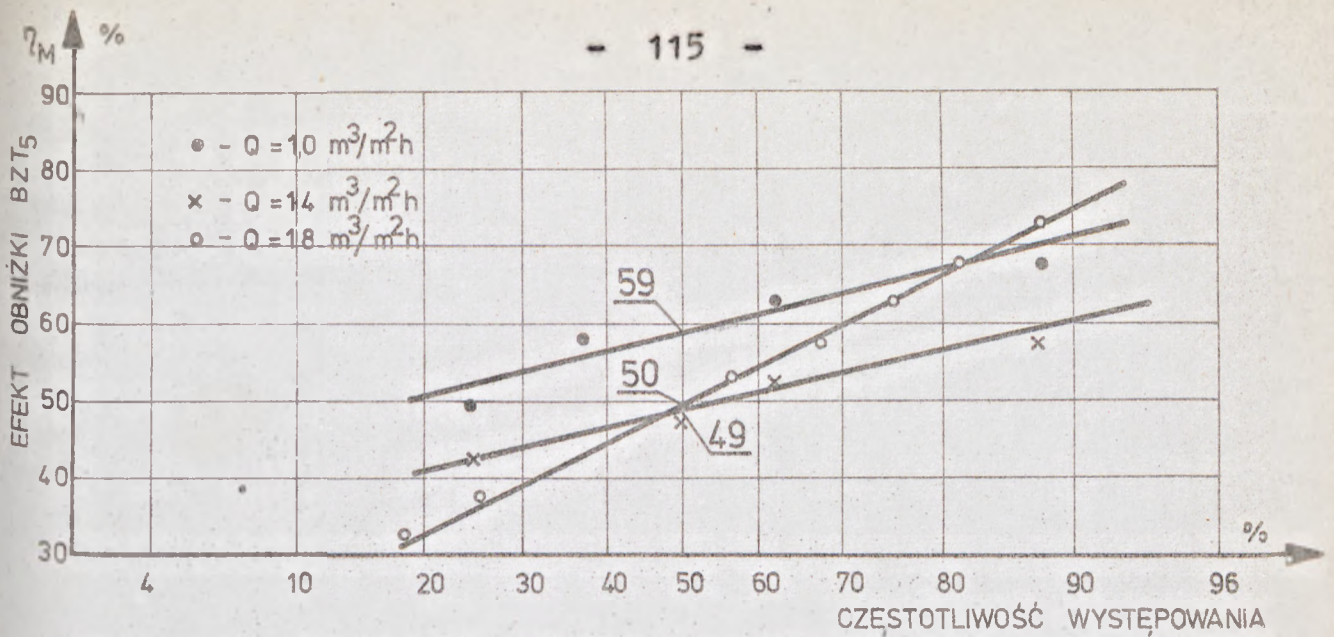
Средне гидравлическо обогащение	Обогащение гидравлическо		Средние БЗТ ₅ допѣву мг/с ² /л	Средние БЗТ ₅ допѣву мг 02/л	Обогащение лодунком кг БЗТ ₅ /м ³ д	Средние процент редукоји БЗТ ₅ %	Средние темпе- ратура лодунков °C	Вартоѣ сторуговано до температуры 200 C		Лодунк ушнѣты кг БЗТ ₅ /м ³ д
	м ³ /м ³ д	м ³ /м ³ д						БЗТ ₅ допѣву мг 02/л	средние про- цент реду- који БЗТ ₅	
2.07-16.07.73	0,6	3,6	282	39	1,04	86	20	39	86	0,89
17.07-28.07.73	1,2	7,2	297	78	2,14	74	19	74	75	1,58
19.07- 9.08.73	6,0	36,0	390	277	14,05	29	19	272	30	4,07
24.01-15.02.74	1,0	6,0	481	66	1,08	64	13	58	68	0,69
16.02-15.03.74	1,4	8,4	209	15	1,75	55	12	73	65	0,95
16.03-11.05.74	1,8	10,8	224	97	2,42	57	14	79	65	1,37
12.05-31.05.74	2,5	15,0	252	115	3,78	54	17	105	58	2,05
1.06- 6.06.74	4,0	24,0	140	80	3,36	43	17	75	46	1,44
7.06-15.06.74	5,0	30,0	240	175	7,20	27	17	169	30	1,94



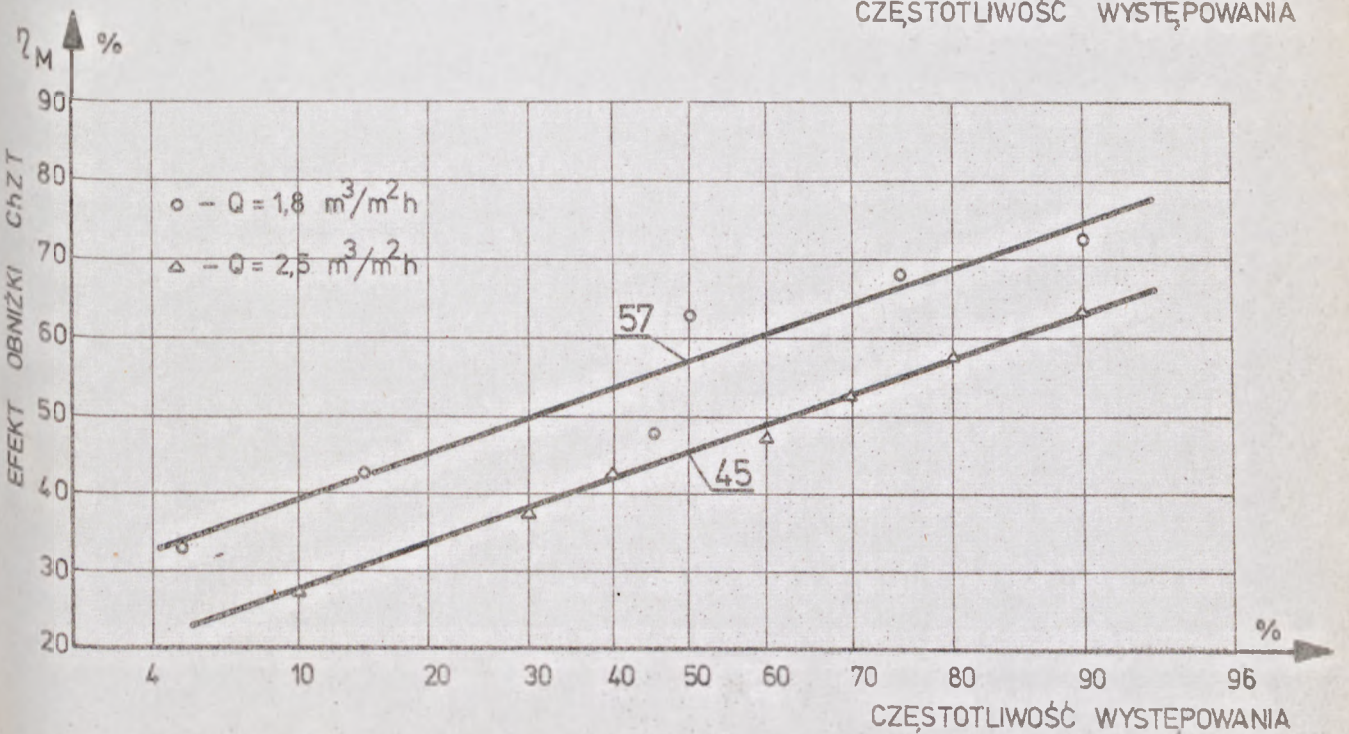
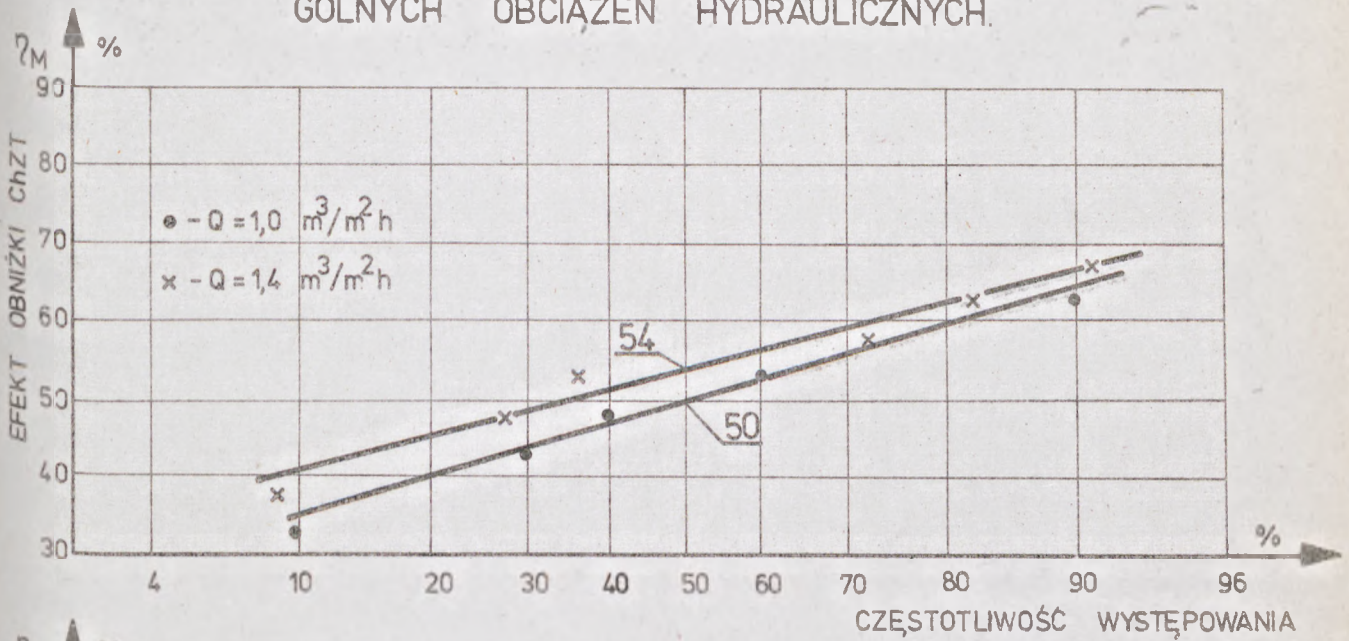
RYS. 11-15 CHARAKTERYSTYKA USUWANIA NA ZŁOŻU ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ OKREŚLONEGO PRZEZ BZT₅.



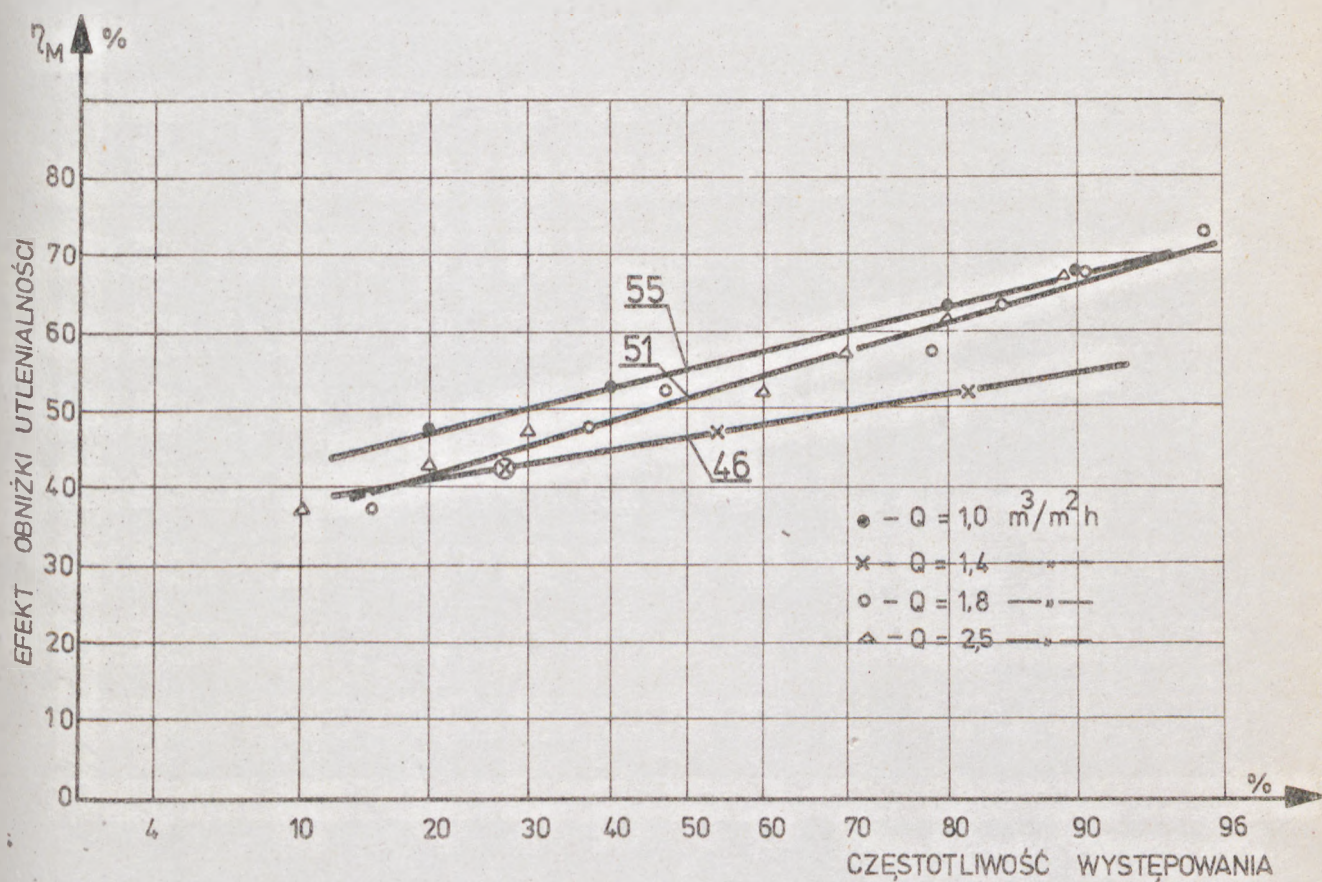
RYS. 11-16 CHARAKTERYSTYKA USUWANIA NA ZŁOŻU ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ OKREŚLONEGO PRZEZ ChZT.



RYS. 11-17 ZMIENNOŚĆ EFEKTU OBNIŻENIA BZT₅ DLA POSZCZEGÓLNYCH OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH.



RYS. 11-18. ZMIENNOŚĆ EFEKTU OBNIŻENIA ChZT DLA POSZCZEGÓLNYCH OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH.



RYS. 11-19. ZMIENNOŚĆ EFEKTU OBNIŻENIA UTLENIALNOŚCI DLA POSZCZEGÓLNYCH OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH.

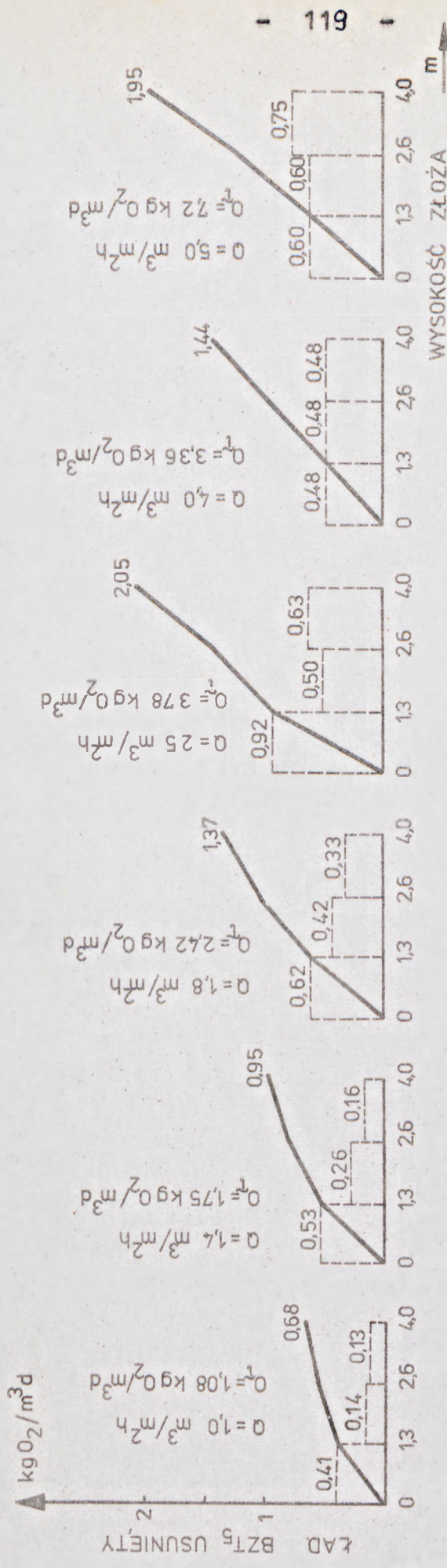
TABLICA 11-5 Zestawienie efektów obniżenia ChZT obliczonych różnymi sposobami

Okres Czas trwania sorli	Obciążenie hydra- uliczne q m^3/m^2h	Wartości średnio- arytmetycz. dopływu $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$ $/mg\ O_2/l/$	Wartości średnio- arytmetycz. dopływu $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$ $/mg\ O_2/l/$	$\eta = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n S_{0i}}$ %	Wartości średnio- dopływu $/mg\ O_2/l/$	Wartości średnio- dopływu $/mg\ O_2/l/$	η %	Wartości średnio- arytmetycz. z 90% red. $\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta_i$ %	Wartości średnio- efektów η_m %
2.07-16.07.73	0,6	370	50	84	-	-	-	80	-
17.07-28.07.73	1,2	415	101	76	-	-	-	77	-
29.07- 9.08.73	6,0	406	243	40	-	-	-	39	-
24.01-15.02.74	1,0	402	184	56	373	438	63	54	54
16.02-15.09.74	1,4	520	220	53	493	200	60	57	50
16.03-11.05.74	1,8	488	199	59	453	475	60	60	57
12.05-31.05.74	2,5	559	288	48	510	275	47	47	45
1.06-6.06.74	4,0	600	253	57	-	-	-	50	-
7.06-15.06.74	5,0	448	256	43	-	-	-	41	-

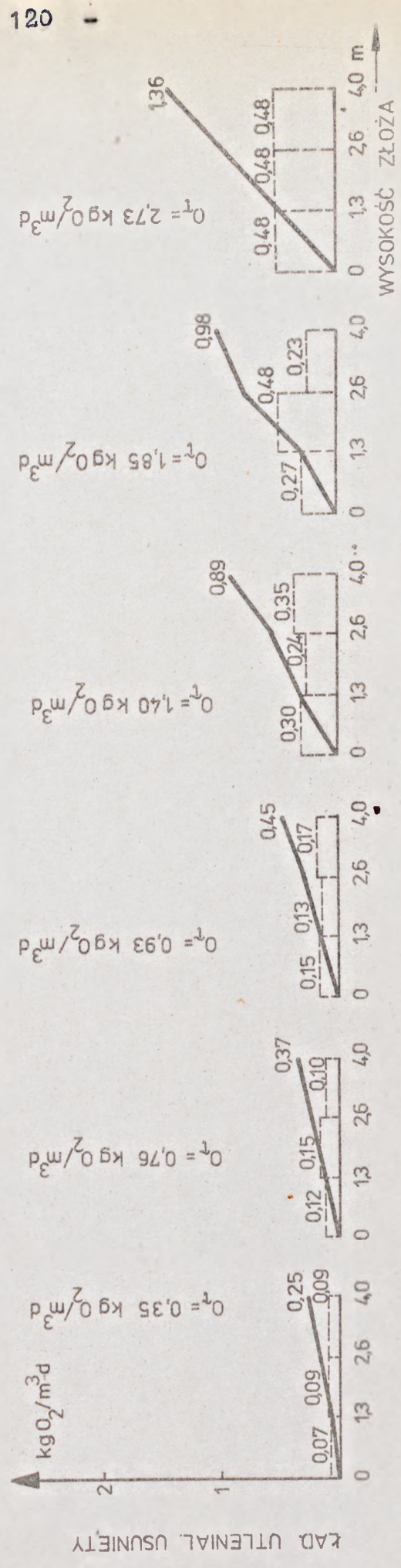
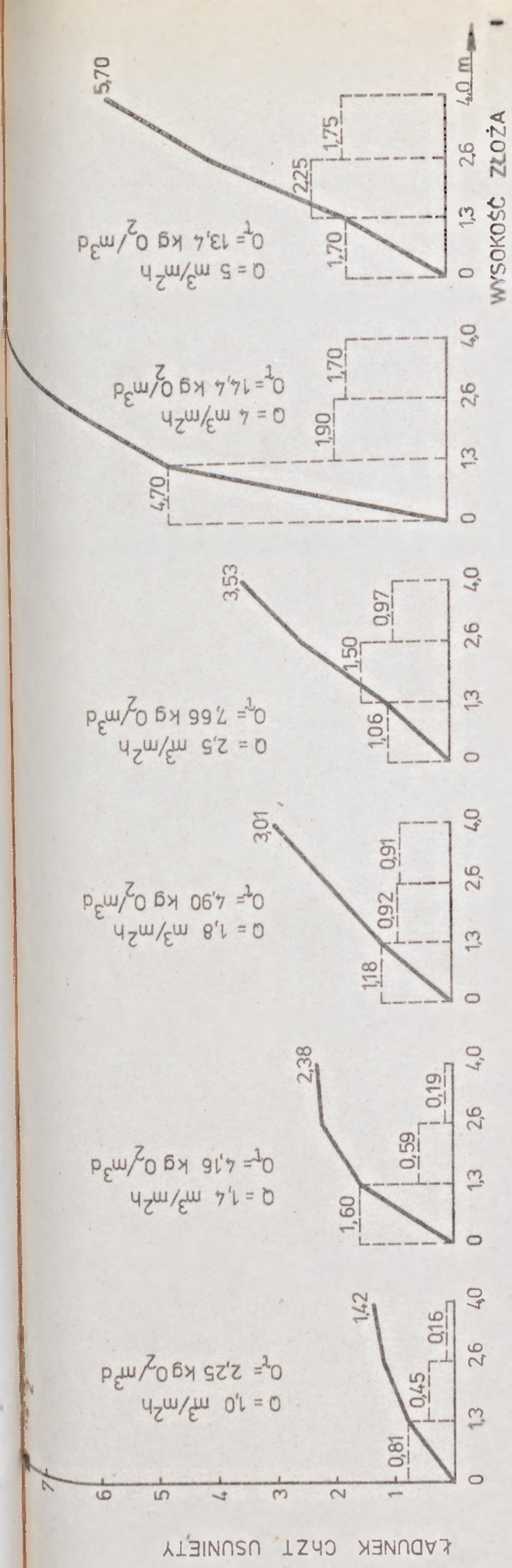
Na rys. 11-20 przedstawiono wielkości zmniejszenia ładunku BZT_5 na poszczególnych wysokościach. Charakterystycznym jest, że dla mniejszych obciążeń ładunkiem $/1,08 - 2,42 \text{ kgO}_2/\text{m}^3\text{d}/$ największa część zanieczyszczeń usuwana była w górnej części złoża do wysokości 1,33 m i zmniejszała się znacznie w niższych partiach złoża. Przy większych obciążeniach ładunkiem / i obciążeniach hydraulicznych / powyżej $3,0 \text{ kgBZT}_5/\text{m}^3\text{d}$, wielkość ładunku usuniętego na poszczególnych wysokościach złoża była bardziej wyrównana. Na rys. 11-21 przedstawiono wielkości zmniejszenia ilości zanieczyszczeń na poszczególnych wysokościach złoża wyrażone przez $ChZT$ i utlenialność. Charakter zmniejszania ilości zanieczyszczeń wyrażonych przez $ChZT$ jest podobny jak dla BZT_5 . Wyrównanie wielkości usuniętego ładunku na poszczególnych częściach złoża występuje wyraźnie od obciążenia $Q = 4,90 \text{ kgO}_2/\text{m}^3\text{d}$.

