

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział
Inżynierii Sanitarnej i Wodnej



ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr Tomasza Słomczyńskiego

**pt. „Kształtowanie się biocenozy i aktywności
enzymatycznej błony biologicznej na złożu
obrotowym w procesie oczyszczania ścieków
przemysłu drożdżowego”**

WARSZAWA

1986



TOMASZ SŁOMCZYŃSKI

KSZTAŁTOWANIE SIĘ BIOCENOZY I AKTYWNOŚCI
ENZYMATYCZNEJ BŁONY BIOLOGICZNEJ NA ZŁOŻU
OBROTOWYM W PROCESIE OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW
PRZEMYSŁU DROŻDŻOWEGO

P R A C A D O K T O R S K A

Promotor: doc dr hab. Zofia KAŃSKA

PRACA WYKONANA W INSTYTUCIE
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
WYDZIAŁU INŻYNIERII SANITARNEJ
I WODNEJ
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WARSZAWA — 1986 r



3-3-87d

Pani Doc. dr hab. Zofii KAŃSKIEJ — Promotorowi
składam serdeczne podziękowanie za kierowanie i wnikliwe
uwagi podczas wykonywania pracy.

Panu Doc. dr inż. Karolowi KRAJEWSKIEMU
Kierownikowi Zakładu Zastosowań Metod Matematycznych
oraz Pani dr inż. Elżbiecie TRYKOZKO składam
podziękowanie za umożliwienie wykonania obliczeń
matematycznych i pomoc przy ich opracowaniu.

SPIS TREŚCI

Str.

I. WPROWADZENIE

II. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

1. Ekologia złóż biologicznych	3
2. Charakterystyka procesu wzrostu błony biologicznej .	8
3. Metody pomiaru wzrostu błony biologicznej	14
3.1. Metody bezpośrednie	14
3.2. Metody pośrednie	15
3.2.1. Oznaczanie zawartości specyficznych składników pozakomórkowych	16
3.2.2. Oznaczanie liczebności komórek mikroorganizmów i zawartości specyficznych substancji komórko- wych	17
3.2.3. Określanie kinetyki wzrostu biomasy błony bio- logicznej i szybkości usuwania substratu	20
3.2.4. Pomiar aktywności enzymatycznej mikroorganizmów	21

III. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

1. Cel i zakres pracy	24
2. Materiał i metody	25
2.1. Urządzenie badawcze	25
2.2. Pobieranie próbek błony biologicznej	25
2.3. Badania chemiczne	27
2.4. Badania enzymatyczne	27
2.5. Badania mikrobiologiczne	29
2.6. Analiza mikroskopowa biocenozy	30
2.7. Obliczanie parametrów kinetycznych K_s , Z_{max} lub M_{max}	30

SPIS TREŚCI

	Strona
3. Wyniki badań	30
3.1. Charakterystyka procesu biodegradacji ścieków metodą złoża obrotowego	30
3.1.1. Ścieki	31
3.1.2. Parametry prowadzenia procesu	33
3.2. Aktywność enzymatyczna mikroorganizmów błony biologicznej	35
3.2.1. Aktywność ogólna dehydrogenaz - test TTC	36
3.2.2. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej	37
- test SDH	
3.2.3. Aktywność dehydrogenaz: mleczanowej - test LDH glutaminianowej - test Glut DH	38
3.3. Badania nad określeniem ilości aktywnej biomasy błony	39
3.4. Badania ilościowe bakterii i grzybów występują- cych w błonie	41
3.5. Charakterystyka organizmów zwierzęcych występu- jących w błonie	45
4. Podsumowanie i dyskusja	47
5. Wnioski	56
6. Piśmiennictwo	60
7. Spis tablic	69
8. Spis rysunków	70
9. Spis fotografii	70
10. Spis wykresów	71

I. W P R O W A D Z E N I E

Naturalne zbiorniki wodne zasiedlają zespoły organizmów powstałe z wielogatunkowych populacji. Niektóre z nich występują w toni wodnej jako formy wolnopływające, a inne tworzą śluzowate błonki na powierzchniach zanurzonych przedmiotów. Zdolność mikroorganizmów heterotroficznych do tworzenia błon przytwierdzonych do podłoża, wykorzystano w technice sanitarnej do oczyszczania ścieków metodą złóż biologicznych. Sposoby wdrożenia tej metody są doskonałe od wielu lat w celu optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Równolegle rozwijają się badania biologiczne nad określeniem struktury błony, składu ilościowego i gatunkowego tworzących ją mikroorganizmów oraz dynamiki ich rozwoju.

Począwszy od lat 60-tych obserwuje się intensywny rozwój badań nad biodegradacją ścieków metodą złóż biologicznych. W badaniach tych podejmowane są próby interpretacji przebiegu procesu na podstawie kinetyki reakcji biochemicznych oraz szybkości wzrostu biomasy błony.

W tym aspekcie ocena stanu fizjologicznego mikroorganizmów występujących w biocenozie, ma podstawowe znaczenie w prognozowaniu przebiegu procesu oczyszczania ścieków. Oceny tej można dokonać na podstawie pomiarów aktywności enzymatycznej drobnoustrojów jak również obliczeń parametrów kinetycznych reakcji biochemicznych. Do chwili obecnej badania w tym zakresie prowadzone były jedynie w odniesieniu do biocenozy osadu czynnego oraz biocenoz biorących udział w rozkładzie ścieków na drodze beztlenowej.

W pracy niniejszej podjęto próbę zastosowania w/w
wskaźników aktywności fizjologicznej mikroorganizmów do
oceny rozwoju błony biologicznej złoża obrotowego, w za-
leżności od zmiennych parametrów technologicznych procesu
oczyszczania ścieków z produkcji drożdży.



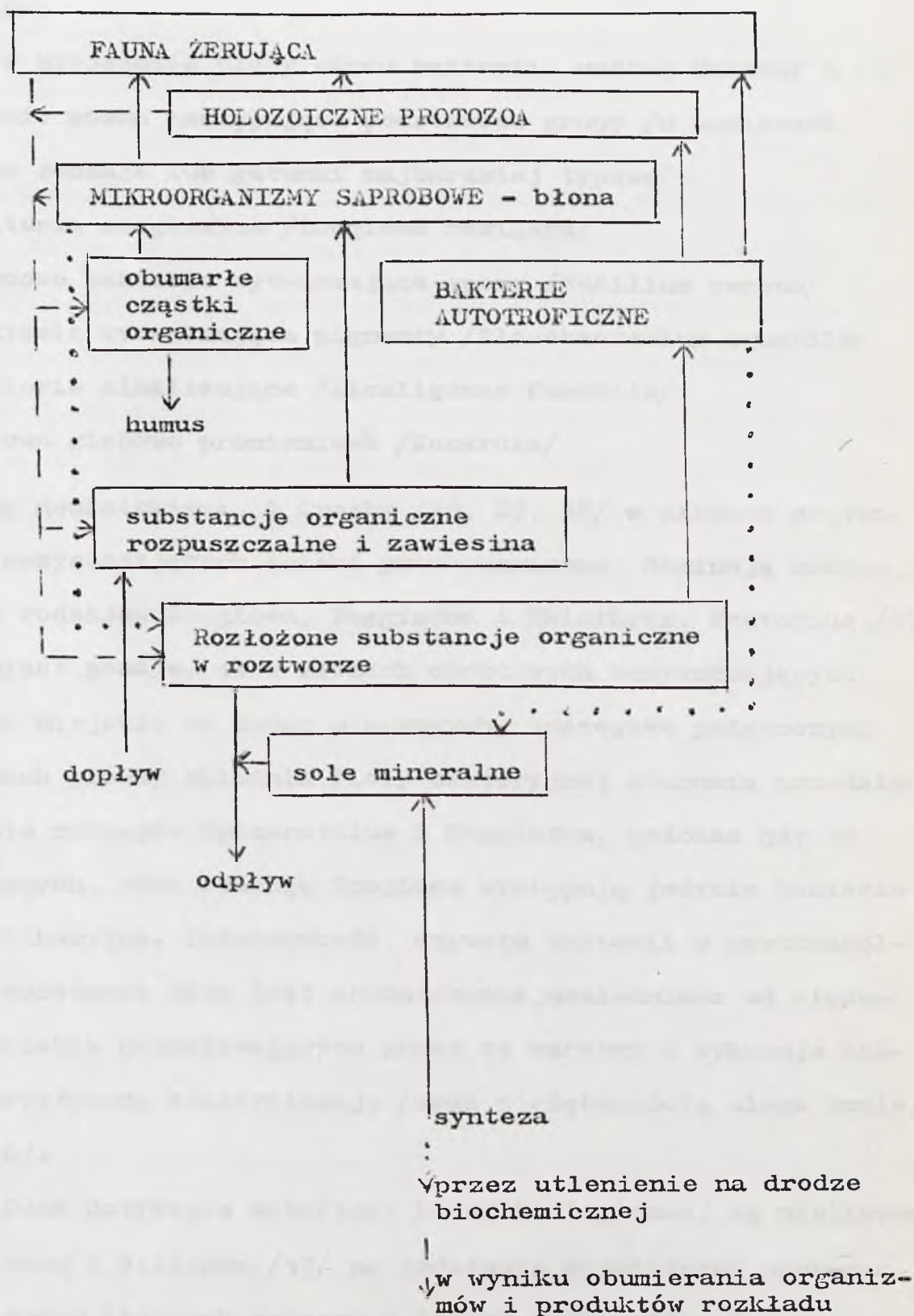
II. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

1. EKOLOGIA ZŁÓŻ BIOLOGICZNYCH

Hawkes /24/ i Brink /5/ charakteryzują złoża biologiczne jako niekompletne, otwarte ekosystemy, gdzie dominuje rozkład materii organicznej tj. heterotrofia. Czynniki abiotycznymi są związki organiczne i mineralne w postaci rozpuszczonej oraz zawiesiny, powietrze, jak również materiał, na którym rozwija się biomasa. Organizmy występujące w błonie spełniają rolę czynników biotycznych. Barker, Crozier i Harris podkreślają jednak, że ogólnie przyjęta zasada ekologiczna odwrotnej proporcjonalności wielkości populacji do różnorodności gatunków na ogół nie znajduje potwierdzenia w odniesieniu do fauny złóż biologicznych /za Ecological Aspects of Used - water Treatment 17/.

W złożach tak jak, w innych ekosystemach następuje przepływ materii i energii. Wg Hawkesa /24/ rys. 1 znaczna część dopływającej substancji organicznej zużywana jest podczas respiracji mikroorganizmów heterotroficznych, a odpowiednia jej ilość wykorzystywana jest na budowę nowej biomasy. Obecne w błonie chemosyntetyzujące bakterie autotroficzne nie wywierają znacznego wpływu na przyrost biomasy. Organizmy saprofityczne i autotroficzne są równocześnie pokarmem dla pierwotniaków i fauny żerującej. Natomiast odpływ ze złoża zawiera produkty metabolizmu, komórki obumarłe jak również pewną ilość żywych organizmów błony.

Podstawowymi organizmami sūprofitycznymi w błonie z punktu widzenia ich roli w procesie mineralizacji ścieków są bakterie i grzyby, których skład gatunkowy zależy od rodzajów



Rys. 1. Schemat głównych dróg przenoszenia materii w procesie oczyszczania ścieków organicznych na złożach /Hawkes 1963/

ścieków.

W biocenozie błony wśród bakterii, według Calaway'a /6/ wyróżnić można następujące podstawowe grupy /w nawiasach podano rodzaje lub gatunki najbardziej typowe/:

- bakterie zooglealne /*Zoogloea ramigera*/
- tlenowe bakterie wytwarzające spory /*Bacillus cereus*/
- bakterie wytwarzające pigmenty /*Flavobacterium aquatile*/
- bakterie alkalizujące /*Alcaligenes faecalis*/
- typowe glebowe promieniowce /*Nocardia*/

Według Heukelekiana i Crosby /26, 27, 28/ w złożach zraszanych oczyszczających ścieki petrochemiczne, dominują bakterie z rodzajów *Zoogloea*, *Beggiatoa* i *Thiothrix*. Pretorius /47/ natomiast podaje, że w złożach obrotowych oczyszczających ścieki miejskie na dwóch pierwszych szeregowo połączonych tarczach główny składnik flory bakteryjnej stanowią przedstawiciele rodzajów *Sphaerotilus* i *Beggiatoa*, podczas gdy na następnych, obok rodzaju *Zoogloea* występują jedynie bakterie nitryfikacyjne. Intensywność wzrostu bakterii w poszczególnych warstwach złoża jest zróżnicowana, uzależniona od stężenia ścieków przepływających przez te warstwy i wykazuje charakterystyczną stratyfikację /wraz z głębokością ulega zmniejszeniu/.

Dane dotyczące mykoflory błony biologicznej są nieliczne. Tomlinson i Williams /17/ na podstawie doświadczeń prowadzonych przez licznych badaczy w latach 1938 - 53 w Water Pollution Research Laboratory w Birmingham podaje, że dominującymi gatunkami grzybów, występującymi w błonie biologicznej na złożach zraszanych były: *Sepedonium* sp. *Subbaromyces*

splendens, Ascoidea rubescens, Fusarium aquaeductuum, Geotrichum candidum i Trichosporon cutaneum. Pretorius /47/ donosi o rozwoju grzybów z rodzaju Athrobotrys w błonie złóż oczyszczających ścieki miejskie.

Jakkolwiek w procesie oczyszczania ścieków na złożach biorą udział mikroorganizmy heterotroficzne i chemosyntetyzujące możliwy jest rozwój organizmów fotosyntetyzujących szczególnie na powierzchniach eksponowanych na światło. Według Bensona - Evansa i Williama /17/ na złożach zraszanych rozwijać się mogą glony: z grupy sinic i zielenic /Chlorella, Chlorococcum, Phormidium, Oscillatoria, Stigeoclonium i Ulothrix/ oraz niektóre okrzemki. Wzrost tych organizmów nie jest jednak pożądany z uwagi na fakt, że nie biorą one udziału w procesie usuwania zanieczyszczeń ze ścieków, a rozwijając się w górnych warstwach zmniejszają powierzchnię czynną złoża, która powinna być dostępna dla bakterii i grzybów. Ponadto rozwijając się masowo, utrudniają one penetrację tlenu do złoża oraz przepływ przez nie ścieków. Zapobiegać temu można poprzez eliminację dostępu światła.

W błonie występują liczne organizmy zwierzęce holozoiczne tzw. mikro- i makrofauna. Mikrofauna reprezentowana jest przez wiele gatunków pierwotniaków charakterystycznych dla odpowiednich stref saprobowych. Curds /17/ podaje wykaz Protozoa obejmujący 219 taksonów, z których wiciowe stanowią 65, zarodkowe 38, a orzęski 116 gatunków. Z badań Curdsa i Cockburna /13/ nad mikrofauną 46 oczyszczalni ścieków ze złożami zraszanymi wynika, że dominującymi pierwotniakami w błonie biologicznej są orzęski. Uważa się je za ważne

wskazniki efektu oczyszczania ścieków /12, 13, 14, 17, 37/.

Wielu autorów podkreśla duże znaczenie pierwotniaków w bioce-
nozie błony. Mikroorganizmy te odżywiając się bakteriami od-
mładzają ich populację, co przyczynia się do utrzymywania
ich wysokiej aktywności biochemicznej. Niektóre gatunki pier-
wotniaków są zdolne do wytwarzania śluzu, co wpływa pozytyw-
nie na strukturę błony biologicznej.

Makrofauna, często nazywana żerującą, reprezentowana
jest przez nicienie, wrotki, pierścienice i larwy owadów.
Odgrywa ona istotną rolę w regulacji ilości biomasy błony.
Wg Calaway'a /7/ najliczniejszą grupą Metazoa są nicienie,
którym przypisuje się duże znaczenie w usuwaniu błony.

Wielu badaczy zwracało uwagę na skład chemiczny błony
biologicznej, który kształtuje się w zależności od metaboliz-
mu komórkowego organizmów jak również składu doprowadzanych
ścieków. Makroskopowo błona charakteryzuje się jako kleista,
lepka, galaretowata masa przylegająca do wypełnienia złoża.

Badania Jonesa i wsp. /30/ wykazały, że bakterie są osa-
dzone w sposób nieuporządkowany w galaretowatej substancji
międzykomórkowej złożonej z polisacharydów i wody. Objętość
komórek mikroorganizmów stanowi tylko niewielką część ogólnej
objętości błony. Wilkinson /69/, porównując bakteryjne poli-
sacharydy stwierdził, że materiał pochewkowy jest uwodniony,
zawiera około 98 % wody.

Gaudy i Wolfe /18/ stwierdzili, że w skład chemiczny błony
wchodzi głównie węglowodany /dekstran, fruktozany, laktozany/
zawierające niewielkie ilości azotu, który jest przypuszczal-
nie związany w polimerach kwasów hialuronowych lub podobnych
składnikach. Węglowodany polimeryzują wytwarzając rozgałęzio-

ne lub łańcuchowe polisacharydy.

Jones i wsp. /30/ badali zdolność przenikania barwników poprzez błony biologiczne w celu stwierdzenia możliwości penetracji substratu w głąb komórek. Właściwość ta ma ważne znaczenie w przenoszeniu masy. Mikrofotografie błony przedstawione przez autorów ilustrują zagęszczenie materiału węglowodanowego w obszarach przylegających bezpośrednio do mikroorganizmów. Po dodaniu barwnika komórki nie barwią się intensywnie, co sugeruje bardzo powolną dyfuzję barwnika poprzez otaczający je materiał.

Pavoni /45/ badał wpływ materiału otaczającego komórki bakteryjne na skład podłoża hodowlanego. Autor wykazał, że podczas wzrostu i autolizy bakterii na podłożu płynnym substancje wchodzące w skład pochwerek dostawały się w sposób ciągły do roztworu. Fakt ten sugeruje możliwość ich oddziaływania na skład chemiczny ścieków odpływających ze złoża biologicznego.

Przytoczone dane wskazują, że głównie węglowodany występujące w błonie mikroorganizmów mogą znacznie utrudniać transport substancji pokarmowych do wnętrza komórek. Ponadto nagromadzanie się materiału pochweczkowego może wywierać niekorzystny wpływ na skład chemiczny ścieków odpływających.

2. CHARAKTERYSTYKA PROCESU WZROSTU BŁONY BIOLOGICZNEJ

Efekt procesu oczyszczania ścieków na złożach biologicznych zależy w dużej mierze od dynamiki wzrostu błony biologicznej. W tym aspekcie podstawowe znaczenie mają mechanizmy regulujące pierwszy etap tego procesu tj. przytwierdzenie się organizmów do powierzchni wypełnienia złoża.

Według Zobell'a /za Chăracklisem 8/ proces ten przebiega dwustopniowo. W pierwszym etapie komórki drobnoustrojów adsorbują się na powierzchni wypełnienia, a w drugim ulegają przyczepieniu do niej za pośrednictwem substancji wydzielanych pozakomórkowo.

Meadows /42/ wnioskował, że zjawisko to jest zależne od właściwości błony komórkowej. Stwierdził on, że ruchliwe Gram /-/ bakterie łatwo przylegają i odczepiają się od szkiełek, przy czym zachodzi to w różnym czasie: od kilku sekund do wielu godzin. Bakterie zabite promieniowaniem UV, u których nie następuje zniszczenie struktur błony komórkowej i otoczek przytwierdzają się łatwo tak jak żyjące bakterie. Natomiast na skutek zmian w strukturze błony komórkowej i otoczek pod wpływem podwyższonej temperatury i formaliny, martwe komórki przytwierdzają się gorzej.

Z danych piśmiennictwa wynika, że istnieje kilka teorii wzrostu błony biologicznej. Ich autorzy przyjmują odmienne stanowiska odnośnie wpływu czynników ograniczających takich, jak dostępność tlenu czy substratu na rozwój mikroorganizmów. Teoria Sandersa /54/ zakłada, że wzrost błony na złożu następuje w trzech fazach.

W pierwszej fazie wzrostu logarytmicznego komórki przytwierdzają się na całej powierzchni złoża. Faza ta trwa do chwili pokrycia powierzchni jedną warstwą mikroorganizmów w postaci cienkiej błonki. Podczas tego okresu każdy organizm na powierzchni ma zapewnioną do swego rozwoju odpowiednią ilość substratu i tlenu. Ponieważ wszystkie organizmy

są w tej samej fazie wzrostu, powoduje to zmiany w szybkości usuwania substratu i tlenu, które są proporcjonalne do wzrostu biomasy organizmów.

Dalszy okres namnażania się mikroorganizmów trwający do osiągnięcia pewnej grubości błony, ograniczającej dyfuzję tlenu, określany jest jako druga faza wzrostu - przejściowa. Podczas tego okresu powierzchnia jest czynnikiem ograniczającym wzrost błony, ponieważ nowe generacje organizmów muszą tworzyć nowe warstwy na już istniejących. Tak więc w tej fazie błona biologiczna składa się z kilku warstw mikroorganizmów.

W zewnętrznej, powierzchniowej warstwie substrat i tlen nie są czynnikami ograniczającymi wzrost.

Następne, natomiast warstwy położone głębiej, otrzymują ilości tlenu i substratu zależnie od stopnia dyfuzji poprzez zewnętrzną warstwę. W stosunku do warstwy powierzchniowej mikroorganizmy w warstwach wewnętrznych wchodzą w opóźniony lub endogeniczny okres wzrostu. W czasie trwania fazy przejściowej, wzrost biomasy organizmów może być w przybliżeniu równy czasowi stałej szybkości wzrostu organizmów w zewnętrznej warstwie. Jednakże, z uwagi na to, że organizmy znajdują się przynajmniej w dwóch stadiach wzrostu, zużycie tlenu i substratu nie może być proporcjonalne do szybkości wzrostu biomasy.

Trzecia i najważniejsza faza stanu stałego obejmuje okres od czasu, kiedy dyfuzja tlenu jest czynnikiem ograniczającym rozwój błony, aż do chwili jej oderwania się od podłoża. W fazie tej można wyróżnić dwie zasadnicze warstwy: tlenową i beztlenową. Z chwilą osiągnięcia stanu stałego,

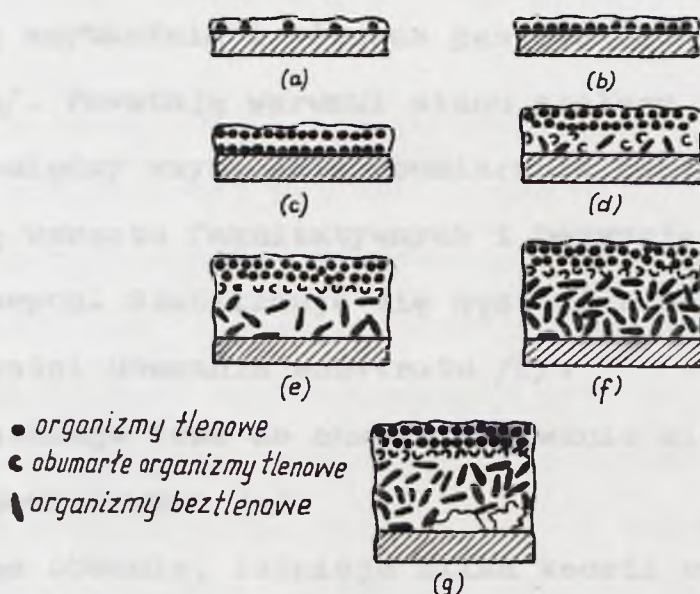
warstwa tlenowa osiąga stałą grubość wyznaczoną dyfuzją tlenu w głąb błony. Warstwa poniżej tej grubości staje się beztlenowa, tworzą ją obumarłe organizmy tlenowe oraz te, które mają zdolność do rozkładu związków organicznych w warunkach beztlenowych. Zmiany biomasy w warstwie aktywnej i zmiany w szybkości zużycia tlenu są równe zero. Jednakże zupełnie inaczej kształtować się będą zmiany w stężeniu substratu.

W warstwie beztlenowej pod aktywną masą organizmów powstają produkty pośrednie niecałkowitego utleniania związków organicznych, jak również związki uwolnione z lizy obumarłych komórek mikroorganizmów. Produkty te dyfundując na zewnątrz, zwiększają ilość substratu dostępną dla organizmów warstwy aktywnej. Powoduje to zmniejszenie zużycia substratów występujących w ściekach. Faza stanu stałego charakteryzuje się wg Sandersa /54/ liniowym wzrostem biomasy mikroorganizmów, stałym zużyciem tlenu, spadkiem szybkości usuwania substratu w czasie.

Dane Kornegay'a i Andrews'a /38/, Tomlinsona i Snaddon /63/ nie potwierdziły jednak teorii Sanders'a. Uzyskane przez nich wyniki badań były podstawą do sformułowania drugiej teorii, która postuluje istnienie przy powierzchni błony, aktywnej warstwy organizmów, w której szybkość usuwania substratu jest maksymalna i stała aż do momentu oderwania się błony.

Hoehn i Ray /29/ stwierdzili, że różnice pomiędzy obu przedstawionymi teoriami rozwoju błony, które dotyczą zależności pomiędzy szybkością usuwania substratu i grubością błony, wynikają przede wszystkim z różnych metod analizowania

wyników. Uważają oni, że teorie te nie wykluczają się wzajemnie i na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowali pewne modyfikacje tych koncepcji, związane ze wzrostem błony i zmianami w jej gęstości. Poniżej przedstawiono poszczególne fazy wzrostu błony wg Hoehna /29/.



Błona we wczesnym stadium rozwoju charakteryzuje się małą gęstością, zbudowana jest z galaretowatej substancji międzykomórkowej z niewielką liczbą bakterii /a/.

Następnie gęstość błony wzrasta w związku z szybkim rozwojem mikroorganizmów. Rozwój ten odbywa się przy pełnym dostępie substratu i tlenu /b, c/. Z chwilą osiągnięcia przez błonę grubości, przy której tlen staje się czynnikiem ograniczającym wzrost, organizmy tlenowe zaczynają obumierać, a względne

tlenowce zmieniają swój metabolizm na beztlenowy. Podczas lizy bakterii tlenowych uwalniane substancje komórkowe są substratem dla organizmów beztlenowych, których pośrednie produkty metabolizmu dyfundują do warstw powierzchniowych. Tam ulegają rozkładowi lub dostają się do odpływających ścieków. Następuje spadek gęstości błony i szybkości usuwania substratu /d/.

Fakultatywne i beztlenowe mikroorganizmy dostosowują się do nowych warunków środowiskowych. Rozwój ich odbywa się prawie z maksymalną szybkością i wówczas gęstość błony nie ulega obniżeniu /e/. Powstają warunki stanu stałego tj. ustala się równowaga pomiędzy szybkością obumierania bakterii tlenowych, a szybkością wzrostu fakultatywnych i bezwzględnych organizmów beztlenowych. Stabilizuje się gęstość błony, następnie wzrost szybkości usuwania substratu /f/.

Faza stanu stałego trwa do chwili oderwania się błony biologicznej od powierzchni /g/.

Tak więc obecnie, istnieje kilka teorii wzrostu błony biologicznej, które nie wykluczają się wzajemnie. Wg Hoehna /29/ koncepcja Sandersa dotyczy wzrostu błon w warunkach, w których czynnikiem ograniczającym jest dostępność substratu, a w teoriach jego i innych autorów /Kornegay'a i Andrews /38/, Tomlinsona i Snaddon /63/ czynnikiem limitującym jest tlen.

3. METODY POMIARU WZROSTU BŁONY BIOLOGICZNEJ

Jednym z głównych czynników warunkujących eliminację zanieczyszczeń ze ścieków metodą złoza biologicznego jest ilość i jakość błony biologicznej, a w szczególności aktywność metaboliczna mikroorganizmów związana z odpowiednią fazą rozwoju błony. Stąd, dobór odpowiednich metod pomiaru w/w parametrów charakteryzujących wzrost błony może mieć podstawowe znaczenie przy ocenie przebiegu procesu oczyszczania ścieków.

Wśród stosowanych do chwili obecnej metod oceny rozwoju błony biologicznej wyróżnić można dwie podstawowe grupy: bezpośrednie i pośrednie. Bezpośrednie polegają na określeniu grubości błony lub ilości jej biomasy, a pośrednie oparte są na oznaczaniu liczby mikroorganizmów oraz związków chemicznych wydzielanych pozakomórkowo i w komórkach drobnoustrojów. Do metod pośrednich można także zaliczyć badania nad wyznaczaniem parametrów kinetyki szybkości wzrostu biomasy i usuwania substratu w zależności od stężenia związków organicznych w ściekach.

Z danych piśmiennictwa wynika, że badania aktywności enzymatycznej mikroorganizmów szeroko stosowane do kontroli procesu osadu czynnego i rozkładu ścieków na drodze beztlenowej, w odniesieniu do procesu prowadzonego metodą złóż biologicznych do chwili obecnej nie były wykorzystywane.

3.1. Metody bezpośrednie

Jak podano wyżej stosowane są dwie bezpośrednie metody pomiaru błony oparte na badaniach ilości biomasy i grubości

blony. Parametry te wyznacza się w powiązaniu z gęstością

blony. Grubość błony oznaczana może być trzema metodami.

Norman i wsp. /44/ pomiaru tego dokonywali za pomocą mikro-manipulatora połączanego z sondą elektryczną na podstawie różnic w przewodnictwie elektrycznym błony i powierzchni /wykonanej ze stali nierdzewnej/, na której rośnie błona. Zelver /9/ określał grubość błony w reaktorze tubularnym poprzez pomiar jej objętości na znanej powierzchni.

Najprostszą metodą zastosował w 1982 r. Trulear /64/, który dokonywał tego pomiaru przy użyciu mikroskopu optycznego pobierając próbki z reaktora pierścieniowego. Metoda ta jest jednak mało dokładna, duży wpływ ma wynik oznaczenia ma współczynnik refrakcji mokrej błony.

Biomasa błony jest określona powszechnie stosowaną metodą wagową tj. jako sucha masa lub straty po prażeniu.

3.2. Metody pośrednie

Metody pośrednie pomiaru ilości i aktywności metabolicznej błony biologicznej polegają na oznaczaniu:

- zawartości specyficznych składników wydzielanych przez mikroorganizmy pozakomórkowo,
- liczebności komórek mikroorganizmów i zawartości specyficznych substancji komórkowych,
- kinetyki wzrostu biomasy błony biologicznej i szybkości usuwania substratu,
- aktywności enzymatycznej mikroorganizmów.

3.2.1. Oznaczanie zawartości specyficznych składników pozakomórkowych

Ilość błony może być określana na podstawie pomiaru zawartości związków organicznych wydzielanych przez komórki mikroorganizmów. Najczęściej oznacza się zawartość polisacharydów, ogólnego węgla organicznego /OWO/ lub zawartość związków organicznych w oparciu o wskaźnik ChZT. Należy podkreślić, że konieczne jest wykonanie obliczeń pozwalających na określenie korelacji pomiędzy zawartością specyficznego składnika, a ilością biomasy błony. Pomiar ilości błony jest zwykle obarczony większym błędem aniżeli oznaczenia składnika specyficznego. Stąd też Characklis /9/ przedstawił granice detekcji i błąd standardowy wynikający ze stosowanych metod analitycznych.