Natomiast ładunek zanieczyszczeń wyrażony w utlenialności jest usuwany niezależnie od obciążenia ładunkiem, przez cały okres badań w miarę równomiernie na całej wysokości złoża.

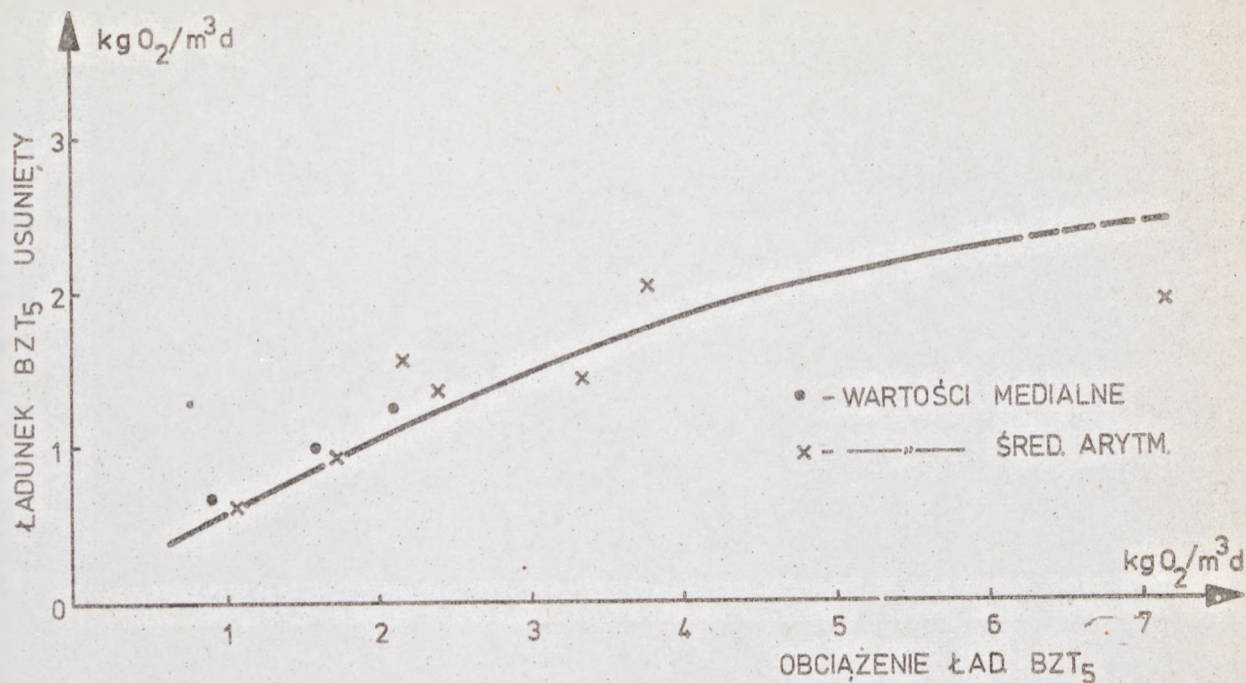
Na rys. 11-22 przedstawiono zależność wielkości usuniętego ładunku BZT_5 od obciążenia ładunkiem. W zakresie badanych obciążeń nie stwierdzono istnienia granicznego obciążenia ładunkiem po przekroczeniu którego następowałoby załamanie procesu oczyszczania. Wraz ze wzrostem obciążenia ładunkiem wzrastała bezwzględna wielkość ładunku usuniętego pomimo zmniejszenia się efektu działania złoża η wyrażonego w procentach. Zależność procentu obniżenia BZT_5 od obciążenia ładunkiem przedstawiono na rys. 11-23. Analogiczne zależności tj. wpływ obciążenia ładunkiem na wielkość ładunku usuniętego oraz zależność procen-



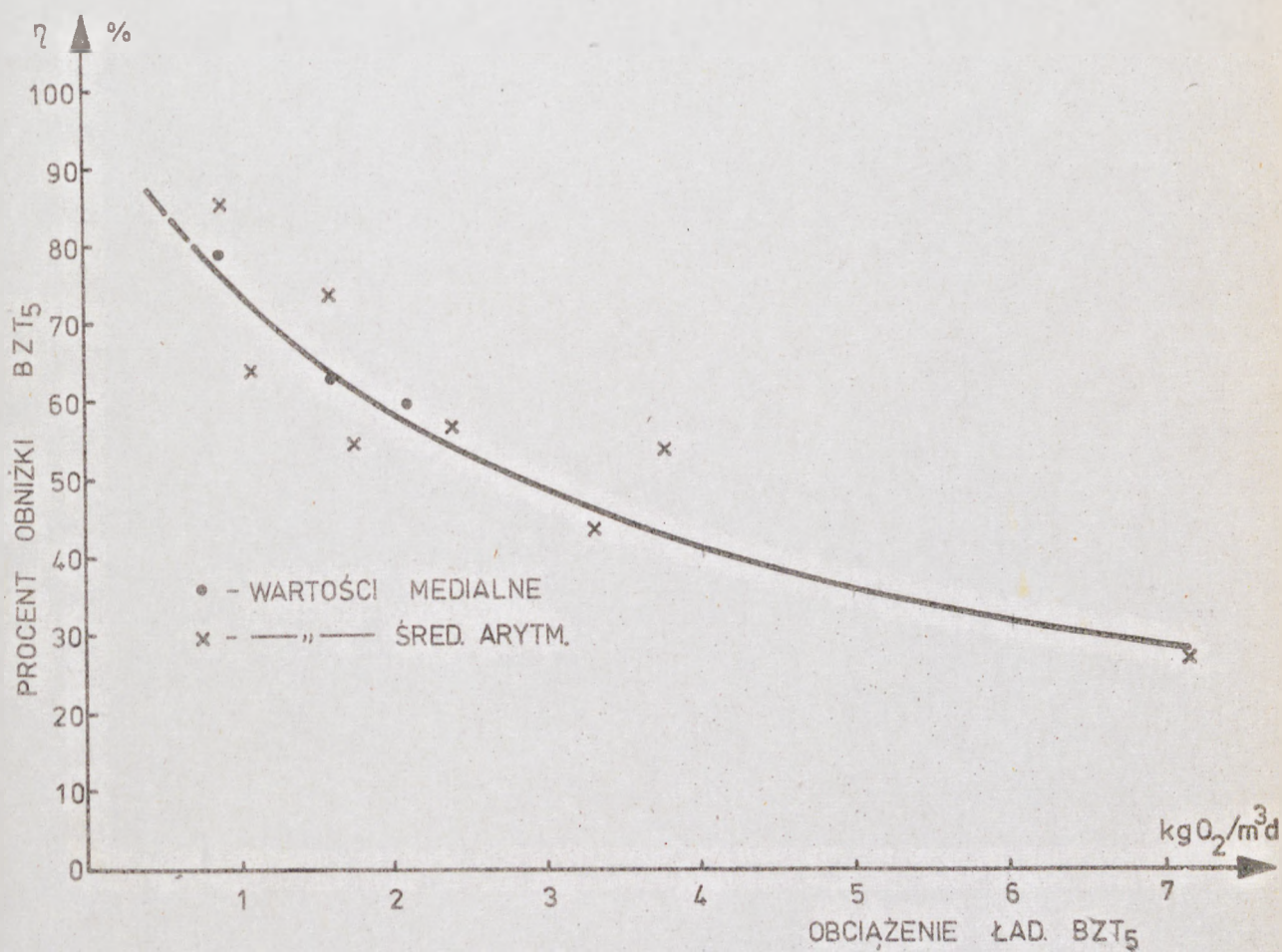
RYS. 11-20 WIELKOŚCI ZMNIJSZENIA ZANIECZYSZCZEŃ WYRAŻONE W BZT₅ NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA, DLA RÓŻNYCH OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH.



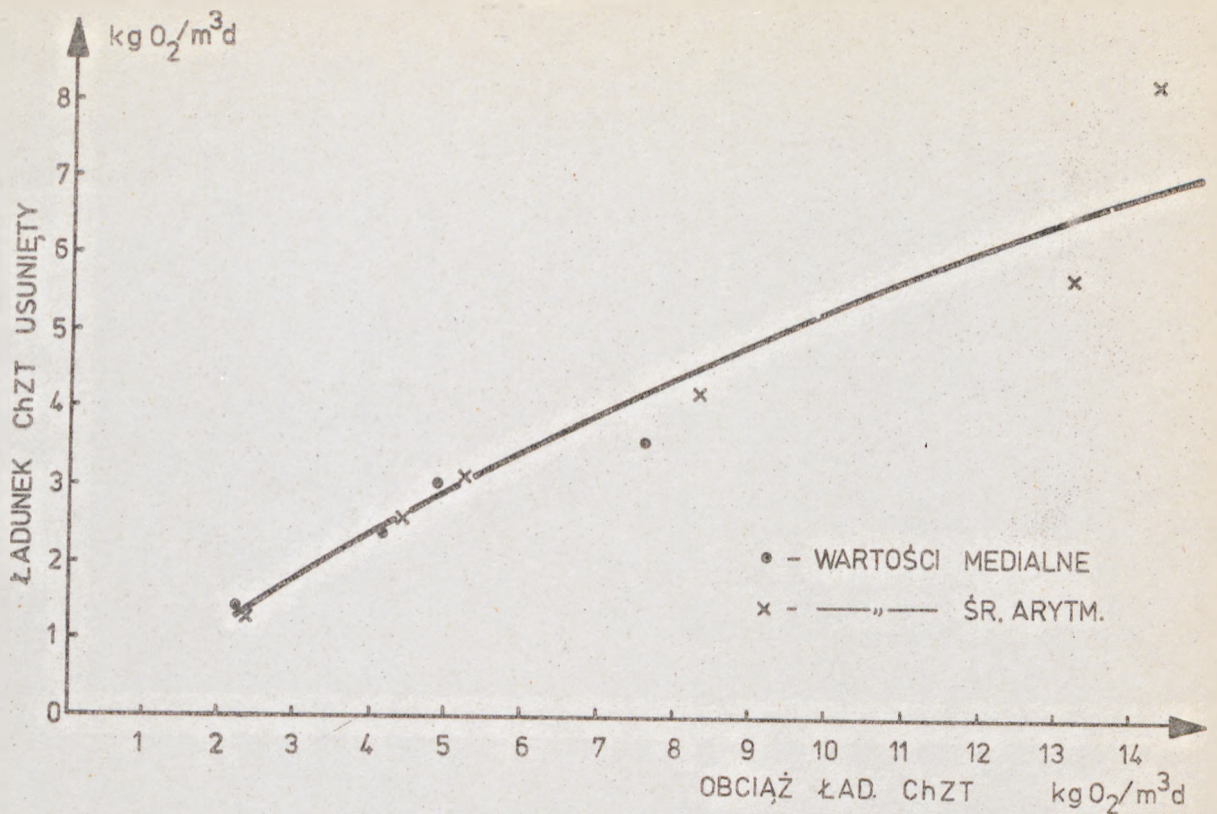
RYS. 11-21 WIELKOŚCI ZMNIJSZENIA ZANIECZYSZCZEŃ WYRAŻONE PRZECZ CHZT I UTLENIALNOŚĆ, NA POSZCZEGÓLNYCH WYSOKOŚCIACH ZŁOŻA, DLA RÓŻNYCH OBCIĄŻEŃ HYDRAULICZNYCH.



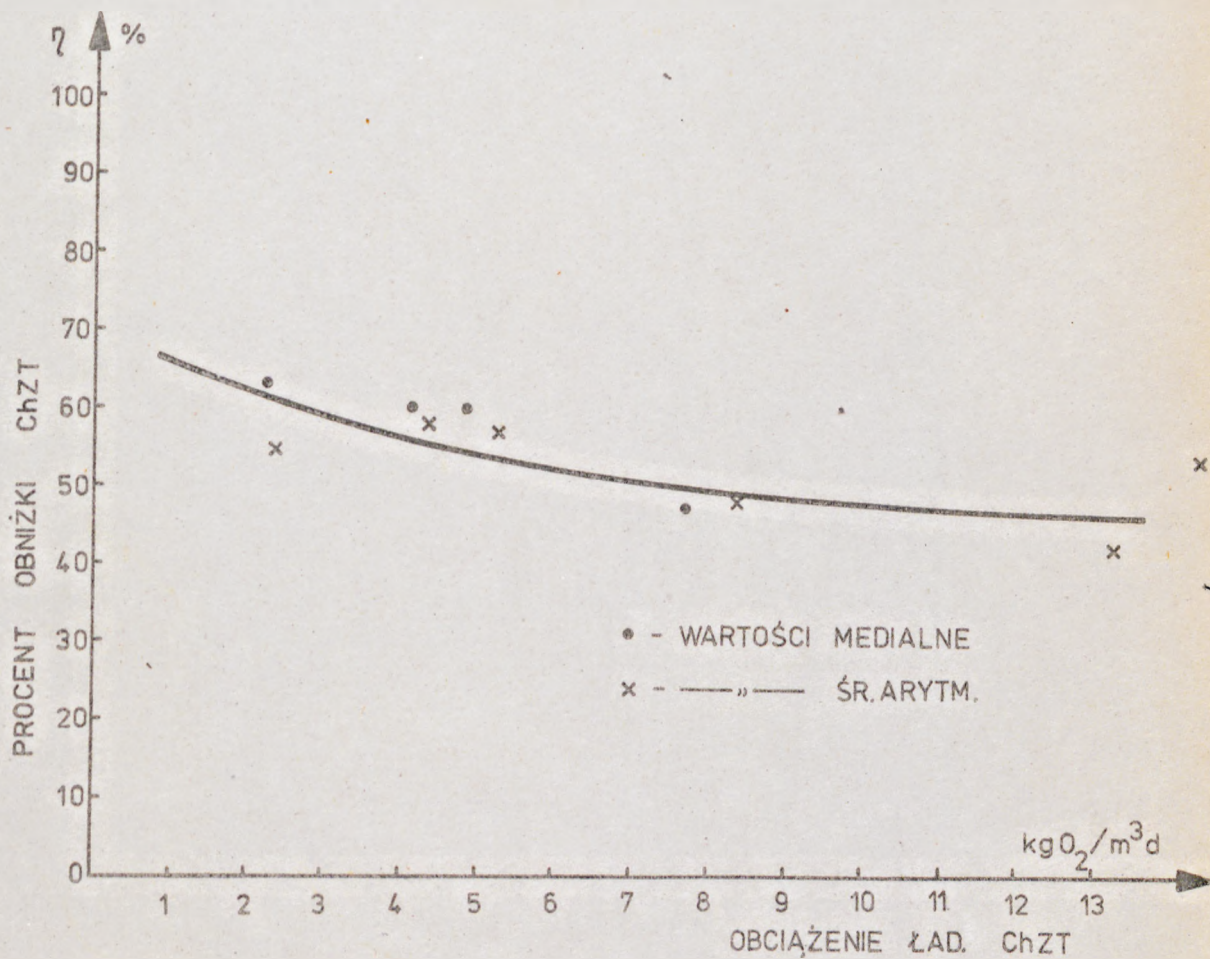
RYS. 11-22. WIELKOŚĆ USUNIĘTEGO ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ WYRAŻONEGO W BZT₅ W ZALEŻNOŚCI OD OBciążENIA ŁADUNKIEM BZT₅.



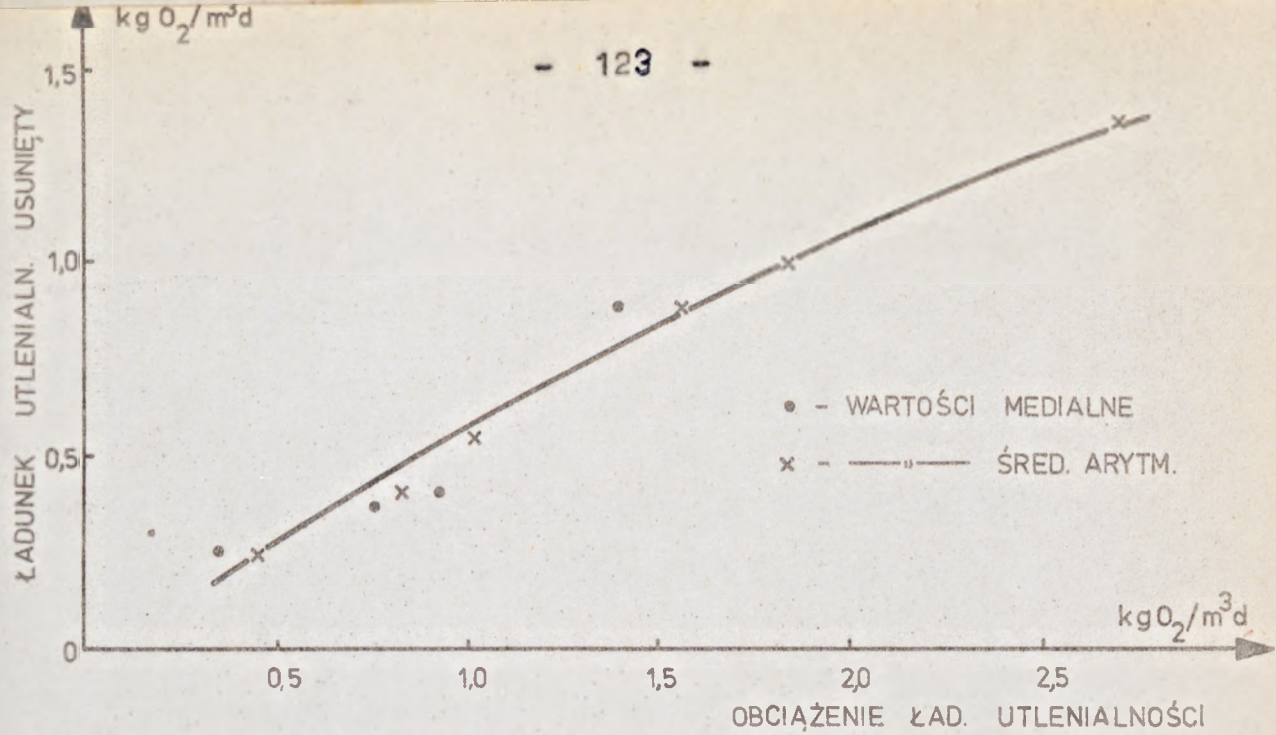
RYS. 11-23 ZALEŻNOŚĆ PROCENTU OBNIŻENIA BZT₅ OD OBciążENIA ŁADUNKIEM BZT₅.



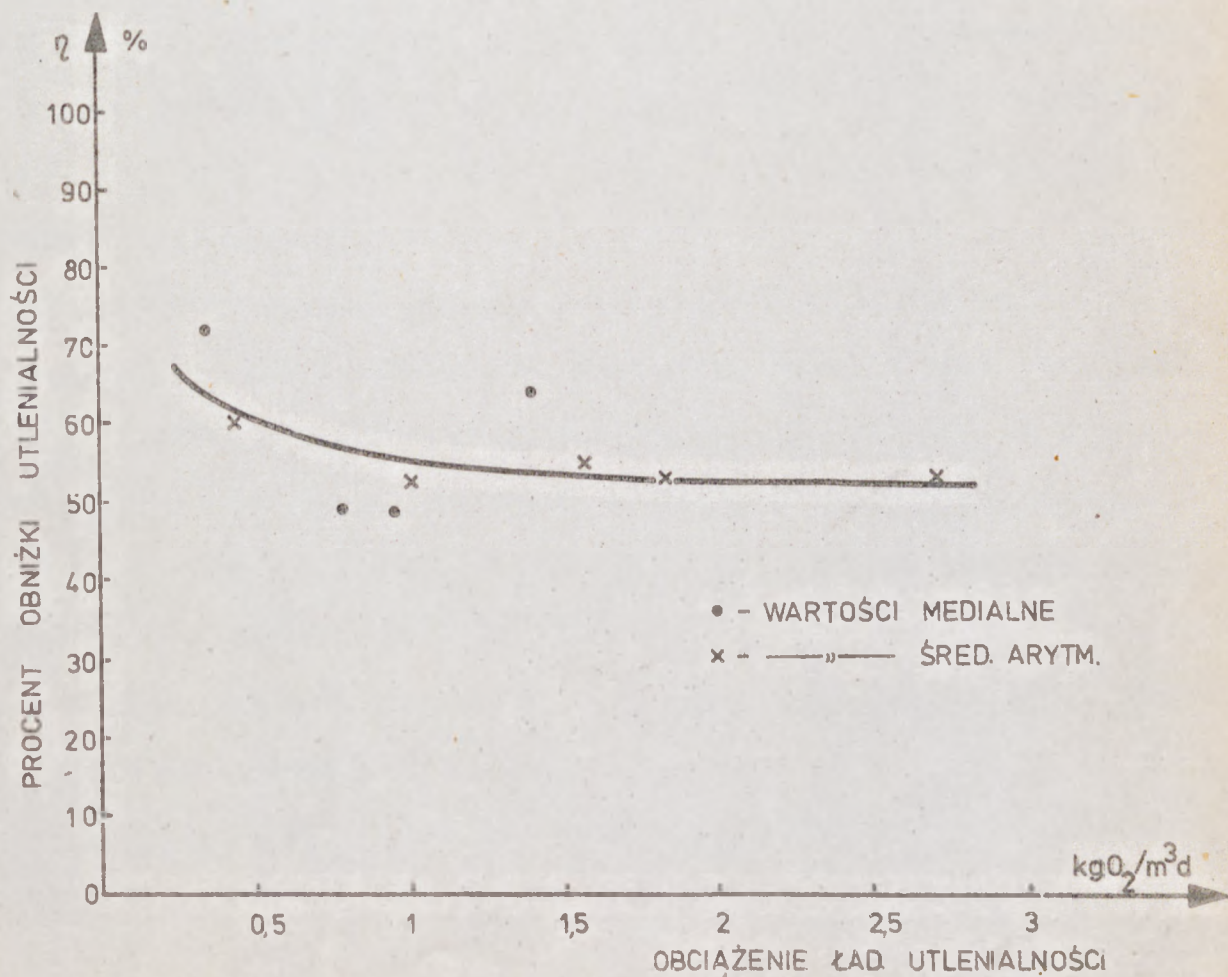
RYS. 11-24 WIELKOŚĆ USUNIĘTEGO ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ WYRAŻONEGO W ChZT W ZALEŻNOŚCI OD OBCIĄŻENIA ŁADUNKIEM ChZT.



RYS. 11-25 ZALEŻNOŚĆ PROCENTU OBNIŻENIA ChZT OD OBCIĄŻENIA ŁADUNKIEM ChZT.



RYS. 11-26 WIELKOŚĆ USUNIĘTEGO ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ WYRAŻONEGO W UTLENIALNOŚCI W ZALEŻNOŚCI OD OBCIĄŻENIA ŁADUNKIEM.



RYS. 11-27 ZALEŻNOŚĆ PROCENTU OBNIŻENIA UTLENIALNOŚCI OD OBCIĄŻENIA ŁADUNKIEM.

tu obniżenia wielkości zanieczyszczeń od obciążenia ładunkiem przedstawiono dla wskaźników ChZT i utlenialności na rys.11-24 do rys.11-27.

11.6. Zależność efektu oczyszczania ścieków od obciążenia hydraulicznego i wysokości złoża.

Efekt oczyszczania ścieków na złożu zależy od szeregu czynników z których najistotniejszymi są parametry charakteryzujące ścieki oraz parametry złoża biologicznego. Do tych ostatnich można zaliczyć powierzchnię właściwą wypełnienia / A_v / oraz wysokość złoża / H /. Również istotnymi czynnikami są wielkość obciążenia hydraulicznego / Q / oraz stężenie zanieczyszczeń w ściekach / S /. Ustalenie zależności pomiędzy efektem działania złoża η a podanymi wyżej parametrami jest bardzo istotne, gdyż w fazie projektowania złoża dla oczyszczania określonych ścieków zachodzi konieczność wyboru optymalnych parametrów.

Spśród szeregu formuł do obliczania złóż biologicznych najbardziej rozpowszechniony jest wzór Eckenfeldera. Wzór ten daje wyniki stosunkowo mało odbiegające od wartości empirycznych dla szerokiego przedziału zmienności parametrów, wymaga jednakże doświadczalnego wyznaczenia dla każdego rodzaju ścieków i wypełnienia współczynników K i n .

Wartości współczynników K i n do wzoru Eckenfeldera wyznaczone sposobem graficznym.

Równanie wyjściowe ma następującą postać:

$$\frac{S_0}{S} = \exp \left(- K_{20} \theta^{T-20} A_v \frac{H}{Q^n} \right), \quad /15/$$

logarytmując, otrzymamy :

$$\log \frac{S_0}{S} = - \frac{K_{20} A_v}{2,3} \theta^{T-20} \frac{H}{Q^n} \quad /16/$$

podstawiając $K' = \frac{K_{20} A_v}{2,3}$ /17/

oraz przyjmując $\theta = 1,035$ po przekształceniu równania /16/ otrzymamy:

$$1,035^{20-T} \log \frac{S_0}{S} = - \frac{K' H}{Q^n} \quad /18/$$

podstawiając $\frac{K'}{Q^n} = L$ /19/

będzie $1,035^{20-T} \log \frac{S_0}{S} = - L H$ /20/

Równanie /20/ w układzie osi / H, $\theta^{20-T} \log \frac{S_0}{S}$ / przedstawia prostą o współczynniku kierunkowym L. Dla kilku wartości obciążenia hydraulicznego / $Q_1, Q_2, \dots, Q_i$ / otrzymano pęk prostych o współczynnikach $L_1, L_2, \dots, L_i$ /rys. 11-28/.

Logarytmując równanie /19/ otrzymamy:

$$\log L = - n \log Q + \log K' \quad /21/$$

W układzie osi współrzędnych / $\log Q, \log L$ / otrzymano prostą o współczynniku kierunkowym $n = 1$ /rys.11-29/. Po wyznaczeniu wartości współczynnika n z równania /18/ można wyznaczyć wartość K' .

Równanie /16/ w układzie osi współrzędnych $\left/ \frac{H}{Q^n} \right.$,
 $\theta^{20-T} \log \frac{S_0}{S}$ / przedstawia prostą o współczynniku kierunkowym
 $K' = 0,208$ /rys.11-30/.

Dla sprawdzenia wartość współczynnika K' można określić
z równania /21/.

Podstawiając do równania /17/ wyznaczoną wartość K' otrzy-
mamy: $K = 2,3 \cdot K'$

$$K = K_{20} \cdot A_v = 0,478 \quad /22/$$

Ostatecznie równanie określające wielkość zmniejszenia
 BZT_5 będzie miało postać:

$$\frac{S_0}{S} = \exp \left[- 0,478 \theta^{T-20} \frac{H}{Q} \right] \quad /23/$$

gdzie:

$$H - / m /$$

$$Q - / m^3/m^2h /,$$

$$S, S_0 - / gO_2/m^3 / \text{ lub } / mgO_2/l /,$$

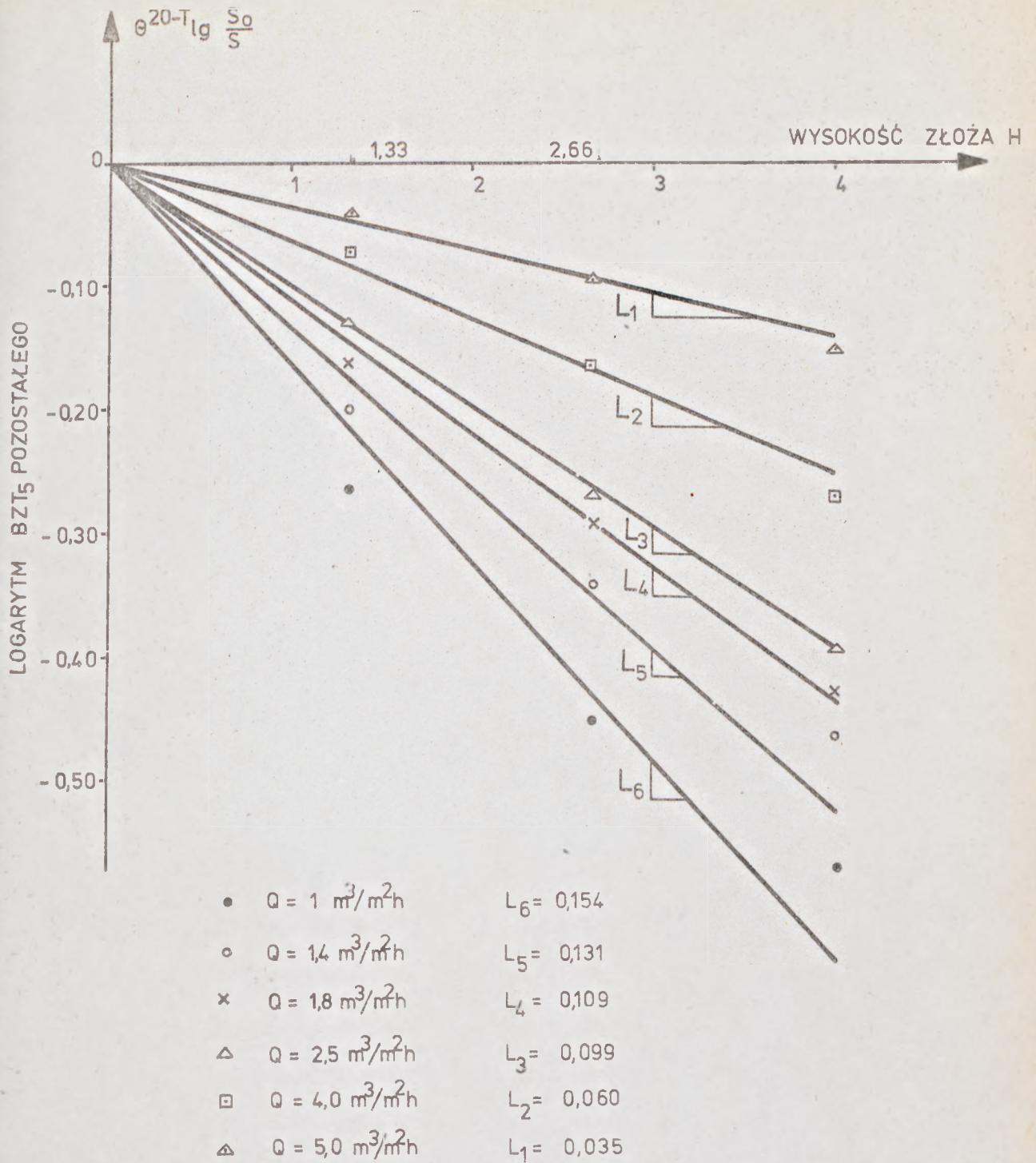
Wielkości potrzebne do określenia wartości współczynni-
ków n i K podano w tabl. 11-6.

Efekt oczyszczania ścieków na złożu o wypełnieniu siatko-
wym bez stosowania recyrkulacji można wyrazić wzorem:

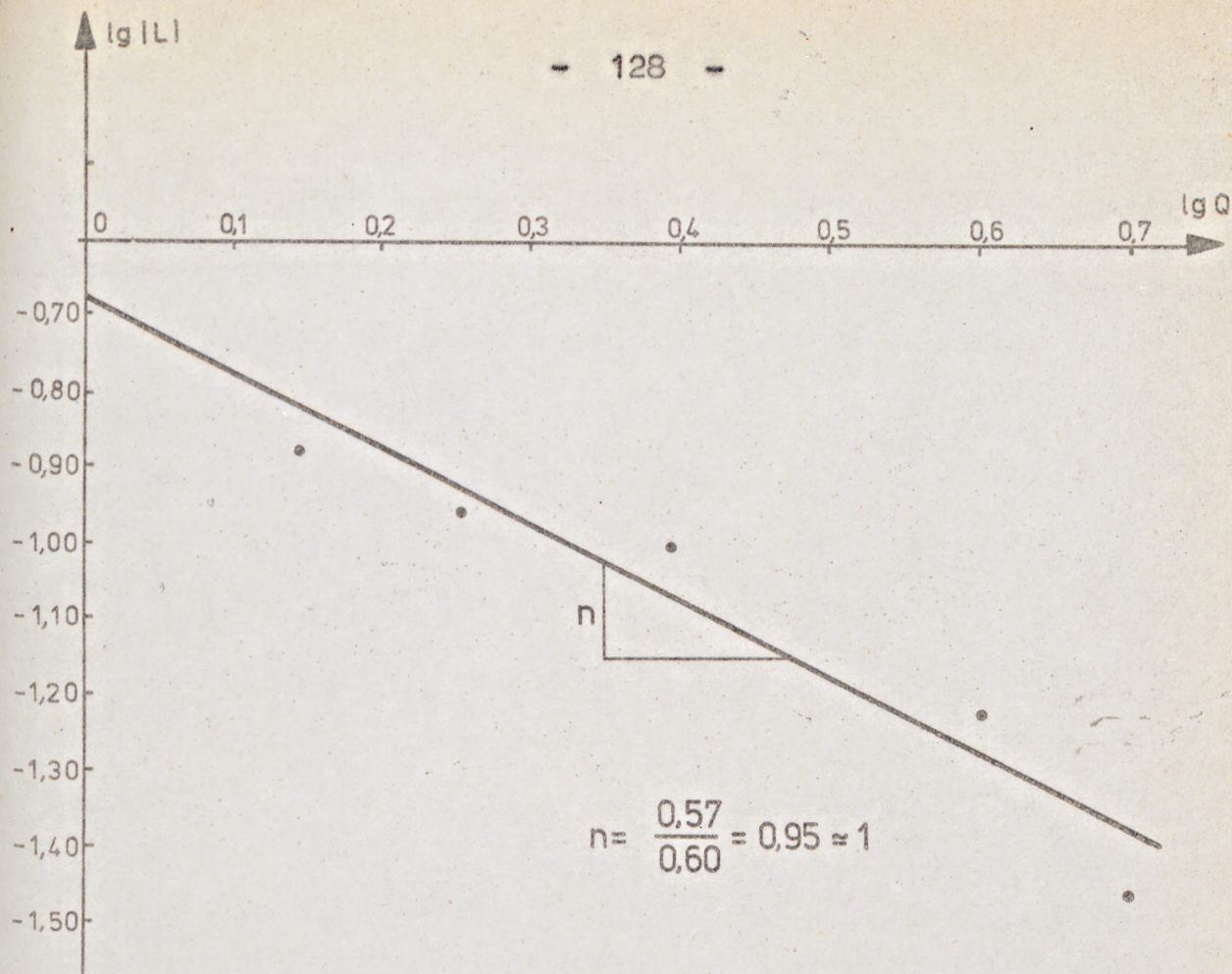
$$\eta = 1 - \exp \left[- 1,035^{T-20} \frac{0,478H}{Q} \right] \quad /24/$$

11.7. Wnioski wynikające z badań nad efektem oczysz- czania ścieków.

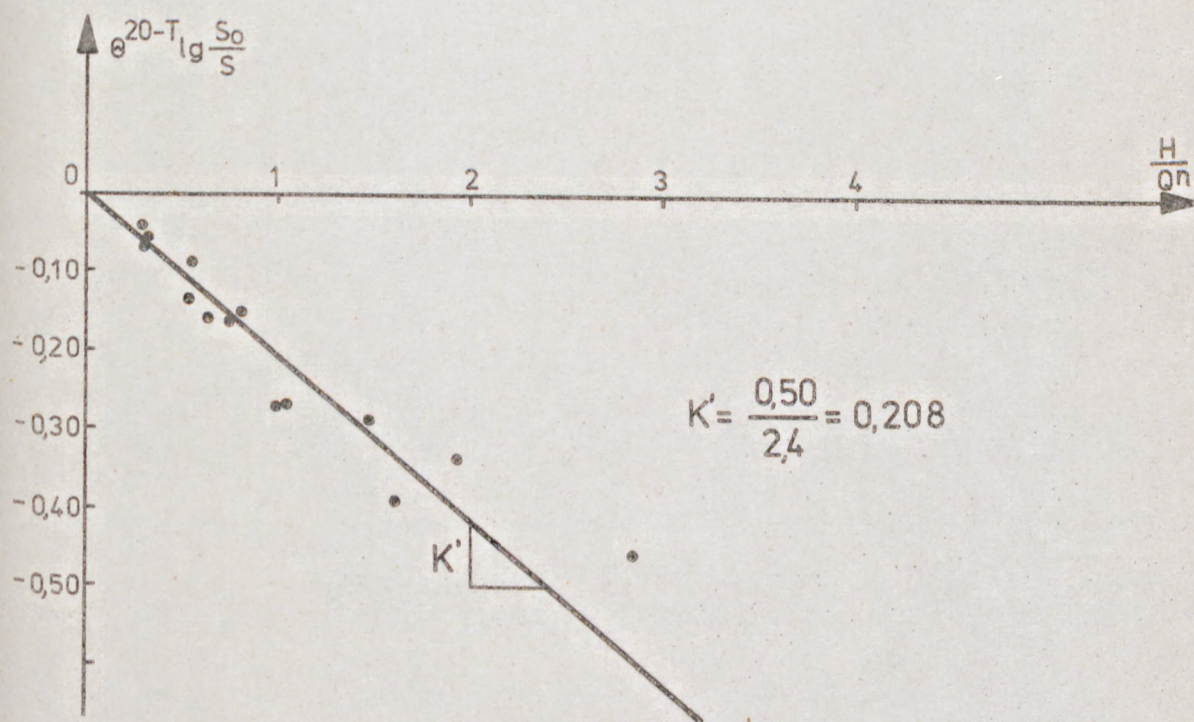
Oczyszczane na złożu ścieki charakteryzowały się zmien-
nością stężenia zanieczyszczeń, biorąc pod uwagę wielkości



RYS. 11-28. GRAFICZNE WYZNACZENIE WARTOŚCI L.



RYS. 11-29. GRAFICZNE WYZNACZENIE WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA n .



RYS. 11-30 GRAFICZNE WYZNACZENIE WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA K' .