Opierając się na badaniach Jonesa i wsp., Costertona i wsp. z których wynika, że w błonie rozwijającej się na złożach występują duże ilości polisacharydów, Bryers /9/ zastosował je jako wskaźnik do kontroli wczesnych stadiów rozwoju błony w reaktorze tubularnym.

Do oznaczania polisacharydów wykorzystał metodę Dubois'a i wsp. z fenolem i stężonym kwasem siarkowym.

Pomiar zawartości związków organicznych oznaczonych jako ChZT Bryers /9/ wykorzystał do pośredniego określania ilości błony biologicznej. Prowadząc badania w reaktorze tubularnym zastosował zmodyfikowaną metodę ChZT osiągając wysoką czułość / $6 \mu\text{g ChZT/cm}^2$ / i dokładność / $\pm 0,10 \mu\text{g ChZT/cm}^2$ /.

Trulear /9/ kontrolował rozwój błony w reaktorze pierścieniowym wykorzystując jako wskaźnik ogólny węgiel organiczny. Czułość i dokładność tej metody wynosiła odpowiednio mniej niż 2,0 i $\pm 0,45 \mu\text{g}$ ogólnego węgla organicznego/cm².

Pośredni pomiar ilości błony biologicznej oparty na określaniu specyficznych jej składników posiada następujące zalety:

- niektóre z w/wym. metod są bardziej czułe niż bezpośrednie
- dostarczają informacji odnośnie składu chemicznego błony.

3.2.2. Oznaczanie liczebności komórek mikroorganizmów i zawartości specyficznych substancji komórkowych

Istnieje kilka metod analitycznych - powszechnie stosowanych lub proponowanych - do kontroli rozwoju i aktywności metabolicznej błony biologicznej opierających się na pomiarze liczby komórek i zawartości substancji komórkowych, które wg Characklisa i wsp. /9/ zestawiono poniżej:

Metoda pomiaru	Rodzaj oznaczenia
Bezpośrednie liczenie	Ogólna liczba komórek, w tym komórek żywych Ogólna liczba komórek przy użyciu mikroskopu epifluorescencyjnego
Chemiczne oznaczenia substancji komórkowej	Adenozynotrójfosforan /ATP/ Lipopolisacharydy /LPS/ Ogólna ilość białka Zasadowa fosfataza Kwas muraminowy Poli - β - hydroksymaślan



Opierając się na oznaczaniu ogólnej liczby komórek i liczby komórek żywych jako wskaźnika ilości błony Corpe /11/ badał jej rozwój na szkiełkach szklanych zanurzonych w wodzie morskiej.

Wyniki uzyskane w czasie ekspozycji szkiełek wskazywały na wzrastającą ogólną liczbę mikroorganizmów. Z analizy liczby komórek żywych i martwych wynikało, że liczba komórek żywych była zmienna. W badaniach tych jednak nie określono grubości ani ilości biomasy błony. Podobne badania wykonał Gerchakov i wsp. /20/ zanurzając w wodzie morskiej pralgometry wykonane z różnych materiałów /stal nierdzewna, szkło, mosiądz, stop miedzi-owo-niklowy/. Uzyskano wykładniczy wzrost ilości żywych komórek wraz z czasem ekspozycji na wszystkich stosowanych materiałach. Przy czym największą szybkość wzrostu błony stwierdzono w pralgometrach ze stali nierdzewnej.

W ostatnich latach dużego znaczenia nabrała technika epifluorescencyjna, stosowana do określenia liczby żywych komórek. Technikę tę stosowało wielu autorów, Geesey i wsp. /19/ do badania rozwoju błony biologicznej tworzącej się w strumieniach alpejskich, Trulear /9/ w reaktorze pierścieniowym, Costerton /za Characklisem /9/ w wymiennikach cieplnych.

W procesie mineralizacji ścieków poza kontrolą ilości biomasy na podstawie liczebności drobnoustrojów istotne jest jak już zaznaczono, oznaczanie ich aktywności metabolicznej.

Jednym z parametrów najczęściej stosowanych do pomiaru aktywności błony biologicznej jest zawartość kwasu adenozynotrójfosforowego - ATP, występującego tylko w żywych komórkach

/23/. La Motta /41/ obserwował w reaktorze pierścieniowym proporcjonalne zwiększenie się zawartości ATP wraz ze wzrostem grubości błony do 320 μm .

Jednocześnie stwierdził, że powyżej tej grubości błony ilość ATP jest stała, tak więc oznaczona grubość 320 μm stanowi tzw. aktywną warstwę.

Lipopolisacharydy /LPS/ są specyficznymi składnikami błony komórkowej bakterii Gram /-/. Dexter i wsp. /16/ wykazali, że zawartość lipopolisacharydów jest proporcjonalna do ogólnej ilości komórek. Badania wykonywano przy użyciu skaningowego elektronowego mikroskopu. LPS mogą wypłukiwać się z błon komórkowych do cieczy otaczających bakterie. Własność tę wykorzystał Costerton[†] /za Characklisem 9/ do kontroli obecności błon biologicznych w systemach chłodzących elektrowni, poprzez pomiar w kondensatach ilości rozpuszczonych lipopolisacharydów. Jednak metoda ta jest kosztowna i daje nieporównywalne wyniki.

White i wsp. /63/ zaproponowali do pomiaru aktywności biomasy oznaczenia następujących składników komórkowych bakterii:

- fosfatazy zasadowej
- kwasu muraminowego
- poli- β -hydroksymaślanu
- fosfolipidów

Należy podkreślić, że do chwili obecnej jest niewiele danych odnośnie dokładności i czułości tych metod przy stosowaniu ich do określania ilości błony biologicznej.

Pośredni pomiar rozwoju błony w wyniku określania liczby komórek i zawartości substancji komórkowych pozwala ocenić

stan fizjologiczny mikroorganizmów. Metody te charakteryzują się na ogół dużą czułością.

2.3. Określanie kinetyki wzrostu biomasy błony biologicznej i szybkości usuwania substratu

Równanie Monoda charakteryzujące kinetykę wzrostu kultur bakteryjnych znalazło zastosowanie również do opisu rozwoju mikroorganizmów w procesie osadu czynnego i złóż biologicznych. Model ten opisuje przyrost biomasy w funkcji czasu:

$$\frac{dx}{dt} = \mu x$$

gdzie:

x - stężenie organizmów

μ - swoista szybkość wzrostu

W przypadku kultur, gdzie wzrost mikroorganizmów ograniczony jest stężeniem substratu, swoistą szybkość wzrostu określa równanie:

$$\mu = \mu_{\max} [S / (K_S + S)]$$

w którym:

$\mu_{\max}$ - maksymalna swoista szybkość wzrostu

K_S - stała nasycenia

S - stężenie substratu

W oparciu o analizę parametrów kinetycznych Atkinson i Daoud /1/ i La Motta /41/ do oceny rozwoju błony przyjęli kryteria szybkości usuwania substratów lub akceptorów wodoru. Trulear i Characklis /64/ przeprowadzili badania w reaktorze pierścieniowym i stwierdzili wzrost szybkości zużycia glukozy wraz z przyrostem biomasy błony do pewnej jej grubości.

Wyznaczyli na tej podstawie tzw. aktywną warstwę błony.

3.2.4. Pomiar aktywności enzymatycznej mikroorganizmów

Jak podano uprzednio, w piśmiennictwie, nie znaleziono danych odnośnie oceny aktywności biochemicznej mikroorganizmów błony na podstawie badań enzymatycznych.

Stwierdzić, należy że oznaczenia takie wykonuje się często w glebie, wodzie, osadzie czynnym jak i w osadach beztlenowych do określenia intensywności przemian biochemicznych u drobnoustrojów. Przydatność pomiaru aktywności, niektórych enzymów do oceny aktywności biochemicznej bakterii stwierdzono w odniesieniu do bakterii bytujących w glebie /35, 56/, osadach dennych /55/ i w toni zbiorników wodnych /3/.

W procesie oczyszczania ścieków osadem czynnym jako wskaźnik ogólnej aktywności biocenozy przyjęto aktywność oddechową na podstawie pomiarów respirometrycznych /2, 22, 34, 65, 66/ oraz aktywność dehydrogenazową testem TTC /4, 36, 43, 48, 50, 53, 66/. Vaicum i wsp. /70/ badając osad czynny stwierdzili, że aktywność enzymów oksydo-redukcyjnych koreluje ze wskaźnikami fizyko-chemicznymi powszechnie stosowanymi w ocenie efektu oczyszczania ścieków.

Inne testy enzymatyczne znalazły także zastosowanie do pomiaru aktywności metabolicznej osadu czynnego i osadów beztlenowych /33, 39, 57, 58, 59, 60, 61/. Richards i wsp. /51/ opierając się na metodach opracowanych przez Teubera i Brodischa /58, 59/ wybrali 8 enzymów do oceny pracy osadu czynnego w 13 oczyszczalniach miejskich w procesie prowadzonym przy różnych parametrach technologicznych. Określali oni

aktywność kwaśnej i zasadowej fosfatdzy, ureazy, proteazy, L-glukozydazy, arylsulfatazy, L-alaniny, aminopeptydazy i dehydrogenaz - test TTC w zależności od szybkości usuwania ChZT. Wartości aktywności pierwszych dwóch enzymów nie wykazywały zależności od efektu oczyszczania ścieków, a ureazy - tylko niewielką korelacją z szybkością usuwania ChZT przy niskich ładunkach zanieczyszczeń. Aktywność pozostałych badanych enzymów była zależna od tempa eliminacji ChZT i osiągała maksymalne wartości przy szybkości usuwania ok. 0,3 g ChZT/g/d. Richards i wsp. /51/ zastosowali kinetyczny model Chase /10/ do określenia zależności pomiędzy aktywnością badanych enzymów a szybkością usuwania zanieczyszczeń określanych jako ChZT.

Model ten zakłada, że szybkość metabolizmu jest głównie kontrolowana poprzez stężenie enzymu w biomasie błony. Stężenie enzymu w warunkach stanu stałego zależy od stężenia substratu. Ponadto dla danego stężenia substratu istnieje optymalny poziom enzymów potrzebny do prawidłowego metabolizmu tego substratu. W odpowiedzi na zmiany w stężeniu substratu, zmienia się stężenie enzymu do chwili osiągnięcia poziomu optymalnego.

Równowaga poziomu stężenia enzymów wyrażona jest przez równanie:

$$Z = Z_{\max} [S / (K_S + S)]$$

gdzie $Z_{\max}$ jest maksymalnym możliwym stężeniem enzymu, K_S jest stałą substratową, a S stężeniem substratu.

Badania aktywności enzymatycznej mikroorganizmów osadu czynnego wykazały, że oznaczenie to stanowić może podstawowe badanie kontrolne przy ocenie pracy oczyszczalni biologicznych. Daje to podstawę do przypuszczenia, że w powiązaniu z odpowiednim modelem kinetycznym wzrostu biomasy i usuwania zanieczyszczeń ze ścieków badania aktywności enzymatycznej biocenozy mogą być wielce przydatne w prognozowaniu przebiegu procesu oczyszczania ścieków w złożu w warunkach procesu prowadzonego przy zmiennym ładunku zanieczyszczeń w ściekach dopływających.

III. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

1. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było określenie parametrów technologicznych złoża obrotowego, przy których uzyskać można efektywny rozwój i wysoką aktywność enzymatyczną biocenozy biorącej udział w procesie oczyszczania ścieków po zdrożdżowaniu wywaru melsowego.

Zakres pracy obejmował określenie w błonie biologicznej złoża:

- a/ aktywności enzymatycznej mikroorganizmów z uwzględnieniem aktywności ogólnej dehydrogenaz, aktywności dehydrogenaz specyficznych - bursztynianowej, glutaminianowej i mleczanowej,
- b/ liczebności bakterii i grzybów,
- c/ składu jakościowego i ilościowego organizmów zwierzęcych,
- d/ parametrów kinetycznych opisujących zależności pomiędzy stężeniem ścieków, a aktywnością enzymatyczną, liczbą bakterii i grzybów /p. a - c/,
- e/ ilości aktywnej biomasy.

Badania prowadzono przy zmiennych parametrach takich jak: stężenie ścieków, prędkość obwodowa i długość taśmy.

Przyjęty zakres pracy zmierzał do wytypowania parametrów technicznych dla złoża obrotowego, przy których aktywność enzymatyczna i rozwój mikroorganizmów zapewnić mogą wysoki stopień oczyszczania ścieków.

Powyższe badania stanowić miały także podstawę do określenia spośród testów enzymatycznych, opracowanych dla celów niniejszej pracy, oznaczeń mogących znaleźć zastosowanie jako badania kontrolne przebiegu procesów biochemicznych na złożach.

2. MATERIAL I METODY

2.1. Urządzenie badawcze

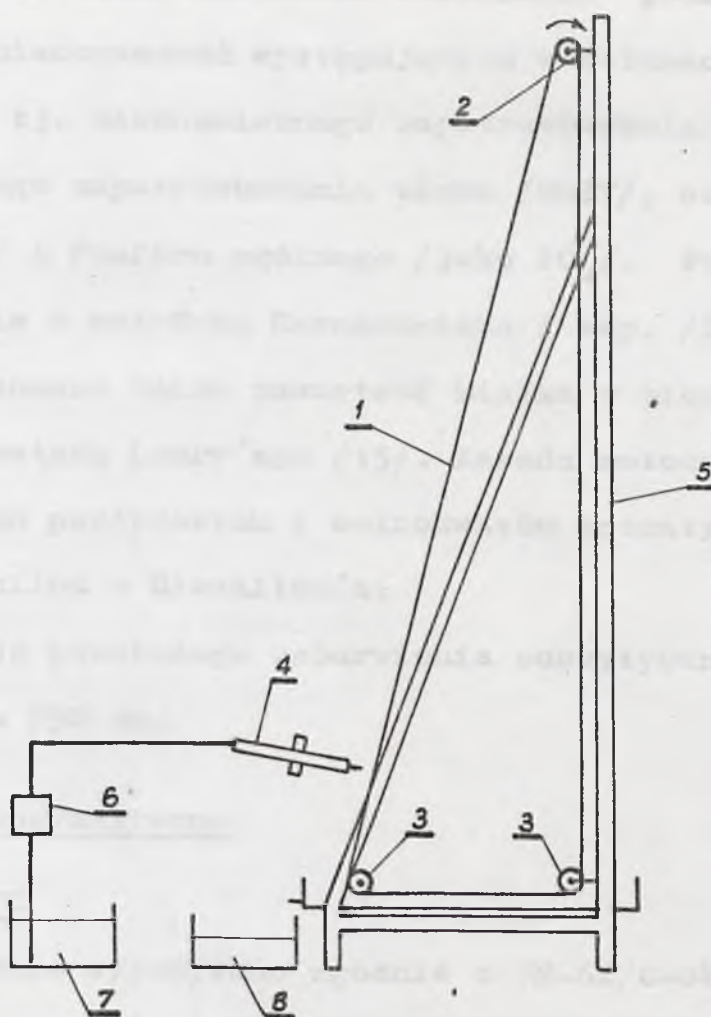
Proces biodegradacji ścieków prowadzono w urządzeniu pilotowym przedstawionym na Fot. 1. Urządzenie składało się z 5 stanowisk badawczych tj. 5 złożeń obrotowych. Pojedyncze złożę stanowiła taśma z tworzywa sztucznego umocowana na 3 obracających się wałkach /Rys. 2/. Główny wał połączony był z zespołem napędowym z regulowaną szybkością obrotów. Natomiast dwa dalsze ruchome wałki ustawione były w zależności od stosowanej długości taśmy. Używano taśmy o szerokości 0,2 m i długości 2,5; 3,5; 4,5 m. Ścieki dozowane za pomocą pompy f-my Unipan typ 304 o wydajności 0,12 - 91,6 dm³/dobę rozprowadzono równomiernie na powierzchni taśm, specjalnie skonstruowanym urządzeniem wahadłowym. Dodatkowe wyposażenie stanowiły zbiorniki na ścieki dopływające i odpływające.

2.2. Pobieranie próbek błony biologicznej

Próbki błony biologicznej pobierano od zapoczątkowania wzrostu błony na taśmach do jej odpadnięcia, a więc z uwzględnieniem jej pełnego cyklu rozwojowego. Do badań enzymatycznych i mikrobiologicznych próbki błony pobierano co trzy dni z powierzchni o długości 2 cm na całej szerokości taśmy. Do analizy biologicznej próbki pobierano co sześć dni, z powierzchni 8 cm².



Fot. 1. Urządzenie pilotowe



Rys. 2. Schemat złoza obrotowego.

1. taśma
2. wał napędowy
3. wałki o regulowanym położeniu
4. urządzenie wahadłowe rozprawdzające ścieki
5. stelaż
6. pompa dozująca
7. zbiornik na ścieki dopływające
8. zbiornik na ścieki odpływające

2.3. Badania chemiczne

Zakres badań obejmował oznaczenie podstawowych wskaźników zanieczyszczeń występujących w ściekach dopływających do złoza tj. biochemicznego zapotrzebowania tlenu /BZT₅/, chemicznego zapotrzebowania tlenu /ChZT/, azotu organicznego /Norg/ i fosforu ogólnego /jako PO₄/ . Pomiary wykonywano zgodnie z metodyką Hermanowicza i wsp. /25/.

Oznaczano także zawartość białka w biomacie błony biologicznej metodą Lowry'ego /15/. Zasada metody polega na reakcji wiązań peptydowych i aminokwasów aromatycznych z odczynnikiem Folina - Ciocalteu'a.

Ekstynkcję powstałego zabarwienia odczytywano przy długości fali $\lambda = 750 \text{ nm}$.

2.4. Badania enzymatyczne

- Test TTC

Oznaczenie wykonywano zgodnie z PN-62/C-046 16.08/32/.

Test polega na pomiarze aktywności dehydrogenaz biorących udział w odwodorowaniu substratu.

Aktywny wskaźnik oksydo-redukcyjny trójfenylotetrazoliowy chlorek /TTC - bezbarwny/ - akceptor wodoru, ulega redukcji do trójfenyloformazanu /TTCH₂ = TF o zabarwieniu czerwonym/. Reakcja zachodzi podczas inkubacji odtlenionych próbek w temperaturze 25°C przez okres 30 min.

Powstały TF zostaje wyekstrahowany z próbki za pomocą alkoholu n-butyłowego. Intensywność zabarwienia ekstraktu oznacza się spektrofotometrycznie przy długości fali

$\lambda = 490 \text{ nm}$. Badania wykonywano bez dodatku substratu

egzogenego oraz w obecności roztworów 2 % glukozy i 2 % peptonu. Wynik oznaczenia podawano jako aktywność właściwą z różnicy pomiędzy aktywnością próbek z dodatkiem substratu egzogenego a aktywnością endogenną bez substratu, w przeliczeniu na $\mu\text{mol TF/min/cm}^2$.

- Test Glut DH, LDH, SDH

Aktywność dehydrogenaz cyklu Krebsa tj. dehydrogenazy bursztynianowej /SDH/ i dehydrogenazy glutaminianowej /Glut DH/ oraz dehydrogenazy fermentacji mlekowej /LDH/ określićno optycznym testem Warburga - Christiana /39/.

Badania prowadzono przy użyciu wyciągów bezkomórkowych uzyskanych po dezintegracji komórek mikroorganizmów energią fal ultradźwiękowych, zgodnie z metodyką podaną w pracy /21/.

Zasada oznaczania aktywności dehydrogenazy glutaminianowej /Glut DH/ i mleczanowej /LDH/, polega na ultenianiu podczas przebiegu reakcji enzymatycznej koenzymu NADH_2 do NAD w obecności odpowiedniego substratu. Oznaczenie wykonywano w mieszaninie reakcyjnej zawierającej: wyciąg enzymatyczny, donator wodoru - NADH_2 , substrat /odpowiednio dla testu Glut DH i LDH kwas α -ketoglutazarowy lub kwas pirogronowy/, buffer tris o pH = 7,6 oraz w przypadku testu Glut DH - roztwór octanu amonu. Inkubację prowadzono w temperaturze 25°C w ciągu 30 min. Aktywność dehydrogenaz określano z ilości NADH_2 pozostałego po reakcji enzymatycznej, oznaczonego metodą spektrofotometryczną przy $\lambda = 366 \text{ nm}$. Przy tej długości fali świetlnej NADH_2 silnie adsorbuje światło, podczas gdy NAD nie wykazuje tego zjawiska. Współczynnik ekstynkcji NADH_2 w temperaturze 25° wynosi $3,30 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{mol}$.

Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej oznaczano j.w. stosując jako donator wodoru żelazicjanek potasowy, a jako substrat bursztyni^a sodu.

Ilość pozostałego po reakcji żelazicjanku potasowego oznaczano spektrofotometrycznie przy długości fali $\lambda = 405 \text{ nm}$.

Współczynnik ekstynkcji $K_3 [\text{Fe/CN}]_6$ wynosi $0,93 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{mol}$.

Wynik oznaczenia aktywności enzymatycznej podawano jako aktywność właściwą: dehydrogenazy bursztynianowej, glutaminianowej i mleczanowej w $\mu\text{mol/g}$ białka/min. lub $\mu\text{mol/cm}^2/\text{min}$.

2.5. Badania mikrobiologiczne

Ogólną liczbę bakterii i grzybów występujących w błonie biologicznej określano metodą płyt^kową Kocha. Posiewy wykonywano metodą powierzchniową. Próbkę błony rozdrabniano w roztworze 0,2 % 6-meta fosforanu sodowego stosując homogenizator f-my Unipan przy 1500 obrotów/min. w ciągu 15 min. Do hodowli bakterii stosowano podłoże o składzie: odciek po zdrożdżowaniu wywaru melasowego 1 dm³; K₂HPO₄ - 0,08 g/1 g CHZT; agar 20 g; odczyn pH = 7,0. Do hodowli grzybów stosowano zmodyfikowane podłoże agarowe na brzeczce o gęstości 8^oB, wzbogacone roztworem rózu bengalskiego - /1 : 300/ i streptomycyną w ilości odpowiednio 10 cm³ i 375 mg/dm³ /modyfikacja własna/.

Inkubację prowadzono w temperaturze 26^oC w ciągu 7 dni.

Wynik oznaczenia podawano jako liczbę bakterii lub grzybów przypadającą na 1 cm² powierzchni złoza.

2.6. Analiza mikroskopowa biocenozy

Badania prowadzono zgodnie z metodyką opracowaną w Instytucie Inżynierii Środowiska P.W/31/. Obserwacje próbek wykonywano za pomocą mikroskopu optycznego MB-30 z przystawką kontrastowo - fazową f-my Zeiss. Wyniki oznaczenia podawano jako liczbę organizmów w przeliczeniu na 1 cm^2 powierzchni złoża.

2.7. Obliczenia parametrów kinetycznych K_s , $Z_{\max}$ lub $M_{\max}$

Oznaczono następujące parametry kinetyczne: stałą substratową - K_s tj. stężenie substratu równe $1/2$ maksymalnej aktywności enzymatycznej lub liczebności bakterii czy grzybów, maksymalną możliwą aktywność enzymatyczną - $Z_{\max}$, maksymalną możliwą liczbę bakterii lub grzybów - $M_{\max}$. Parametry te wyznaczano w pierwszym etapie metodą Lineweaverera - Bruke'a jako dane przybliżone, następnie stosowano metodę optymalizacji. Jako wynik ostateczny przyjmowano wartości takich parametrów, dla których różnica sumy kwadratów odchyłeń wyników uzyskanych po optymalizacji od wyników doświadczalnych była najmniejsza.

Obliczenia wykonywano przy pomocy maszyny cyfrowej SM-4 w Zakładzie Zastosowań Metod Matematycznych I.I.Ś. P.W.

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Charakterystyka procesu biodegradacji ścieków metoda złóż biologicznych

W okresie od 84.02 do 85.01 przeprowadzono badania nad biochemicznym rozkładem ścieków z Żyrardowskich Zakładów

Przemysłu Spirytusowego "Polmos" w Żyrardowie, powstających podczas produkcji drożdży paszowych w procesie zdrożdżowania wywaru melasowego.

Doświadczenia wykonywano na złożach obrotowych przy zmiennych parametrach technologicznych. Podstawowym założeniem eksperymentów było zastosowanie metody hodowli ciągłej organizmów błony biologicznej. Stały dopływ ścieków zawierających związki organiczne, zapewniał wieloskładnikowy substrat pokarmowy dla biocenozy błony. W wyniku rozwoju błony na powierzchniach obracających się taśm, ścieki dopływające ulegały biochemicznemu rozkładowi, a odpływ charakteryzował się spadkiem zawartości związków organicznych.

3.1.1. Ścieki

Do badań stosowano odcieki powstające po zdrożdżowaniu wywaru melasowego. Wg Tomczyńskiej i wsp. 1974 /62/ skład ścieków pochodzących z drożdżowni na podstawie wartości średnich przedstawiał się następująco:

Oznaczenie	Jednostka	Średnio
Odczyn	pH	5,0
BZT ₅	mg O ₂ /dm ³	8100
ChZT	mg O ₂ /dm ³	8250
Azot ogólny	mg N/dm ³	750
Azot amonowy	mg N/dm ³	95
Siarczany	mg SO ₄ /dm ³	2451
Fosforany	mg P ₂ O ₅ /dm ³	30,3
Sucha pozostałość	mg/dm ³	14892
Pozostałość po prażeniu	mg/dm ³	5164
Strata po prażeniu	mg/dm ³	9728
Zawiesiny ogółem	mg/dm ³	1567
Zawiesiny lotne	mg/dm ³	1034
Kwasy lotne	mg/dm ³	543

Z przytoczonych danych wynika, że ścieki powstające w procesie zdrożdżowania, charakteryzowały się wysokimi stężeniami związków organicznych i mineralnych np. BZT₅ - 8100 mg/dm³ O₂, ChZT - 8250 mg/dm³ O₂, azot ogólny 750 mg N/dm³, azot amonowy 95 mg N/dm³, siarczany 2451 mg SO₄/dm³.

Ścieki o charakterystyce podanej wyżej przed doprowadzeniem do złoź odpowiednio rozcieńczano wodą, celem zróżnicowania w nich zawartości związków organicznych /oznaczanych jako BZT₅/ w zakresie 3400 - 9900 mg/dm³ O₂. Tak więc na każde złoże zgodnie z założeniem dozowano ścieki różniące się

wartością BZT_5 o około $1800 \text{ mg/dm}^3\text{O}_2$. Z uwagi na niedobór fosforu w ściekach, wzbogadno je tym pierwiastkiem w formie K_2HPO_4 , w ilości 80 mg na $1000 \text{ mg/dm}^3\text{O}_2$ /jako ChZT/. Poniżej podano średnie wartości stężeń ChZT, BZT_5 , azotu organicznego i fosforu ogólnego charakteryzujące skład dopływu na złoże.

ozna- czenie \ złoże, nr	I	II	III	IV	V
ChZT, $\text{mg/dm}^3\text{O}_2$	11300	9500	7700	5800	4200
BZT_5 , $\text{mg/dm}^3\text{O}_2$	9900	8000	6600	4900	3400
azot organ., mg/dm^3 N org.	1040	914	770	596	472
fosfor ogólny, $\text{mg/dm}^3 \text{PO}_4$	231	216	157	120	104

Z analizy wartości BZT_5 i ChZT wynika, że stosunek tych wskaźników wynosi ok. 0,85 co świadczy o podatności badanych ścieków na rozkład biochemiczny.

3.1.2. Parametry prowadzenia procesu

Urządzenie składało się z 5 stanowisk badawczych tj. 5 złożeń obrotowych, na których równolegle prowadzono badania przy różnych lecz stałych dla każdego złoża obciążeniach ładunkiem zanieczyszczeń. Doświadczenia przeprowadzono zmieniając kolejno długości taśm - 2,5 m; 3,5 m; 4,5 m. Każdorazowo przy stałej długości taśmy zmieniano prędkość obwodową. Badania wykonano w 3 etapach, łącznie we wszystkich etapach przeprowadzono 9 serii odpowiednio dla każdego z 5 obciążeń ładunkiem zanieczyszczeń.

Warunki prowadzenia procesu na poszczególnych złożach
przedstawiono poniżej:

Złoże, nr	I	II	III	IV	V
Stężenie ścieków BZT ₅ mg/dm ³ O ₂	* 9900	8000	6600	4900	3400
Obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń g BZT ₅ /m ² /dobę	* 51,5	41,6	34,3	25,5	17,7
Prędkość obwodowa m/s	0,03 0,10 0,25 0,40	0,03 0,10 0,25 0,40	0,03 0,10 0,25 0,40	0,03 0,10 0,25 0,40	0,03 0,10 0,25 0,40
Długość taśmy m	2,5	+	-	+	-
	3,5	+	+	+	+
	4,5	-	+	+	+

* wartości średnie

+ oznacza stosowane prędkości obwodowe

3.2. Aktywność enzymatyczna mikroorganizmów błony biologicznej

Aktywność enzymatyczną mikroorganizmów oznaczano w zależności od stężenia ścieków dopływających $[S]$ wyrażonego w wartościach BZT_5 . Wartości te przyjęto jako stężenie substratu występującego w ściekach. Na podstawie badań aktywności dehydrogenaz /test TTC/; dehydrogenazy bursztynianowej /test SDH/; mleczanowej /LDH/; glutaminianowej /Glut DH/, uzyskano wartości charakteryzujące aktywność enzymatyczną mikroorganizmów, które przedstawiono graficznie na wykresach /1 - 9/ w funkcji stężenia ścieków $[S]$.

Do opisu otrzymanych zależności zastosowano teoretyczny model przyjęty za Chase /10/, tj. równanie /1/, wg którego krzywa ma kształt hiperboli.

$$Z = \frac{Z_{\max} [S]}{K_s + [S]} \quad /1/$$

Z - aktywność enzymatyczna

$Z_{\max}$ - maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna

$[S]$ - stężenie ścieków

K_s - stała substratowa.

Na podstawie przyjętego równania wyznaczono metodą optymalizacji maksymalną możliwą aktywność enzymatyczną $/Z_{\max}/$ i stałą substratową $/K_s/$ tj. stężenie substratu równe 1/2 maksymalnej aktywności enzymatycznej mikroorganizmów błony.

Interpretację wyników przeprowadzono analizując przebieg krzywych obrazujących zależność aktywności właściwej badanych enzymów, od stężenia ścieków w zakresie wartości średnich

BZT₅ od 3400 do 9900 mg/dm³O₂ oraz parametrów kinetycznych K_s i Z_{max}.