TABLICA 11-6 Zestawienie wielkości potrzebnych do określenia wartości współczynników n i K

Obciążenie hydrauliczne q $m^3/m^2 \cdot s$	Średnia temper. cieleń T $^{\circ}C$	Wysokość złomu II m	Średnie wart. cieleń $m^3/m^2 \cdot s$	Wartość stała $\frac{S_0}{S}$	$\log \frac{S_0}{S}$	$\theta_{20-T} =$ $\frac{1,035^{20-T}}{S}$	$\theta_{20-T} \cdot$ $\log \frac{S_0}{S}$	$K' =$ $\frac{1}{n}$	$\log L$	q^n	$\frac{1}{q^n}$
1,0	13	0	181	-	-	1,272	-0,2641 -0,4541 -0,5644	-0,154	0	1,0	1,33 2,66 4,00
		1,33	142	0,62	-0,2076						
		2,66	89	0,49	-0,3058						
1,4	12	0	209	-	-0,4437	1,321	-0,2046 -0,3426 -0,4531	-0,131	0,1461	1,4	0,95 1,50 2,86
		1,33	145	0,70	-0,1549						
		2,66	114	0,55	-0,2596						
1,8	14	0	95	0,45	-0,3468	1,230	-0,1308 -0,2441 -0,3665	-0,109	0,2553	1,8	0,74 1,48 2,22
		1,33	224	0,74	-0,1308						
		2,66	167	0,57	-0,2441						
2,5	17	0	97	0,43	-0,3665	1,108	-0,1249 -0,2076 -0,3468	-0,099	0,3979	2,5	0,53 1,06 1,60
		1,33	255	0,75	-0,1249						
		2,66	190	0,62	-0,2076						
4,0	17	0	115	0,45	-0,3468	1,108	-0,1249 -0,2076 -0,3468	-0,060	0,6021	4,0	0,33 0,66 1,00
		1,33	140	0,86	-0,0655						
		2,66	120	0,79	-0,1487						
5,0	17	0	60	0,57	-0,2641	1,108	-0,0726 -0,1647 -0,2705	-0,035	0,6990	5,0	0,27 0,53 0,80
		1,33	240	0,92	-0,0362						
		2,66	220	0,82	-0,0862						
		4,00	175	0,73	-0,1367						

zanieczyszczeń zaliczyć je można do ścieków miejskich średnio stężonych.

Najwyższe efekty oczyszczania ścieków na złożu siatkowym uzyskano dla niskich /poniżej 1 kg BZT₅/m³d/ obciążeń ładunkiem i niskich obciążeń hydraulicznych. Efekt obniżenia wielkości zanieczyszczeń wyrażonych przez BZT₅ wynosił około 70 + 75 %. Wzrost obciążenia hydraulicznego i obciążenia ładunkiem powodował obniżenie efektu oczyszczania ścieków /wyrażonego procentem zmniejszenia zanieczyszczeń/, lecz warstała bezwzględna wielkość jednostkowego ładunku zanieczyszczeń usuniętego na złożu. Dla obciążenia hydraulicznego $Q \leq 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ /wielkość przyjęta jako minimalne obciążenie Hydrauliczne dla wypełnienia typu Flocor/ uzyskano obniżkę zanieczyszczeń wyrażonych przez ChZT i BZT₅ w granicach $\eta = 58 - 63 \%$.

Wzrost obciążenia ładunkiem powodował obniżenie efektu oczyszczania ścieków lecz nie stwierdzono istnienia granicznego obciążenia ładunkiem przekroczenie którego spowodowałoby zahamowanie procesu oczyszczania.

Stwierdzono istnienie granicznego obciążenia hydraulicznego po przekroczeniu którego następowało spukiwanie błony biologicznej z powierzchni siatki. Wielkość obciążenia spukującego wynosiła około $8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ przy działaniu krótkotrwałym i około $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ przy działaniu długotrwałym.

Stwierdzono, że dla mniejszych obciążeń ładunkiem /do ok. 3-4 kg BZT₅/m³d / usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków przebiega nierównomiernie wzdłuż wysokości złoża. Największa część ładunku usuwana jest w górnej partii złoża. Dla większych obciążeń hydraulicznych i większych obciążeń ładunkiem nierównomierność ta ma tendencję zanikającą i w poszczególnych partiach złoża usuwane są mniej więcej równe wielkości ładunku zanieczyszczeń.

Analizując zmiany zawartości związków azotowych w ściekach dopływających i odpływających ze złoża /załącznik Tabl.11-1 / stwierdzono, że dla małych obciążeń ładunkiem zanieczyszczeń $O_2 < 1 \text{ kg BZT}_5/\text{m}^3\text{d}$ / w złożu częściowo przebiegały procesy nitryfikacji. Natomiast oznaczenia związków azotowych zawartych w ściekach wykonano dla większych wartości obciążeń hydraulicznych i obciążeń ładunkiem, nie wykazały logicznej korelacji świadczącej o prawidłowym przebiegu procesów nitryfikacji.

Zależność pomiędzy obciążeniem hydraulicznym, wysokością złoża i efektem oczyszczania ścieków na złożu siatkowym może być wyrażona w postaci wzoru podanego przez Eckenfeldera przy uwzględnieniu wyznaczonych w pracy wartości współczynników empirycznych $K = 0,478$ oraz $n = 1$.

Dla celów projektowania złoża do oczyszczania ścieków miejskich można korzystać ze wzoru / 23 /, określającego efekt usuwania zanieczyszczeń wyrażonych w BZT_5 w zależności od wysokości złoża i obciążenia hydraulicznego.

12. Wstępna charakterystyka techniczno-ekonomiczna złoża o wypełnieniu siatkowym.

12.1. Ustalenie podstawowych parametrów technologiczno-konstrukcyjnych dla badanego złoża.

Złoże o wypełnieniu siatkowym składać się będzie z konstrukcji nośnej, lekkiej obudowy, rusztu, zawieszonogo wypełnienia oraz systemu do rozprowadzania ścieków po powierzchni złoża.

Konstrukcja nośna składać się może ze słupów stalowych lub żelbetowych połączonych podciągami /lub ram /. Słupy w zależności od warunków gruntowych mogą być posadowione na oddzielnych fundamentach lub na ławach fundamentowych.

Ściany złoża powinny się odznaczać odpowiednią trwałością, odpornością na działanie czynników atmosferycznych /m.innymi wiatru/ oraz na działanie ścieków. W rozwiązaniach zagranicznych ściany złoża stanowią płyty gładkie lub faliste z tworzywa sztucznego, blachy, azbestocementu, drewna impregnowanego. Elementy ścian mocowane mogą być bezpośrednio do słupów /przy małym rozstawie słupów / lub do pomocniczej konstrukcji nośnej.

Ruszt wykonany może być z płaskowników stalowych odległych od siebie o 3 - 4 cm, lub ze siatki stalowej o wielkości oczek 3 - 4 cm i o odpowiedniej wytrzymałości.

Wypełnienie złoża stanowić może siatka polietylenowa lub z innego materiału o odpowiedniej wytrzymałości i odporności na działanie związków zawartych w ściekach.

Obecnie jedynym producentem siatki na rynek krajowy i dla państw RWPG są Zakłady Tworzyw Sztucznych " TERMOPLASTERG" w Łąkolnie. Zakłady te w oparciu o licencję angielskiej firmy "Netlon" produkują kilkanaście rodzajów siatek o różnej strukturze i z różnych materiałów. Wg informacji producenta rodzaj produkowanej siatki oraz jej ilość może być dostosowana do potrzeb nabywcy.

Siatka zastosowana na wypełnienie złoża doświadczalnego stanowiła produkt handlowy i nie była specjalnie obrabiana i przygotowywana.

Na 1 m³ wypełnienia potrzeba około 1500 mb siatki typu "Carol". Po odpowiedniej obróbce i przygotowaniu siatki jej ilość potrzebną na 1 m³ wypełnienia można zmniejszyć do ok. 800 mb. Tak więc ciężar 1 m³ wypełnienia bez błony biologicznej będzie wynosił od 12 kg /dla 1500 mb/m³/ do 6,4 kg /dla 800 mb/m³/.

Badano wypełnienie o maksymalnym zagęszczeniu siatki po obrotności błoną biologiczną osiągnęło ciężar w przeliczeniu na jednostkę objętości, równy ok. 120 kg/m³. Wartość ta może być przyjmowana do obliczeń wytrzymałościowych konstrukcji złoża.

Rozdział ścieków na złożo może być zrealizowany poprzez zraszacze obrotowe - dla złóż okrągłych, lub zraszacze stacjonarne dla złóż prostokątnych. Ważnym zagadnieniem jest równomierne rozprowadzenie ścieków na całej powierzchni złoża. Używać to można poprzez zastosowanie szeregu dysz z talerzykami rozbijającymi strumień ścieków. Dysze mogą stanowić części składowe zarówno zraszacza obrotowego jak i stacjonarnego.

Produkowane w kraju zraszacze obrotowe typu "ZORO" stosowane do złóż tradycyjnych będą miały ograniczoną przydatność do wypełnień z tworzyw sztucznych, gdyż charakteryzują się zbyt małymi zakresami wydajności oraz zbyt małym rozdrobnieniem strug wpływających ścieków.

W piśmiennictwie zagranicznym brak szczegółowych danych dotyczących zraszaczy stosowanych w złożach o wypełnieniu z tworzywa sztucznego i dlatego istnieje konieczność opracowania i przebadania własnego rozwiązania.

12.2. Ocena kapitałochłonności badanego złoża.

Jedynym wymiernym na obecnym etapie czynnikiem, w sposób zasadniczy rzutującym na koszt złoża jest cena siatki stanowiącej wypełnienie. 1000 mb zastosowanej siatki kosztuje 323zł. W związku z powyższym 1 m³ badanego wypełnienia /bez kosztów robocizny/ kosztuje 484 zł. Wykonanie wypełnienia jest proste i sprowadza się do pocięcia siatki na odpowiedniej długości pasma a następnie zawieszeniem ich na ruszcie.

W przypadku specjalnego przygotowania siatki polegającego na podgrzaniu jej do temperatury mięknięcia polietylenu i afalowaniu, ilość zużytego surowca na 1 m³ wypełnienia jest mniejsza i wynosi ok. 800 mb, zaś koszt 1 m³ wypełnienia kształtuje się w wysokości 260 zł. Dodatkowo jednakże zwiększają się koszty robocizny polegającej na przygotowaniu siatki.

W najbliższej przyszłości zakłady w Mąkolnie podejmą próby produkcji siatki afalowanej, o dużej powierzchni i nieodkształcającej się pod wpływem obciążenia błoną biologiczną.

Koszty pozostałych elementów złoża można będzie szczegółowo ustalić po wykonaniu projektu złoża technicznego.

Należy sądzić, że będą one znacznie niższe od kosztów złóż tradycyjnych.

Interesującym może być porównanie kosztu wypełnienia siatkowego z kosztem wypełnień tradycyjnych oraz wypełnienia typu Flocor. W Anglii 1 m³ wypełnienia Flocor kosztuje ok. 35 funtów angielskich, natomiast koszt 1 m³ złoża średniej wielkości wypełnienie plus pozostałe elementy / kształtuje się w granicach 55 - 70 funtów. W RFN koszt 1 m³ złoża /instalacji /

kształtuje się w granicach 400 - 600 DM.

Porównanie kosztów wypełnień tradycyjnych, wypełnienia typu Elocor oraz wypełnienia siatkowego przedstawiono w tabl. 12-1 oraz w tabl. 12-2.

Dla poszczególnych rodzajów wypełnień podano cenę 1 m³ materiału na wypełnienie oraz koszt wykonania 1 m³ wypełnienia złoża. Dla wypełnień tradycyjnych koszty robocizny uwzględniają sortowanie, przemywanie i układanie wypełnienia przy użyciu sprzętu mechanicznego. Czynności te nie występują przy wypełnieniu złoża tworzywem sztucznym.

Tabl. 12-1.

Ciepłota oraz koszty jednostkowe wypełnień tradycyjnych, wypełnienia siatkowego oraz wypełnienia Elocor.

Wyszczególnienie	Koszt jednostkowy w zł/m ³ dla różnych rodzajów wypełnienia				
	Koks	Fluczeń	Żużel	Siatka	Elocor
materiał	870	650	160	485	-
robocizna	450	450	450	szacunkowo 30	-
Razem	1320	1100	610	565	4200 / 35 /
Ciepłota 1 m ³ wypełnienia	500	1400	1070	12	56

Ponieważ na 1 m³ wypełnienia można usunąć duży ładunek zanieczyszczeń /przy częściowym oczyszczaniu ścieków/ dlatego też złoża te charakteryzują się niskimi wskaźnikami jednostkowych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wyrażonych w zł/kg BBT₅ usuniętego.

Tabl. 12-2.

Zestawienie porównawcze parametrów różnych typów
złóż biologicznych oczyszczających ścieki miejskie.

Wyszczególnienie	Jedno- stki	Typy wypełnień złóż biologicznych		
		Koks, tłu- część kam.	Flocor [90] [113]	Siatka
Obciążenie hydra- uliczne	m^3/m^2h	0,5+1,2	1,4+2,3	1,2+2,5
Obciążenie ładun- kiem	$kgBZT_5//m^3d$	0,6+1,2	3,4	1,0+3,3
Wysokość złoża	m	3 - 4	6,5	4
Stopień oczyszczania	%	90+65	60	86+54
Ładunek usunięty na 1 m^3 złoża	$kgBZT_5//m^3d$	0,5+0,8	2,0	0,9+2,0
Gęstość wypełnie- nia	kg/m^3	500+1500	56	12
Koszt 1 m^3 wy- pełnienia	$zł/m^3$	1320+1100	/35 zł/ 4200	600

Dla złóż pracujących w RFN wskaźnik kosztów inwestycyjnych kształtuje się w granicach 100 - 200 DM/kg BZT₅ usuniętego.

12.3. Ocena wielkości zużycia energii elektrycznej.

Podstawowym składnikiem kosztów eksploatacyjnych oczyszczalni jest koszt energii elektrycznej. Dla złoża siatkowego i badanych ścieków miejskich obliczono wskaźnik zużycia energii na 1 kg BZT₅ usuniętego dla następujących założeń:

- wysokość złoża 4 m,
- wysokość podnoszenia pompy $H_p = 8$ m.s.w,
- sprawność agregatu pompowego $\eta_a = 0,7$,
- obciążenie hydrauliczne złoża $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$,
- średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach wyrażone w BZT₅ - $200 \text{ gO}_2/\text{m}^3$,
- efekt usuwania zanieczyszczeń na złożu $\eta = 60 \%$ /częściowe oczyszczanie ścieków /.

Wyliczona wielkość wskaźnika jednostkowego zużycia energii wynosi $0,15 \text{ kWh/kgBZT}_5$ usuniętego. Wskaźnik ten maleje w miarę wzrostu stężenia ścieków. Dla parametrów przyjętych powyżej, lecz dla BZT₅ dopływu $500 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ i sprawności złoża $\eta = 50 \%$, wskaźnik jednostkowego zużycia energii wynosi $0,12 \text{ kWh/kgBZT}_5$ usuniętego.

W praktyce złoża o wypełnieniu Floccor oczyszczające ścieki miejskie w granicach 65 % charakteryzują się wskaźnikiem zużycia energii 0,1 do $0,15 \text{ kWh/kgBZT}_5$ usuniętego.

Dla złóż tradycyjnych wysokoobciążonych wskaźnik ten wynosi 0,2 do 0,3 kWh/kg BZT₅ usuniętego, natomiast dla osadu czynnego, wysokoobciążonego / cząściowe oczyszczanie/, jednostkowe zużycie energii zawiera się w granicach 0,4 do 0,7 kWh/kg BZT₅ usuniętego.

12.4. Możliwości typizacji i problemy wykonawstwa.

Prostota konstrukcji nośnej złoża w postaci słupów podtrzymujących ruszt z zawieszonym na nim wypełnieniem stwarza możliwość wykonania złoża w wersji żelbetowej lub stalowej, znacznie odbiegającego od obecnie wykonywanych złóż tradycyjnych. Istotnym elementem byłoby wyeliminowanie ciężkiej i materiałochłonnej płyty fundamentowej, masywnego rusztu oraz grubych żelbetowych ścian. W odróżnieniu od wypełnień tradycyjnych dla złóż wypełnionych siatką nie istnieje potrzeba wymiany czy przekładania wypełnienia w czasie eksploatacji oczyszczalni ścieków, gdyż złoża takie nie zarastają a materiał wypełnienia praktycznie nie ulega procesom starzenia.

Elementy konstrukcji złoża siatkowego zarówno w wersji stalowej jak i żelbetowej można wykonać jako prefabrykowane i montować bezpośrednio na placu budowy co znacznie skróciłoby cykl inwestycyjny.

Przygotowanie siatek i zawieszenie ich na ruszcie jest czynnością prostą, nie wymagającą kwalifikacji oraz użycia sprzętu mechanicznego. Celowym byłoby wykonanie projektu ty-

powego modelarnego segmentu złoża np. w kształcie prostokąta. Również celowym byłoby opracowanie wariantowe złoża niskiego o wysokości np. do 4 m i złoża wysokiego np. $H = 8$ m. Typowe rozwiązanie powinno obejmować konstrukcję nośną, ściany, ruszt oraz zraszacz ewentualnie zadaszanie złoża. Opracowanie projektu technicznego modułarnego segmentu złoża w kilku wariantach oraz przeprowadzenie analizy techniczno-ekonomicznej pozwoli na wybór wariantu najtańszego. Umożliwi również porównanie wskaźników kosztów złoża siatkowego ze wskaźnikami kosztów obecnie wykonywanych w kraju złóż tradycyjnych.

Opracowanie segmentu modułarnego pozwoliłoby w przypadku złóż dużych na powielanie wielokrotności typowego segmentu.

13. Podsumowanie i wnioski.

1. W pracy przedstawiono i przeanalizowano nową koncepcję wypełnienia złoża biologicznego polegającą na zastosowaniu zawieszonych pasm wiotkiej siatki z tworzywa sztucznego odmienną od dotychczas stosowanych rozwiązań w postaci złoża luźnych lub blokowych opartych na ruszcie w dolnej części złoża. Dzięki takiej koncepcji materiał wypełniający złożo pracuje w korzystniejszych warunkach statycznych gdyż podlega rozciąganiu a nie ścisnaniu, co pozwala na lepsze wykorzystanie właściwości wytrzymałościowych tworzywa i pozwala na ograniczenie do minimum zużycie surowca. Według opracowanej koncepcji uzyskuje się wypełnienie kilkakrotnie lepsze w stosunku do najnowszych dotychczas stosowanych za granicą wypełnień z tworzyw sztucznych a kilkadziesiąt razy lepsze w stosunku do rozwiązań konwencjonalnych - tradycyjnych stosowanych dotychczas w kraju. Zastosowane na wypełnienie siatki są produkowane w kraju w dużych ilościach i w szerokim asortymencie. Dodatkową korzystną cechą zaproponowanej koncepcji wypełnienia złoża jest możliwość istotnego obniżenia kosztów konstrukcji i obudowy złoża oraz prostota wykonania.
2. Przeprowadzone w ramach pracy badania nad efektem działania złoża o wypełnieniu siatkowym przy oczyszczaniu ścieków miejskich wykazały, że na tego rodzaju wypełnieniu następuje prawidłowy rozwój błony biologicznej, a efekt oczyszczania ścieków osiąga wartości porównywalne nie tylko z efektem

osiągany na złożach o tradycyjnym rozwiązaniu lecz także i z efektem oczyszczania ścieków na złożach o wypełnieniu z tworzyw sztucznych stosowanych za granicą.

3. Badania dotyczące rozwoju błony biologicznej pozwalają stwierdzić, że wykazuje ona zwartą strukturę i wystarczająco dużą przyczepność do wypełnienia. W wyniku badań stwierdzono, że w istotny sposób na grubość błony biologicznej wpływa obciążenie hydrauliczne złoża. Ustalono, że największą grubość błona biologiczna osiągała przy obciążeniach hydraulicznych $Q \leq 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Jednocześnie stwierdzono, że istnieje graniczne obciążenie hydrauliczne po przekroczeniu którego następuje spukiwanie błony biologicznej z siatki wypełniającej złożo. Ustalono, że wartość górnego granicznego obciążenia hydraulicznego wynosi około $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ przy działaniu krótkotrwałym i około $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ przy działaniu długotrwałym.

4. Badania nad rozwojem błony biologicznej na poszczególnych wysokościach złoża wykazały, że ilość błony znajdującej się na wypełnieniu rozkłada się nierównomiernie wzdłuż wysokości złoża i maleje w kierunku od góry do dołu. Jednocześnie stwierdzono, że przy większym obciążeniu hydraulicznym przekraczającym wartość $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ zróżnicowanie to ma tendencję malejącą.
5. Ustalono, że masa objętościowa zaproponowanego wypełnienia bez błony biologicznej wynosi około $12 \text{ kg}/\text{m}^3$, natomiast

samo obciążenie błoną rozwijającą się na siatce powoduje uwielokrotnienie ciężaru wypełnienia. W wyniku badań stwierdzono, że maksymalna masa objętościowa wypełnienia wraz z błoną biologiczną w stanie wilgotnym wynosi około 120 kg/m^3 / dla ścieków miejskich i wysokości złoża $H = 4 \text{ m}$ /. Ta wartość obciążenia w warunkach eksploatacji wzrasta wskutek dodatkowego obciążenia dynamicznego parciem ścieków doprowadzonych do złoża oraz obciążenia masą ścieków kontaktujących się ze złożem w czasie przepływu.

6. Badania nad efektem oczyszczania ścieków miejskich ze znaczną domieszką ścieków przemysłowych na złożu o proponowanym wypełnieniu siatkowym wykazały, że dla mniejszych obciążeń złoża ładunkiem zanieczyszczeń / do około $3 \text{ kg BZT}_5 / \text{m}^3 \text{d}$ / usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków przebiega nierównomiernie wzdłuż wysokości złoża i największa część ładunku usuwana jest w górnej części złoża. Stwierdzono, że wraz ze zwiększaniem obciążenia hydraulicznego i obciążenia ładunkiem nierównomierność ta zanika i w poszczególnych partiach złoża usuwane są w przybliżeniu równe wielkości ładunku zanieczyszczeń.
7. Badania nad wpływem wysokości złoża i obciążenia hydraulicznego na efekt oczyszczania ścieków wyrażony obniżką BZT_5 pozwoliły stwierdzić, że w przypadku złoża o proponowanym wypełnieniu siatkowym efekt oczyszczania ścieków można wyrazić jako funkcję tych parametrów analogicznie jak w przypadku oczyszczania ścieków na złożach biologicznych o innych

rodzajach wypełnienia. W związku z tym do interpretacji wyników badań wykorzystano wzór Eckenfeldera i na podstawie uzyskanych wyników własnych badań wyznaczono wartości współczynników empirycznych n i K występujących w tym wzorze. Uzyskane rezultaty pozwalają stwierdzić, że wartość współczynnika n wyznaczona dla proponowanego wypełnienia siatkowego jest bliska jedności $n = 0,95 \approx 1$, natomiast wartość stałej charakteryzującej właściwości złoża i oczyszczanych ścieków wynosi w danym przypadku $K = 0,473$ /dla $Q / m^3/m^2h$ / oraz $H - / m /$ /.

3. Na podstawie interpretacji wyników badań nad efektem oczyszczania ścieków ustalono, że dla orientacyjnego obliczenia złoża o wypełnieniu siatkowym przeznaczonego do oczyszczania ścieków miejskich można stosować wzór:

$$\frac{S_0}{S} = \exp / - 1.035^{T-20} \frac{0.473H}{Q} /$$

lub

$$\eta = 1 - \exp / - 1.035^{T-20} \frac{0.473H}{Q} /$$

gdzie:

S_0 - BZT₅ ścieków oczyszczonych w/g O_2/m^3 /,

S - BZT₅ ścieków dopływających do złoża w/g O_2/m^3 /,

H - wysokość złoża w / m /,

Q - obciążenie hydrauliczne złoża w $/m^3/m^2h$ /,

T - temperatura ścieków w $/^{\circ}C$ /,

9. Wstępna analiza ekonomiczna przeprowadzona w ramach pracy wykazała, że zaproponowane wypełnienie siatkowe charakteryzuje się znacznie niższym jednostkowym kosztem / w przeliczeniu na 1 m^3 wypełnienia/ w stosunku do wypełnień tradycyjnych lub importowanych wypełnień z tworzywa sztucznego.
10. Przedmiotem dalszych prac badawczych powinno być określenie efektu działania złoża o proponowanym wypełnieniu przy niskim zakresie obciążeń ładunkiem $Q_k = 0,1 - 1 \text{ kg BZT}_5/\text{m}^3$ d z uwzględnieniem recyrkulacji ścioków, co mogłoby dostarczyć danych dotyczących celowości zastosowania tego rodzaju wypełnienia do modernizacji istniejących złóż o wypełnieniu tradycyjnym. Celowym byłoby również rozszerzenie badań nad wpływem struktury geometrycznej układu pasm siatki, ich rodzaju oraz zagęszczenia w jednostce objętości dla dokonania wyboru optymalnego rozwiązania.

W y k a z p i s m i e n n i c t w a

1. Allen T. S.: The Design, Construction and Operation of Plastic Media Filters. Missouri Wat. and Sewage Conf., Jefferson City. September, 1971.
2. Allen T. S.: Water Reuse in the Food Industry. Amer. Soc. Mechanical Engrs. Paper No. 72-PID-11, 1972.
3. Amado M. A.: Analysis of BOD Reduction in Trickling Filters. M. Sc. Thesis, Cornell University, February, 1964.
4. Ames W. F., i inni: Transient Operation of the Trickling Filter. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Engrs, 88, SA3, 1962.
5. Andrews J. r.: Kinetics of Biological Processes Used for Wastewater Treatment. Proc. 8 th Ann. Workshop, Math. Modell. in Environ. Engng, Nassau, December, 1972.
6. Anonymus: New Packing for Biological Filters. Effluent Water Treatment Journal. No. 1, 1965.
7. Anon: The Use of Plastic Filter Media for Biological Filtration. Ministry of Technology. Notes on Water Pollution, No. 40, 1968.
8. Anon: Floccor - Plastics Filter Media and the Effluent Industry. I C I Bulletin, Hyde, England, 1973.
9. Anon: Floccor Gaining Wide Acceptance for Treating Dairy Wastes. Ethyl Corp. Bulletin ECD 1270, 1973.
10. Askew M. W.: Biofiltration Technology - Part I. Effluent and Wat. Treatment J., 9, 10, October, 1969.
11. Askew M. W.: Effluent Pretreatment for Coastal Discharge. Effluent and Wat. Treatment J., 10, 4, 1970.
12. Askew M. W.: Plastic in Waste Treatment. Process Biochemistry No. 1, 1966 i No. 2, 1967.

13. Askew M. W.: High-Rate Biofiltration. Past and Future. Water Pollution Control. 69, No. 4, 1970.
14. Atkinson B., 1 inni: Kinetics, Mass Transfer and Organism Growth in Biological Film Reactor. Trans. Inst. Chem. Engrs, 45, T 257-64, 1967.
15. Atkinson B., 1 inni: A Theory for the Biological Reactor. Trans. Inst. Chem. Engrs, 46, T 249-50, 1968.
16. Atkinson B., 1 inni: Recirculation, Reaction Kinetics and Effluent Quality in a Trickling Filter Flow Model. J. Wat. Pollution Control Fed. No.35, 1963.
17. Atkinson B., Williams D. A.: The Performance Characteristics of a Trickling Filter with Hold-up of Microbial Mass Controlled by Periodic Washing. Trans. Inst. Chem. Engrs, No. 49, 1971.
18. Audoin L., 1 inni: The Use of Plastic Material as a Medium for Trickling Filters Treating Domestic Sewage. Proc. 5th Int. Conf. Wat. Poll. Research San Francisco, II-16, 1970.
19. Baker J. M., Graves Q. B.: Recent Approaches for Trickling Filter Design. J. Sanit. Engrg Div. Am. Soc. Civ. Engrs , 94, SA 1, 1968.
20. Baker J. M., White J.: Treatment of Meat Waste Using PVC Trickling Filters. Proc. And Math. Symp. on Food Processing Wastes. Denver, March 1971.
21. Balakrishnam S., Eckenfelder W.W., Brown C.: Organics Removal by a Selected Trickling Filter Media. Wat. Wastes Engrg, G-A22-A25, 1969.
22. Barona N.: Hydrodynamic Response of Floccor Packing. Ethyl Corporation Manuscript, July, 1973.
23. Basu A. K., Leclerc E.: Treatment of Distillery Effluents in Trickling Filters by Using Floccor Plastics Material as Packing. International Congress Ind. Waste Water, Stockholm, November, 1970.

24. Bayley R. W., Downing A. L.: Temperature Relationships in Percolating Filters. J. Inst. Publ. Hlth Engrs Vol. 62, 1963.
25. Becher A. E., Bryan E.H.: Study of the Performance of Down-pass MGS. When Applied to Treatment of Settled Sewage at the City of Battle Creek, Michigan. Report of the Project Steering Committee, 1958.
26. Behn V.C.: Trickling Filter Formulations. Adv. in Biol. Waste Treatment, Pergamon Press, 219-31, 1963.
27. Behn V. C., 1 inni: Discussion- Trickling Filter Design and Performance. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 83, SA 1, 1962.
28. Behn V. C., Morddjeni R.: Developments in Biological Filtration. Advances in Water Quality Improvement, 204-14, Univ. of Texas Press, Austin, 1968.
29. Berridge H. B., Brendish K.R.: The Use of a Plastic Medium in the Treatment of Sludge Liquors. J. Proc. Inst. Sew. Purif., 66. No. 1, 1967.
30. Blain A. W., McDonnell A. J.: Discussion - Analysis of Biological Filter Variables. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 91, SA 4, 1965.
31. Born R.: Treatment of Wastes from Meat Factories. Proc. of the 24-th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 1969.
32. Born R.: Neue verfahrenstechnische Möglichkeiten der Abwasserreinigung durch der Einsatz von Tropfkörpern mit Kunststoff-Füllkörpern. Dechema Monographie Bd. 64, 1970.
33. Born R.: Teilreinigung Organisch Hochverschmutzter Abwasser durch Tropfkörperfüllmaterial mit Durchgehenden Reaktionsflaschen. WLB 15. No. 1, 1971.
34. Brobion G., Huriet B.: Epuration d'eaux résiduaires industrielles à fortes charges par la technique des lits bactériens à ruissellement. Centre Belge

d'Etude et de Documentation des Eaux La Tribune
de Cobedeau. H5. 230-1, 1968.

35. Brendish K. R., Perry E. W.: A Development in Package Plant with Plastic Media Surfpac Filter. Effl. Wat. Treat. Jour., No. 9, 1969.
36. Brown J. C.: Mathematical Model Describing the Performance of Trickling Filters. Mat. Sc. Thesis, Dep. of Environm. Sciences, Univ. of North Carolina, 1971.
37. Bruce A. M., Boon A. G.: Aspects of High-rate Biological Treatment for Domestic and Industrial Waste Waters. Wat. Pollut. Control, No. 5, 1971.
38. Bruce A. M., Morkens J. C.: Partial Treatment of Domestic Sewage by High-rate Biological Filtration. 6 th International Water pollut. Research Conference, June 1972.
39. Bruce A. M., Morkens J. C.: Recent Studies of High-Rate Biological Filtration. Wat. Pollut. Control, No. 4, 1970.
40. Bruce A. M., Morkens J. C., Macmillan S. C.: Research Development in High-Rate Biological Filtration. Ins. Publ. Hlth Engrs Jour., 49, 178, 1970.
41. Bruce A. M.: Some Factors Affecting the Efficiency of High - Rate Biological Filters. Advances in Wat. Pollut. Res., Pergamon Press, 11-14, 1971.
42. Bruce A. M., Morkens J. C.: Further Studies of Partial Treatment of Sewage by High - Rate Biological Filtration. Wat. Pollution Control, 72, 1973.
43. Bryan E. H., Moeller D. H.: Aerobic Biological Oxidation Using Dowpac. Proc. 3rd Biol. Waste Conf. Manhattan Col., 1960.
44. Bryan E. H.: Molded Polystyrene Media for Trickling Filters. Proc. 10th Ind. Waste Conf. Purdue University, 1964.

45. Camilleri C., Vigneux B.: Les lits bacteriens plastiques a haute performance. Presentation de l'experience acquise dans le traitement des effluents industriels et urbains. T. S. M., 11, 1973.
46. Characklis W. G.: Attached Microbial Growth - I. Attachment and Growth. Water Research, No. 7, 1973.
47. Chipperfield P. H. J.: Performance of Plastic Filter Media in Industrial and Domestic Wastes Treatment. J. Wat. Poll. Control Fed., No. 11, 1967.
48. Chipperfield P. H. J.: L'emploi de matieres plastiques dans l'epuration biologique des eaux residuelles industrielles. Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux La Tribune de Cebedeau, No. 273-274, 1966.
49. Chipperfield P. H. J.: The Use of Plastic Media in the Biological Treatment of Industrial Wastew. The Surveyor and Municipal Eng., No. 3846, 1966.
50. Chipperfield P. H. J.: Experiences in Great Britain by Imperial Chemical Industries Limited with Plastic Filter Media. Annual Conference of The W P C F. Kansas City, 1966.
51. Chipperfield P. H. J.: The Development, Use and Future of Plastics in Biological Treatment. Effluent Water Treatment Convention, East Court, Londyn, 1967.
52. Chipperfield P. H. J.: I C I Experiences in Biological Treatment of Industrial and Sewage on Plastics Media. Pulp and Paper Mag., 69, No. 3, 1968.
53. Chipperfield P. H. J., Askew H. W., Benton J. H.: Multiple- Stage Plastic-Media Treatment Plants. Jour. Wat. Poll. Control Fed., No. 10, 1972.
54. Cook B. E., Kincannon D.F.: An Evaluation of Trickling Filter Performance. Water and Sewage Wks, 118, April, 1971.

55. Dow Chemical Co.: A Literature Search and Critical Analysis of Biological Trickling Filter Studies. Vol. I and II. Environ. Prot. Agency, Proj. No. 17050 DD4, 12/71, 1971.
56. Dunbar R. F.: Domes Protect Trickling Filters. Wat. Sew. Works, 116, 95, 1969.
57. Dutch P.: Phenol-Cyanide Removal in a Plastic-Packed Trickling Filter. Wat. Poll. Control Fed., No. 6, 1960.
58. Eckenfelder W. W., Bernhart E.: Performance of a High-Rate Trickling Filter Using Selected Media. J. Wat. Poll. Control Fed., 35, No. 2, 1963.
59. Eckenfelder W. W.: Industrial Water Pollution Control. Mc Graw-Hill Book Comp., New York, 1966.
60. Eckenfelder W. W.: Trickling Filter Design and Performance. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Engrs, 87, SA4, 1961.
61. Eckenfelder W. W.: Water Quality Engineering for Practicing Engineers. Barnes and Noble, Inc., New York 1971.
62. Eckenfelder W. W., Barnhard E. L.: Treatment of Pulp and Paper Mill Wastes for High Filtration using Plastic Filter Media. Proc. 17th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., May 1962.
63. Eden G. E., 1 inni: Measurement and Significance of Retention Time in Percolating Filters. J. Proc. Inst. Sew. Purif., 6, 513, 1964.
64. Eden G. A., Mann H. T.: Biological Filtration Using a Plastic Filter Medium. J. Proc. Inst. Sew. Purif., 6, 196
65. Egan J. T., Sandlin McD.: The Evaluation of Plastic Trickling Media. Proc. 15th Ind. Waste Confer., Purdue Univ. p. 107, 1961.
66. Egan J. T., Brouillette R. W.: Application of PVC as a Trickling Filter Media. Proc. 9 th Ontario Ind. Waste Conf., June 1962.

67. Etzel J. E.: Trickling Filter Experimentation. Am. Assoc. Professors in Sanit. Engng Workshop, Univ. of Texas, Dallas, June 1966.
68. Ethyl Corporation Plastics Division: Floor Food Eng., No. 10, 1972.
69. Fairall J. M.: Correlation of Trickling Filter Data. Sew. Wks, 28, 1069-74, 1956.
70. Franzmothes J. R.: Operational Costs of Trickling Filters in the Southeast. J. Wat. Poll. Control Fed., No. 5, 1969.
71. Fry K.: Secondary Treatment of Waste Water. Water Poll. Abstr. 42, 311, 1969.
72. Galler W. S., Gotaas H. B.: Analysis of Biological Filter Variables. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 90, SA 6, 1964.
73. Geber B.: A New Concept in Trickling Filter Design. Sew. Ind. Wastes, 26, 1954.
74. Germain J.: Economical Treatment of Domestic Wastes by Plastic Medium Trickling Filters. Jour. Wat. poll. Contr. Fed., No. 2, 1966.
75. Gerstenberg B.: Untersuchungen über die biologische Reinigung von Abwasser in einem verstopfungssicheren, kunststoffgefüllten versuchstropfkörper. Das Gas und Wasserfach, No. 2, 1973.
76. Gotaas H. B., Galler W. S.: Design Optimization for Biological Filter Models. J. Environ. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 99, EE 6, 1973.
77. Green M. B., Linzi: The Growth of Microbial Film on Vertical Screen Dosed with Settled Sewage. Int. J. Air Wat. Pollut., 9, 807-21, 1965.
78. Cronico M. J.: Verification of Trickling Filter Models Using Surfpac. M. Sc. Thesis, University of Texas, Austin, 1970.

79. Gromiec H. J.; Malina J. P., Eckenfelder W.: Performance of Plastic Medium in Trickling Filters. Wat. Resoarch, No. 11, 1972.
80. Gulewicz W., i inni: Role of Diffusion in Biological Waste Treatment. Environ. Sci. Technol., No. 2, 1968.
81. Haggins G. C.: Why Sedalia Selected Plastic as Media for the Trickling Filters in Two Up-dated Treatment Plants. The American City., No. 9, 1966.
82. Manumalu V.: Effects of Recirculation on Deep Trickling Filters Performance. J. Wat. Pollut. Control Fed., 41, No. 10, 1969.
83. Manumalu V.: Performance of Deep Trickling Filters by Five Methods. J. Wat. Pollut. Control Fed., 42, No. 3, 1970.
84. Hartmann L.: Influence of Turbulence on the Activity of Bacterial Slime. J. Wat. Pollut. Control Fed., 39, 953-64, 1967.
85. Hemming H. L.: Use of plastic Filter Media for Sewage and Effluent Treatment. Munic. Eng., March, 1968.
86. Hemming H. L.: Experiences in the Treatment of Effluents from the Manufacture of Malt Whisky Using High-Rate Biofiltration and Plastics Media. Paper Presented to the International Congress on Industrial Waste Water, Stockholm, 1970.
87. Hemming H. L.: Plastics Filter Media in Treating Dairy and Milk Processing Effluents. Environ. Pollut. Management, October, 1972.
88. Hephard R. Q., Charlock R. H.: The Performance of an Experimental High-Rate Biological Filtration Tower When Treating a Piggery Slurry. Wat. Pollut. Control, No. 6, 1971.
89. Holdseorth S. D.: Effluents from Fruit and Vegetable Processing. Effluent and Water Treatment J., March, 1970.

90. Imperial Chemical Industries Ltd: Domestic Sewage. No. 2, 1972.
91. Imperial Chemical Industries Ltd: Fermentation. No. 3, 1972.
92. Imperial Chemical Industries Ltd: Food Industries. No. 1, 1972.
93. Jackson M. L.: Liquid Films in Viscous Flow. Jour. Am. Inst. Chem. Engrs, 1, 2, 1955.
94. Jakowlew S. W., Iaskow J. M., Woronow J. W.: Nowa Konstrukcja Skorużenija dla Biochemicznej Oczyszczki Stocznych Wod. Wodossnabż. i Sanit. Tech., No. 9, 1965.
95. Jakowlew S. W., i inni: Oczyszczka Stocznych Wod na Biofiltrach z Plastikowej Zagruzki. Wodossnabż. i Sanit. Tech., No. 1, 1965.
96. Jakowlew S. W., Woronow S. W.: Raschiot Biofiltrow z Plastikowej Zagruzki. Wodossnabż. i Sanit. Tech., No. 12, 1966.
97. Joslin J. R., i inni: High-Rate Biofiltration - A Comparative Assessment. Jour. Wat. Pollut. Contr., No. 4, 1971.
98. Kalisz L.: Zastosowanie Mas Plastikowych w Skorużach Biologicznych. G. W. i T. S., No. 10, 1972.
99. Kehrberger G. J.: Discussion - Oxygen Theory in Biological Treatment Plant Design. /Proc. Pap. 8938, 1972 by Mehta D. S., i inni/. J. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Engrs, 99, EE 3, 1973.
100. Kehrberger G. J., Busch A. W.: Mass Transfer Effects in Maintaining Aerobic Conditions in Pile-flow Reactors. J. Wat. Pollut. Control Fed., 43, 1971.
101. Kornegay B. H., Andrews J. F.: Kinetics of Fixed Film Biological Reactors. Final Rep., Fed. Wat. Poll. Contr. Adm., Res. Grant WFO1131, Clemson Univ., 1968.
102. Kornegay B. H., Andrews J. F.: Characteristics and Kinetics of Fixed-film Biological Reactors. J. Wat. Pollut. Control Fed., 40, No. 11, 1968.

103. Kornegay B. H., Andrews J. P.: Application of the Continuous Culture Theory to the Trickling Filter Process. Proc. of the 24th Ind. Waste Conf. Purdue Univ., 1969.
104. Kornegay B. H., Massey M. L.: A Rational Approach to Trickling Filter Design. 162nd Meeting Nat. Am. Chem. Society, Washington, D. C., 12-17 Sept., 1971.
105. Krenkel P. A., Orlob G.T.: Turbulent Diffusion and the Reaeration Coefficient. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 88, SA 2, 1962.
106. Krogh O., Mortensen F.: Use of Plastic Filter Beds in the Treatment of Slaughterhouse Wastes. Internat. Congress on Industr. Waste Water, Stockholm, Nov., 1971.
107. Lamb R., Owens S. G. H.: A Suggested Formula for the Process of Biological Filtration. Wat. Pollut. Control, 69, 1970.
108. Levine M. i inni: Observations on Ceramic Filter Media and High Rates of Filtration. Sew. Works J., 8, 1936.
109. Lanowy T.: Sprawozdanie z Badań Technologicznych nad Porównaniem Efektów Pracy Złóż Biologicznych. /maszynopis/, I H G W Wrocław, 1973.
110. Lanowy T.: Możliwości Biologicznego Oczyszczania Ścieków na Złóżach Biologicznych Wypełnionych Elementami z Tworzywa Sztucznego. Materiały Konferencyjne, Katowice, 1973.
111. Maier W. J., i inni: Simulation of the Trickling Filter Performance. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 93, SA 4, 1967.
112. Mass Transfer, Inc.: Filterpac - The all Purpose Biofiltration Media with Minimum Total Installed Cost. Bulletin A 145, 1 i 2, 1974.
113. Materiały prospektowe Firmy Imperial Chemical Industries Limited.