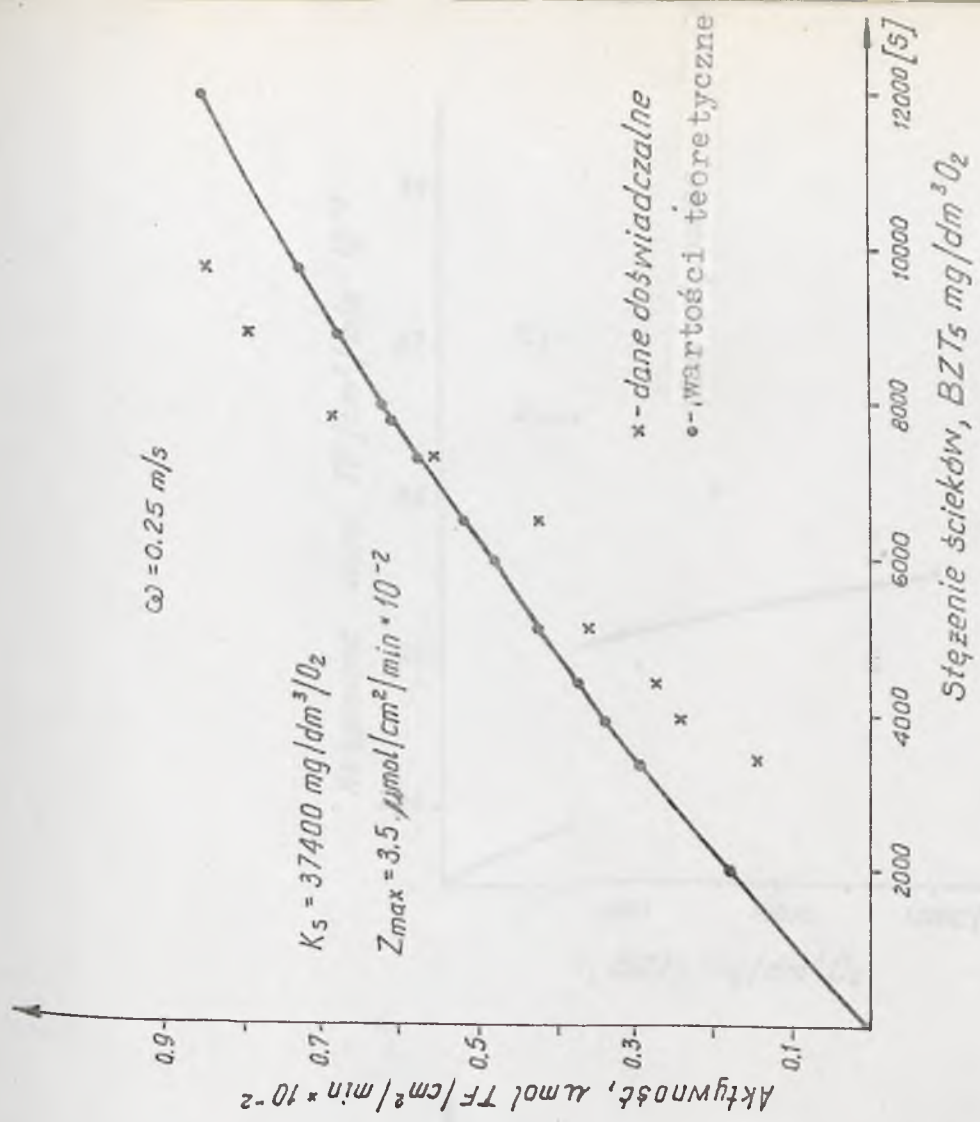
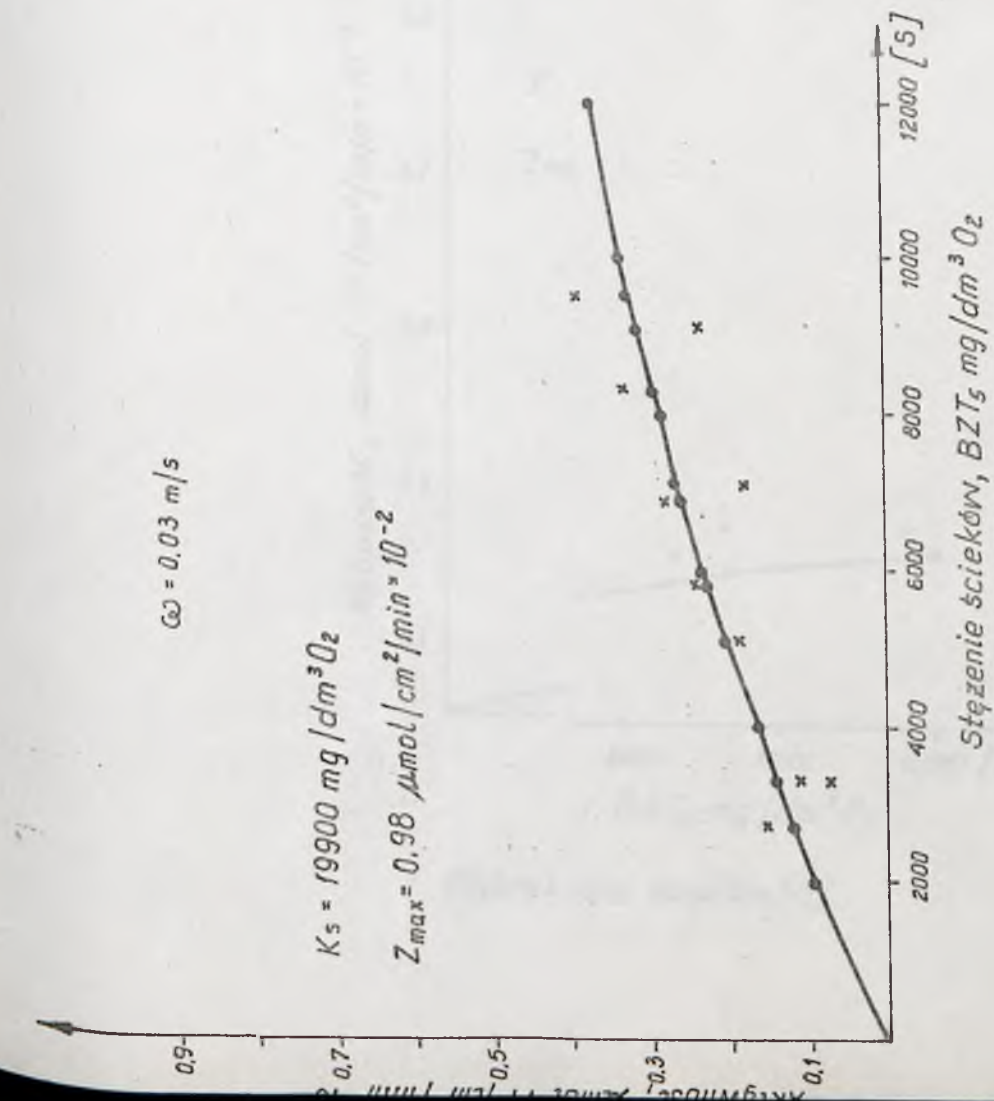
3.2.1. Aktywność ogólna dehydrogenaz - test TTC

Badania aktywności właściwej dehydrogenaz mikroorganizmów błony biologicznej prowadzono na złożach o długości taśm 2,5; 3,5 i 4,5 m, stosując zmienne prędkości obwodowe tj. 0,03; 0,10; 0,25; 0,40 m/s.

Na podstawie wyników uzyskanych we wszystkich seriach badawczych /wykres 1,2,3/ stwierdzono, że wraz ze wzrostem wartości BZT₅ w ściekach dopływających na złoża wzrastała aktywność w/w enzymów u mikroorganizmów błony. Parametry kinetyczne charakteryzujące zdolność enzymatyczną mikroorganizmów zależały od długości taśmy złoża oraz jej prędkości obwodowej /tabela 1/.

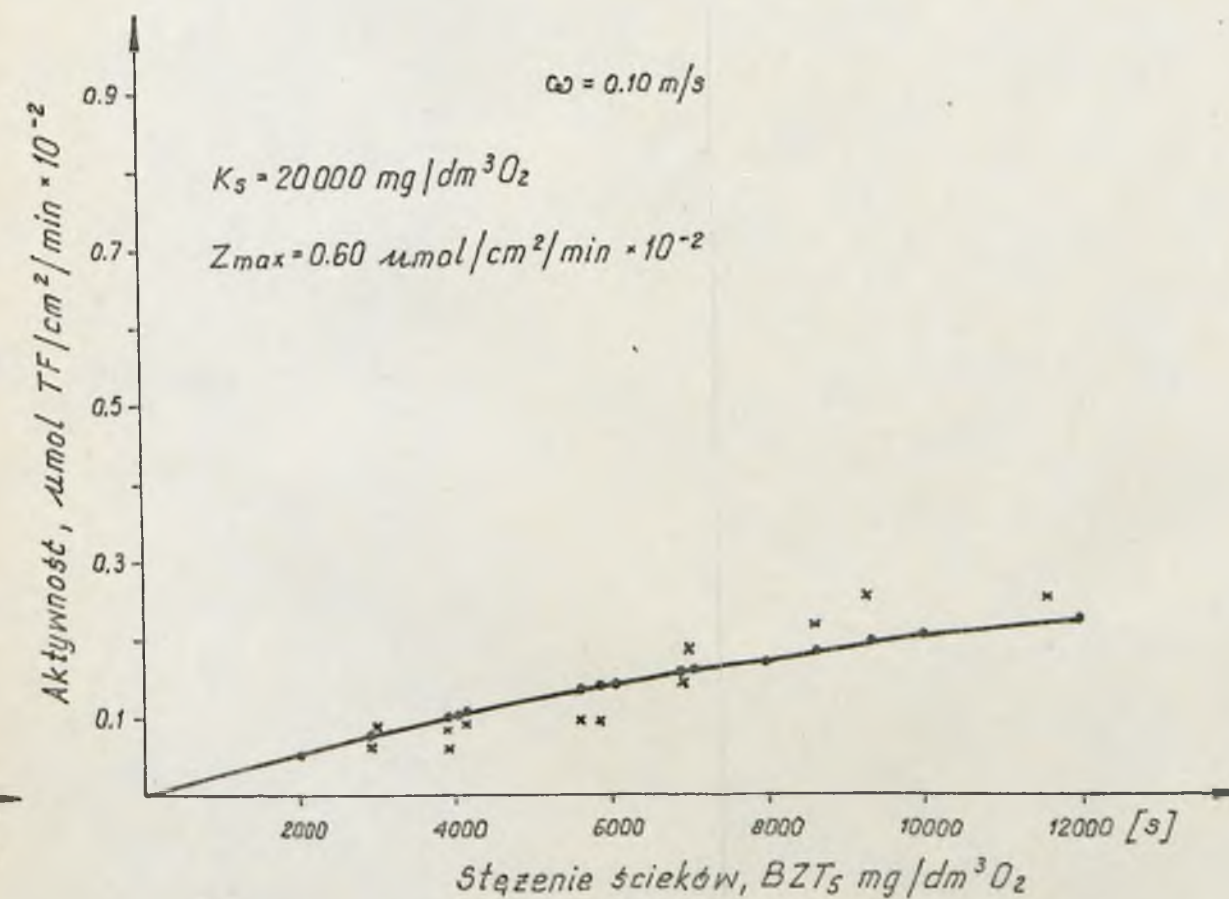
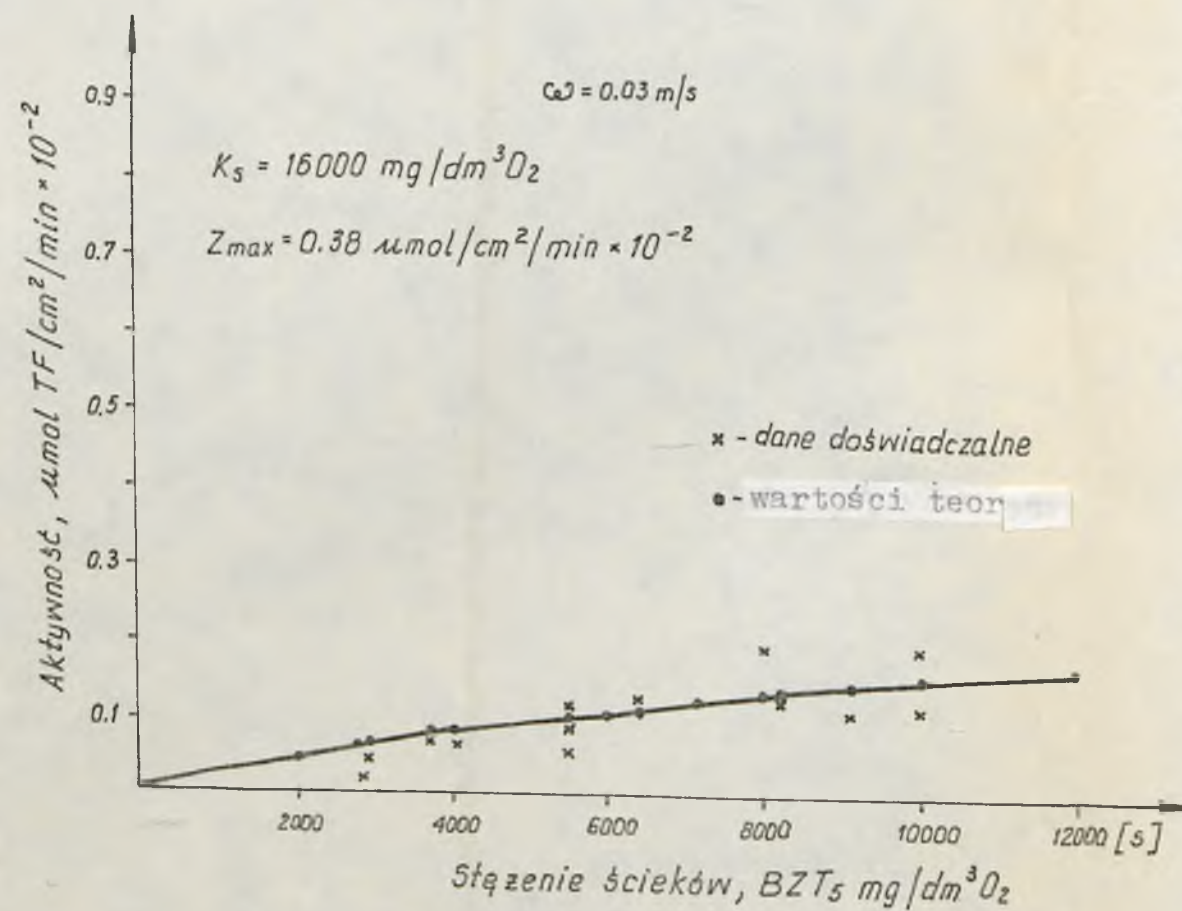
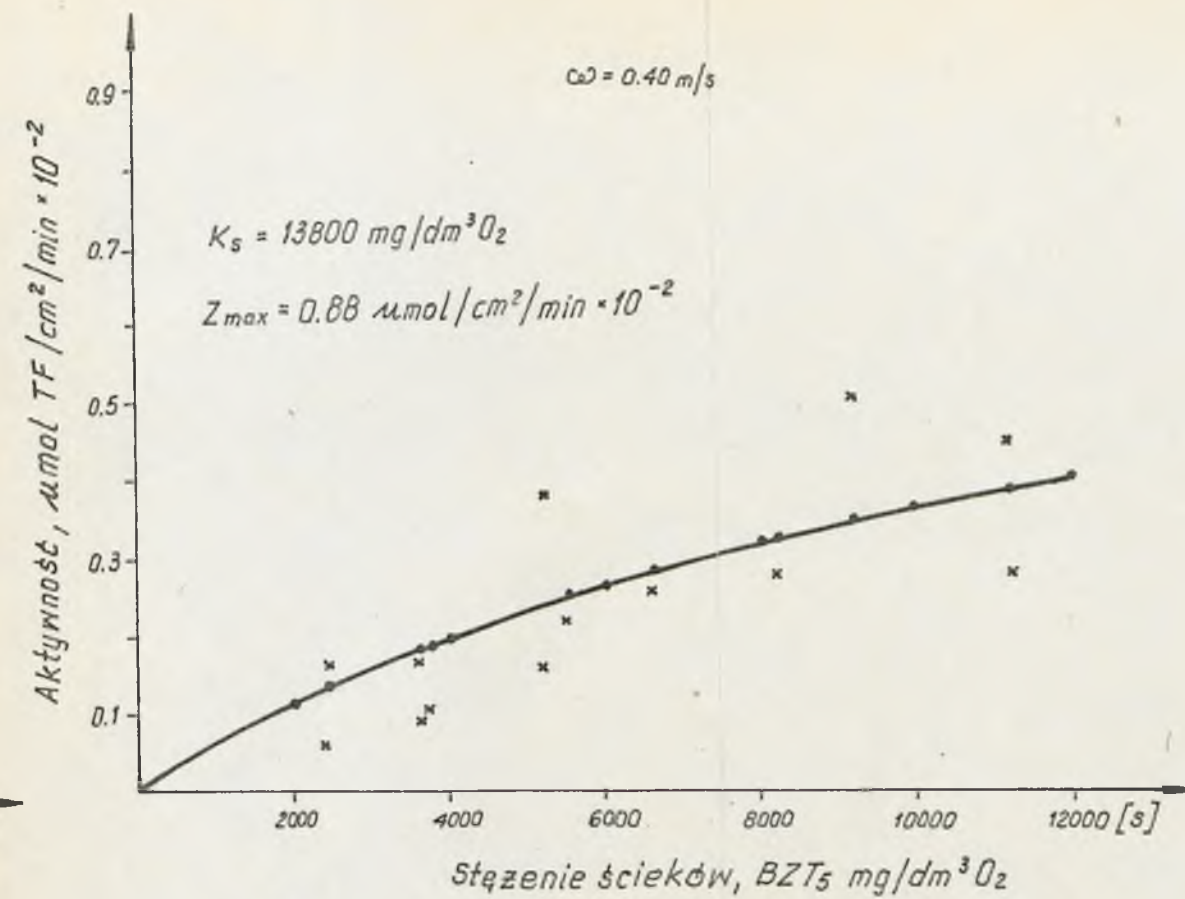
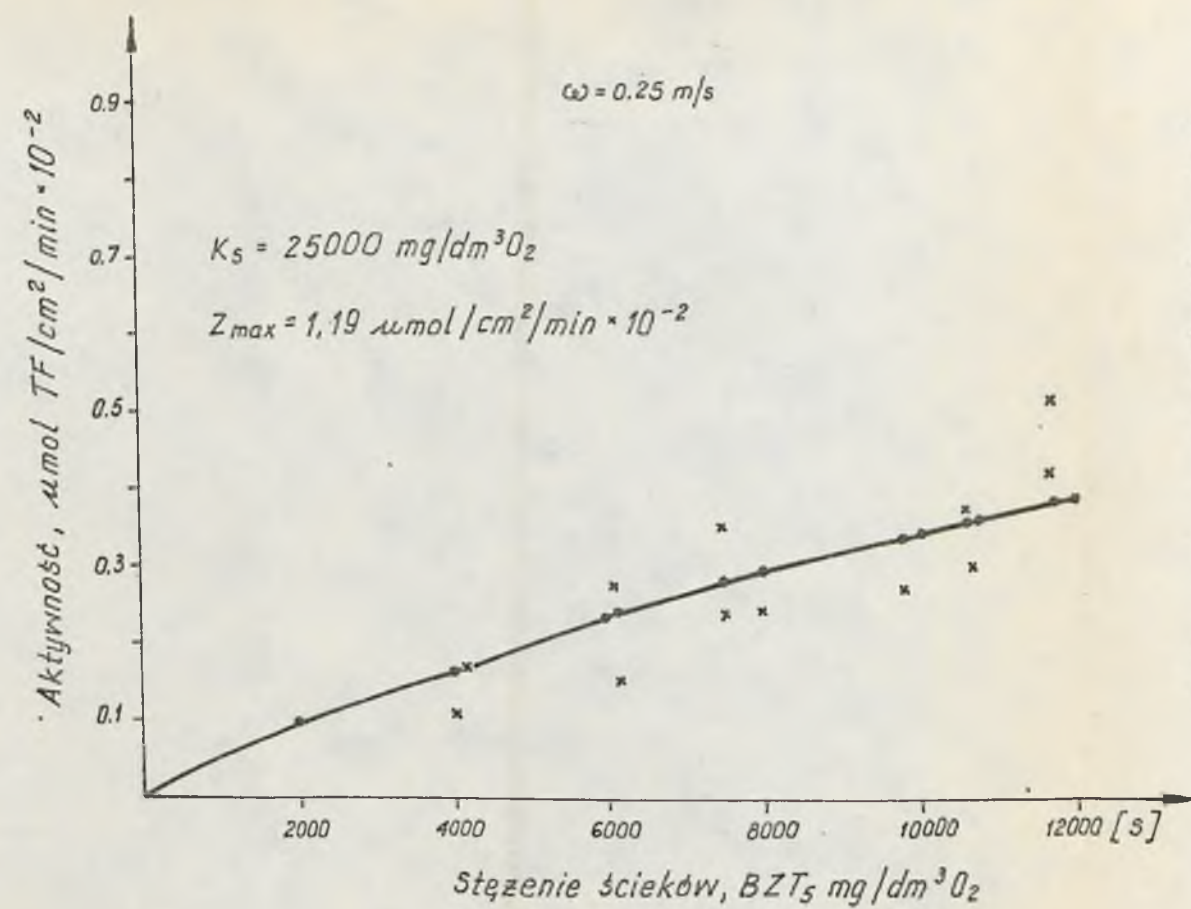
Przeprowadzone badania wykazały, że przy długości taśmy wynoszącej 2,5 m we wszystkich 5 złożach, niezależnie od ich obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń aktywność błony była wyższa przy prędkości obwodowej 0,25 m/s aniżeli przy 0,03 m/s. Świadczyły o tym większe wartości stałej substratowej /K_s/ i maksymalnej możliwej aktywności enzymatycznej /Z_{max}/ wynoszące odpowiednio 37 400 mg/dm³O₂ i 3,5 μmol/cm²/min · 10⁻². Wartości tych wskaźników przy prędkości obwodowej 0,03 m/s były około dwu- i trzykrotnie niższe i wynosiły odpowiednio 19900 mg/dm³O₂ i 0,98 μmol/cm²/min · 10⁻².

Badania na złożach o długości taśm 3,5 m przeprowadzono zgodnie z założeniem przy czterech prędkościach obwodowych: 0,03; 0,10; 0,25 i 0,40 m/s. Przy pierwszych trzech prędkościach wartości K_s wynosiły odpowiednio 16.000; 20.000; 25.000 mg/dm³ O₂ a Z_{max} 0,38; 0,60; 1,19 μmoli/cm²/min · 10⁻²,



Wykres 1. Aktywność ogólna dehydrogenaz (test TTC) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 2.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $Z_{\max}$ - maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna

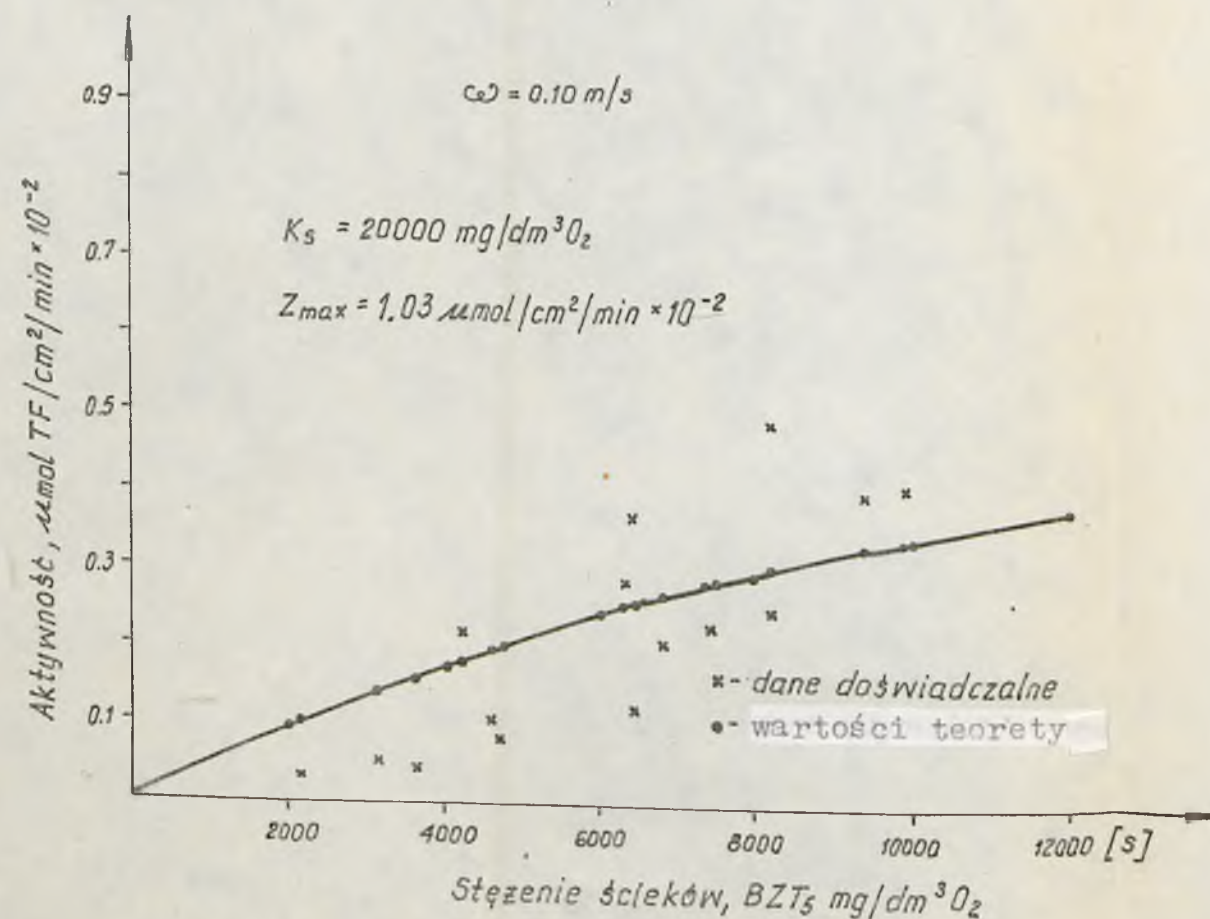
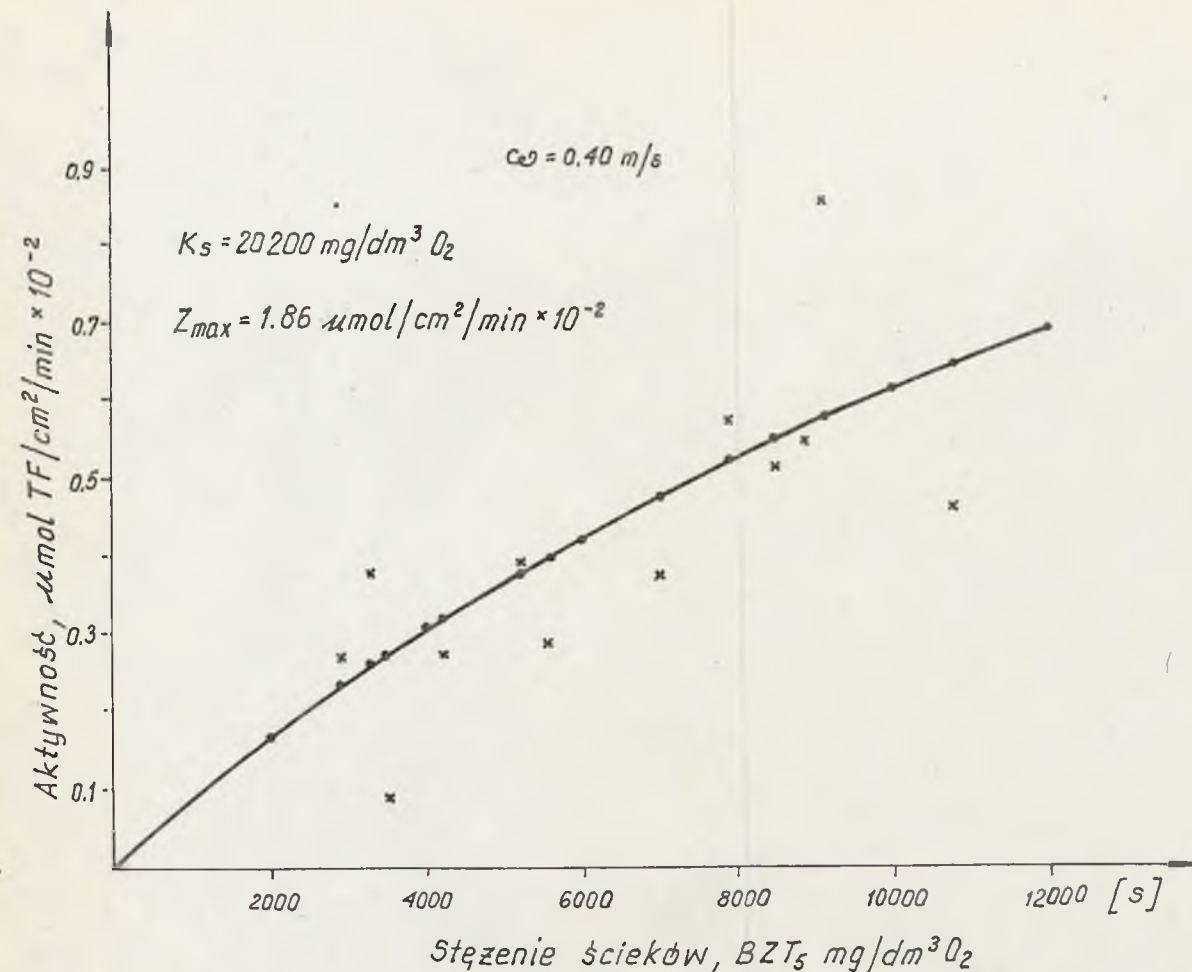
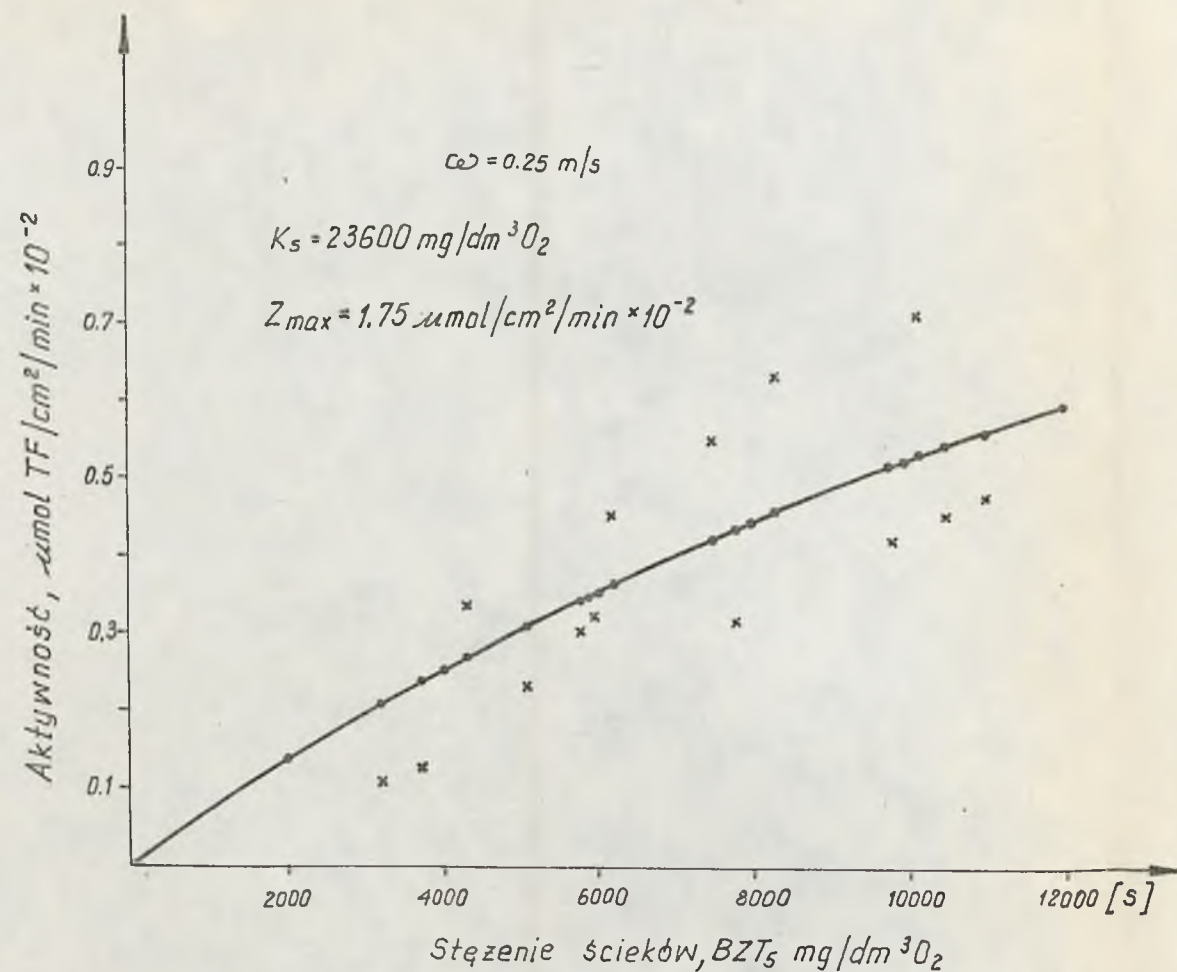


Wykres 2. Aktywność ogólna dehydrogenaz (test TTC) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L=3.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa

K_s - stała substratowa

$Z_{\max}$ - maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna



Wykres 3. Aktywność ogólna dehydrogenaz (test TTC) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $Z_{\max}$ - maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna

Tabela 1

Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i Z_{max} aktywności ogólnej dehydrogenaz /test TTC/ mikroorganizmów błony biologicznej na złożu obrotowym

Długość taśmy L m	Prędkość obwodowa ω m/s	K_s mg/dm ³ O ₂	Z_{max} μ mol/min/cm ² · 10 ⁻²
2,5	0,03	19900	0,98
	0,25	37400	2,50
3,5	0,03	16000	0,38
	0,10	20000	0,60
	0,25	25000	1,19
	0,40	13800	0,38
4,5	0,10	20000	1,03
	0,25	22600	1,75
	0,40	20200	1,86

co wskazywało na wzrost omawianych parametrów kinetycznych w miarę wzrostu prędkości obwodowej. Przy największej prędkości stwierdzono spadek K_s i $Z_{\max}$ do wartości $13.800 \text{ mg/dm}^3 \text{O}_2$ oraz $1,19 \text{ } \mu\text{mola/cm}^2/\text{min} \cdot 10^{-2}$.