114. Materiały Prospektowe Firmy Ewall-Forit.
115. Materiały Prospektowe Firmy Mass Transfer Limited.
116. Materiały Prospektowe Firmy Ethyl Corporation.
117. Materiały Prospektowe Firmy Koch Engineering Company Inc.
118. Materiały prospektowe Firmy Vereinigte Kesselwerke AG.
Dusseldorf.
119. Watson J. V., 1 inni: Oxygen Supply Limitations in Systems.
Proc. 27th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., May,
1972.
120. Road Corp.: Multi - System Biological Treatment of Bleached
Kraft Effluents. EPA - Ind. Poll. Control Progr.,
1240 EBY 12/1971.
121. Mehta D. S., 1 inni: Oxygen Theory in Biological Treatment
Plant Design. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ.
Engrs, 98, SA 3, 1972.
122. Meltzer D.: An Investigation of the Time Factor in Biological
Filtration. J. Proc. Inst. Sewer Purif., No. 4,
1962.
123. Middlebrooks R. J., Coogan F. J.: Treatment of Kraft Mill
Wastes with a Plastic Media Trickling Filter.
Water Research, No. 3, 1969.
124. Minch V. A., Egan J. T., Sandlin D.: Plastic Trickling Fil-
ters Design and Operation. Paper Trade Journal,
No. 22, 1962.
125. Minch V. A., 1 inni: Design and Operation of Plastic Filter
Media. J. Wat. Pollut. Contr. Fed., No. 5, 1962.
126. Mondajemi P., Bhan V. C.: Oxygen Uptake and Mechanism of
Substrate Purification in a Model Trickling
Filter. Wat. Pollut. Research, Pergamon press,
II 12, 1972.
127. Muller J. A.: Discussion - Oxygen Theory in Biological
Treatment Plant Design. /Proc. Pap. 9933, 1972
by Mehta D. S., 1 inni/ J. Environn. Eng. Div.

Am. Soc. civ. Engrs, 99, BS 3, 1973.

128. National Research Council: Sewage Treatment at Military Installations. Sew. Wks Jour., 18, 1946.
129. Neumann H.: Die Klaranlage der Tierkörperverwertungsanstalt in Ickerein Beispiel für die Möglichkeiten des Belüftungsverfahrens und für die des Einsatzes von Tropfkörpern mit Kunststoff - Füllelementen. Stadthygiene, No. 5, 1972.
130. Noble T. G., Jackman H. Jr., Badger E. H.: The Biological Treatment of Gas Liquor in Aeration Tanks and Packed Towers. J. Proc. Inst. of Sew. Purif., No. 5, 1964.
131. Offhaus K.: Flösser - Tropfkörper. F. T. K. Abban oder Somp.
132. Oleszkiewicz J. A., Eckenfelder W. W.: The Mechanism of Substrate Removal in High Rate Plastic Media Trickling Filters. Tech. Rep., No. 33, Depart. of Environment and Water Resources Engineering, Vanderbilt University, 1974.
133. Ordon C. J.: Discussion - Recent Approaches for Trickling Filter Design. /Proc. Pap. 5798 by Baker and Groves/ J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 94, SA 2. 1968.
134. Osborn D. W., Halliday J.: Biological Filter Performance: A Critique of South African Concepts of Loading. Wat. Pollut. Control, 72, No. 2, 1973.
135. Pearson C. R.: Plastic Packing in the Biochemical Treatment of Liquid Effluents. Chem. and Indust., 36, No.3, 1967.
136. Pearson C. R.: Use of Synthetic Media in the Biological Treatment of Industrial Wastes. J. Proc. the Inst. of Sew. Purif., No. 6, 1965.
137. Pearson C. R.: Observations Recentes sur l'emploi des matières plastiques dans le traitement biochimique des effluents liquides. La Tribune de Cebedeau, No. 290, 1968.

138. *Plastics Technical Service Bulletin Styron 475. The Dow Chemical Company, 1954.*
139. *Plastics Filter Media in Sewage Treatment. Survey Local Gov. Technolog., 133, 4004, 38 1 133, 4016, 39, 1969.*
140. *Plastic Filter Bed Walls. Water and Waste Treatment, No. 12, 1968.*
141. *Plastics Packed Trickling Filters Minimise Chance of Plugging. Water Pollut. Control, No. 10, 1970.*
142. *Pielkenrod Separator Co.: Pielkenrod Trickling Filters. PSC Bulletin, 1974.*
143. *Perges H., 1 inni: Biological Oxidation of Dairy Wastes. Proc. 10th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 1956.*
144. *Portalski S.: Studies of Falling Liquid Film Flow. Chem. Engng Sci., 18, 1953.*
145. *Ponninger R.: Biologische Abwasserreinigung durch Tropfkörper. Wieden 1965.*
146. *Quirk T. P.: Scale-up and Process Design Techniques for Fixed Film Biological Reactors. Wat. Res., No. 11, 1972.*
147. *Rankin R. S.: Evaluation of the Performance of Biofiltration Plants. Trans. Am. Soc. civ. Engrs, 120, 1955.*
148. *Reid G. W.; Assenso J. R.: Biological Slimes. Proc. 3rd Conf. on Biol. Waste Treat., Manhattan C&E., 1960.*
149. *Renn C. E.: Biophysical Processes in Slime Formation and Floc Formation. Biolog. Treatm. of Sew. and Ind. Wastes, Reinhold Publishing Co., Vol. 1, 1955.*
150. *Richard J. G.; Kingsbury R. P.: Design Considerations for Plastic Media Biological Towers. Preprint, 1973 Meeting W. Va. Wat. Pollut. Contr. Assoc., Piper-tem, April, 1973.*
151. *Rincke G.: Entwurf von Tropfkörpern. Wiener Mitteil. Wasser-Abwasser- Gewässer, No. 4, 1969.*

152. Rincke G., Wolters R.: Technology of Plastic Medium Trickling Filters. Advances in Water Pollution Research. Proc. 5 th Inter. Conf. Poll. Res. San Francisco, 1970.
153. Rincke G., Born R.: Use of Trickling Filters with Synthetic Packing Element for Wastewater from Food Industry. Intern. Congr. on Ind. Waste Water, Stockholm, 1970.
154. Rincke G.: Neue Gesichtspunkte zur Abwasserrreinigung mit Tropfkörpern. G. W. F., No. 24, 1967.
155. Roberts J.: Towards Better Understanding of High Rate Biological Film Reactor Theory. Water Research, Vol. 7, 1973.
156. Robertson F. G., i inni: Statistical Comparison of Trickling Filter Equations Using Papermill Effluent Data. J. Wat. Pollut. Control Fed., 40, No. 10, 1968.
157. Ross L. W.: Contribution to the Theory of Trickling Filter Performance. Water Research, No. 4, 1970.
158. Rudzka M., i inni: Sprawozdanie przejściowe z badań pt: Ocena Pracy 2262 Splukiwanych o Wypełnieniu z Mas Plastikowych w Porównaniu ze Złożami o Wypełnieniu z Żużla i Tłuczni Kamiennej. I G K, Warszawa, 1968 /manuzynpis/.
159. Sak J. G.: Plastic Biological Oxidation Media for Industrial Waste Treatment Needs. Proc. 14 th Ind. Waste Conf Ontario, June, 1967.
160. Sanders W. M., i inni: Oxygen Microprobe Studies on Microbial Slime Films. Chem. Engng Prog. Symp. Ser., No. 90, 69, 1971.
161. Sanders W. M.: Oxygen Utilization by Slime Organisms in Continuous Culture. Int. J. Air Wat. Pollut., 10, 1966.
162. Schaumburg F. D., Lasswell S.: Novel Biological Treatment Process Utilizes Unique Redwood Media. Wat. and Wastes Engng, 47, 1972.

163. Schneider C.: Trickling Filter - from Rocks to Plastic.
Pollut. Engng, 47, 1972.
164. Schroeder E. D.: Discussion - Simulation of the Trickling
Filter Process. / SA 4, 1967 by Miller i inni/,
J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 93,
SA 6, 1967.
165. Schulze K. L.: Experimental Vertical Screen Trickling
Filter. Sew. Ind. Wastes, 29, 4, 1957.
166. Schulze K. L.: Discussion - Analysis of Biological Filter
Variables./proc. Pap. 4174, by Galler and Gotaas
J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 91,
SA 3, 1965.
167. Schulze K. L.: Load and Efficiency of Trickling Filters.
J. Wat. Pollut. Control Fed., 32, No. 3, 1960.
168. Seyfried C. F.: Use of Trickling Filters with Plastic Pack-
ing for Organically Highly Polluted Sewage.
Muendhner Beitr. Abwasser, No. 14, 1969.
169. Sheikh M. I.: Organic and Liquid Retention Time in a Tric-
kling Filter Formulation. Advances in Water Poll
Research, Pergamon Press, II-13/1-8, 1972.
170. Sinkoff M. D., i inni: Mean Residence Time of a liquid in
a Trickling Filter. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc.
civ. Engrs, 85, SA 6, 1959.
171. Snyder D. W.: Dow Surfpac Pilot Study on Textile Waste.
Proc. 18 th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., 1963
172. Sorrels J. H., Zeller P. J. A.: Heavy Loading on Trickling
Filters. J. Wat. Poll. Control Fed., 35, 9, 1963
173. Sorrels J. H., Zeller P. J. A.: Supernatant on Trickling
Filters. J. Wat. Pollut. Control Fed., 35, 11,
1963.
174. Suschka J., Rusek J.: Zastosowanie Masz Plastikowych jako
Wypełnienia Zbiór Biologicznych. C. W. i T. S.,
No. 5, 1974.

175. Summers T. H.: Plastics Filter Medium Could Make Water Recovery Profitable. Process Engineering, March 1971.
176. Sylvester N. D., Pitayagulsarn P.: Effect of Transport Process on Conversion in a Trickle-Bed Reactor. Am. Inst. Chem. Engrs J., 19, 3, 1973.
177. Tavarthiladze J. M.: Biofiltry s Bločnoj Zagruzkoi iz Penostieka. Wodospab. i Sanit. Tech., No. 3, 1970.
178. Tavarthiladze J. M.: Rabota Biofiltrow s Bločnoj Zagruzkoi iz Penostieka w Zimnich Usłowjach. Wodospab. i Sanit. Tech., No. 1, 1971.
179. The Use of Plastic Filter Media for Biological Filtration. Notes in Water Pollution, No. 40, 1968.
180. Thackston E. L., i inni: Least Squares Estimation of Mixing Coefficients. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. civ. Engrs, 93, SA 3, 1967.
181. Trickling Filter with Plastic Media Highly Successful in Pollution Reduction. Paper Tr. Journal, No. 43, 1970.
182. Tucek P., i inni: Unified Basis for Design of Biological Aerobic Treatment Processes. Water Research, 5, 1971.
183. Velz C.J.: A Basic Law for the Performance of Biological Filters. Sew. Wks J., Vol. 20, 1948.
184. Wanin W. I.: Oczistka Proizwodstwiennykh Stocznykh Wod za Rubiežom. Opyt Zarubiežnogo Stroitelstwa, KN. 2, Moskwa 1963.
185. Wing B. A., Steinfeldt W. M.: A Comparison of Stone-Packed and Plastic-Packed Trickling Filters. J. Wat. Pollut. Control Fed., No. 42, 1968.
186. Woronow J., Korenkow W.: Ispytanija Poluproizwodstwiennoj Ustanowki Biofiltra s Plastmassowej Zagruzkoi. Wod. i San. Tech., No. 7, 1968.
187. Woronow J. W.: Primienienie Plastmass dlja Zagruzki Biofil-

trow. Zil. Kom. Chazj., No. 10, 1966.

188. Sajackowska A., Ziętek J.: Koncepcja Oczyszczania Ścieków na Złoże Biologiczne z Wypełnieniem Siatkowym. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej /złożono do druku - kwiecień 1973/.
189. Ziętek J.: Złoże Biologiczne o Wypełnieniu z Tworzyw Sztucznych. B P G W S "Prosan", Warszawa 1974 /maszynopis/.
190. Ziętek J.: Złoże Biologiczne Wypełnione Tworzywem Sztucznym. Zgłoszenie Patentowe, No. P-164696, Sierpień 1973.

Z A Ł A C Z N I K

TABLICA 10-1 zestawienie wyników badań błony biologicznej ze złoża o wypełnieniu siatkowym
 Ilość organizmów mikroczujących podano w tys/cm³ dostarczonej błony, bakterii
 z rodzaju *Spirillum* i wolnopływających - szacunkowo x/

Badanie z dnia	26.I.74				11.II.74				15.III.74				11.V.74			
Odległość punktu poboru próbki od powierzchni złoża /m/	0	1,3	2,6	4	0	1,3	2,6	4,0	0	1,3	2,6	4,0	0	1,3	2,6	4,0
Ilość dostarczonej próbki /cm ³ /	1	1,25	1,5	2,0	3	4	2,5	3,5	1,5	3,5	3,5	5,5	5,0	5,5	4,5	6,0
Obserwacja błony																
barwa	szaro-beżowa	j.obok	j.obok	j.obok	szaro-beż.	j.obok	j.obok	j.obok	szaro-brunatna	j.obok	j.obok	j.obok	brunatno-ozarna	j.obok	j.obok	j.obok
konsystencja	śluzowata	śluzowata zbite grudki	śluzowata	śluzowata	śluzowata	j.obok	j.obok	j.obok	śluzowata	j.obok	j.obok	j.obok	śluzowata	j.obok	j.obok	j.obok
Kawalki błony biologicznej /tys/cm ³ /	26730	84209	42510	35330	30700	29570	44470	91960	78200	32480	40470	13160	42840	20890	26200	24610
Bacteriophyta																
Sphaerotilus sp	20480	40390	8740	7430	74280	8065	9100	6530	14960	5530	1000	1010	1836	370	440	1345
Spirillum sp		+	+		+	+++	++	+	+	++	+	+	+++	+++	++	+
Beggiatoa alba				510		3200	4900	4120		2575	8580	1930	2450	14080	9350	9410
Zoogloea ramigera	2550	205				1122	128	204	1020	280				370		
Bakterie wolnopływające	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
Fungi /strzępki grzyba/	duże pałki	drobne pałki	drobne pałki	drobno pałki												
	1275	205	340	260	102	256	102	710	9860	860	5290	1010	205	740	1430	760
Protozoa																
Nastigophora	16065	40390	11760	4740	28000	7170	8770	9230	6120	1715	1230	370	2140	740	440	504
Rhizopoda	255	2860	11920		4795	8450	4080	3550	1700	290	3860	2200	1020	645	4180	2110
Testacea nd			10920		3060	7170	3264	2700	1700	290	3860	2200	1020	645	4180	2025
Amoeba sp	255	2860	1000	650	1735	1280	816	850				185				85
Ciliata	255	3270	5545	11910	204	900	515	1420	-	145	145	1560	102	1852	1860	3370
og.ilość wolnopływające	255	3270	5040	10760	204	900	515	1420	-	145	-	270	102	102	1210	1350
Aspidisca costata	-	-	505	1150	-	-	-	-	-	-	145	1290	-	1750	1650	2020
Chilodonella sp																170
Colpidium colpoda			340		204			140								
Lionotus sp		2860	1000	130		130		425				90			770	925
Oxytricha sp			340	130		770		205		145		90			220	170
Paramecium caudatum								285								
Ciliata nd	255	410	3360	1920				145				90			220	85
Opercularia sp				8580									102	102		
Vorticella sp										145		1200		1750	1650	2020
Vorticella convallaria												90				
Nematoda	255		505	1150												
Glony					510	260	410	285	2380	1290	1430	1010	102	920	1430	1600
													100			

x/ częstotliwość występowania

- sp sporadycznie
- + nieliczne
- ++ liczne
- +++ bardzo liczne
- ++++ występowanie masowe

Badanie z dnia	4.VI.74				19.VI.74			
	0	1,3	2,6	4,0	0	1,3	0,6	4,0
Odległość punktu poboru próbki od powierzchni słoza /m/								
Ilość dostarczonej próbki /cm ³ /	7	10	3	3	2,5	3	4,5	4
Obserwacja błony								
Barwa								
Konsystencja								
Kawałki błony /tys/cm ² /								
Bacteriophyta								
Sphaerotilus								
Spirillum sp	1249	701	2116	2338	1765	2540	1459	1275
Beggiatoa sp	1606	8479	44870	4051	765	1481	224	478
Zoogloea sp	89		1270	26879	1020	19472	13352	19444
Algae				212	510	212	224	2550
Fungi	744	64		423	255	1693	1346	
Protozoa								
Nastigophora								
Ciliata ogólna ilość	357	127	1270	423	255	1270	337	478
wolnopływające	269	64	847			423	561	319
oniadłe	268	64	847			423	224	319
Monotus sp	89						337	
Ciliata nd	178	64	847			423	224	319
Epistylis sp								
Nematoda	178	64	847			423	224	319
inverte								
Ciliophora	178	64	1058		510	212	224	159

TABLICA 11-1

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoża
i odpływających ze złoża biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Data tygodnia		Poniedziałek		Wtorek		Poniedziałek		Sobota		Środa		Piątek		Poniedziałek	
Data		18.06.1973		26.06.1973		2.07.1973		7.07.1973		11.07.1973		13.07.1973		16.07.1973	
Wskaznik	Jednostki	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Odczyn	pH	8	-	8	-	8	-	8	-	7,5	-	8,5	-	8	-
BZT ₅	mg O ₂ /l	486	120	430	140	237	27	230	38	135	17	260	30	490	85
ChZT	mg O ₂ /l	511	78	505	76	328	56	416	95	242	34	318	33	546	84
Utlenialność	mg O ₂ /l	196	46	180	39	98	18	88	15	93	19	162	14	210	40
Azot amonowy	mg NH ₄ /l	-	-	-	-	-	-	-	-	21,0	7,2	-	-	30,5	3,1
Azot azotynowy	mg NO ₂ /l	-	-	-	-	-	-	-	-	11.	0,2	-	-	0,13	11
Azot azotanowy	mg NO ₃ /l	-	-	-	-	-	-	-	-	11.	1,2	-	-	11.	14,2
Azot organiczny	mg Norg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	0	0,3	0	0,2	-	0,4	-	0,3	-	0,4	-	0,1	-	1,1
Temperatura powietrza	°C	17		18		19		17		17		16		16	
Temperatura ścieków	°C	19		18		21		21		20		21		19	
Redukcja BZT ₅	%	75		67		88		86		87		89		82	
Redukcja ChZT	%	84		85		83		77		86		88		85	
Redukcja utlenialności	%	76		77		82		83		79		91		81	

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoza
i odpływających ze złoza biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Mieś tygodnia	Data	Wskaznik	Jednostka	Czwartek		Piątek		Sobota		Wtorek		Środa		Poniedziałek		Środa	
				19.07.1973	D	20.07.1973	D	21.07.1973	D	22.07.1973	D	23.07.1973	D	24.07.1973	D	25.07.1973	D
Odczyn		pH		8	-	8	-	7,5	-	7,6	-	7,6	-	7,8	-	8,0	-
BZT ₅		mg O ₂ /l		130	10	133	98	426	100	-	-	300	95	340	270	340	260
ChZT		mg O ₂ /l		318	50	390	93	514	180	460	98	392	63	496	320	442	280
Utlenialność		mg O ₂ /l		98	17	152	30	148	35	150	33	170	37	182	113	160	103
Azot amonowy		mg NH ₄ /l		24,3	7,2	-	-	16,3	12,1	18,7	17,0	11,3	10,7	-	-	24	22
Azot azotynowy		mg HNO ₂ /l		61.	0,3	-	-	4,4	17,4	3,6	15,2	3,5	11,0	-	-	8,0	16
Azot azotanowy		mg HNO ₃ /l		61.	2	-	-	0,3	11	0,3	0,9	0,2	1,0	-	-	0,2	0,6
Azot organiczny		mg Horg/l		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tlen rozpuszczony		mg O ₂ /l		-	0,5	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-
Temperatura powietrza		°C		18		20		22		24		21		18		21	
Temperatura ścieków		°C		19		19		19		18		20		17		18	
Redukcja BZT ₅		%		86		71		76		-		68		21		24	
Redukcja ChZT		%		84		77		65		79		80		35		37	
Redukcja utlenialności		%		83		80		76		78		77		38		35	