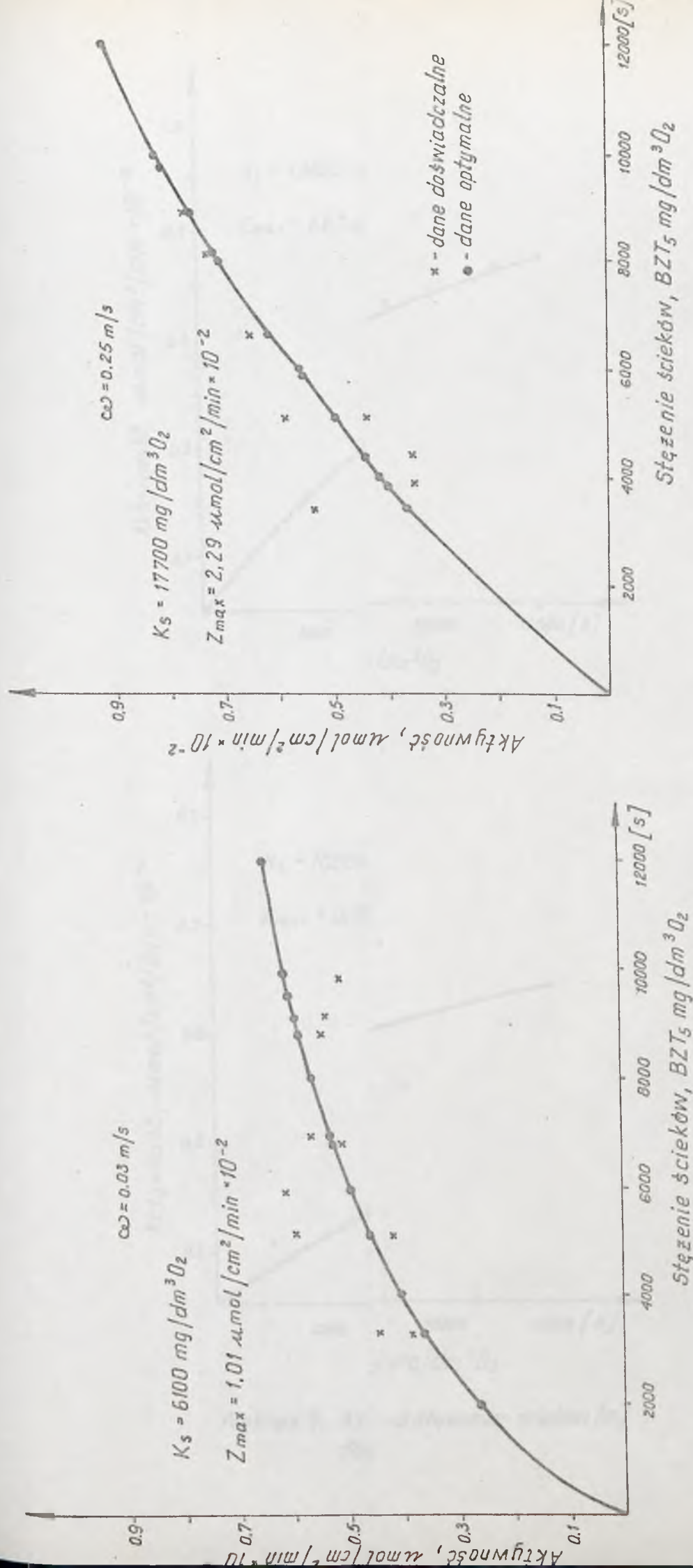
Na złożach o długości taśmy 4,5 m i prędkościach obwodowych 0,10; 0,25; 0,40 m/s wartości K_s wynosiły odpowiednio 20.000; 23.000; 20.000 $\text{mg/dm}^3 \text{O}_2$ a $Z_{\max}$ 1,03; 1,75; 1,86 $\mu\text{mola/cm}^2/\text{min} \cdot 10^{-2}$. Wartości stałych substratowych były więc niezależne od prędkości obwodowych. Wpływała ona natomiast na wartości aktywności enzymatycznej, najwyższe wartości stwierdzono w błonie rozwijającej się na taśmach przy prędkości obwodowej 0,25 i 0,40 m/s.

W podsumowaniu przeprowadzanych doświadczeń należy podkreślić, że największą aktywność wykazywała błona biologiczna niezależnie od długości taśmy przy jej prędkości obwodowej 0,25 m/s. Najwyższe wartości bezwzględne parametrów kinetycznych K_s i $Z_{\max}$ uzyskano w badaniach błony biologicznej rozwijającej się na taśmie o długości 2,5 m.

3.2.2. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej - test SDH

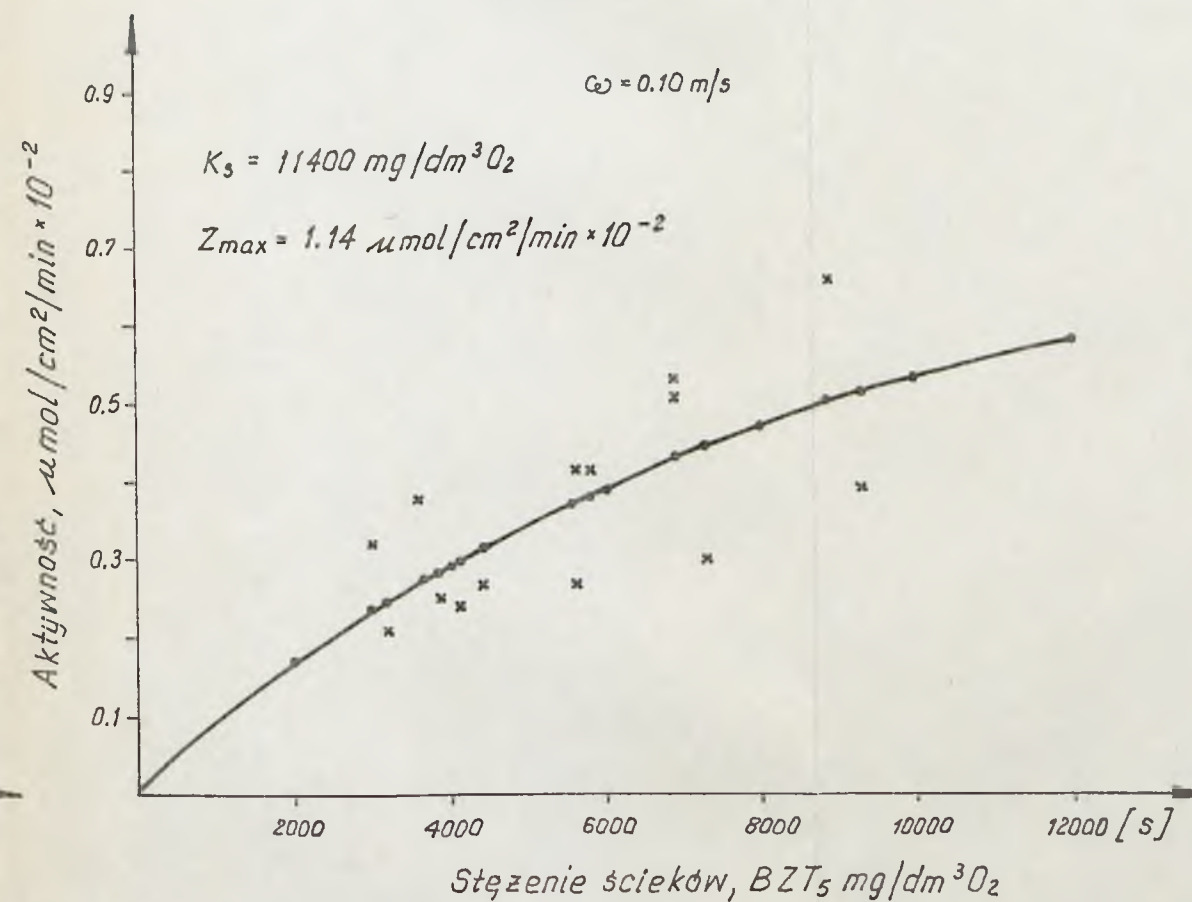
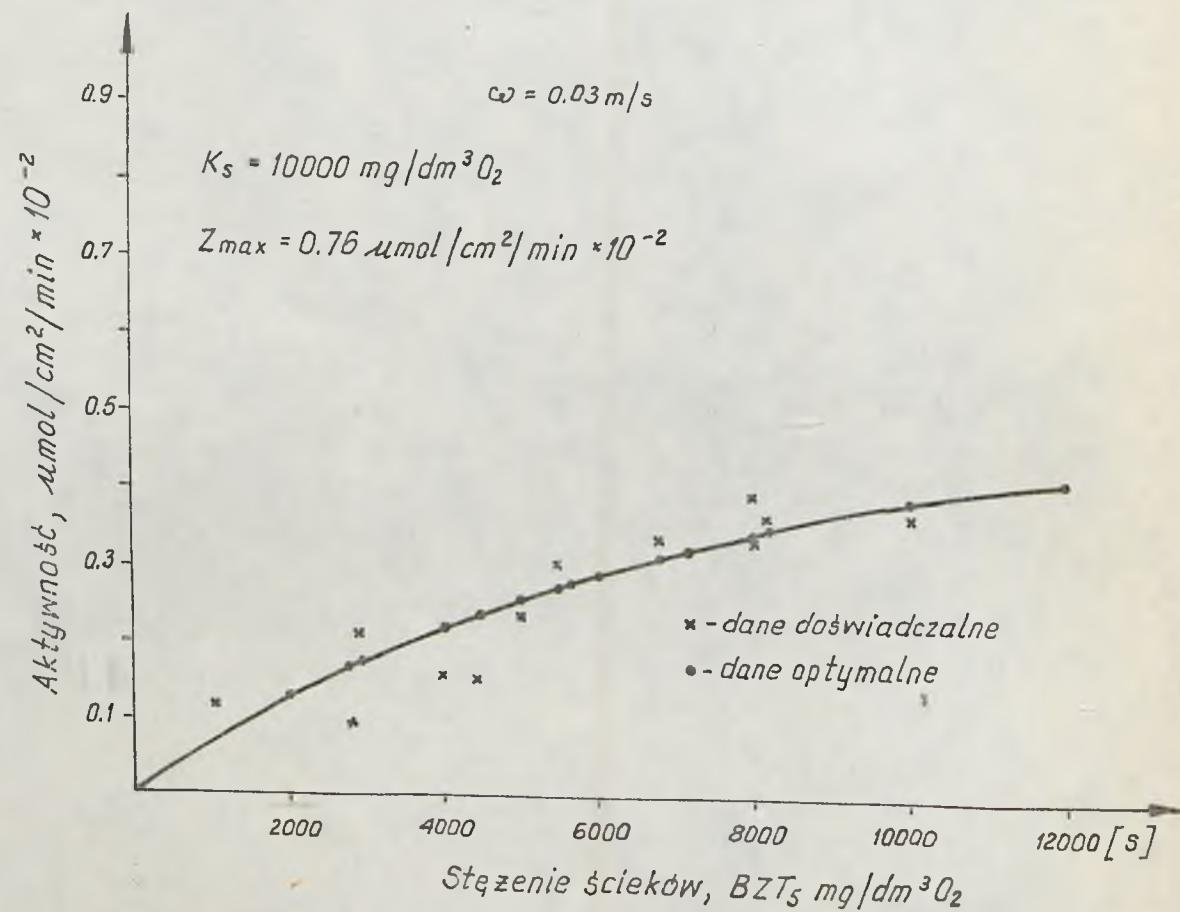
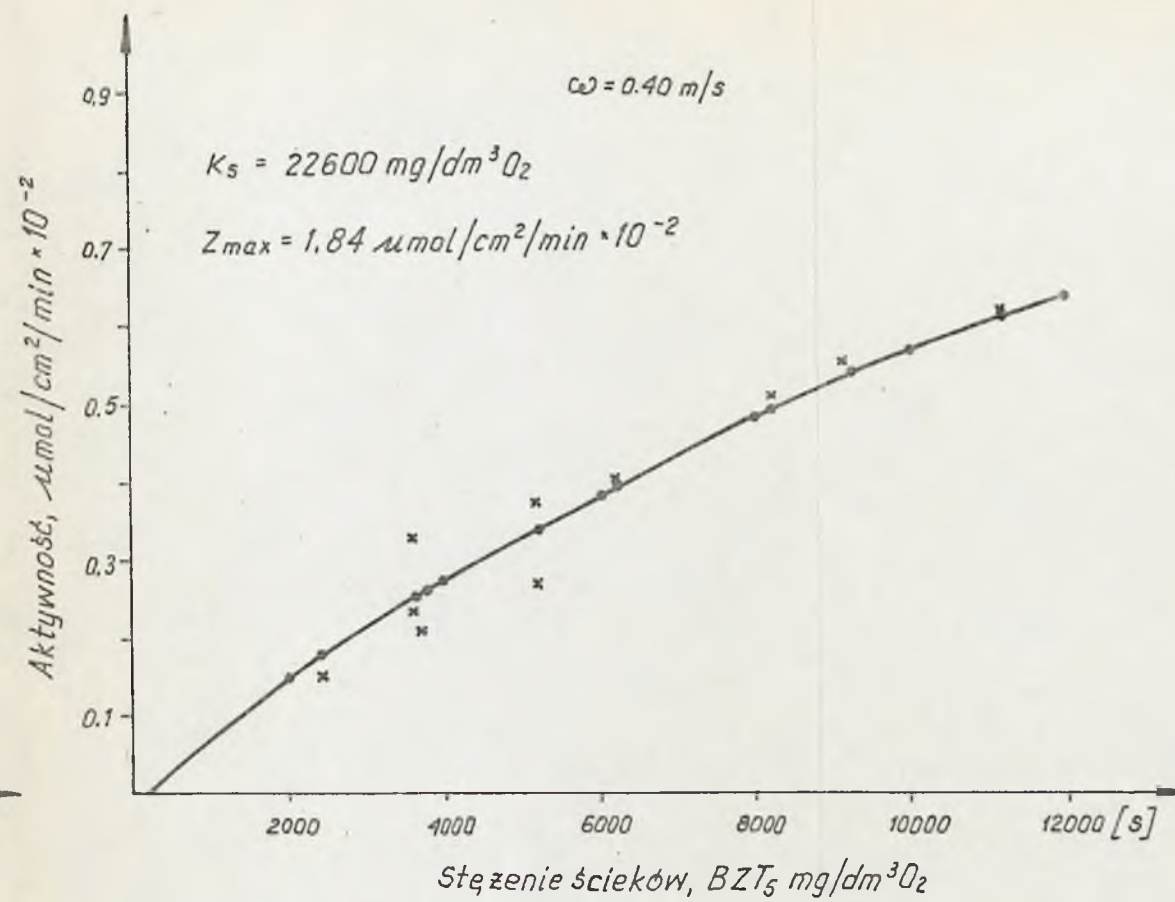
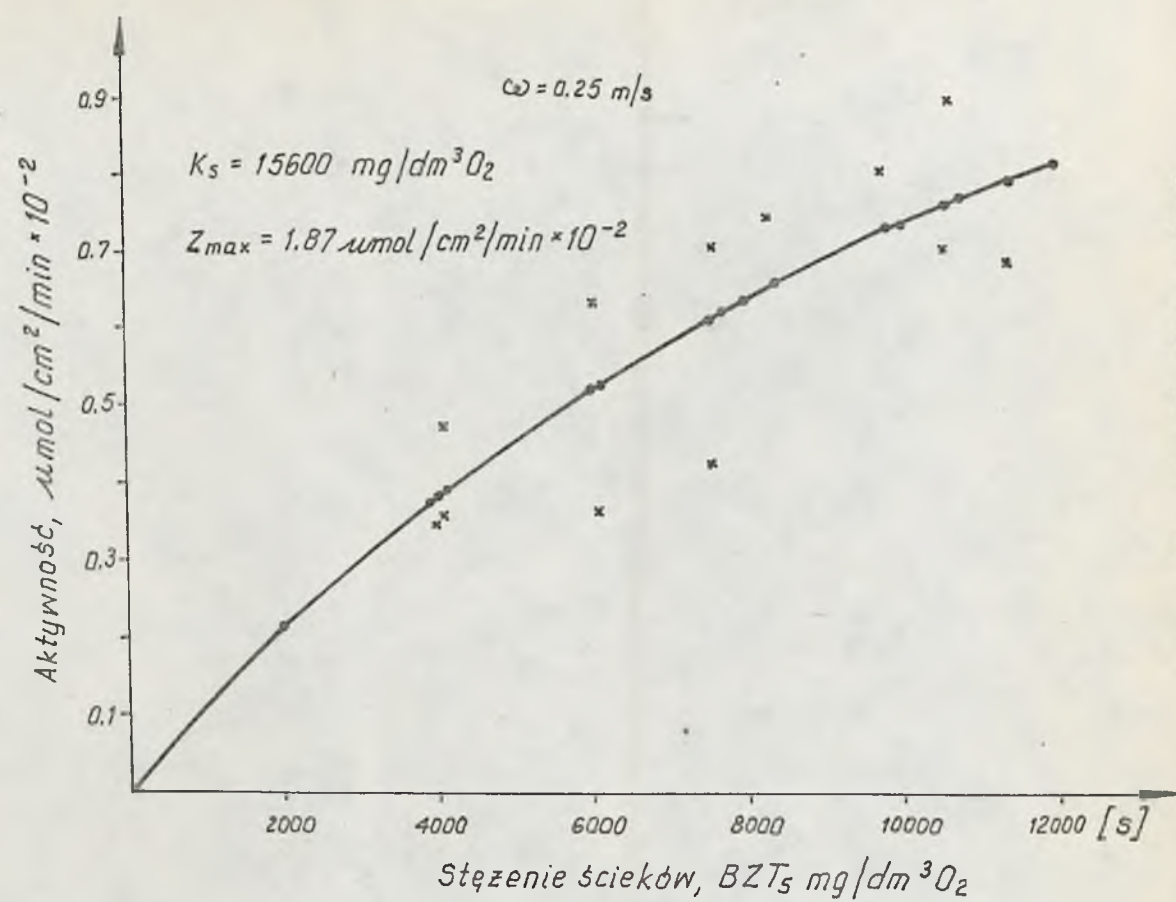
Badania prowadzono na złożach przy tych samych parametrach technicznych, przy których analizowano aktywność właściwą dehydrogenaz /p.p. 3.2.1/.

Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej podobnie jak aktywność ogólna dehydrogenaz /test TTC/mikroorganizmów zwiększała się na wszystkich taśmach wraz ze wzrostem BZT₅ ścieków dopływających /wykresy 4,5,6/. W zależności od warunków prowadzenia procesu parametry kinetyczne aktywności enzymatycznej



Wykres 4. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (test SDH) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków[5]
dopływających na złożo o długości taśmy $L=2.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $Z_{\max}$ - maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna

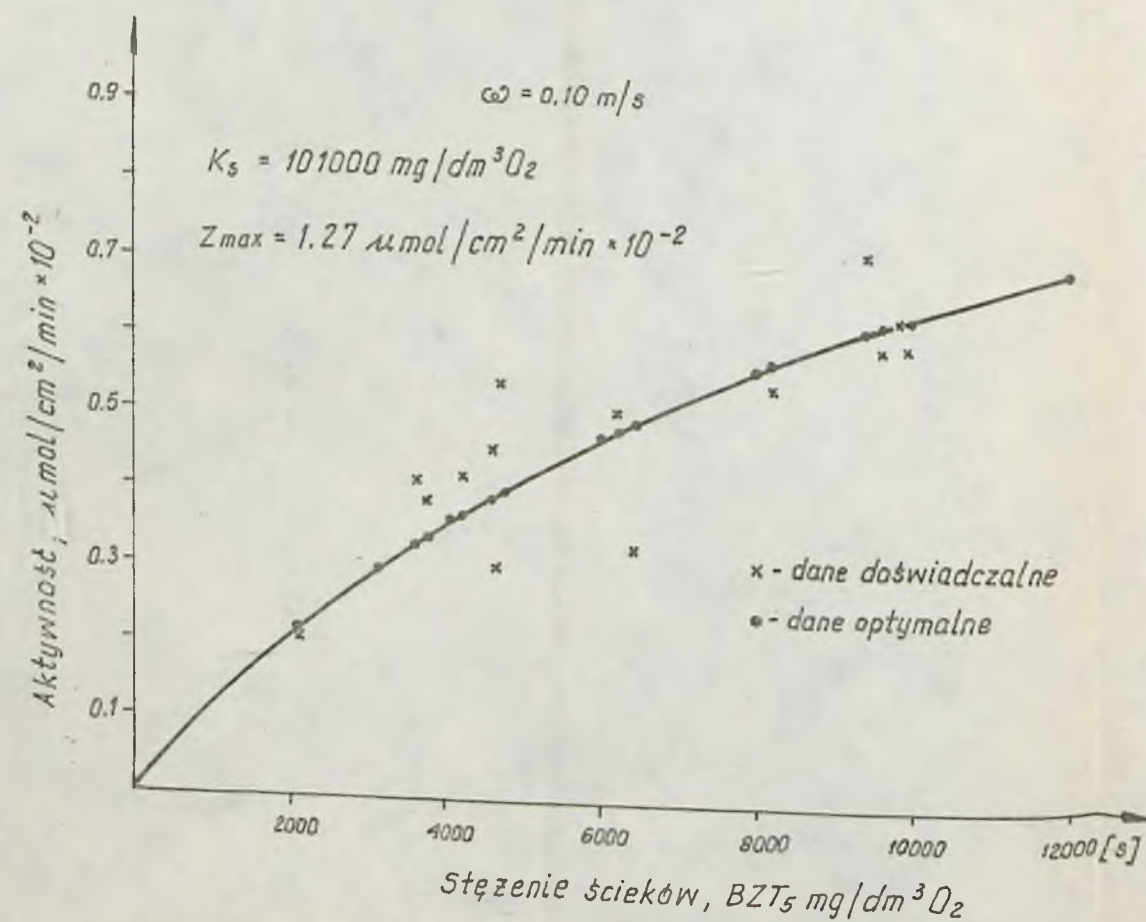
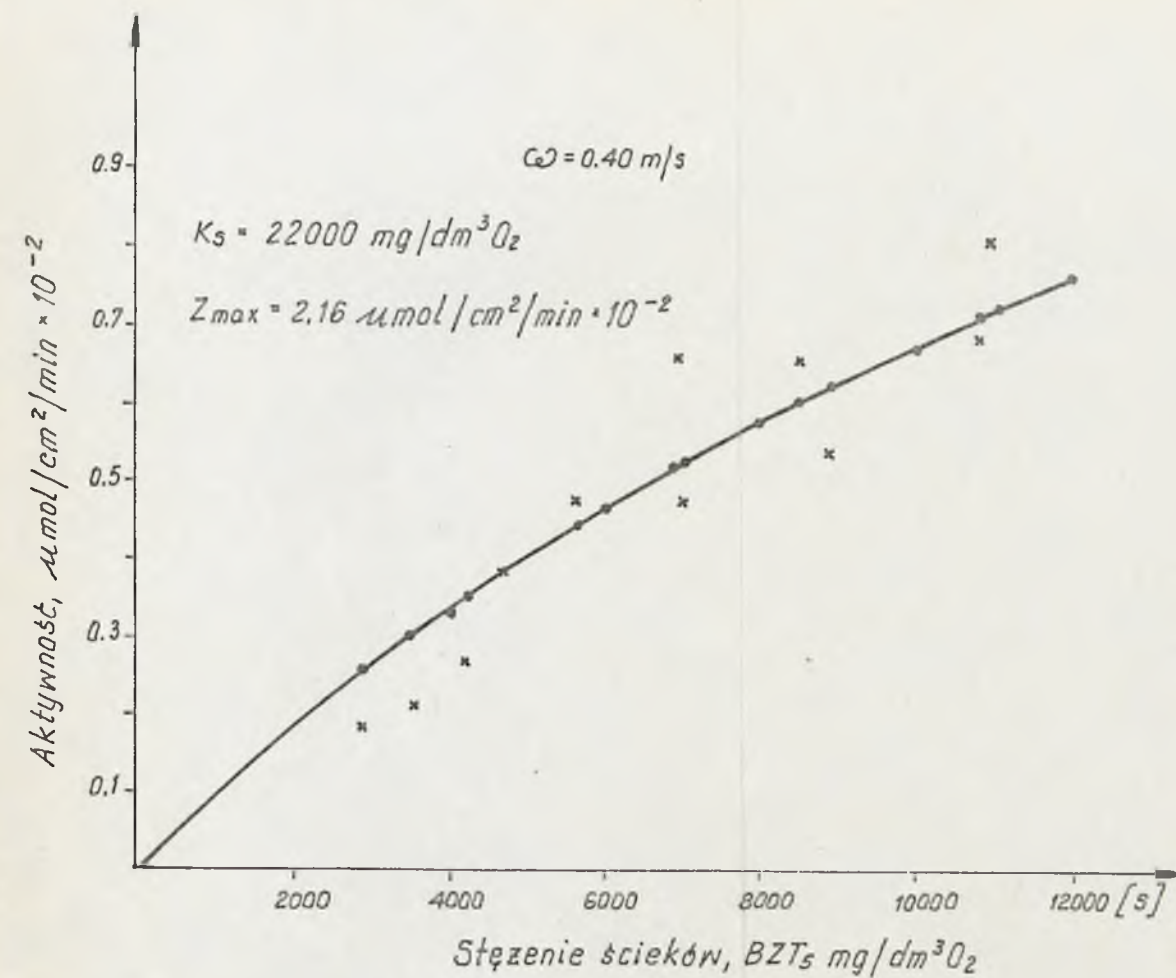
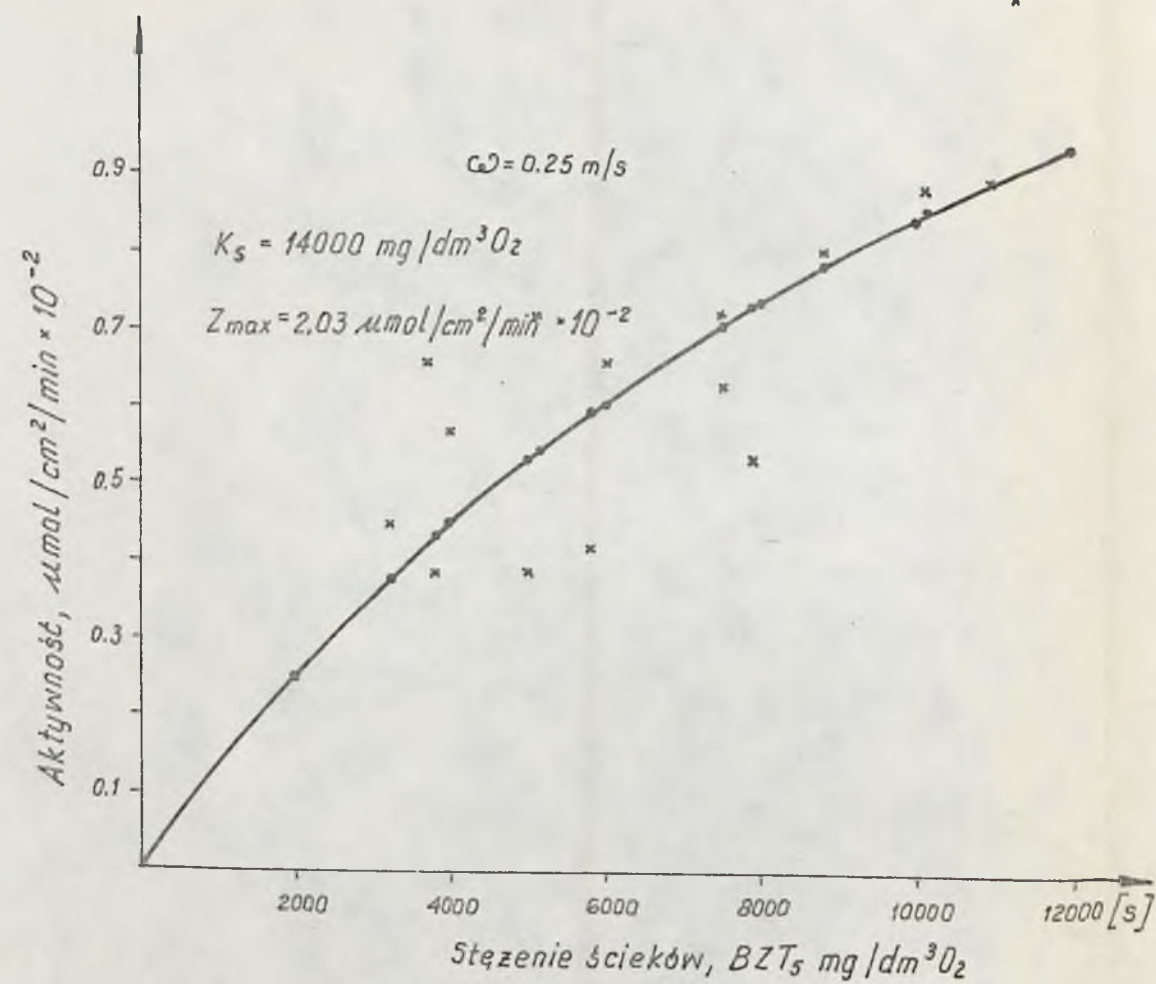


Wykres 5. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (test SDH) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa

K_s - stała substratowa

$Z_{\max}$ - maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna



Wykres 6. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (test SDH) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości taśmy $L=4.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $Z_{\max}$ - maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna

Tabela 2

Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i $Z_{\max}$ aktywności dehydrogenazy bursztynianowej /test SDH/ mikroorganizmów błony biologicznej na złożu obrotowym

Długość taśmy L m	Prędkość obwodowa ω m/s	K_s mg/dm ³ O ₂	$Z_{\max}$ μ mol/min/cm ² · 10 ⁻²
2,5	0,03	6100	1,01
	0,25	17700	2,29
3,5	0,03	10000	0,76
	0,10	11400	1,14
	0,25	15600	1,87
	0,40	22600	1,84
4,5	0,10	10100	1,27
	0,25	14000	2,03
	0,40	22000	2,16

kształtowały się następująco /tabela 2/: na złożu o długości taśmy 2,5 m przy prędkości 0,03 i 0,25 m/s wartości K_s wynosiły odpowiednio 6.100 i 17.700 mg/dm³ O₂, a Z_{max} 1,01 i 2,29 $\mu\text{mola/cm}^2/\text{min} \cdot 10^{-2}$,

Wskazuje to na intensywniejszy przebieg przemian biochemicznych na złożach o prędkości obwodowej 0,25 m/s.