Dzień tygodnia		Czwartek		Piątek		Poniedziałek		Środa	
Data pomiaru		2.08.1973		3.08.1973		6.08.1973		8.08.1973	
Wskaźnik	Jednostki	D		D		D		D	
		O		O		O		O	
Odczyn	pH	7,8		7,6		8,0		8,0	
BZT ₅	mg O ₂ /l	-		-		490		-	
ChZT	mg O ₂ /l	280		380		512		330	
Utlenialność	mg O ₂ /l	150		110		186		120	
Azot amonowy	mg NH ₄ /l	-		-		16,3		-	
Azot azotynowy	mg NO ₂ /l	-		-		2,4		-	
Azot azotanowy	mg NO ₃ /l	-		-		11,0		-	
Azot organiczny	mg N _{org} /l	-		-		0,9		-	
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	-		-		-		-	
Temperatura powietrza	°C	18		20		18		19	
Temperatura ścieków	°C	18		18		20		21	
Redukcja BZT ₅	%	-		-		39		-	
Redukcja ChZT	%	90		42		26		42	
Redukcja utlenialności	%	40		36		48		41	

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoza
i odpływających ze złoza biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Dzień tygodnia	Data	Wskaźnik	Jednostki	Poniedział.		Środa		Czw./Piątek		Pon./Wtorek		Środa/Czw.		Piątek		Poniedział.	
				21.01.1974	D O	23.01.1974	D O	24/25.1.74	D O	26/29.1.74	D O	30/31.1.74	D O	1.02.1974	D O	4.02.1974	D O
Odczyn		pH		7,2		7,2		7,5		7,8		8,0		8,2		8,0	
BZT ₅		mg O ₂ /l		-		-		-		200		100		80		260	
ChZT		mg O ₂ /l		360		440		530		300		590		340		400	
Utlenialność		mg O ₂ /l		94		92		94		88		96		42		96	
Azot amonowy		mg NH ₄ /l		34		34		28		28		-		22		41	
Azot azotynowy		mg NO ₂ /l		61.		0,8		61.		3,9		3,8		6,0		4,5	
Azot azotanowy		mg NO ₃ /l		1,1		0,45		61.		61.		0,7		0,5		61.	
Azot organiczny		mg Norg/l		-		-		-		-		-		-		-	
Tlen rozpuszczony		mg O ₂ /l		-		6,0		-		-		-		-		-	
Temperatura powietrza		°C		3		7		7		7		7		7		6	
Temperatura ścieków		°C		11		13		13		12		13		13,5		13	
Redukcja BZT ₅		%		-		50		-		50		57		50		67	
Redukcja ChZT		%		44		39		43		26		44		52		50	
Redukcja utlenialności		%		38		40		53		61		52		76		50	

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoża
i odpływających ze złoża biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Dzień tygodnia	Data pomiaru	Wskaźnik	Jednostki	Wtorek/Sroda		Piątek/Sob.		Poniedział.		Środa/Czw.		Piątek		Ntorek		Czwartek	
				D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Odczyn			pH	8,0	-	7,4	-	7,8	-	8,0	-	8,2	-	7,5	-	7,6	-
BZT ₅			mg O ₂ /l	240	40	160	60	100	32	-	-	110	40	130	43	240	130
ChZT			mg O ₂ /l	400	150	400	140	210	80	510	70	290	140	530	195	600	100
Utlenialność			mg O ₂ /l	78	28	94	36	30	10	86	33	46	23	94	44	116	64
Azot amonowy			mg NH ₄ /l	-	-	11	40	14	14	-	-	61.	14	-	-	31	14
Azot azotynowy			mg NO ₂ /l	3,4	1,7	5,0	1,7	2,5	2,2	3,7	1,5	6,5	3,7	6,9	2,7	6,9	3,1
Azot azotanowy			mg NO ₃ /l	61.	61.	61.	61.	0,5	61.	0,5	0,3	0,3	61.	61.	0,4	61.	61.
Azot organiczny			mg NO ₂ /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tlen rozpuszczony			mg O ₂ /l	-	-	-	-	-	7,8	-	-	-	2,8	-	2,0	-	4,6
Temperatura powietrza			°C	7	7	7	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7	7
Temperatura ścieków			°C	13	13	13	13	12	12	13	13	12	12	13	13	13	13
Redukcja BZT ₅			%	83	83	63	63	68	68	-	-	64	64	73	73	46	46
Redukcja ChZT			%	62	62	65	65	62	62	86	86	52	52	67	67	83	83
Redukcja utlenialności			%	64	64	62	62	67	67	63	63	50	50	53	53	45	45

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoża
i odpływających ze złoża biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Dzień tygodnia		Piątek		Sobota		Poniedz.		Czwartek		Sobota		Poniedz.	
Data pomiaru		1.03.1974		9.03.1974		11.03.1974		7.03.1974		9.03.1974		11.03.1974	
Wskaźnik		D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Odczyn	pH	8,4	-	7,8	-	7,8	-	7,8	-	8,0	-	7,8	-
BZT ₅	mg O ₂ /l	200	80	240	120	240	120	240	120	200	60	210	96
ChZT	mg O ₂ /l	600	325	500	205	500	205	500	205	480	235	320	190
Utlenialność	mg O ₂ /l	66	54	112	60	112	60	112	60	100	46	96	36
Azot amonowy	mg NH ₄ /l	-	-	15,8	14,0	15,8	14,0	15,8	14,0	-	-	14,0	16,8
Azot azotynowy	mg NO ₂ /l	4,8	3,7	4,6	3,6	4,6	3,6	4,6	3,6	0,9	7,4	7,4	1,4
Azot azotanowy	mg NO ₃ /l	0,4	61.	0,4	61.	0,4	61.	0,4	61.	0,3	61.	0,3	0,3
Azot organiczny	mg Norg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.v.	-	n.v.
Temperatura powietrza	°C	3	6	5	6	5	6	5	6	6	6	8	8
Temperatura ścieków	°C	12	13	11	13	11	13	11	13	12	12	13	13
Redukcja BZT ₅	%	60	50	50	50	50	50	50	50	60	60	54	54
Redukcja ChZT	%	47	58	59	58	59	58	59	59	51	51	30	30
Redukcja utlenialności	%	43	51	46	51	46	51	46	46	52	52	62	62

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoza
i odpływających ze złoza biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Dzień tygodnia	Wtorek		Czwartek		Sobota		Wtorek		Środa		Czwartek		Sobota	
	12.03.1974		14.03.1974		16.03.1974		19.03.1974		3.04.1974		4.04.1974		6.04.1974	
	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Data pomiaru	Jednostki													
Wskaźnik														
Odczyn	pH													
BZT ₅	8,0	-	7,8	-	8,0	-	7,8	-	7,6	-	7,4	-	7,4	-
ChZP	-	-	-	-	130	90	-	-	360	160	-	-	160	80
Utlenialność	535	225	640	315	460	150	630	345	530	96	375	60	475	250
Azot amonowy	120	64	120	48	66	34	106	64	102	50	-	-	102	40
Azot azotynowy	-	-	28,0	16,8	-	-	-	-	50	28	-	-	-	-
Azot azotanowy	4,9	4,3	18,0	3,7	4,9	2,2	-	-	61.	61.	-	-	-	-
Azot organiczny	0,3	61.	0,4	61.	0,4	61.	-	-	0,2	61.	-	-	-	-
Tlen rozpuszczony	-	-	-	-	-	-	-	-	56	42	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	5,2	-	n.v.	-	n.v.	-	-	-	-
Temperatura powietrza	8	8	8	8	6	6	7	7	9	9	9	9	9	9
Temperatura ścieków	15	13	13	13	13	13	14	14	13	13	13	13	15	15
Redukcja BZT ₅	-	-	-	-	30	30	-	-	56	56	-	-	50	50
Redukcja ChZP	58	48	48	48	68	68	50	50	82	82	84	84	47	47
Redukcja utlenialności	46	61	61	61	48	48	40	40	51	51	-	-	61	61

Dzień tygodnia		Poniedziałek		Środa		Piątek		Środa		Piątek		Poniedziałek		Środa	
Data pomiaru		8.04.1974		10.04.1974		12.04.1974		17.04.1974		19.04.1974		22.04.1974		24.04.1974	
Wskaźnik	Jednostki	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Odczyn	pH	7,4	-	7,5	-	8,0	-	8,2	-	8,2	-	8,2	-	7,9	-
BZT ₅	mg O ₂ /l	240	110	440	120	220	120	200	80	200	100	260	90	140	120
ChZT	mg O ₂ /l	615	348	688	224	390	125	235	60	476	235	485	270	830	265
Utlenialność	mg O ₂ /l	130	62	80	42	80	60	80	32	84	48	80	32	96	82
Azot amonowy	mg NH ₄ /l	-	-	14,0	30,8	-	-	-	-	26	36	-	-	-	-
Azot azotynowy	mg NO ₂ /l	-	-	n.v	2,0	-	-	-	-	0,9	2,2	-	-	-	-
Azot azotanowy	mg NO ₃ /l	-	-	0,3	61.	-	-	-	-	0,6	61.	-	-	-	-
Azot organiczny	mg Norg/l	-	-	56	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	-	0,8	-	n.v	-	n.8	-	0,6	-	4,4	-	1,6	-	n.v
Temperatura powietrza	°C	11	13	13	12	12	8	10	8	10	8	8	7	7	7
Temperatura ścieków	°C	14	17	17	15	15	11	15	15	15	15	15	13	13	13
Redukcja BZT ₅	%	54	73	73	46	46	60	50	64	50	64	64	44	68	68
Redukcja ChZT	%	43	67	67	68	68	74	47	44	47	44	44	68	68	68
Redukcja utlenialności	%	52	48	48	25	25	60	43	60	43	60	60	15	15	15

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoza
i odpływających ze złoza biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Dzień tygodnia	Data pomiaru	Jednostki	Piątek 26.04.1974		Poniedziałek 29.04.1974		Piątek 3.05.1974		Wtorek 7.05.1974		Środa 8.05.1974		Czwartek 9.05.1974		Piątek 10.05.1974	
			D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Odczyn		pH	8,4	-	8,3	-	8,3	-	7,8	-	-	-	8,0	-	-	-
BZT ₅		mg O ₂ /l	140	50	240	80	160	100	100	60	-	320	90	-	-	-
ChZT		mg O ₂ /l	395	100	365	120	480	250	290	150	495	560	160	390	210	-
Utlenialność		mg O ₂ /l	100	34	104	30	120	50	64	26	106	120	48	104	42	-
Azot amonowy		mg NH ₄ /l	50,4	42,0	-	-	-	-	-	-	-	42,0	36,4	-	-	-
Azot azotynowy		mg NO ₂ /l	3,2	3,1	-	-	-	-	-	-	-	61.	2,5	-	-	-
Azot azotanowy		mg NO ₃ /l	0,3	61.	-	-	-	-	-	-	-	61.	61.	-	-	-
Azot organiczny		mg Norg/l	33,6	30,8	-	-	-	-	-	-	-	56	11	-	-	-
Tlen rozpuszczony		mg O ₂ /l	-	n.v.	-	-	-	-	-	n.v.	-	-	2,8	-	-	-
Temperatura powietrza		°C	9		10		15		14		12		10		10	
Temperatura ścieków		°C	13		14		17		16		17		15		16	
Redukcja BZT ₅		%	64		67		38		40		-		75		-	
Redukcja ChZT		%	75		67		48		48		30		72		46	
Redukcja utlenialności		%	66		71		58		56		79		60		60	

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoza
i odpływających ze złoza biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Data pomiaru	Sobota		Wtorek		Środa		Czwartek		Piątek		Wtorek		Czwartek	
Wskaźnik	11.05.1974		14.05.1974		15.05.1974		16.05.1974		17.05.1974		22.05.1974		23.05.1974	
	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Odczyn	7,6	-	8,4	-	-	-	7,6	-	7,7	-	7,8	-	7,4	-
BZT ₅	260	110	320	130	-	-	-	-	-	-	280	120	220	130
ChZT	600	220	660	335	605	345	700	300	620	305	500	340	435	240
Utlenialność	100	55	132	64	102	62	84	30	110	48	112	52	110	54
Azot amonowy	-	-	-	-	-	-	47,6	44,8	-	-	-	-	42,0	44,8
Azot azotynowy	-	-	-	-	-	-	1,7	3,1	-	-	-	-	2,4	2,9
Azot azotanowy	-	-	-	-	-	-	0,3	0,1	-	-	-	-	0,2	61.
Azot organiczny	-	-	-	-	-	-	26,0	33,6	-	-	-	-	24,8	33,6
Tlen rozpuszczony	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura powietrza	10	-	13	-	14	-	15	-	15	-	15	-	14	-
Temperatura ścieków	14	-	16	-	17	-	18	-	17	-	17	-	15	-
Redukcja BZT ₅	58	-	60	-	-	-	-	-	-	-	57	-	41	-
Redukcja ChZT	63	-	50	-	43	-	57	-	51	-	38	-	45	-
Redukcja utlenialności	45	-	51	-	39	-	64	-	56	-	54	-	51	-

Wyniki badań fizyko-chemicznych ścieków dopływających do złoża
i odpływających ze złoża biologicznego. D - dopływ, O - odpływ

Dzień tygodnia		Wtorek		Środa		Czwartek		Piątek		Poniedział.		Środa		Czwartek	
Data pomiaru		30.05.1974		29.05.1974		30.05.1974		31.05.1974		3.06.1974		5.06.1974		6.06.1974	
Wskaźnik	Jednostki	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O	D	O
Odczyn	pH	7,8	-	7,6	-	7,6	-	7,8	-	7,8	-	-	-	-	-
BZT ₅	mg O ₂ /l	-	-	-	-	200	80	-	-	160	100	140	80	120	60
ChZT	mg O ₂ /l	475	365	435	270	510	155	555	260	535	145	680	295	590	325
Utlenialność	mg O ₂ /l	114	60	78	44	90	20	118	40	88	48	67	26	75	33
Azot amonowy	mg NH ₄ /l	-	-	42,0	44,8	-	-	-	-	-	-	30,8	40,2	-	-
Azot azotynowy	mg NO ₂ /l	-	-	śl.	śl.	-	-	-	-	-	-	7,4	3,6	-	-
Azot azotanowy	mg NO ₃ /l	-	-	0,8	0,2	-	-	-	-	-	-	0,3	0,1	-	-
Azot organiczny	mg Norg/l	-	-	28,0	42,0	-	-	-	-	-	-	28,0	30,8	-	-
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.w.	-	-
Temperatura powietrza	°C	15	-	16	-	15	-	16	-	18	-	15	-	16	-
Temperatura ścieków	°C	17	-	17	-	18	-	18	-	18	-	17	-	18	-
Redukcja BZT ₅	%	-	-	-	-	60	-	-	-	38	-	43	-	50	-
Redukcja ChZT	%	24	-	38	-	70	-	53	-	73	-	56	-	45	-
Redukcja utlenialności	%	47	-	43	-	78	-	66	-	45	-	67	-	56	-

Dzień tygodnia		Poniedziałek		Wtorek		Środa		Piątek		Sobota	
Data pomiaru		10.06.1974		11.06.1974		12.06.1974		14.06.1974		15.06.1974	
Wskaźnik		Jednostka		D		D		D		D	
Odczyn	pH	7,5	-	7,6	-	7,6	-	7,7	-	-	-
BZT ₅	mg O ₂ /l	240	175	-	-	260	180	220	170	-	-
ChZT	mg O ₂ /l	405	255	590	330	370	200	425	240	515	330
Utlenialność	mg O ₂ /l	122	52	94	56	70	30	78	36	82	38
Azot amonowy	mg NH ₄ /l	-	-	-	-	-	-	49,6	39,2	-	-
Azot azotynowy	mg NO ₂ /l	-	-	-	-	-	-	3,9	3,7	-	-
Azot azotanowy	mg NO ₃ /l	-	-	-	-	-	-	0,3	0,1	-	-
Azot organiczny	mg Norg/l	-	-	-	-	-	-	28,0	24,8	-	-
Tlen rozpuszczony	mg O ₂ /l	-	n.v.	-	-	-	-	-	n.v.	-	-
Temperatura powietrza	°C	15	13	13	14	14	17	17	17	17	17
Temperatura ścieków	°C	18	17	17	15	15	16	16	18	18	18
Redukcja BZT ₅	%	27	-	-	31	31	23	23	-	-	-
Redukcja ChZT	%	37	44	44	46	46	43	43	36	36	36
Redukcja utlenialności	%	57	40	40	57	57	54	54	53	53	53

TABLICA 11-2

Wartości ChZT, utlenialności i BZT₅ w ściekach pobranych
z pośrednich wysokości zloża biologicznego

Data pomiaru		21.01 1974	23.01 1974	24/25.01 1974	28/29.01 1974	30/31.01 1974	1.02 1974	2.02 1974	5/6.02 1974	8/9.02 1974	11.02 1974	13/14.02 1974	15.02 1974	19.02 1974	21.02 1974	22/23.02 1974
Wskaźnik	Poziom poboru próbki															
ChZT w mg O ₂ /l	Dopływ	360	440	530	380	590	340	400	400	400	219	510	290	580	600	355
	1,33 m	350	260	340	300	400	220	240	320	340	140	290	115	390	325	295
	2,66 m	220	270	280	290	330	180	240	165	230	100	120	115	345	135	215
Utle- nialność w mg O ₂ /l	4,00 m	200	270	300	280	330	150	200	150	140	80	70	140	195	100	150
	Dopływ	94	92	94	83	96	42	96	78	94	30	88	46	94	116	84
	1,33 m	90	40	72	50	64	24	84	48	52	24	55	31	64	104	56
BZT ₅ w mg O ₂ /l	2,66 m	68	80	62	40	48	16	66	36	48	20	45	26	63	78	56
	4,00 m	58	54	44	34	36	10	48	28	36	10	33	23	44	64	44
	Dopływ	280	160	140	100	300	80	260	240	160	100		110	180	240	
	1,33 m				200	200	60	150	80	70	86		100	130	200	
	2,66 m				130	160	50	130	60	80	40		60	100	160	
	4,00 m		140		100	130	40	84	40	60	32		40	48	130	

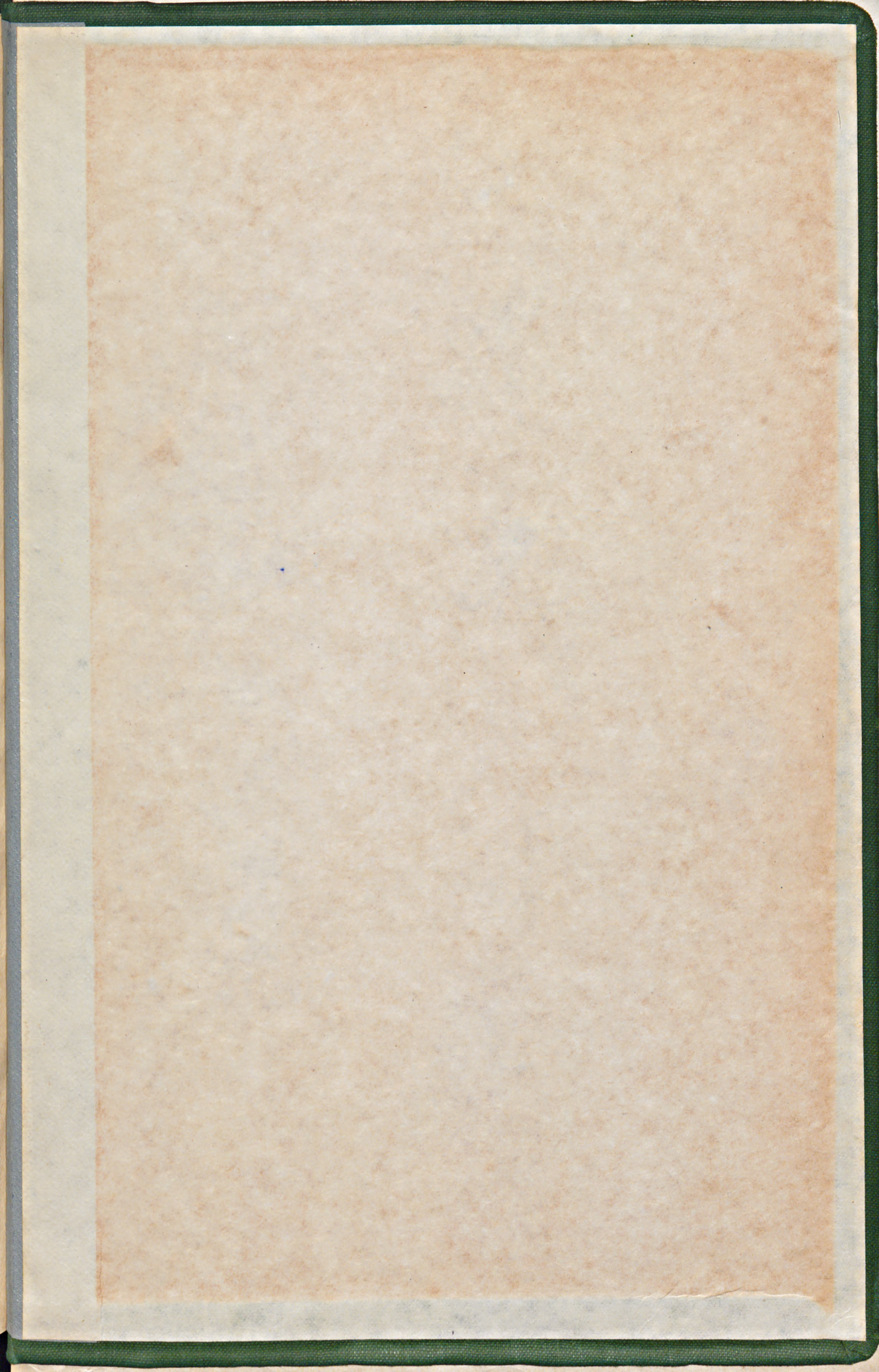
Wartości ChZT, utlenialności i BZT₅ w ściekach pobranych
z pośrednich wysokości złoza biologicznego