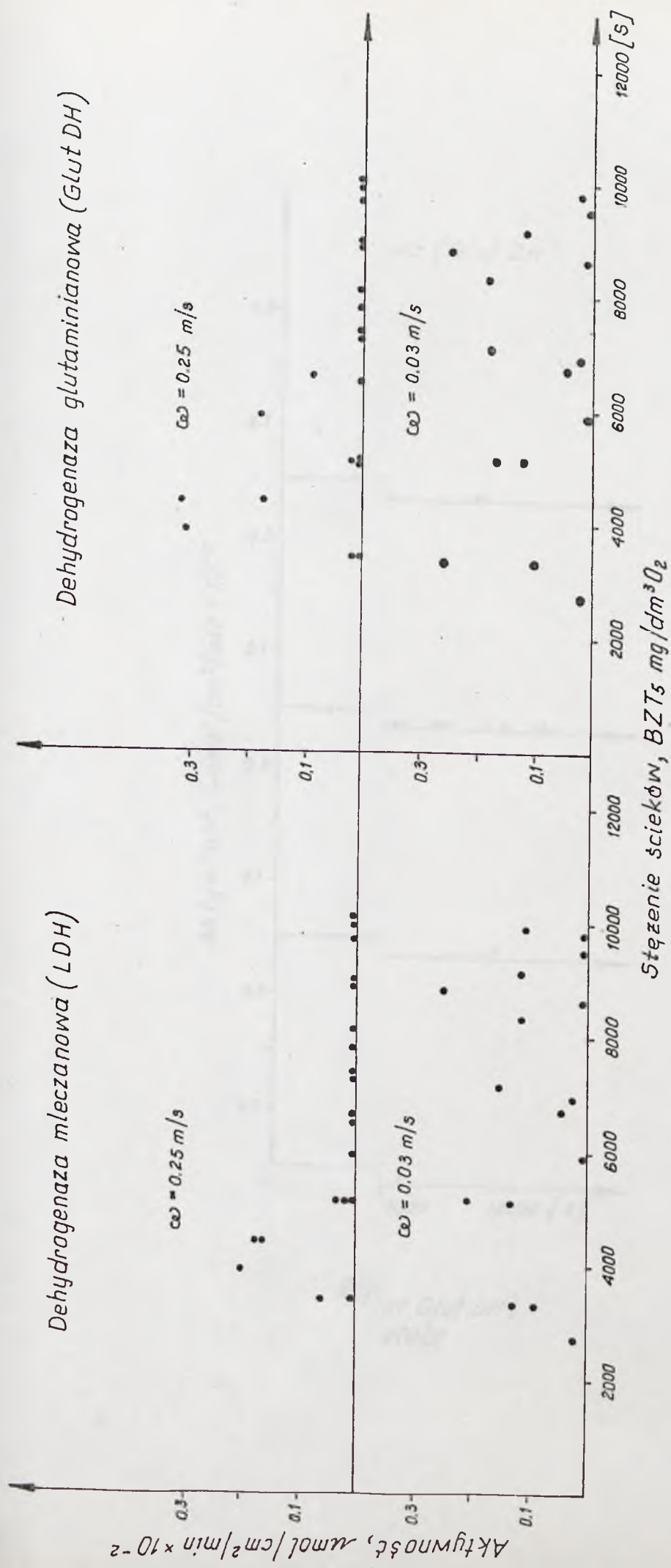
Z badań przeprowadzonych przy długości taśmy 3,5 m przy czterech prędkościach obwodowych: 0,03; 0,10; 0,25; 0,40 m/s wynika, że zwiększenie prędkości powodowało wzrost wartości oznaczanych parametrów kinetycznych. Dane te przedstawiały się odpowiednio dla K_s : 10.000; 11.400; 15.600; 22.600 mg/dm³ O₂ a dla Z_{max} 0,76; 1,14; 1,87; 1,84 $\mu\text{moli/cm}^2/\text{min} \cdot 10^{-2}$.

Podobnie kształtowały się wyniki z serii doświadczeń wykonanych na złożu o długości 4,5 m na którym stosowano trzy prędkości obwodowe tj. 0,1; 0,25; 0,40 m/s. Wartości K_s wynosiły przy tym 10.100; 14.000, 22.000 mg/dm³ O₂, a Z_{max} 1,27; 2,03; 2,16 $\mu\text{moli/cm}^2/\text{min} \cdot 10^{-2}$,

Reasumując, badania wykazały, że niezależnie od długości taśmy złoża najwyższe stężenie ścieków, przy którym osiągnięto 1/2 maksymalnej aktywności dehydrogenazy bursztynianowej uzyskano przy prędkości 0,25 m/s.

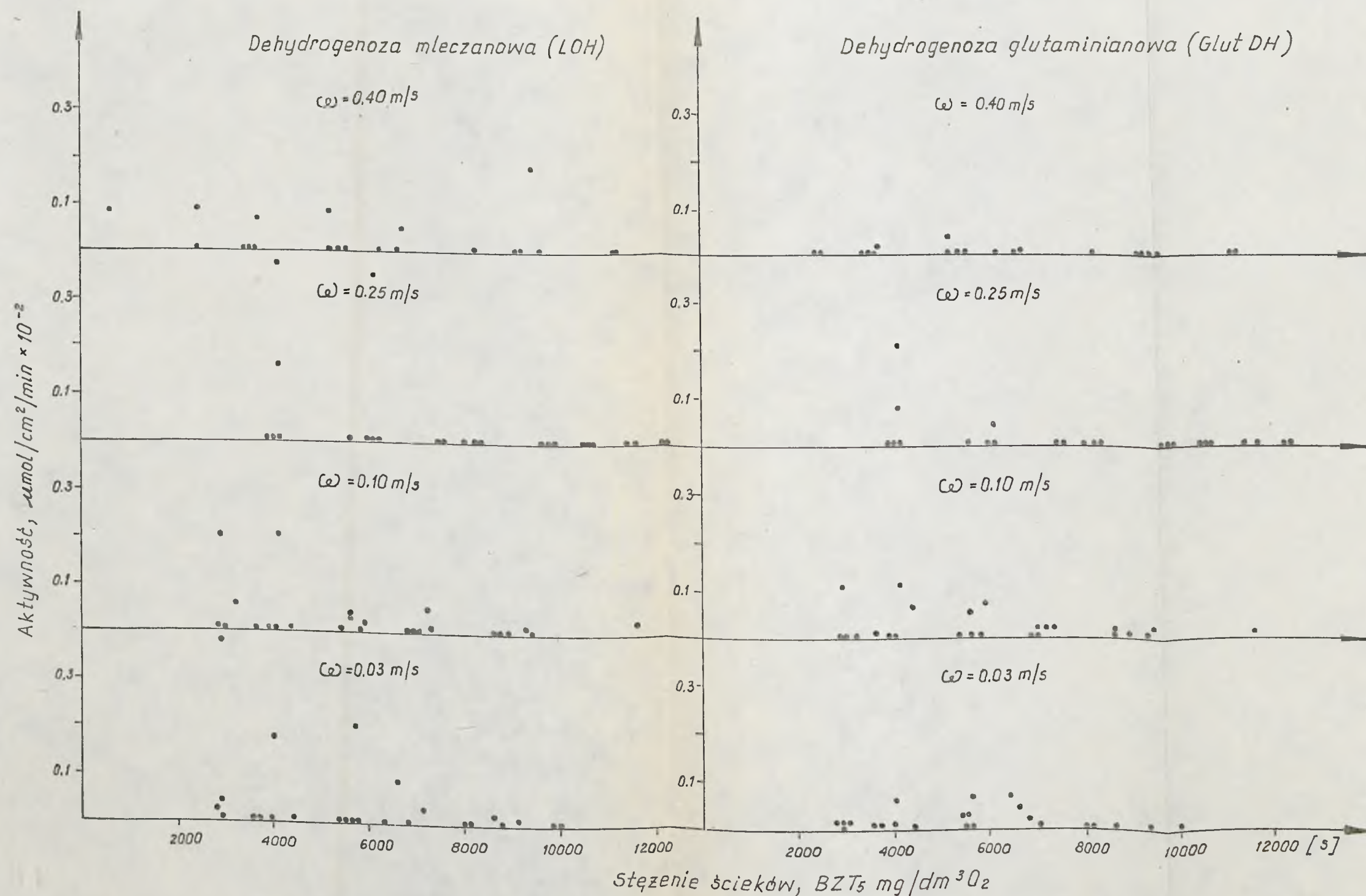
3.2.3. Aktywność dehydrogenaz: mleczanowej - LDH i glutaminianowej - Glut DH

Przeprowadzone badania nie wykazały wpływu stężenia ścieków na aktywność dehydrogenazy mleczanowej i dehydrogenazy glutaminianowej mikroorganizmów błony złoża przy stosowanych długościach taśm oraz prędkościach obwodowych. Uzyskane wyniki



Wykres 7. Aktywność dehydrogenazy mleczanowej [test LDH] i dehydrogenazy glutaminianowej [test Glut DH] mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] doptywających na złożo o długości taśmy $L=2.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa

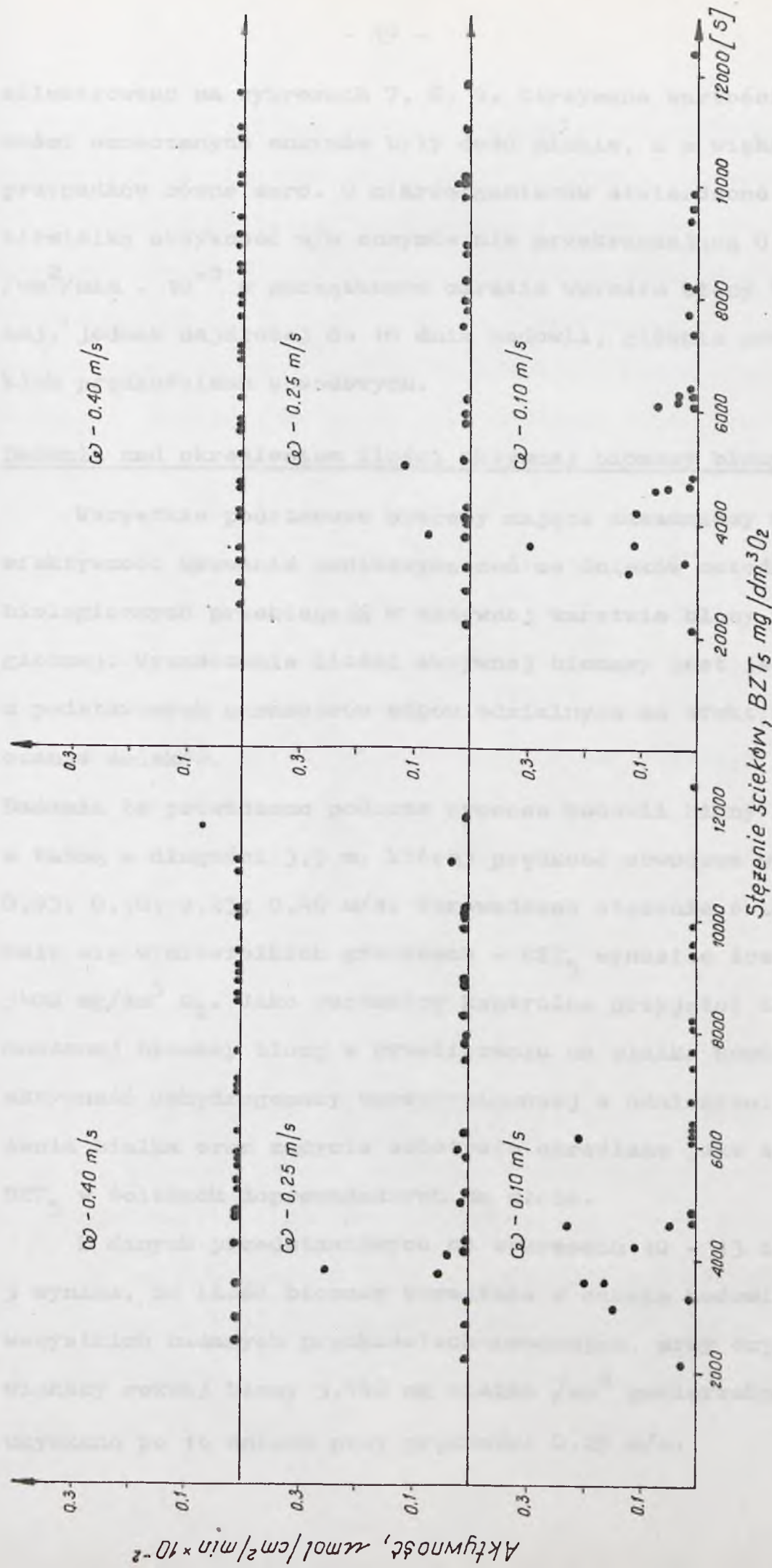


Wykres. 8. Aktywność dehydrogenazy mleczanowej (test LDH) i dehydrogenazy glutaminianowej (test Glut DH) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożę o długości taśmy $L=3.5\text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa

Dehydrogenaza mleczanowa (LDH)

Dehydrogenaza glutaminianowa (Glut DH)



Wykres 9. Aktywność dehydrogenazy mleczanowej (test LDH) i dehydrogenazy glutaminianowej (test Glut DH) mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] doptywających na złożu o długości taśmy L = 4.5 m.

ω - prędkość obrotowa

zilustrowano na wykresach 7, 8, 9. Otrzymane wartości aktywności oznaczanych enzymów były dość niskie, a w większości przypadków równe zero. U mikroorganizmów stwierdzono jedynie niewielką aktywność w/w enzymów nie przekraczającą $0,3 \mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{min} \cdot 10^{-2}$ w początkowym okresie wzrostu błony biologicznej, jednak najdłużej do 10 dnia hodowli, głównie przy niskich prędkościach obwodowych.

3.3. Badania nad określeniem ilości aktywnej biomasy błony

Wszystkie podstawowe procesy mające zasadniczy wpływ na efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków metodą złoż biologicznych przebiegają w aktywnej warstwie błony biologicznej. Wyznaczenie ilości aktywnej biomasy jest jednym z podstawowych parametrów odpowiedzialnych za efekt oczyszczania ścieków.

Badania te prowadzono podczas procesu hodowli błony na złożu z taśmą o długości 3,5 m, której prędkość obwodowa wynosiła 0,03; 0,10; 0,25; 0,40 m/s. Wprowadzane stężenie ścieków wahało się w niewielkich granicach - BZT_5 wynosiło średnio $3400 \text{ mg}/\text{dm}^3 \text{ O}_2$. Jako parametry kontrolne przyjęto: ilość namnożonej biomasy błony w przeliczeniu na białko komórkowe, aktywność dehydrogenazy bursztynianowej w odniesieniu do stężenia białka oraz zużycie substratu określane jako spadek BZT_5 w ściekach doprowadzanych na złożo.

Z danych przedstawionych na wykresach 10 - 13 i tabeli 3 wynika, że ilość biomasy wzrastała w czasie hodowli przy wszystkich badanych prędkościach obwodowych, przy czym największy rozwój błony $3,442 \text{ mg białka}/\text{cm}^2$ powierzchni złoża uzyskano po 16 dniach przy prędkości 0,25 m/s.

Zgodnie z założeniem eksperymentu rozpatrzono problem polegający na ustaleniu jaka ilość namnożonej biomasy wykazuje największą aktywność biochemiczną. W tym celu dokonano analizy wyników w oparciu o oznaczenia aktywności dehydrogenazy bursztynianowej i zużycia substratu wyrażonych jako BZT₅. Stwierdzono, że wskaźniki te charakteryzowały się odmiennie w czasie, zależnie od prędkości obwodowej taśmy. Po 7 dniach hodowli błony największe wartości zużycia substratu osiągnięto przy badanych pośrednich prędkościach obwodowych 0,10 i 0,25 m/s, wynosiły one odpowiednio 3350 i 3780 mg/dm³O₂ i 0,530; 0,597 μ mola/min/g białka. 10^{-2} . Natomiast przy pozostałych prędkościach tj. najmniejszej 0,03 m/s i największej 0,40 m/s maksymalne wartości tych parametrów uzyskano dopiero po 13 dniach hodowli błony. Ilość zużytego substratu wynosiła 3080 i 3490 mg/dm³O₂, a aktywność - 0,397 i 0,776 μ mola/min/g białka $\cdot 10^{-2}$. Przy podanych efektach zużycia substratu i aktywności enzymatycznej ilości wytworzonej biomasy charakteryzowały się następująco:

- po 7 dniowym okresie pracy złoza uzyskano biomase 1,414 i 1,770 mg/cm² złoza w przeliczeniu na białko przy prędkościach obwodowych taśmy odpowiednio 0,10 i 0,25 m/s,
- po 13 dniowym okresie pracy złoza uzyskano biomase 0,910 i 1,211 mg/cm² przy obrotach odpowiednio 0,03 i 0,40 m/s.

Na podstawie wyżej przytoczonych wyników stwierdzono, że maksymalna ilość aktywnej biomasy tj. 1,770 mg/cm² została namnożona na złożu obrotowym o długości taśmy 3,5 m, przy prędkości obwodowej 0,25 m/s po okresie 7 dni. Należy pod-

Zestawienie wyników badań nad określeniem aktywnej ilości biomasy błony biologicznej

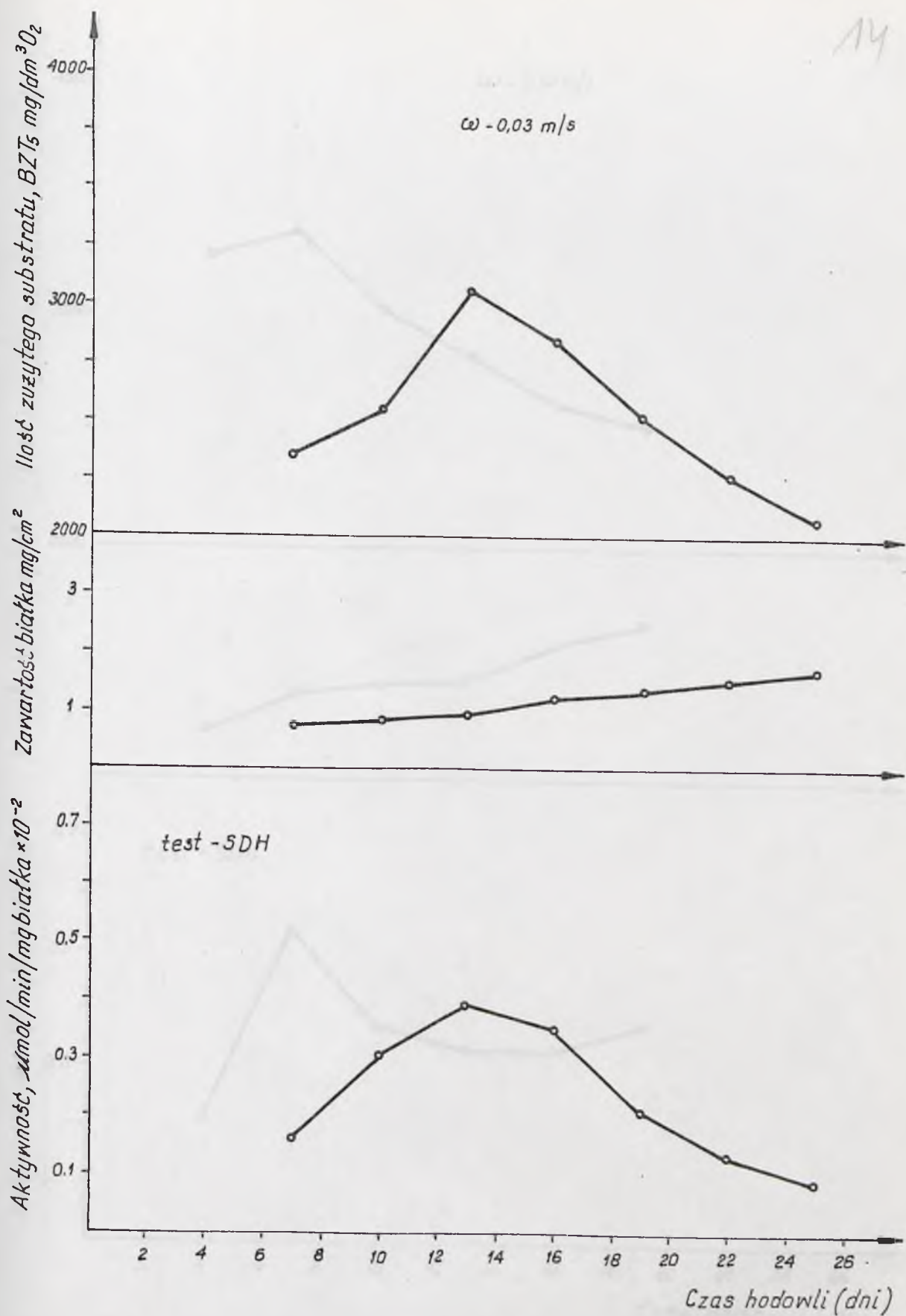
Długość taśmy 3,5 m
Ilość substratu jako BZT₅ — 3400 mg/dm³ O₂ /wartość średnia/
Zakres: 2800 — 4000 mg/dm³ O₂

Czas hodowli (dni)	0,03			0,10			0,25			0,40		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
4	—	—	—	3250	0,838	0,208	3610	1,083	0,358	—	—	—
7	2310	0,740	0,161	3350	1,414	0,530	3780	1,770	0,597	2220	0,294	0,149
10	2540	0,820	0,302	3020	1,608	0,369	3540	2,490	0,477	2780	0,712	0,477
13	3080	0,910	0,397	2830	1,735	0,328	3250	2,893	0,358	3490	1,211	0,776
16	2850	1,210	0,351	2630	2,336	0,328	3010	3,442	0,030	3290	2,265	0,328
19	2530	1,362	0,209	2520	2,704	0,376	—	—	—	—	—	—
22	2280	1,530	0,132	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	2080	1,696	0,089	—	—	—	—	—	—	—	—	—

a — ilość zużytego substratu — BZT₅ mg/dm³ O₂

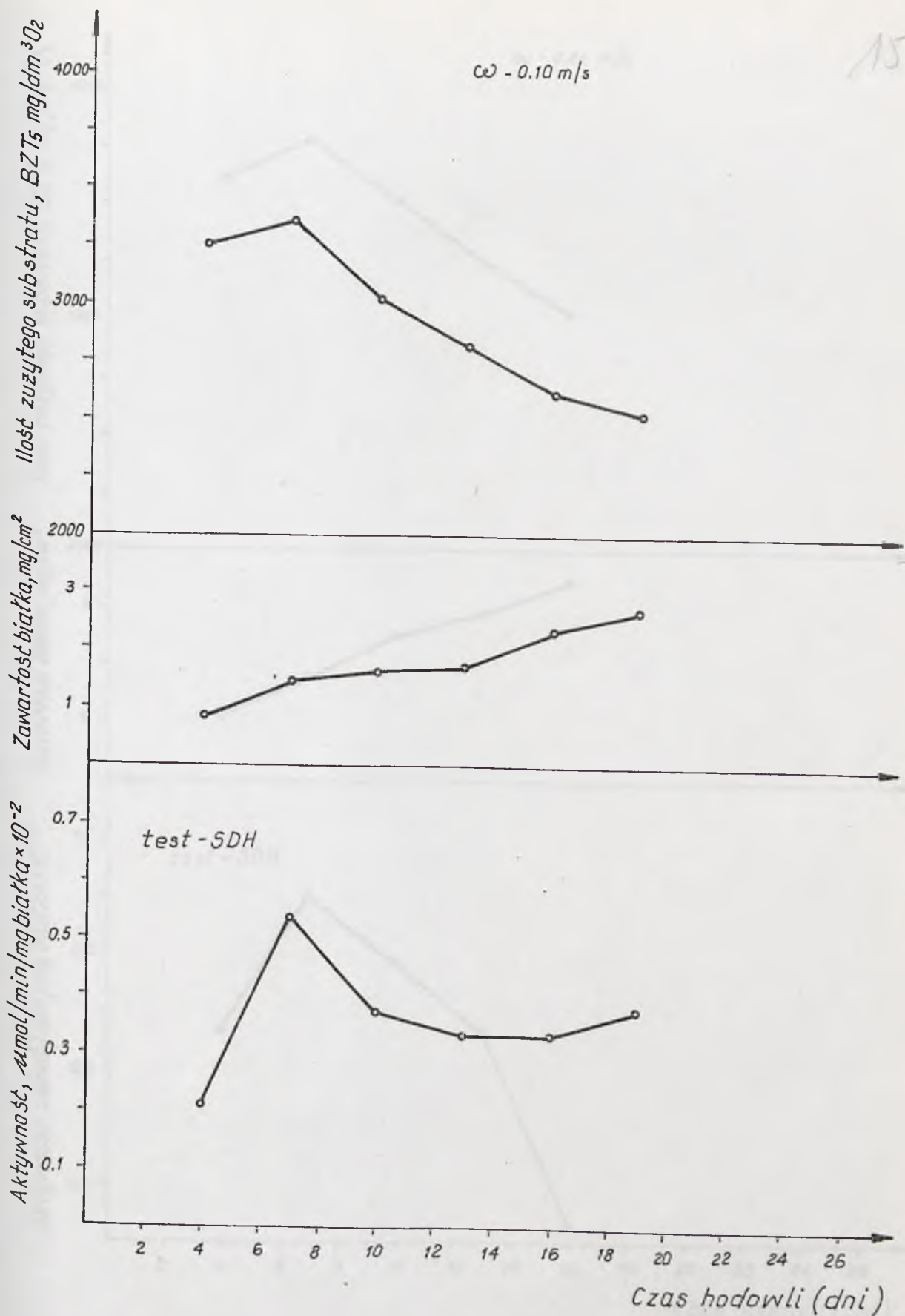
b — zawartość białka mg/cm² powierzchni złoża

c — aktywność dehydrogenazy bursztynianowej — test SDH μ mole/min/g białka · 10⁻²