Data pomiaru	25.02 1974	27.02 1974	1.03 1974	7.03 1974	9.03 1974	11.03 1974	12.03 1974	14.03 1974	16.03 1974	18.03 1974	3.04 1974	4.04 1974	6.04 1974	8.04 1974	10.04 1974
Wskaźnik															
Poziom poboru próbki															
ChZT															
v															
mg O ₂ /l															
Dopływ	500	660	600	500	480	320	535	610	460	630	530	375	475	615	688
1,33 m	240	365	400	320	290	232	341	556	180	365	340	235	400	464	448
2,66 m	165	350	350	228	255	200	264	341	169	353	220	175	256	464	240
4,00 m	185	280	325	205	235	198	225	315	150	315	96	60	250	348	224
Utlenialn															
ność v															
mg O ₂ /l															
Dopływ	100	110	66	112	100	96	120	120	66	106	102	80	102	130	80
1,33 m	86	94	62	86	72	88	86	80	54	92	100	102	86	74	54
2,66 m	76	70	58	76	60	60	80	56	46	78	67	78	58	72	48
4,00 m	56	54	54	60	48	36	64	46	34	64	50	102	40	62	42
BZT ₅															
v															
mg O ₂ /l															
Dopływ	200	200	200	240	200	210			130		360		160	240	440
1,33 m	100	160	120	160	140	150			80		300		160	160	360
2,66 m	100	140	90	120	100	100			130		260		130	150	160
4,00 m	110	100	80	120	80	96			90		160		80	110	120

Data pomiaru	Wskaźnik	Poziom poboru próbki	12.04 1974	17.04 1974	19.04 1974	22.04 1974	24.04 1974	26.04 1974	29.04 1974	3.05 1974	7.05 1974	8.05 1974	9.05 1974	10.05 1974	11.05 1974	14.05 1974	15.05 1974
ChZT w mg O ₂ /l	Dopływ 1,33 m 2,66 m 4,00 m		390	235	476	485	830	395	365	480	290	495	560	390	600	660	605
			270	310	403	392	472	460	345	335	175	490	320	305	505	525	490
			260	275	342	342	269	300	255	325	145	430	260	270	340	445	310
			125	60	255	269	265	100	120	250	150	350	160	210	220	335	345
Utlenial- ność w mg O ₂ /l	Dopływ 1,33 m 2,66 m 4,00 m		80	80	84	80	96	100	104	120	64	106	120	104	100	132	102
			86	62	58	68	88	70	72	78	50	74	114	80	87	100	92
			40	44	38	48	82	44	60	60	28	50	106	56	65	92	72
			60	32	48	32	82	34	30	50	44	22	48	42	55	64	62
BZT ₅ w mg O ₂ /l	Dopływ 1,33 m 2,66 m 4,00 m		220	200	200	280	140	140	240	160	100		320		260	320	
			200	110	120	200	120	100	160	140	80		180		200	280	
			160	80	120	110	100	80	130	120	80		120		110	180	
			120	80	100	90	120	50	80	100	60		80		110	130	

Data pomiaru	Wskaźnik	Poziom poboru próbki	16.05	17.05	22.05	23.05	28.05	29.05	30.05	31.05	3.06	5.06	6.06	10.06	11.06	12.06	14.06
			1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974
ChZT w mg O ₂ /l	Dopływ	1,33 m	700	630	500	435	475	435	510	555	535	680	590	405	590	370	425
			505	500	490	380	430	390	500	435	290	500	425	385	515	330	330
			540	405	380	300	390	320	290	355	205	405	350	350	370	270	270
			300	305	310	240	365	270	155	260	145	295	325	255	330	200	240
Utlenial- ność w mg O ₂ /l	Dopływ	1,33 m	84	110	112	110	114	78	90	118	88	67	75	122	94	70	78
			58	70	82	82	94	66	70	68	74	57	68	100	82	50	70
			44	66	60	78	80	62	50	46	58	37	44	80	66	40	50
			30	48	52	54	60	44	20	40	48	26	33	52	56	30	36
BZT ₅ w mg O ₂ /l	Dopływ	1,33 m			280	220			200		160	140	120	240		260	230
					180	200			100		130	120	110	220		240	200
					170	180			100		110	100	90	200		210	190
					120	130			80		100	80	60	175		180	170







R

2089



400000000113021

Prof. Adam Chojnacki
Zakład Zaopatrzenia w
Wodę i Oczyszczania
Ścieków Politechniki
Warszawskiej

Warszawa, dnia 19.05.1975r



O p i n i a

o pracy doktorskiej wykonanej przez mgr
inż. Jerzego Ziętka pt.: "Koncepcja
wypełnienia złoża biologicznego w postaci
siatki z tworzywa sztucznego oraz opracowa-
nie jego charakterystyki technologicznej"

Zastosowanie mas plastycznych, które mogą znaleźć zasto-
sowanie jako wypełnienia złoża biologicznego znane jest za gra-
nicą od dość dawna. W tym celu produkowano wypełnienie z twardego
polichlorku winylu znane pod różnymi nazwami handlowymi, jak rów-
nież saranu kopolimeru polichlorku winylidenu.

Wypełnienie stanowią układane naprzemian arkusze płaskie
i ryflowane łączone z sobą w wyniku czego powstają bloki sta-
nowiące trwały i zwarty element złoża. Cięższe i bardziej trwa-
łe elementy układane są w dolne warstwy złoża, a lżejsze bliżej
powierzchni.

Tworzywa sztuczne jako materiał wypełniający odznaczają
się wyjątkową odpornością chemiczną, dobrą odpornością na zmia-
ny środowiska oraz wykazują dużą wytrzymałość i odporność na
ścieranie. W porównaniu z konwencjonalnym wypełnieniem takim
jak żużel lub tłuczeń odznaczają się małym ciężarem, dużą po-

wierzchnią adsorpcyjną, dużą zdolnością utleniania i dużą porowatością. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że puste przestrzenie przy tego rodzaju wypełnieniu złoża są rozmieszczone bardziej równomiernie niż przy wypełnieniu kruszywem. Ta właściwość wypełnienia wykonanego z tworzyw sztucznych zapewnia dobre napowietrzanie złoża, oraz zmniejsza możliwość zailania złoża i zarastania błoną wypełnienia złoża. Złóża z wypełnieniem wykonanym z tworzyw sztucznych w wyniku tego pozwalają na zmniejszenie wymagań wytrzymałościowych elementów nośnych konstrukcji złoża. Równocześnie wypełnienie takie pozwala również na równoczesne zmniejszenie powierzchni złoża kosztem jego wysokości przy zachowaniu stałej jego objętości. Zbędna jest również budowa urządzenia drenażowego.

To też temat pracy doktorskiej mgr inż. Jerzego Ziętka stanowiący opracowanie koncepcji wypełnienia w postaci wiotkiej siatki z tworzywa sztucznego produkowanego w kraju uznać należy za celowy i z punktu widzenia technologicznego w pełni uzasadniony.

W kraju dotychczas brak było opracowania tego rodzaju co z kolei hamowało ich zastosowanie w praktyce eksploatacyjnej.

Dostarczenie wytycznych dla zaprojektowania prototypu tego rodzaju złoża w kraju o korzystniejszych parametrach i efektywności ekonomicznej stanowi niewątpliwie postęp techniczny w dziedzinie unieszkodliwiania ścieków w kraju.

W pracy zaprogramowano badania nad oczyszczaniem ścieków na modelach w skali półtechnicznej początkowo ścieków syntetycznych, a następnie ścieków naturalnych miejskich / Białystok/ z dość dużym udziałem ścieków przemysłowych.

Praca obejmuje 14 rozdziałów - łącznie 145 stron maszynopisu i została podzielona na trzy części.

W części I-szej doktorant przedstawia aktualny stan badań i kierunki rozwojowe złóż z wypełnieniem z tworzyw sztucznych.

II część stanowi opis stacji doświadczalnej oraz zakres wykonanych badań i omówienie wyników.

W części III-ej na podstawie przeprowadzonej oceny otrzymanych wyników wyprowadzono wnioski.

W oparciu o dokonany wybór rodzaju wypełnienia stanowiącego pasma siatki z tworzywa sztucznego badanego złoża jak również zaprogramowany zakres badań odnośnie przydatności wybranej siatki i uzyskane efekty oczyszczania opracował doktorant koncepcję tego rodzaju wypełnienia złoża oraz jego technologiczną charakterystykę.

Złoża pracowały w okresie badań bez recyrkulacji. Wydaje mi się, przyjęte założenie jako słuszne, gdyż w Europie w ogóle jak również i u nas w Kraju eksploatuje się złoża głównie bez recyrkulacji lub z nieznaczną recyrkulacją stworzoną w wyniku odprowadzenia osadu z osadników wtórnych do osadników wstępnych.

Siatka stanowiąca przedmiot badań wykonana była z taśmy długości 4-ch metrów z polistylenu i zawieszona na prętach rusztu umocowanego w górnej części złoża.

Charakterystykę wypełnienia siatkowego podano w tabeli. W celu określenia przydatności badanego sztucznego wypełnienia mgr inż. J. Ziętek ukierunkował badania w celu uzyskania danych takich jak:

- czy na materiale wypełniającym z uwagi na wykazywaną przyczepność będzie się utrzymywać błona biologiczna i w jakim stopniu

- będzie spłukiwana przy określonym obciążeniu hydraulicznym,
- jakie są wymagane parametry eksploatacji złoża przy oczyszczaniu ścieków miejskich i jaki można uzyskać stopień oczyszczania ścieków,
 - jaka jest optymalna ilość siatki oraz jakie dopuszczalne są wolne przestrzenie pomiędzy poszczególnymi taśmami.

Metodyka badań przyjęta w pracy w celu kontroli fizyczno-chemicznej ścieków dla uzyskiwanego stopnia oczyszczania ścieków jak również efektu oczyszczania w badaniach technologicznych nie następuje uwag.

Zakres oznaczeń zawartości azotu amonowego, azotynowego i azotanowego wśród wymienionych oznaczeń podstawowych jest słuszny z uwagi na stopień zachodzącej nitryfikacji na doświadczalnym złożu.

Uzyskane wyniki pozwoliły doktorantowi na opracowanie następujących stwierdzeń i uogólnień:

- na wypełnieniu z siatki dokonuje się rozwój błony biologicznej o dość znacznej przyczepności,
- jako obciążenie hydrauliczne utrzymujące zdolność spłukującą zabezpieczającą równowagę w ilości i jakości błony powstającej na materiale wypełniającym należy przyjąć w granicach $1,4 - 1,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$,
- jako wielkość orientacyjną ciężaru 1 m^3 wypełnienia wraz z błoną biologiczną po kilkumiesięcznej eksploatacji przyjąć można do 120 kg/m^3 / co świadczyć może o wytrzymałości mechanicznej siatki/

- obciążenie złoża ładunkiem zanieczyszczeń przy którym osiągnano najwyższy efekt redukcji zanieczyszczeń organicznych wyrażonych w BZT_5 jest rzędu 70 - 75 % nie powinno przekraczać $1 \text{ kg } BZT_5/m^3d$. Zachodziły przy tym procesy nitryfikacji,
- graniczne zaś obciążenie hydrauliczne wahało się w granicach od $8 \text{ m}^3/m^2h$ do $6 \text{ m}^3/m^2h$.

Przeprowadzona analiza kosztów wykonania złoż z wypełnieniem siatkowym i konwencjonalnym wskazuje, że korzystniejsze są złoża z wypełnieniem z tworzywa sztucznego. Również porównanie parametrów złoż z wypełnieniem konwencjonalnym oraz Flocorem i siatką wskazuje na korzystniejsze parametry pracy złoża siatkowego w porównaniu z konwencjonalnym natomiast są mniej korzystne parametry w porównaniu ze złożem z wypełnieniem Flocorem.

Uzyskane wyniki pozwoliły mgr inż. J. Ziętkowi na rozwiązanie postawionego zagadnienia stanowiącego przedmiot pracy.

Zaproponowana koncepcja złoża biologicznego w postaci siatki z tworzywa sztucznego daje możliwość zmniejszenia na nich stężenia ścieków do 75% przy mniejszych kosztach budowy złoża niż złożo o wypełnieniu konwencjonalnym.

W świetle powyższego można uznać, że osiągnięty w pracy efekt oczyszczania ścieków na złożach z wypełnieniem siatkowym jest zadowalający.

W kraju dotychczas nie publikowano prac badawczych dotyczących oczyszczania ścieków na tego rodzaju złożach. Rozwiązanie więc tego zagadnienia przez mgr inż. J. Ziętka stanowi osiągnięcie w dziedzinie technologii oczyszczania ścieków.

Wyciągnięte wnioski natomiast stanowią cenny materiał, który został wykorzystany przy projektowaniu złóż z wypełnieniem z tworzywa sztucznego.

W pracy doktorant podaje 190 pozycji piśmiennictwa. Przeprowadzona przez mgr inż. Jerzego Ziętka ocena wyników przy wykazanej dobrej teoretycznej znajomości zagadnienia wskazują na dobre z jego strony rozeznanie naukowe.

Praca wykonana jest starannie i wykazuje konstrukcję dobrą i prawidłową pod względem merytorycznym, jak również i wyciągnięte wnioski nie wzbudzają zastrzeżeń.

W pracy można wysunąć jedno tylko zastrzeżenie, a mianowicie, że w zestawieniu i porównawczym parametrów różnych złóż biologicznych brak jest danych doświadczalnych dla złoża biologicznego z wypełnieniem koksem lub tłuczniem kamiennym uzyskiwanych na tych samych ściekach. Wyjaśnienia również wymaga przebieg nitryfikacji przy niepełnym oczyszczaniu.

Przechodząc do ostatecznej oceny pracy, uważam że opiniowana praca doktorska wskazuje na samodzielne i oryginalne rozwiązanie oraz zawiera szereg ustaleń bardzo przydatnych dla projektowania złóż z wypełnieniem siatkowym wykonanym z tworzywa sztucznego.

W związku z tym stwierdzam, że praca ta w świetle obowiązujących przepisów odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim i stawiam wniosek o dopuszczenie doktoratu do publicznej rozprawy.

Adam Chojnacki
/prof. Adam Chojnacki /

Kraków, dnia 31.V.1975r.

Doc. dr inż. Jerzy Kurbiel
Instytut Inżynierii Sanitarnej
Politechniki Krakowskiej



O P I N I A

o pracy doktorskiej mgr inż. Jerzego Ziętka pt. "Koncepcja złoża biologicznego wypełnionego siatką z tworzywa sztucznego oraz opracowanie jego charakterystyki technologicznej".

1. Charakterystyka pracy

Praca doktorska o charakterze eksperymentalnym obejmuje rozwiązanie oraz technologiczną ocenę oryginalnej koncepcji wypełnienia złoża biologicznego materiałem z tworzyw sztucznych w postaci siatki zawieszanej swobodnie na ruszcie podtrzymującym w górnej części złoża.

Cielem postawionym w pracy było uzasadnienie technologicznego sensu oraz technicznej realności proponowanej koncepcji wypełnienia złoża, oraz dostarczenie podstaw do opracowania prototypu złoża zawierającego nowe wypełnienie. Doktorant powiązał zatem naukowy cel pracy z jego praktycznym znaczeniem, co wynika z założeń realizacji problemu wątkowego 10.1.2. w ramach którego wykonywana była praca badawcza. Słusznie przyjęto, że o przydatności proponowanej koncepcji wypełnienia będą decydować jego korzystniejsze właściwości technologiczno-techniczne i ekonomiczne w stosunku do rozwiązań stosowanych obecnie w kraju.

Zakres problemów naukowo-badawczych postawionych do rozwiązania w ramach realizacji głównego celu pracy jest bardzo obszerny i obejmuje :

- a/ opracowanie nowego rodzaju wypełnienia złoża biologicznego o niższym koszcie i prostrzej budowie w stosunku do wypełnień tradycyjnych,

- b/ określenie parametrów techniczno-ekonomicznych oraz technologicznych dla zaproponowanego wypełnienia z uwzględnieniem najistotniejszych przy ocenie parametrów dopuszczalnego obciążenia hydraulicznego i ładunkiem zanieczyszczenia,
- c/ ustalenie zależności efektywności oczyszczania ścieków na złożu z nowym wypełnieniem od wielkości parametrów obciążenia oraz od wysokości złoża.

Praca obejmuje 151 str tekstu łącznie z rysunkami i tablicami. Układ opracowania z racji logicznego podziału na 13 rozdziałów jest dobrze wyważony i przejrzysty. Zdjęcia bardzo dobrze ilustrują budowę i pracę złoża o nowym wypełnieniu.

Część analityczno-studialna zagadnienia jest napisana zwięźle, biorąc pod uwagę fakt przestudiowania przez doktoranta bardzo obszernej literatury liczącej 100 pozycji. Tak obszerne studium literaturowe jest w tym przypadku uzasadnione ogromną mnogością piśmiennictwa na temat nowych kierunków rozwoju złoża biologicznych.

Wydaje się, że można było bez szkody dla pracy pominąć opisy przykładów oczyszczania różnych ścieków na złożach biologicznych z tworzyw sztucznych / rozdział 4/ jeżeli nie zawierały analizy porównawczej kinetyki i efektywności procesu oczyszczania.

2. Ocena pracy.

Nakreślony przez doktoranta przedmiot i zakres badań zawiera cechy kwalifikujące pracę do problemów wymagających przy ich rozwiązaniu zastosowania metod naukowych.

Praca posiada element oryginalności o dużej wadze ponieważ dotyczy niezbadanego dotąd wypełnienia złoża biologi-

oznego z siatki plastikowej. Wartości poznawcze pracy są zatem znaczne. Praca daje wartościowy materiał do teorii i praktyki zastosowania tworzyw sztucznych w złożach biologicznych.

Metoda przyjęta przez doktoranta dla rozwiązania postawionego problemu jest prawidłowa. Dotyczy to zarówno metody i skali badań, starannego zaplanowania i wykonania aparatury doświadczalnej zakresu analiz i pomiarów technologicznych, oraz metody interpretacji zjawisk. Wszystkie te elementy pozwoliły doktorantowi w pełni zrealizować przewidziany zakres badań i osiągnąć zamierzony cel pracy.

Doktorant ustalił szereg istotnych z praktycznego i naukowego punktu widzenia zależności oraz spostrzeżeń technologicznych przydatnych do projektowania i obliczania orientacyjnego złoża o wypełnieniu siatkowym. Autor wykazał, że zaproponowane wypełnienie siatkowe charakteryzuje się korzystnymi wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi w stosunku do wypełnień tradycyjnych.

W świetle wymienionych walorów pracę doktorską mgr inż. Jerzego Ziętka oceniam w pełni pozytywnie. Do wyjaśnienia w trakcie obrony przedstawiam poniższe uwagi.

- Istotnym uzupełnieniem badań zmian ilościowych błony biologicznej byłoby zdaniem opiniującego zbilansowanie jej z ilością osadu usuniętego ze złoża i zawartego w solekach oczyszczonych oraz określenie zależności syntezy błony i odładowania osadu ze złoża od parametrów pracy nowego wypełnienia.
- ~~Nowe~~ Nowe wypełnienie może posiadać również wpływ na strukturę i własności sedymentacyjne usuwanego ze złoża osadu co należałoby uwzględnić w dalszych badaniach.
- Należy wyjaśnić czy wykonywano również porównawcze analizy BZT_5 i innych wskaźników w próbkach sączonych.

8. W n i o s k i

Pracę doktorską mgr inż. Jerzego Ziętka oceniam pozytywnie stwierdzając jednocześnie, że odpowiada ona wymaganiom ustawy z dnia 3 marca 1968 r. o stopniach i tytułach naukowych.

Na dodatnią ocenę pracy składają się następujące elementy zawarte w niej :

- ujęcie i rozwiązanie istotnego problemu naukowo-badawczego ,
- zastosowanie właściwej metody rozwiązania postawionego problemu,
- uzyskanie pozytywnych wyników o znaczeniu teoretycznym jak i praktycznym,
- dobrą znajomość zagadnień z zakresu technologii ścieków wykazaną przy opisie i wykonaniu badań.

W związku z powyższym ^{krw'sek}stawiam o dopuszczenie pracy mgr inż. Jerzego Ziętka pt. "Koncepcja wypełnienia złoża biologicznego w postaci siatki z tworzywa sztucznego oraz opracowanie jego charakterystyki technologicznej" do publicznej obrony.

Mewoz