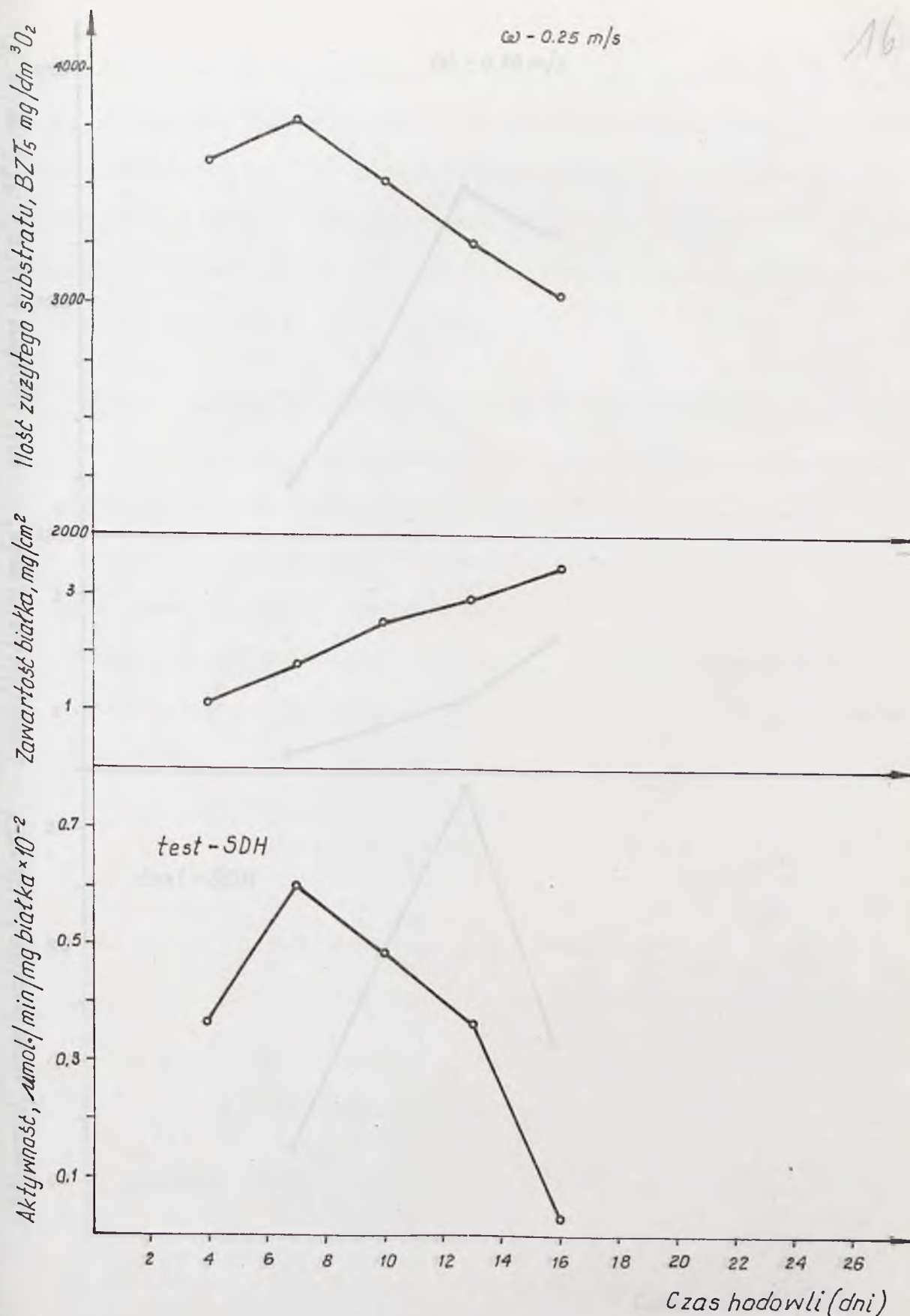
Wykres 10. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (test SDH), zawartość białka oraz ilość zużytego substratu przez mikroorganizmy w zależności od czasu hodowli błony biologicznej na złażu o długości taśmy $L = 3.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa



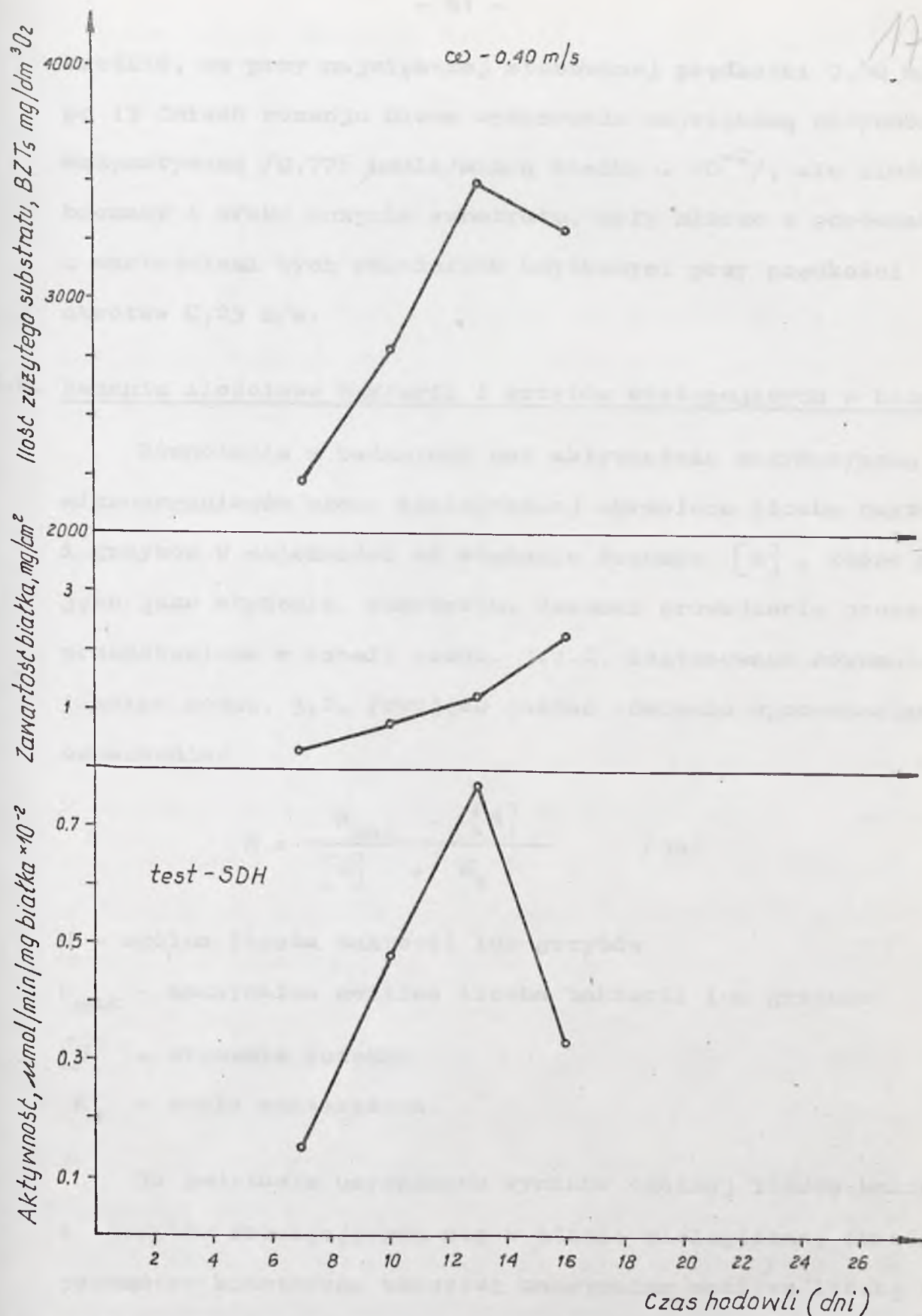
Wykres 11. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (test SDH), zawartość białka oraz ilość zużytego substratu przez mikroorganizmy w zależności od czasu hodowli błony biologicznej na złożu o długości taśmy $l = 3.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa



Wykres 12. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (test SDH), zawartość białka oraz zużytego substratu przez mikroorganizmy w zależności od czasu hodowli błony biologicznej na złożu o długości taśmy $L=3.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obrotowa



Wykres 13. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej (test SDH), zawartość białka oraz ilość zużytego substratu przez mikroorganizmy w zależności od czasu hodowli błony biologicznej na złożu o długości taśmy $L=3.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa

kreślić, że przy największej stosowanej prędkości 0,40 m/s po 13 dniach rozwoju błona wykazywała największą aktywność enzymatyczną /0,776 $\mu\text{mola}/\text{min}/\text{g}$ białka $\cdot 10^{-2}$ /, ale ilość biomasy i efekt zużycia substratu, były niższe w porównaniu z wartościami tych wskaźników uzyskanymi przy prędkości obrotów 0,25 m/s.

3.4. Badania ilościowe bakterii i grzybów występujących w błonie

Równolegle z badaniami nad aktywnością enzymatyczną mikroorganizmów błony biologicznej określono liczbę bakterii i grzybów w zależności od stężenia ścieków $[S]$, które przyjęto jako stężenie substratu. Warunki prowadzenia procesu przedstawiono w tabeli rozdz. 3.1.2. Zastosowano równanie 1 patrz rozdz. 3.2. Przyjęto postać równania wprowadzając oznaczenia:

$$M = \frac{M_{\max} \cdot [S]}{[S] + K_s} \quad /1a/$$

M - ogólna liczba bakterii lub grzybów

$M_{\max}$ - maksymalna możliwa liczba bakterii lub grzybów

$[S]$ - stężenie ścieków

K_s - stała substratowa.

Na podstawie uzyskanych wyników ogólnej liczby bakterii i grzybów rozwijających się w błonie biologicznej określono parametry kinetyczne wzrostu: maksymalną możliwą liczbę bakterii lub grzybów $/M_{\max}/$ i stałą substratową K_s tj. stężenie ścieków wyrażone w BZT_5 przy którym uzyskano 1/2 maksymalnej liczebności bakterii lub grzybów. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z metodą podaną w punkcie 2.7.

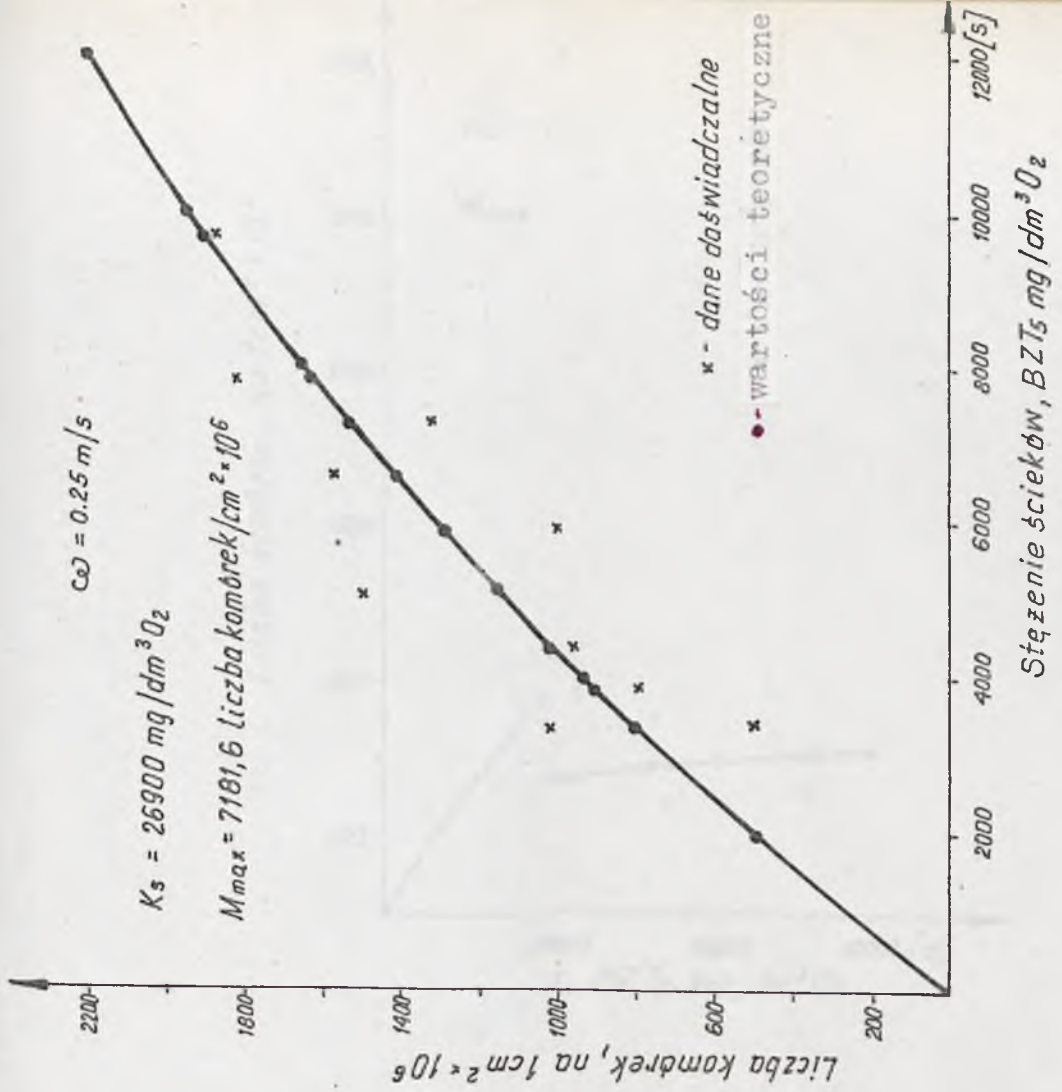
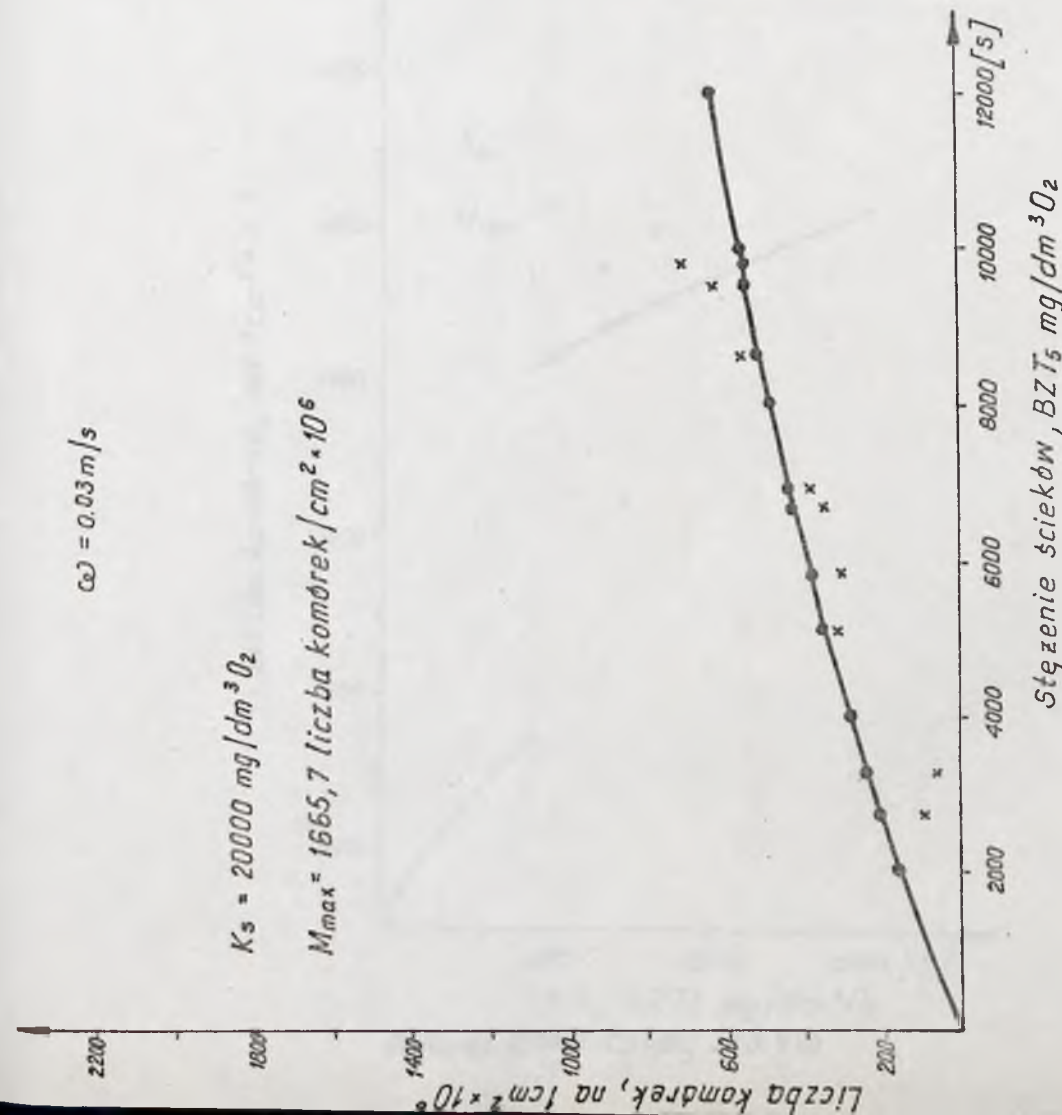
- Ogólna liczba bakterii

Przeprowadzono oznaczenia ogólnej liczby bakterii występujących w błonie biologicznej, rozwijającej się na złożach o długości taśm 2,5; 3,5; 4,5 m. Zastosowano zmienne prędkości taśm tj. 0,03; 0,10; 0,25; 0,40 m/s.

Na podstawie wyników uzyskanych we wszystkich seriach badawczych /wykres 14, 15, 16/ stwierdzono, że wraz ze wzrostem stężenia ścieków od 3.400 do 9.900 mg/dm³O₂ zwiększała się ogólna liczba bakterii. Przebieg krzywych obrazujących liczbę oraz parametry kinetyczne wzrostu bakterii kształtowały się przy stosowanej długości taśm, zależnie od prędkości obwodowej /tabela 4/.

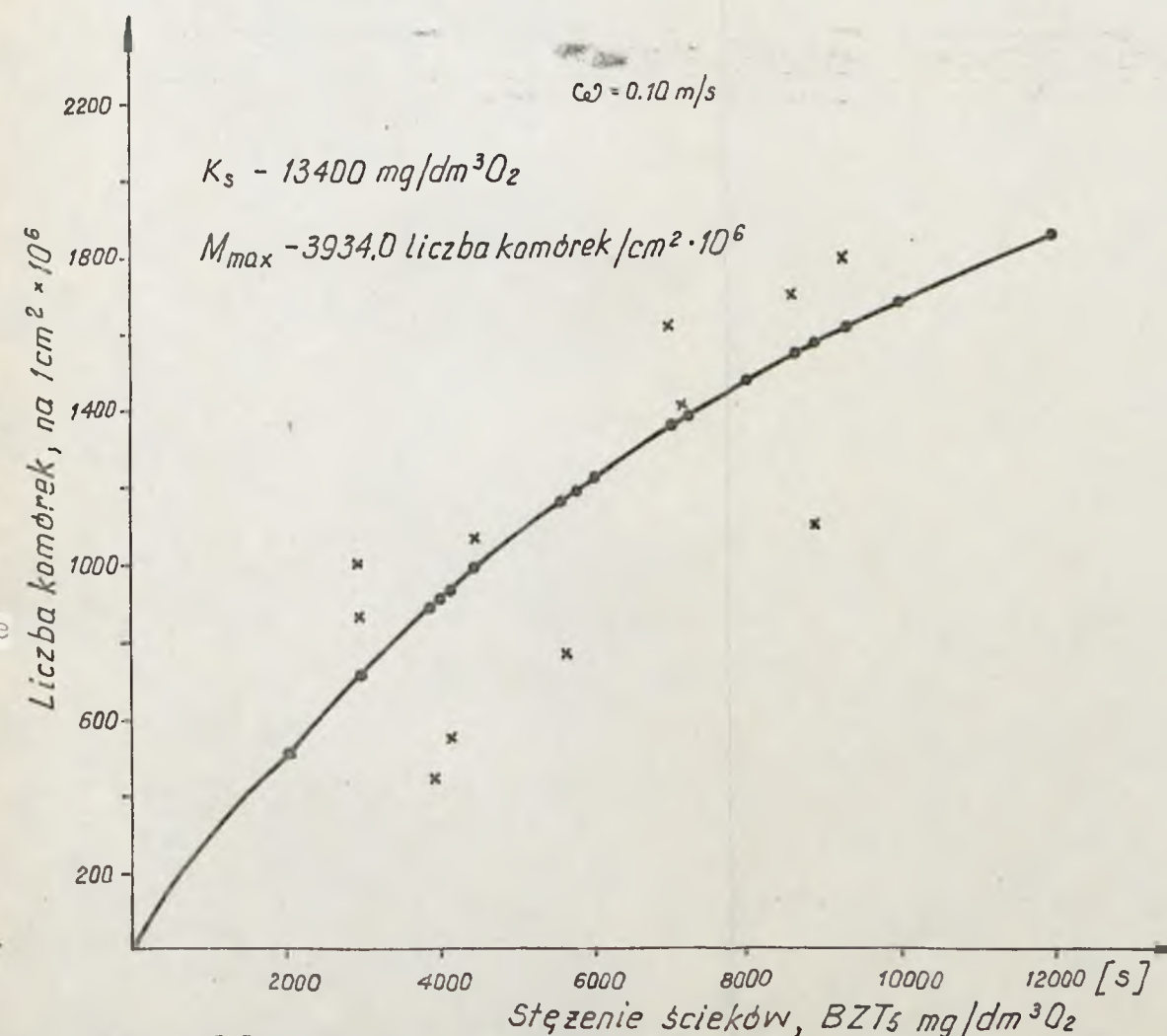
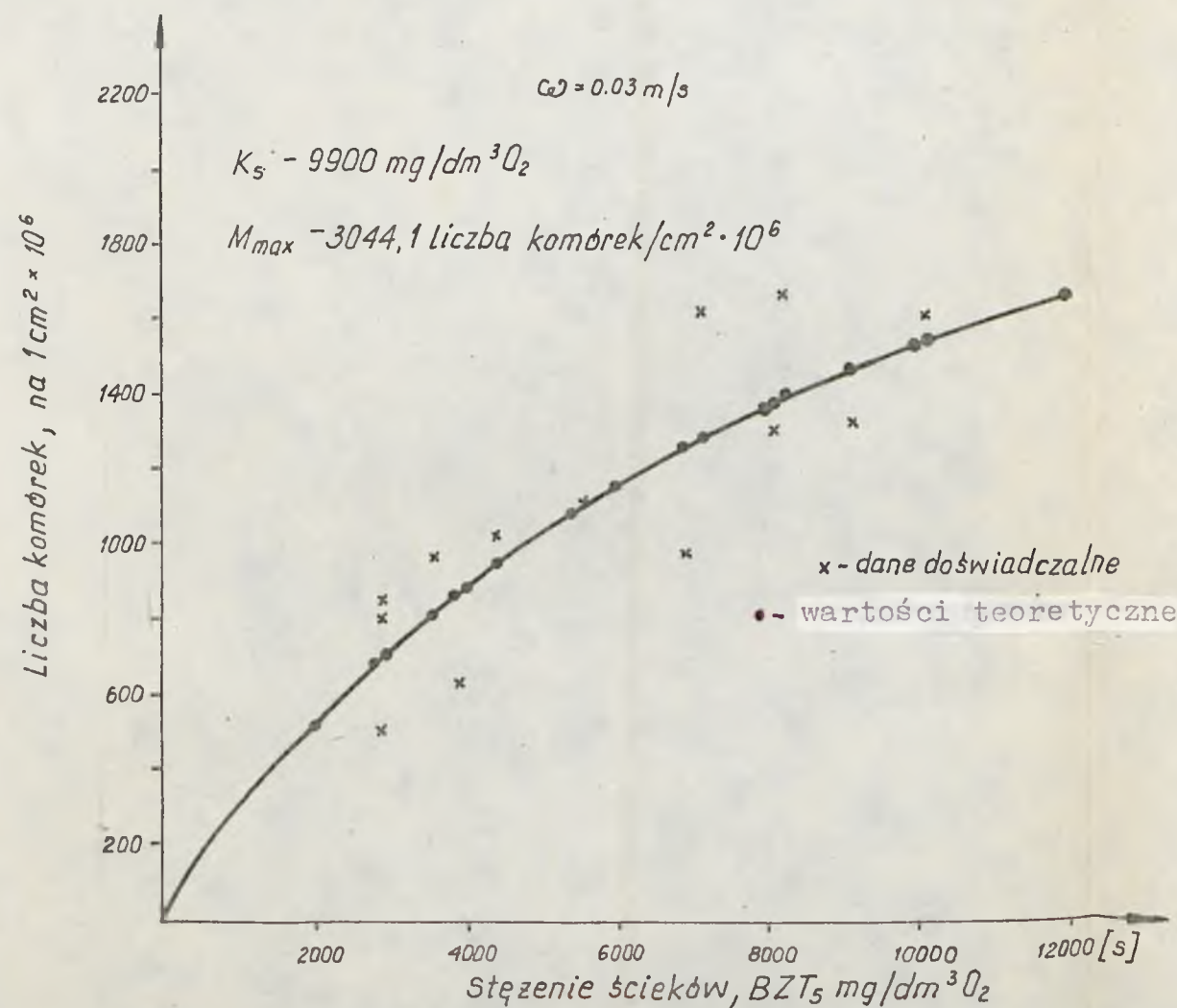
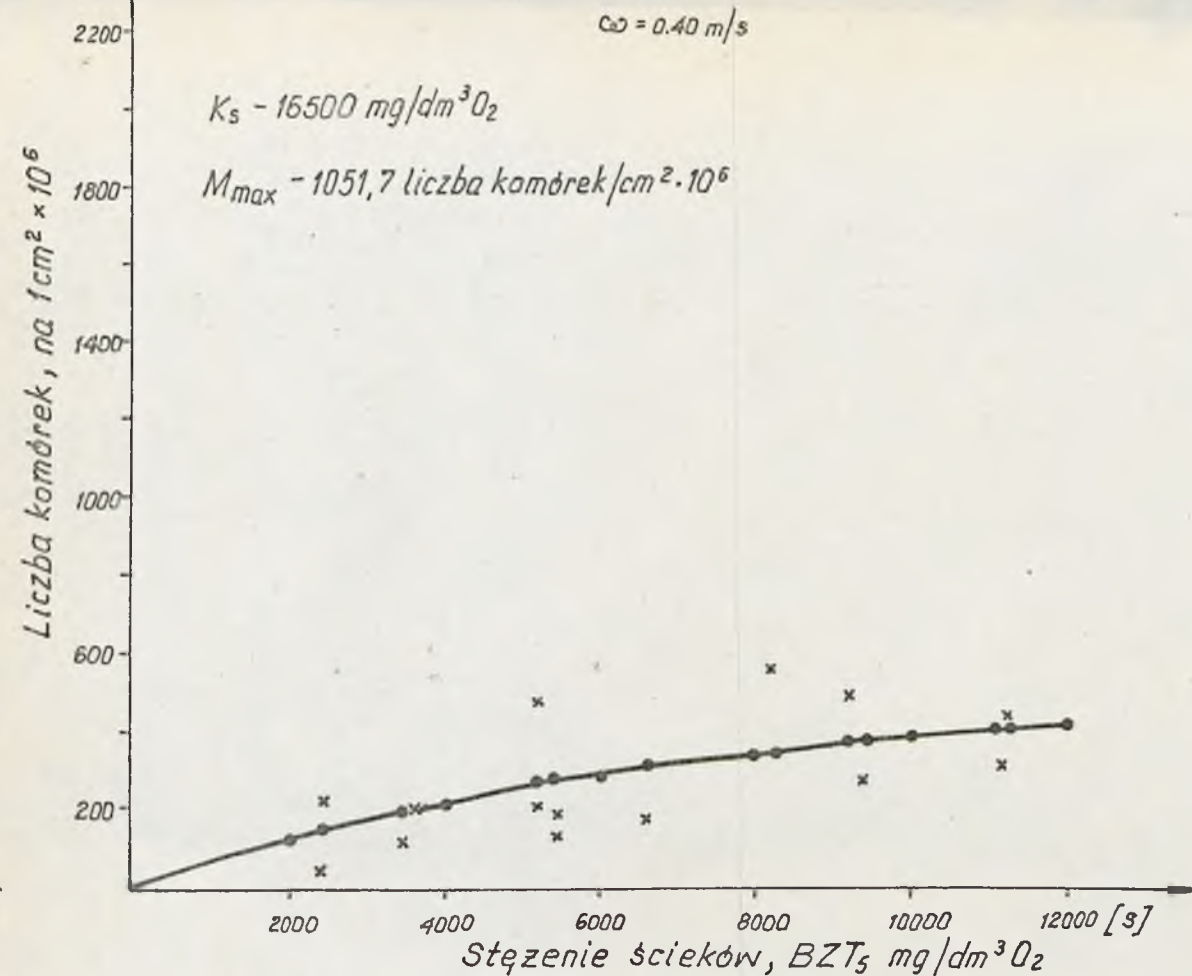
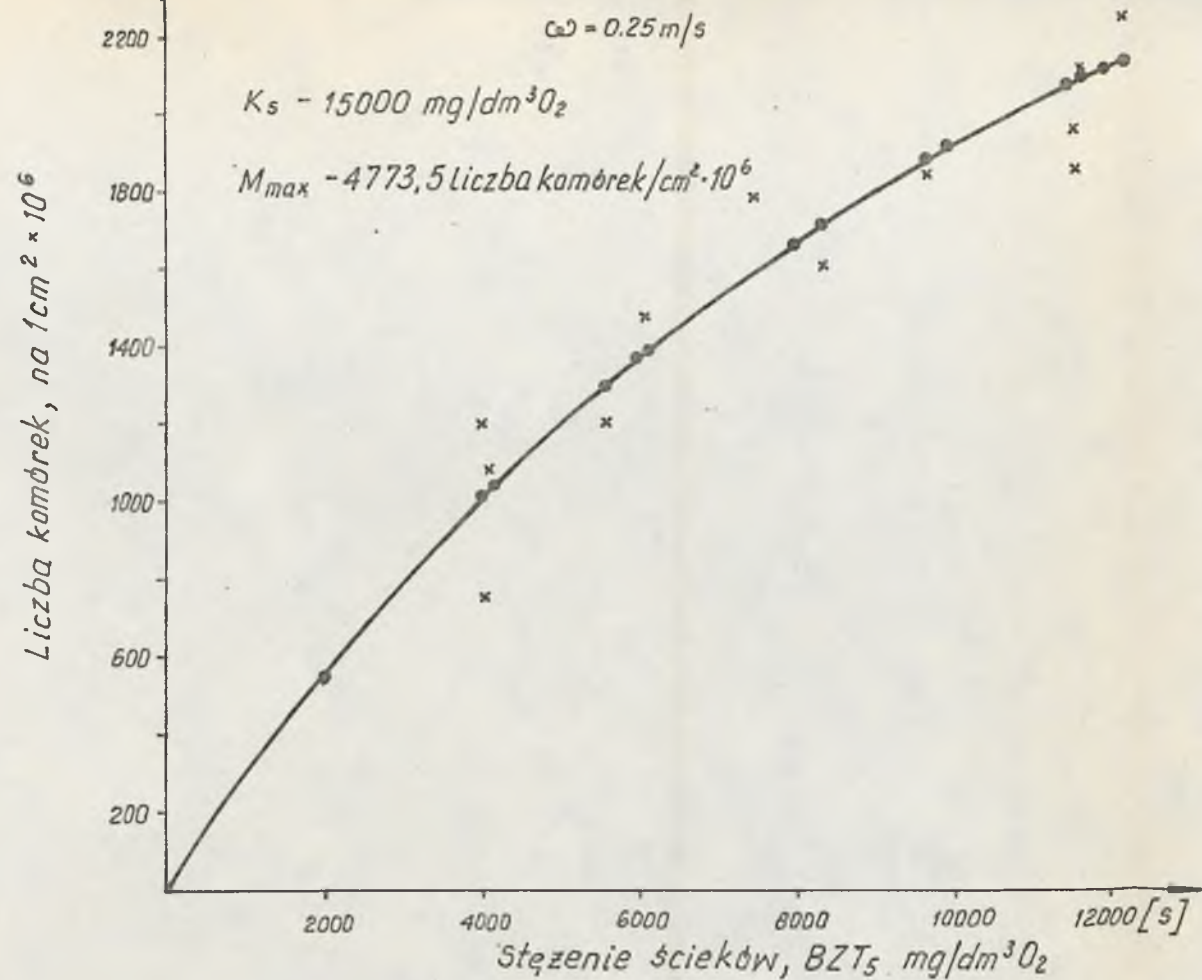
Na złożu o długości taśmy 2,5 m stosowano dwie prędkości obwodowe tj. 0,03 i 0,25 m/s. Z porównania uzyskanych wyników przy tych parametrach można wnioskować, że wzrost prędkości obwodowej uintensyfikował rozwój bakterii. Świadczy o tym mniejsza liczebność bakterii w błonie przy prędkości 0,03 m/s aniżeli 0,25 m/s jak również wartości parametrów kinetycznych wzrostu, a mianowicie K_s odpowiednio: 20.000 i 26.900 mg/dm³O₂, a M_{max} 1665,7 i 7181,6 komórek /cm² · 10⁶. Z danych tych wynika, że szczególnie prędkość obwodowa wywierała duży wpływ na wartość wskaźnika M_{max} /około 3,5 krotny wzrost przy prędkości 0,25 m/s w porównaniu z wielkością stwierdzoną przy prędkości 0,03 m/s/.

Badania na złożu o długości taśmy 3,5 m przeprowadzono przy czterech prędkościach obwodowych: 0,03; 0,10; 0,25 i 0,40 m/s. Przy pierwszych trzech prędkościach wartości K_s wynosiły odpowiednio: 9900; 13400; 15000 mg/dm³O₂, a M_{max}

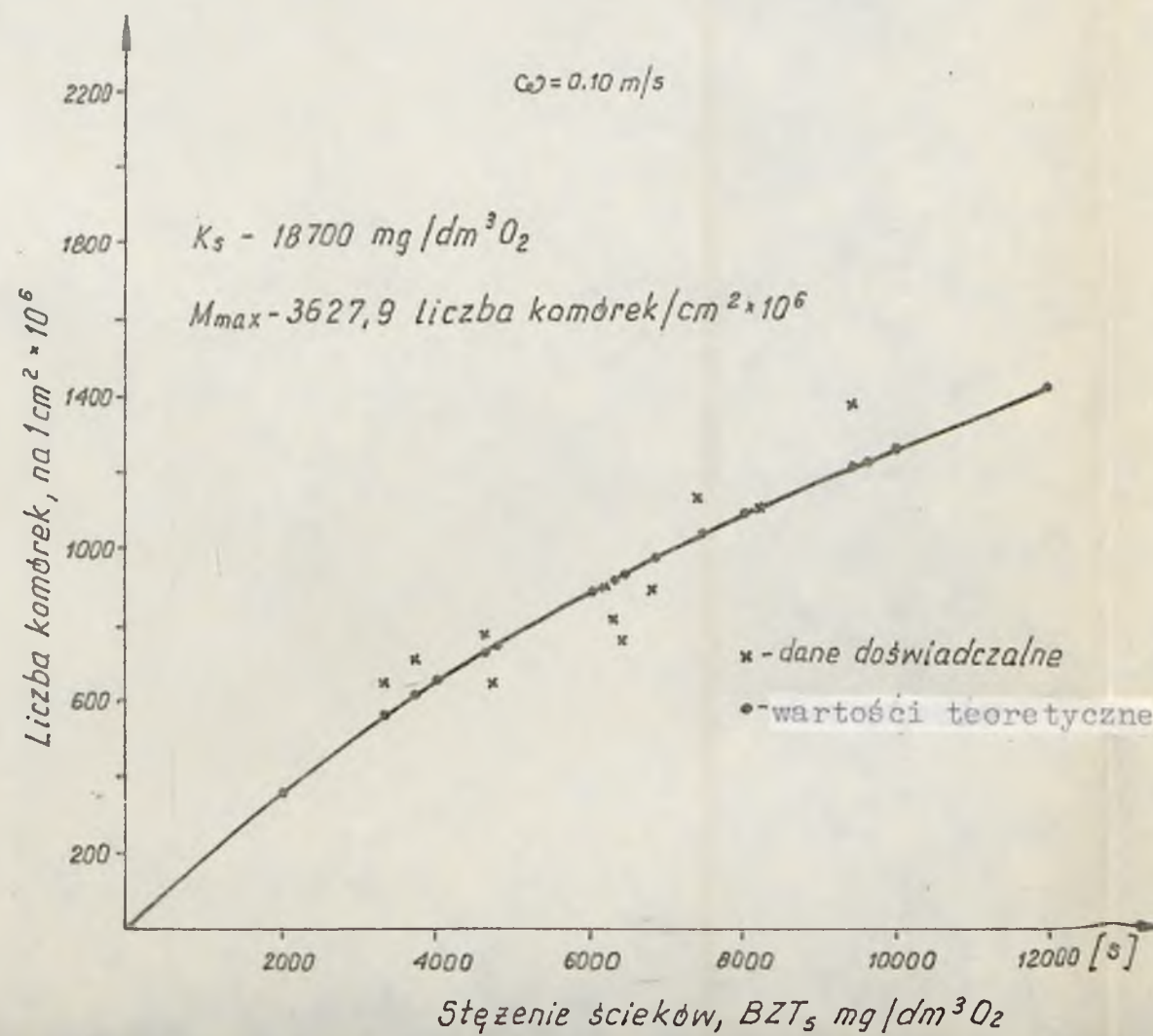
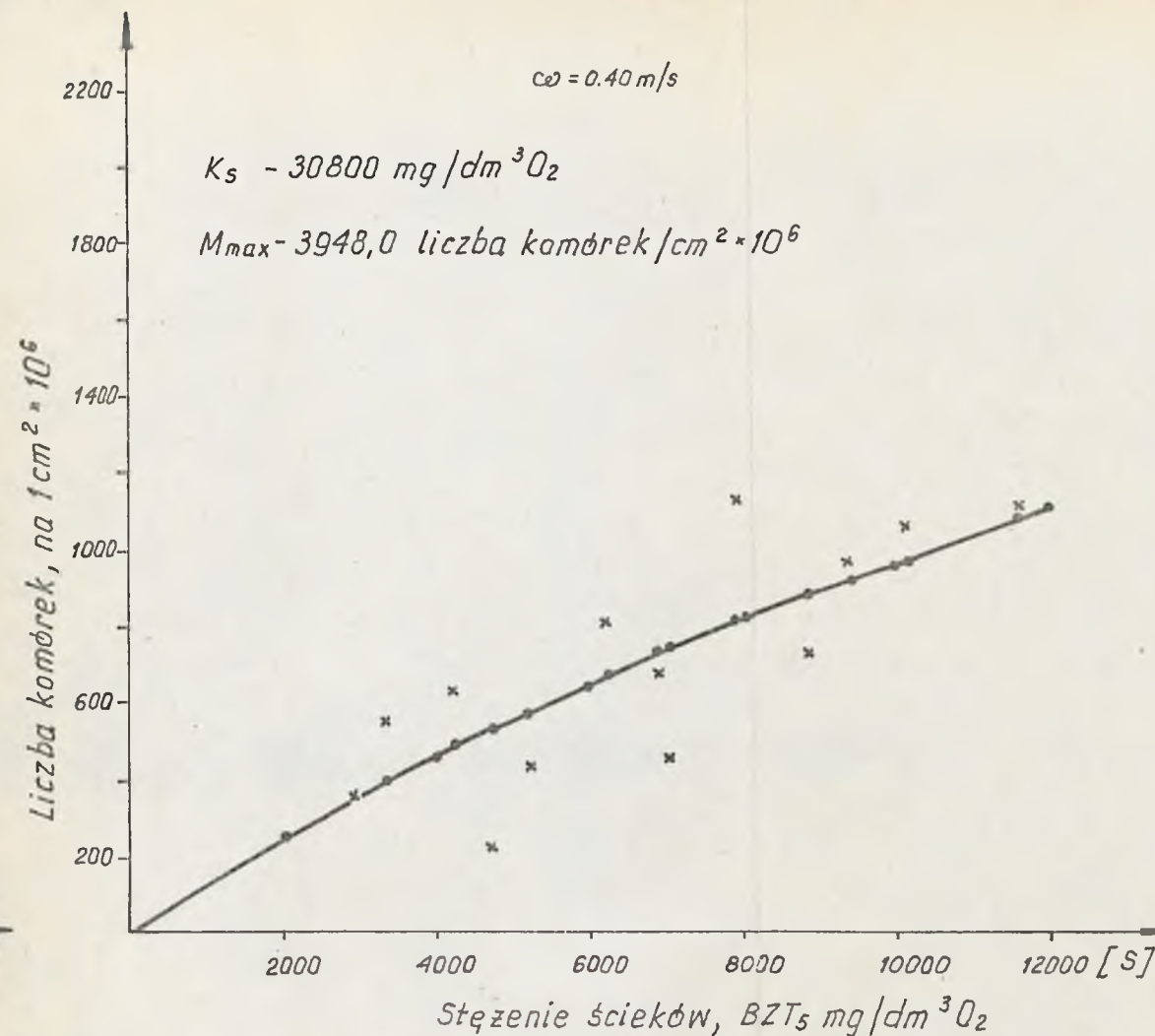
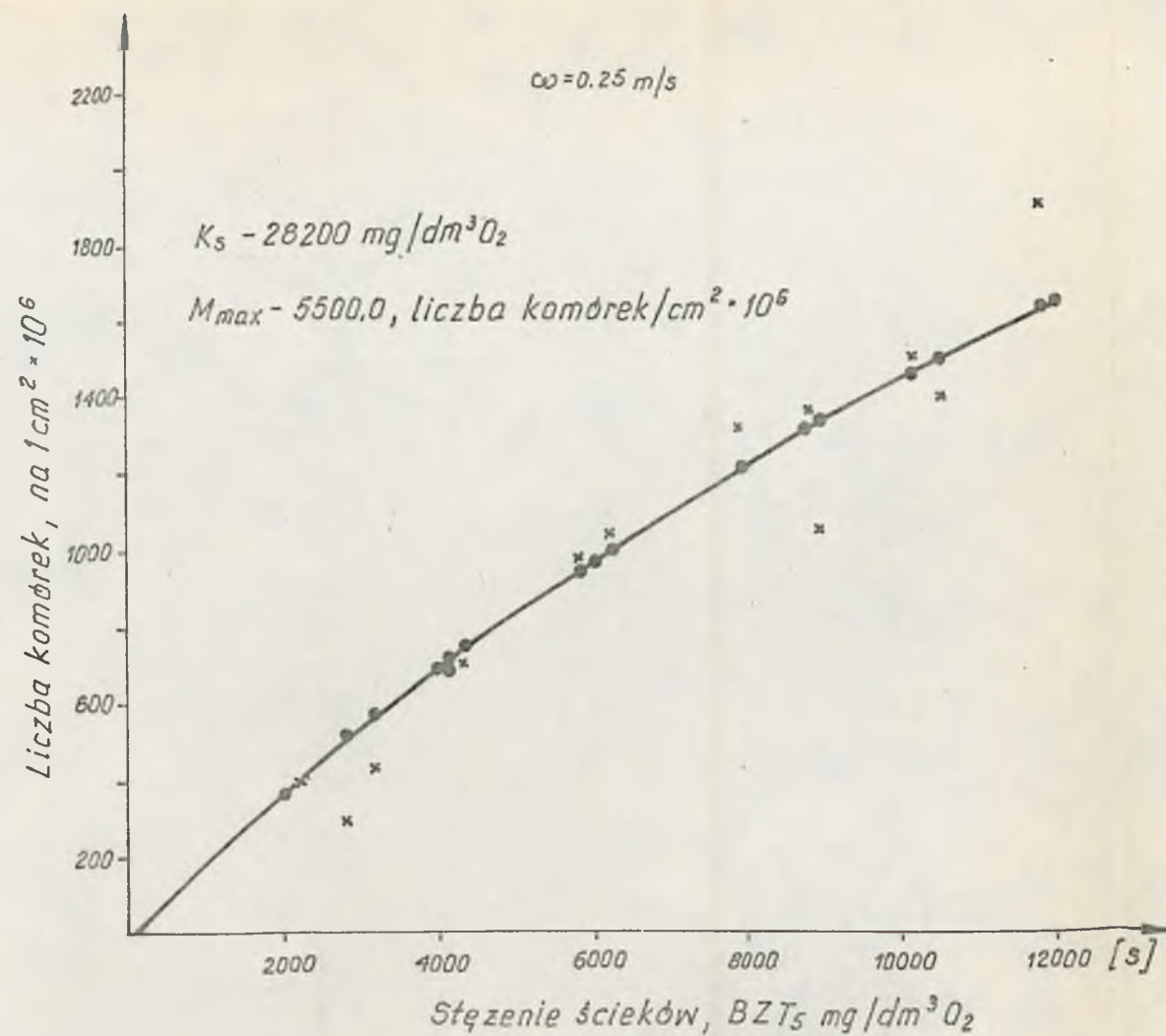


Wykres 14. Liczebność bakterii błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na źródło o długości $L=2.5\text{m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $M_{\max}$ - maksymalna możliwa liczba bakterii



Wykres 15. Liczebność bakterii błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3.5 \text{ m}$
 ω - prędkość obwodowa K_s - stała substratowa $M_{\max}$ - maksymalna możliwa liczba bakterii



Wykres 16. Liczebność bakterii błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków $[S]$ dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $M_{\max}$ - maksymalna możliwa liczba bakterii

Tabela 4

Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i $M_{\max}$
 liczebności bakterii błony biologicznej na złożu obrotowym

Długość taśmy L m	Prędkość obwodowa ω m/s	K_s mg/dm ³ C_2	$M_{\max}$ komórek/cm ² · 10 ⁶
2,5	0,03	20000	1665,7
	0,25	26900	7181,6
3,5	0,03	9900	3044,1
	0,10	13400	3934,0
	0,25	15000	4773,5
	0,40	16500	1051,7
4,5	0,10	18700	3627,9
	0,25	23200	3500,0
	0,40	30800	3948,0

3044,1; 3934,0; 4773,5 komórek /cm² · 10⁶ co wskazuje na wzrost parametrów kinetycznych obrazujących rozwój bakterii w miarę zwiększania się prędkości obwodowej taśmy.

Natomiast przy prędkości największej - 0,40 m/s wzrost wartości K_s był niewielki /16500 mg/dm³O₂/ natomiast wartość M_{max} spadła do 1051,7 komórek /cm² · 10⁶.

Na złożu o długości taśmy 4,5 m przy trzech stosowanych prędkościach obwodowych 0,10; 0,25; 0,40 m/s wartości K_s były następujące: 18700; 28200; 30800 mg/dm³O₂, a M_{max} 3627,9; 5500,0; 3948,0 komórek /cm² · 10⁶. Tak więc stała substratowa K_s wzrastała wraz ze zwiększeniem prędkości obwodowej.

Natomiast najwyższą maksymalną możliwą liczbę bakterii - M_{max} zanotowano przy prędkości pośredniej 0,25 m/s a po zwiększeniu prędkości do 0,40 m/s - wyraźny spadek.

W podsumowaniu przeprowadzonych doświadczeń należy podkreślić, że niezależnie od długości taśmy największą liczbę bakterii w błonie biologicznej stwierdzono przy prędkości obwodowej 0,25 m/s.

Z porównania wartości K_s na wszystkich złożach przy tej prędkości wynika, że najwyższe wartości K_s i M_{max} uzyskano w badaniach błony biologicznej, rozwijającej się na taśmach o długości 2,5 i 4,5 m.

- Ogólna liczba grzybów

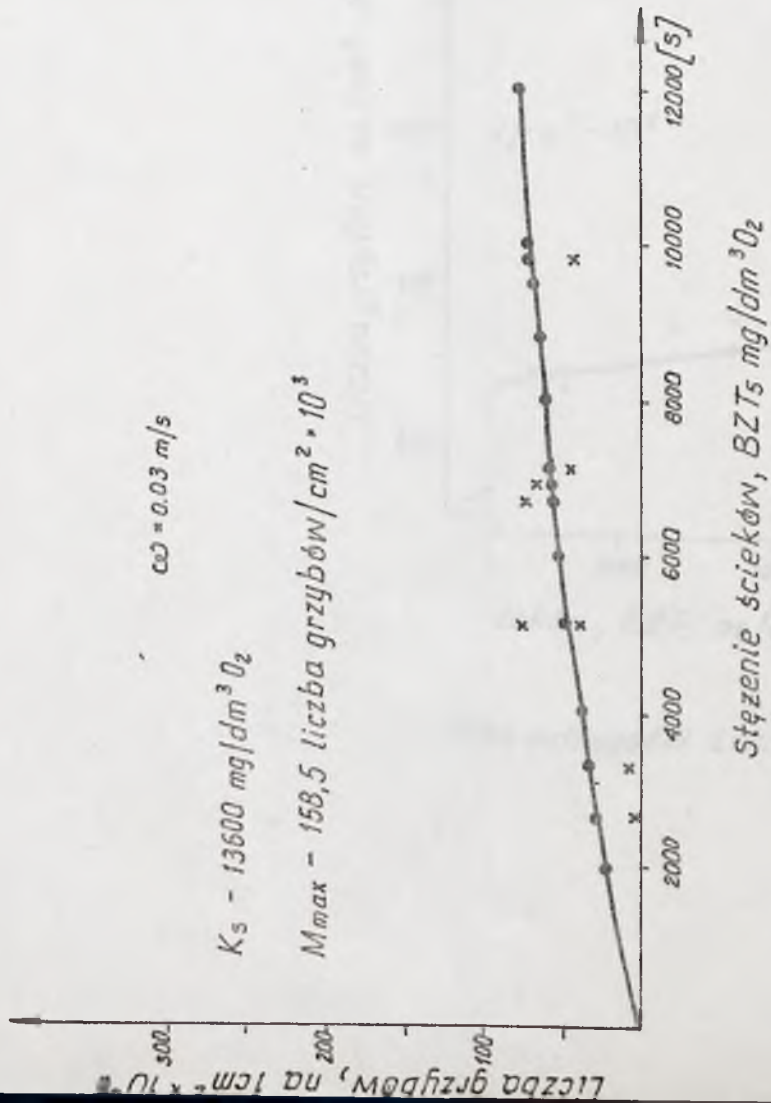
Przeprowadzono badania ilościowe nad występowaniem grzybów w błonie biologicznej rozwijającej się na złożach obrotowych. Parametry procesu podano w rozdz. 3.1.2.

Z przedstawionych wyników na wykresach 17, 18, 19 można wnioskować, że ogólna liczba grzybów zwiększała się na wszyst-

kich taśmach wraz ze wzrostem BZT₅ ścieków dopływających. Natomiast w zależności od warunków prowadzenia procesu parametry kinetyczne wzrostu grzybów kształtowały się następująco /tabela 5/: na złożu przy zastosowaniu taśmy 2,5 m, prędkości obwodowej 0,03 i 0,25 m/s wartość K_s wynosiła odpowiednio 13600 i 40000 mg/dm³ O₂, a M_{max} 158,5 i 651,8 grzybów/cm² · 10³. Wskazuje to na intensywniejszy wzrost grzybów przy prędkości 0,25 m/s.

Podobnie kształtowały się wyniki z serii doświadczeń wykonanych na złożu o długości taśmy 4,5 m z prędkością obwodową 0,1 i 0,25 m/s. Wartość K_s wyniosła 26200, 28700 mg/dm³ O₂, a M_{max} 900 i 1113 grzybów/cm² · 10³. Tylko dla prędkości 0,40 m/s przy niewielkim wzroście wartości K_s do 30000 mg/dm³ O₂ nastąpił gwałtowny spadek M_{max} do 378 grzybów /cm² · 10³.

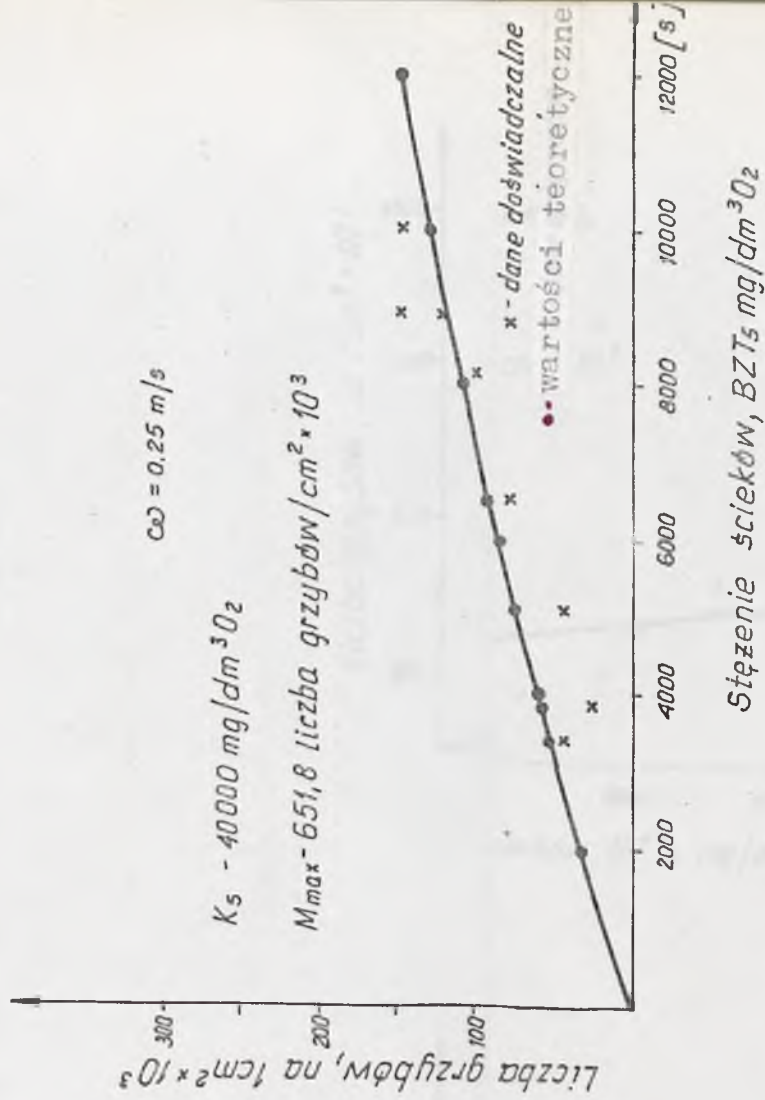
Odmienne przedstawiają się badania przeprowadzone na złożu o pośredniej długości taśmy tj. 3,5 m przy zastosowaniu czterech prędkości obwodowych tj. 0,03; 0,10; 0,25; 0,40 m/s. Z danych przedstawionych na wykresie 18 /tabeli 5/ wynika, że wzrost prędkości do 0,25 m/s powodował spadek wartości parametrów kinetycznych K_s i M_{max} . Przy prędkościach 0,03; 0,10; 0,25 m/s wartość K_s wynosiła 16600, 14000, 10200 mg/dm³ O₂ zaś M_{max} 2374; 1191; 622 grzybów/cm² · 10³. Przy zwiększeniu prędkości do 0,40 m/s następuje niewielki wzrost K_s i M_{max} w stosunku do wartości tych parametrów jakie uzyskano przy prędkości 0,25 m/s.



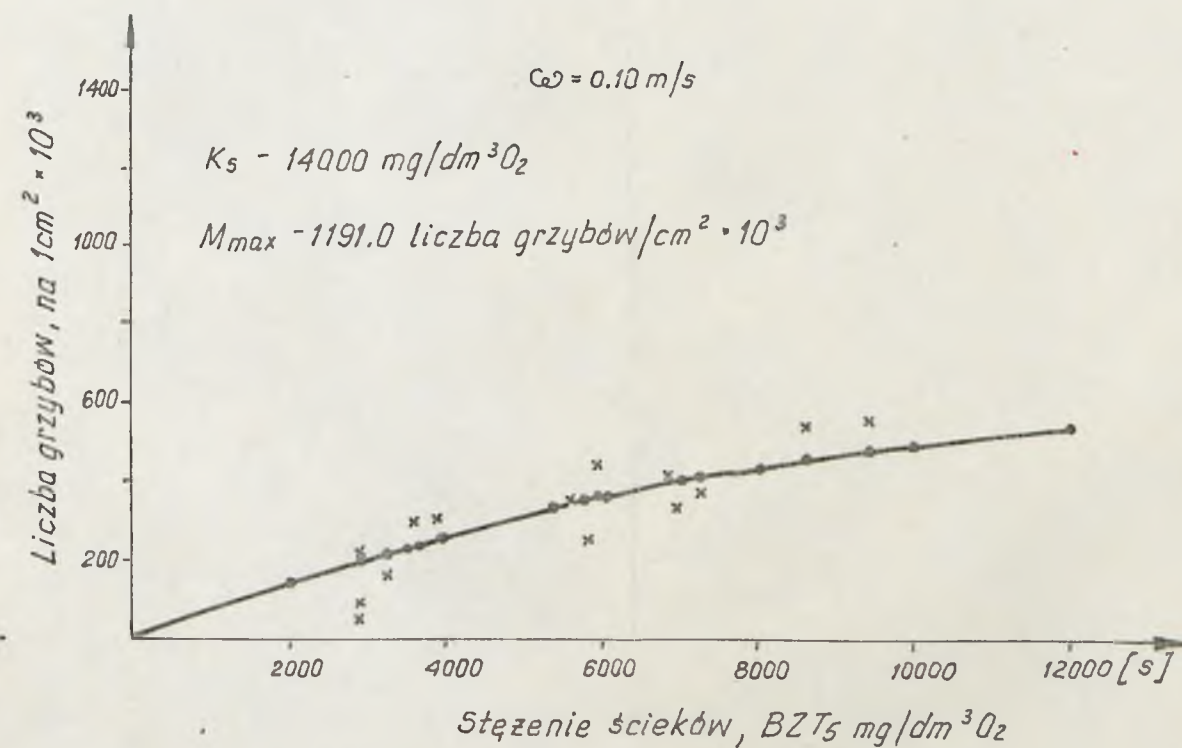
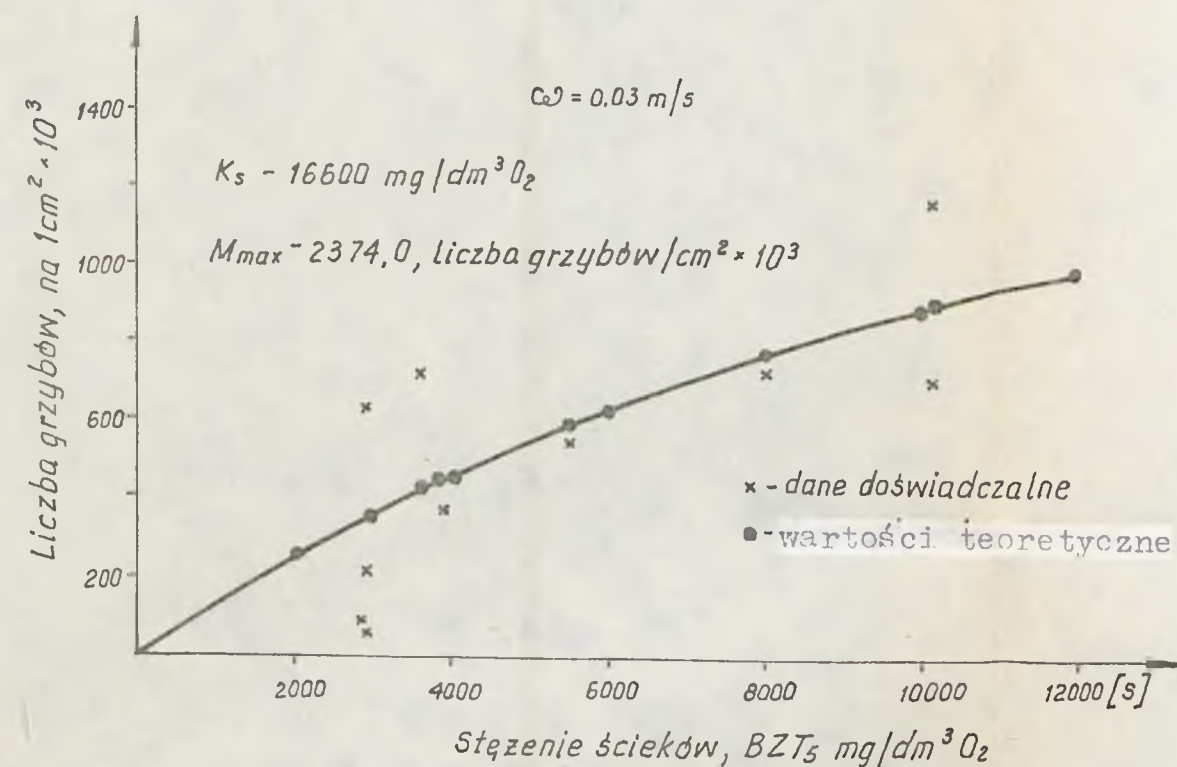
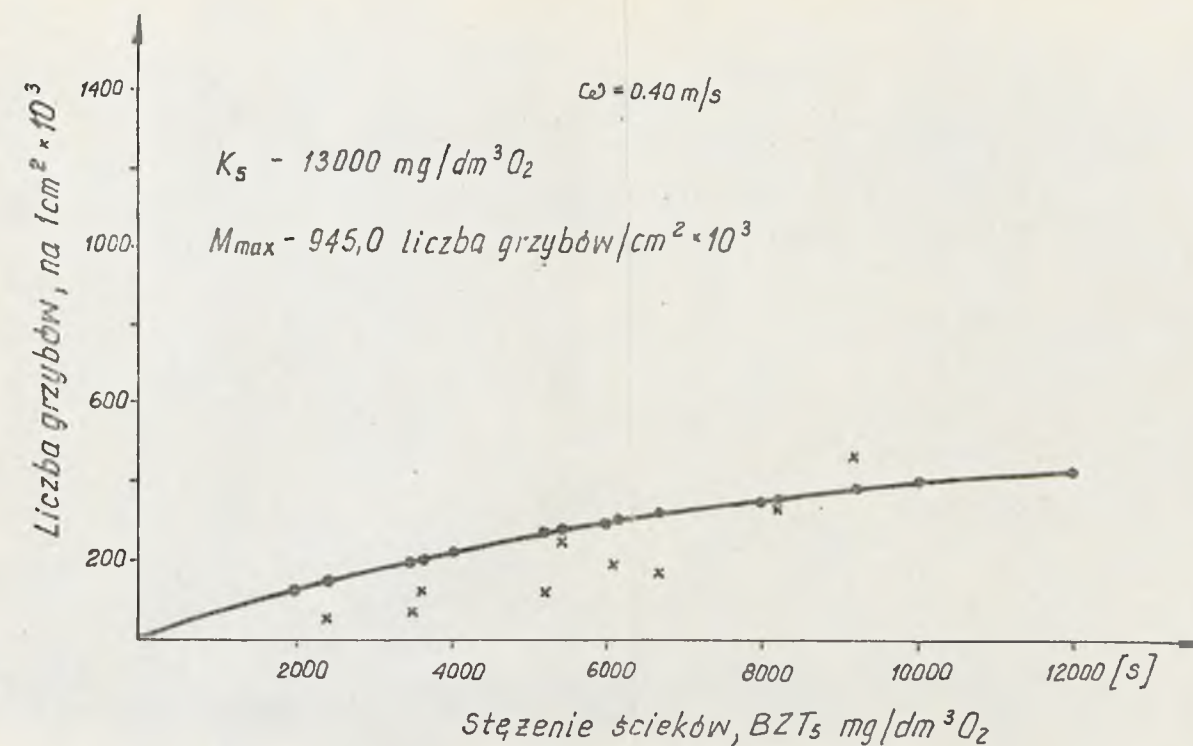
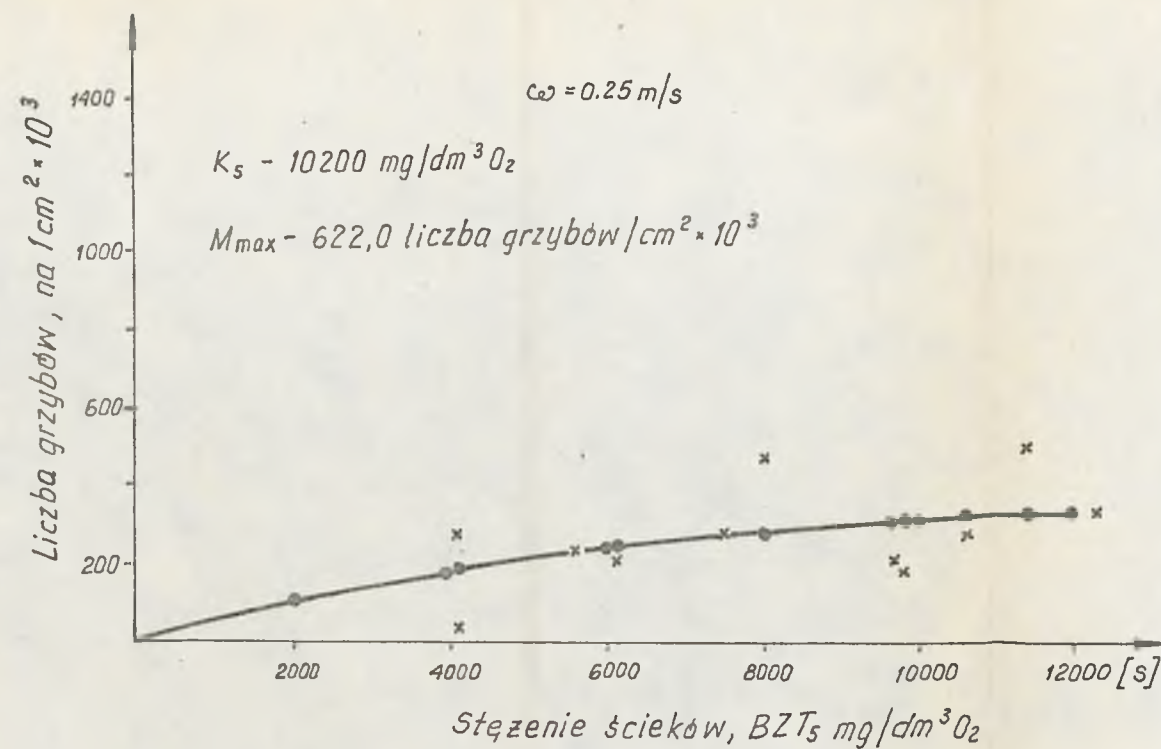
ω - prędkość obwodowa

K_s - stała substratowa

$M_{\max}$ - maksymalna możliwa liczba grzybów

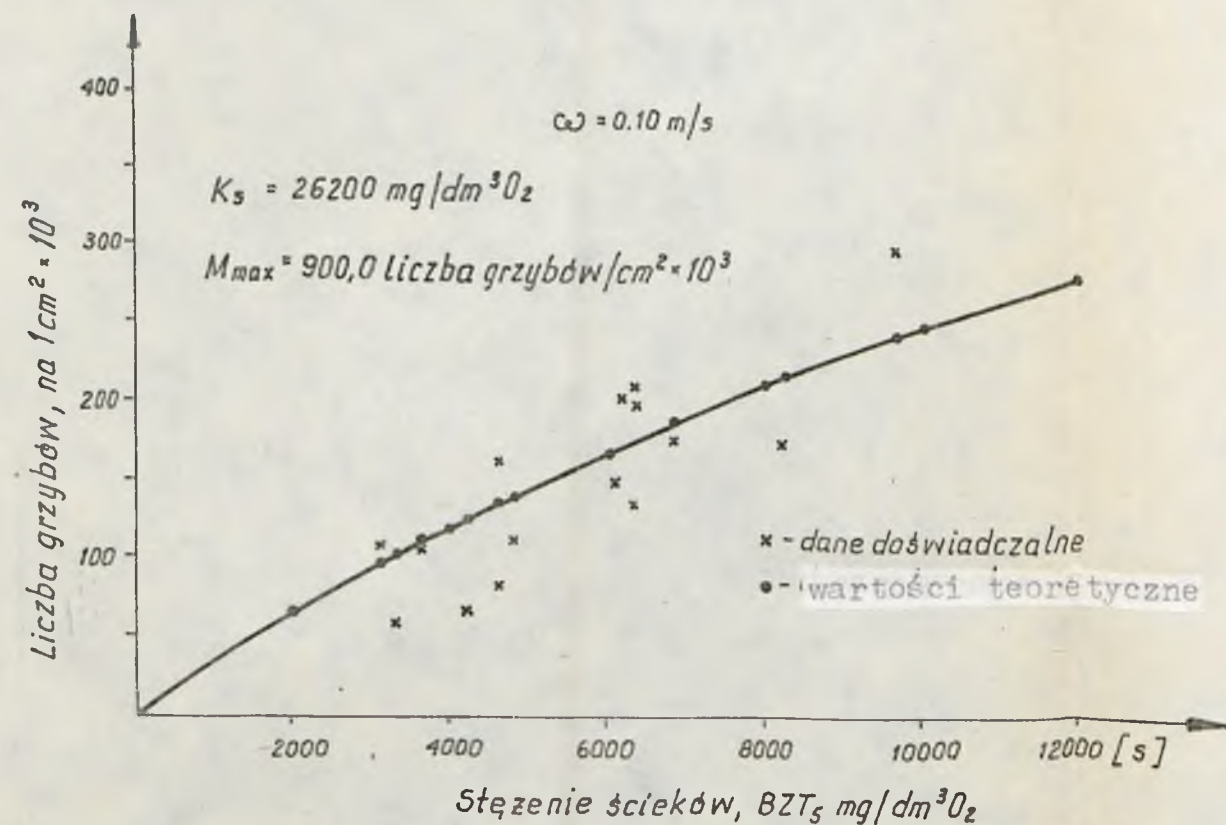
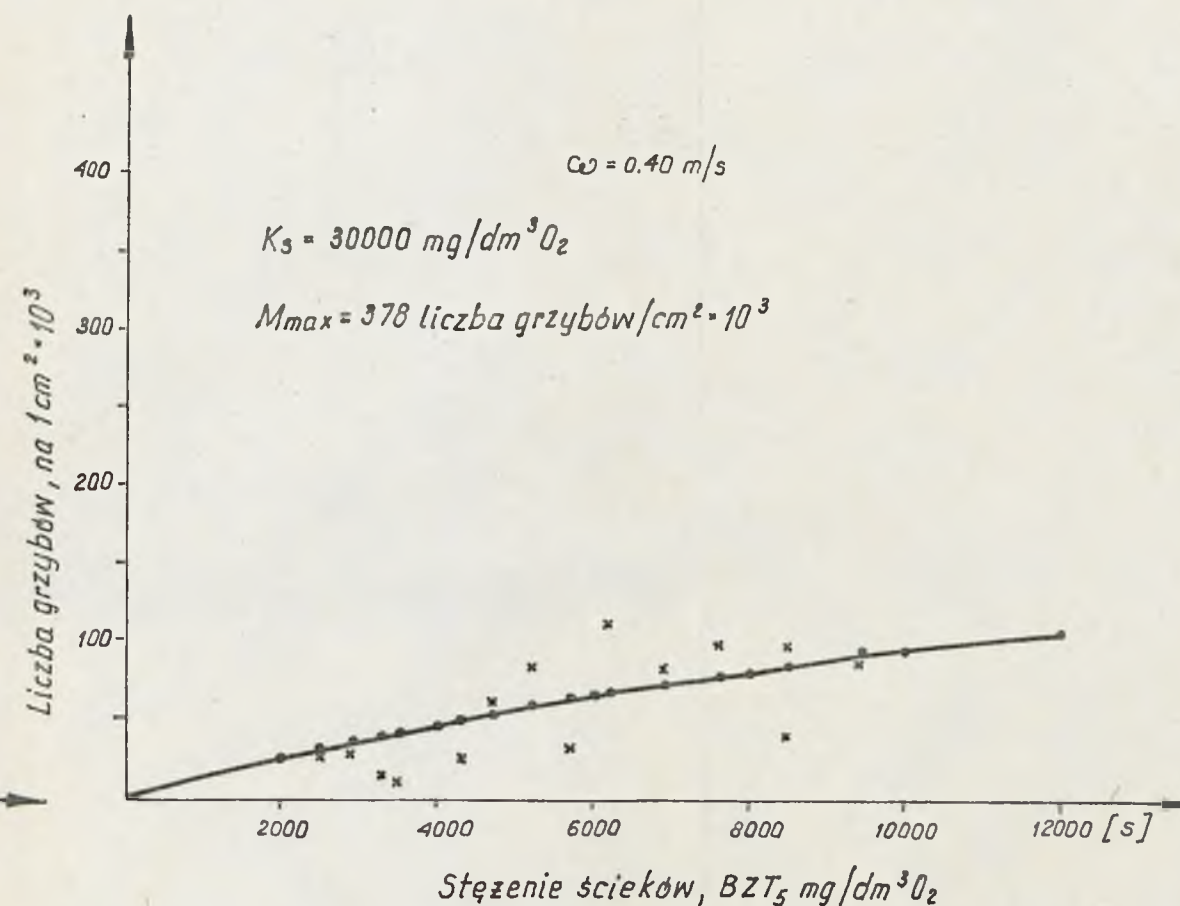
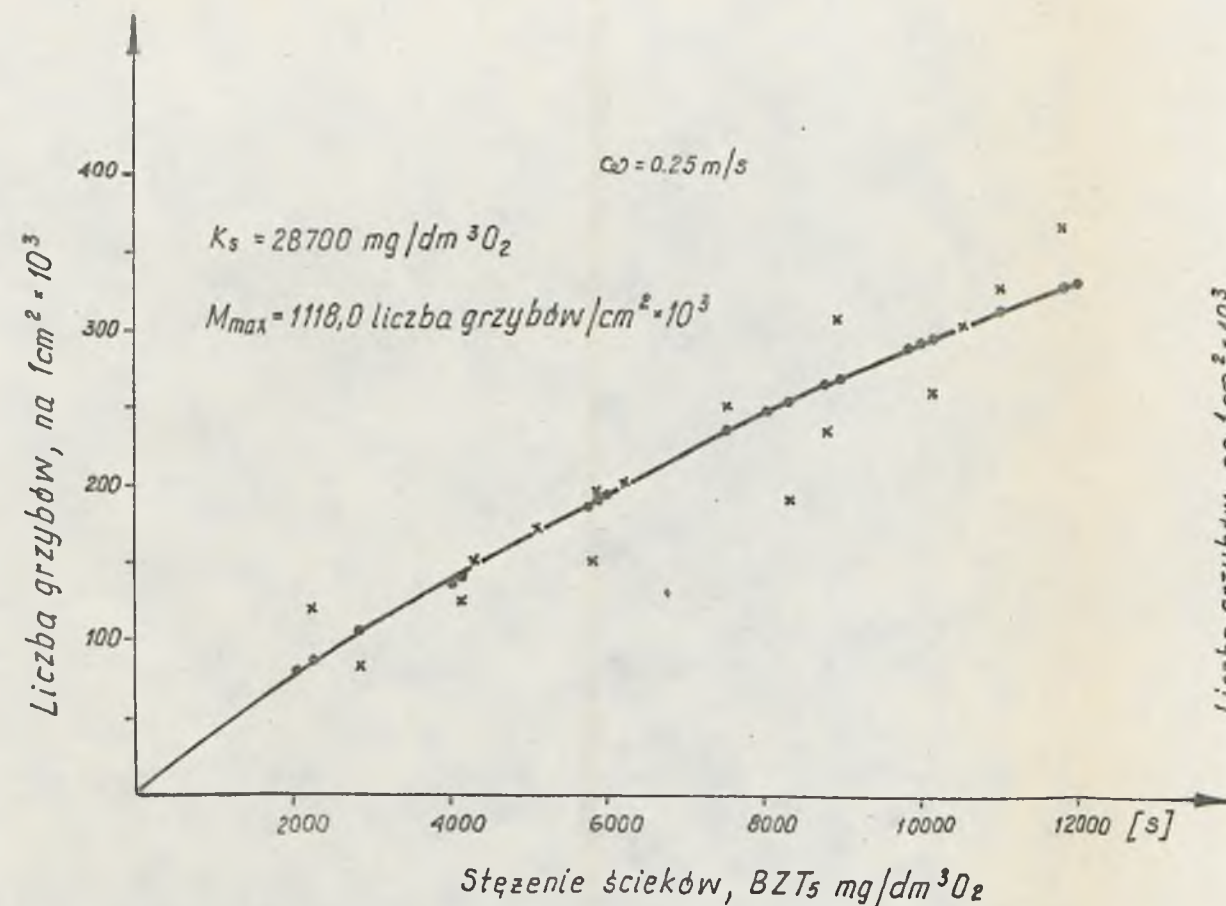


Wykres 17. Liczebność grzybów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złoż o długości $L = 2.5 \text{ m}$.



Wykres 18. Liczebność grzybów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złazę o długości $L = 3.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $M_{\max}$ - maksymalna możliwa liczba grzybów



Wykres 19. Liczebność grzybów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości $L = 4.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa
 K_s - stała substratowa
 $M_{\max}$ - maksymalna możliwa liczba grzybów

Tabela 5

Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i M_{max} liczebności grzybów błony biologicznej na złożu obrotowym

Długość taśmy L m	Prędkość obwodowa ω m/s	K_s mg/dm ³ O ₂	M_{max} komórek/cm ² · 10 ³
2,5	0,03	13600	158,5
	0,25	40000	651,8
3,5	0,03	16600	2374,0
	0,10	14000	1191,0
	0,25	10200	622,0
	0,40	13000	945,0
4,5	0,10	26200	900,0
	0,25	28700	1118,0
	0,40	30000	978,0

W podsumowaniu przeprowadzonych doświadczeń należy podkreślić, że największą liczbę grzybów stwierdzono w błonie biologicznej rozwijającej się przy najniższej prędkości obwodowej 0,03 m/s dla złoża o długości taśmy 3,5 m.

3.5. Charakterystyka organizmów zwierzęcych występujących w błonie biologicznej

Analizowano kształtowanie się biocenozy organizmów zwierzęcych w zależności od stężenia ścieków dopływających na złoża obrotowe. Błona biologiczna rozwijała się na złożach o długościach taśm i przy ich prędkościach obwodowych jak podano w rozdz. 3.1.2.

Badania mikroskopowe próbek błony wykazały spośród organizmów zwierzęcych występowanie pierwotniaków /Protozoa/ reprezentowanych przez typy ^{x/}: wiciowe /Mastigota/, zarodkowe /Sarcodina/ i orzęski /Ciliata/. Zróżnicowanie pod względem taksonomicznym określono tylko w odniesieniu do dwóch typów: zarodkowych i orzęsków. Spośród zarodkowych obserwowano przedstawicieli dwóch rzędów: ameby bezskorupkowe /Amoebida/: *Amoeba proteus* i *Amoeba linax* oraz - ameby skorupkowe /Testacea/. Orzęski były reprezentowane przez rodzaje: *Glaucoma* /orzęski wolnopływające/, *Epistylis* i *Opercularia* /orzęski osiadłe/.

Wyniki z przeprowadzonych badań zestawiono w tabeli nr 6 i na wykresie nr 20, 21, 22.

Stwierdzono, że przy długości taśmy 2,5 m i prędkości obwodowej 0,03 m/s występowała sukcesja pierwotniaków w zależności od stężenia ścieków dopływających [S]. Podczas stosowania

x/

Systematyka Protozoa podana jest wg Z.Raabe /49/.

ścieków o najniższych stężeniach dominującą grupę stanowiły orzęski /90%/. Natomiast ze wzrostem stężenia ścieków ich procentowy udział w ilości wszystkich zwierząt występujących w błonie biologicznej zmalał do 17 %. Spadkowi liczby orzęsków towarzyszył wzrost liczby zarodkowych, które przy zakresie stężeń 8000 - 10000 mg/dm³O₂ osiągnęły 75 % udziału ilościowego wszystkich zwierząt. Wiciowe były obecne w niewielkich ilościach, ich częstotliwość występowania nie przekroczyła 10 %.

Przy zastosowaniu dłuższej taśmy 3,5 m i czterech prędkości obwodowych 0,03; 0,10; 0,25; 0,40 m/s stwierdzono większą różnorodność biocenozy. Przy najniższej i najwyższej prędkości obserwowano dominację wiciowych w błonie biologicznej przy wszystkich badanych stężeniach ścieków dopływających. Stanowiły one odpowiednio od 50 do 80 % powyżej 90 % ogólnej liczby zwierząt. Natomiast przy prędkości 0,25 m/s nie stwierdzono dominacji ani sukcesji pierwotniaków. Przy prędkości obwodowej 0,10 m/s zaobserwowano sukcesję w tej grupie organizmów zależnie od stężenia ścieków. W zakresie stężeń związków organicznych w dopływie 2.000 - 4.000 mg/dm³O₂, grupą występującą najliczniej były orzęski. Liczba ich jednak malała wraz ze wzrostem stężenia ścieków, a organizmami dominującymi stawały się wiciowe, a następnie zarodkowe.

Na złożach o najdłuższej taśmie 4,5 m i zastosowanej najmniejszej prędkości tj. 0,10 m/s podobnie stwierdzono sukcesję pierwotniaków w błonie wraz ze wzrostem stężenia ścieków [S]. Przy najniższych stężeniach ścieków dominu-

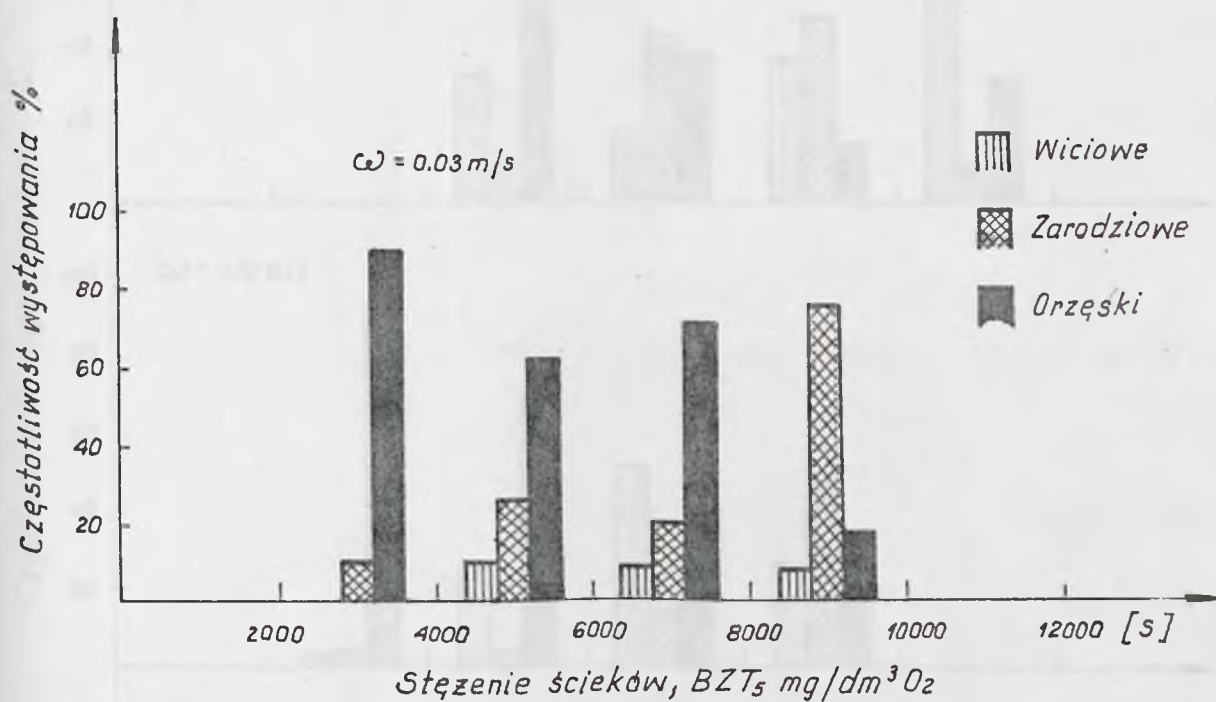
Tabela 6

Zestawienie wyników badań nad określeniem ilości organizmów zwierzęcych występujących w błonie biologicznej.

Wynik podano w przeliczeniu na 1 cm² powierzchni złoża.

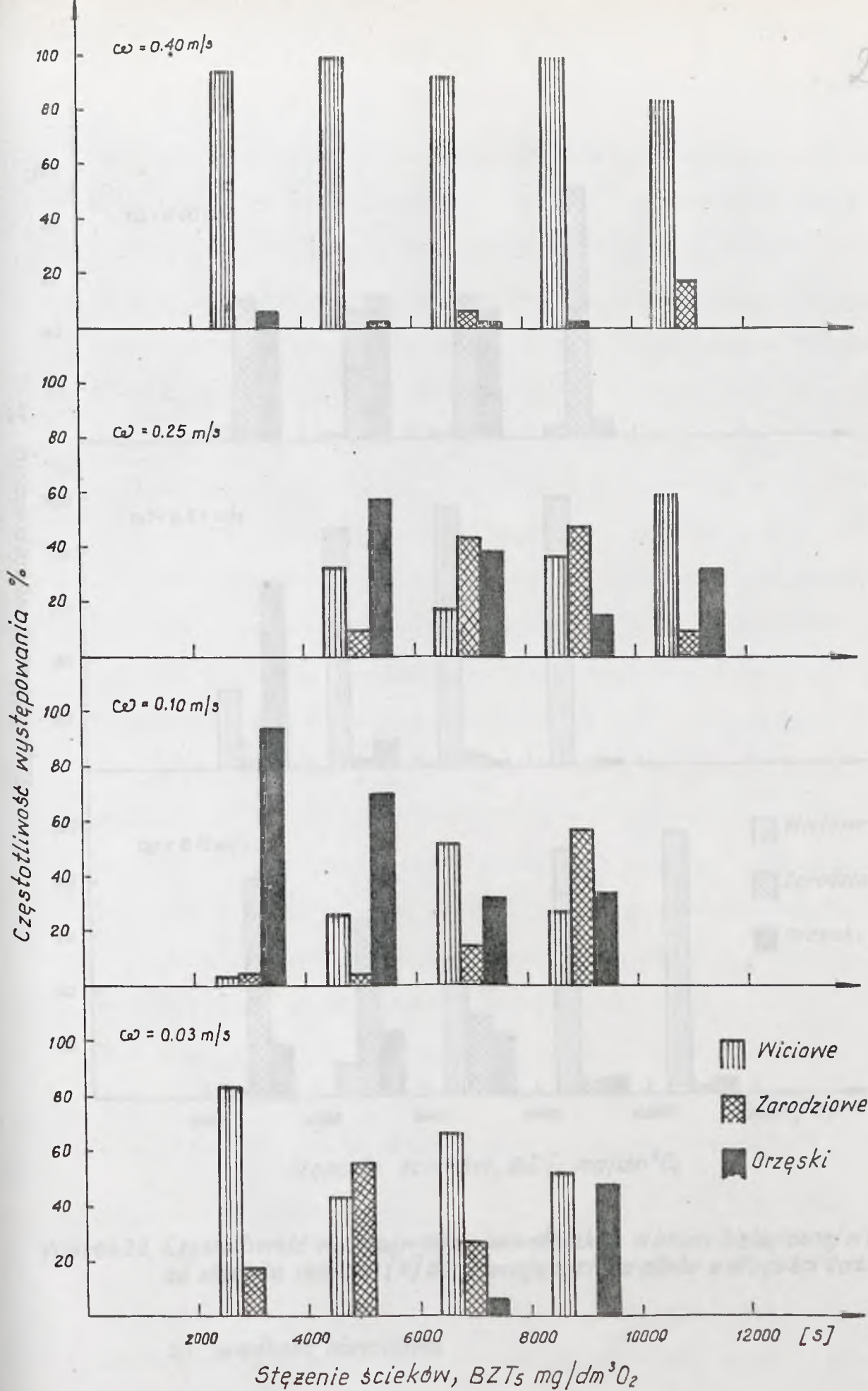
Długość taśmy – L m	Prędkość obwodowa ω m/s	a/ Organizmy zwierzęce	Stężenie ścieków BZT ₅ mg/dm ³ O ₂				
			2000 – – 4000	4000 – – 6000	6000 – – 8000	8000 – – 10000	10000 – – 12000
2,5	0,03	W	0	34000	22500	15000	–
		Z	7500	76000	50000	137500	–
		O	65000	184000	182000	32500	–
3,5	0,03	W	2500	1500	5000	4000	–
		Z	500	2000	2000	0	–
		O	0	0	500	3750	–
	0,10	W	4500	40500	44000	33000	–
		Z	5000	7500	12500	58500	–
		O	129000	105500	27500	42000	–
	0,25	W	–	11000	8000	42600	25000
		Z	–	3500	19500	54500	4000
		O	–	20000	18000	17000	13000
	0,40	W	56000	81500	45000	75000	25000
		Z	0	0	2750	2000	5000
		O	3500	500	1000	0	0
	0,10	W	500	12000	135000	191500	90000
		Z	62500	66500	98500	10000	1000
		O	15000	23500	69500	14000	4000
4,5	0,25	W	12000	214500	18000	270000	–
		Z	1000	8000	9500	3500	–
		O	28000	19000	2000	1000	–
	0,40	W	5000	1000	6500	2500	–
		Z	45500	63000	128000	58500	–
		O	38000	71000	117500	3500	–

a/ W – Wiciowe
 Z – Zarodziowe
 O – Orzęski



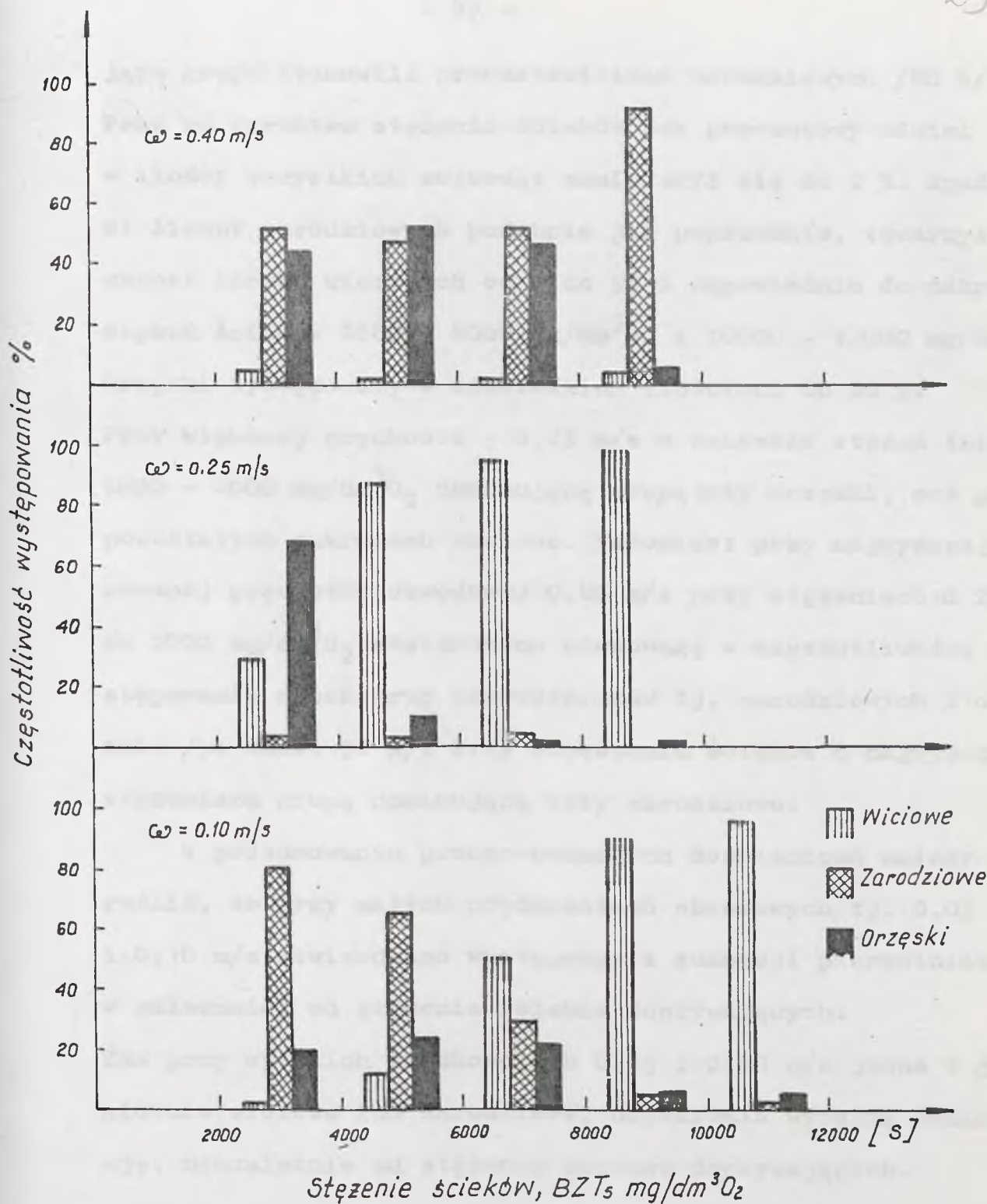
Wykres 20. Częstotliwość występowania pierwotniaków w błonie biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złóżę o długości taśmy $L=2.5 \text{ m}$.

ω - prędkość obwodowa



Wykres 21. Częstotliwość występowania pierwtótniaków w błonie biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości taśmy L=3.5m.

ω - prędkość obwodowa



Wykres 22. Częstotliwość występowania pierwotniaków w błonie biologicznej w zależności od stężenia ścieków [s] dopływających na złożo o długości taśmy $L=4.5m$.

ω - prędkość obwodowa

jącą grupę stanowili przedstawiciele zarodziowych /80 %/. Wraz ze wzrostem stężenia ścieków ich procentowy udział w ilości wszystkich zwierząt zmniejszył się do 2 %. Spadkowi liczby zarodziowych podobnie jak poprzednio, towarzyszył wzrost liczby wiciowych od 2 do 95 % odpowiednio do zakresu stężeń ścieków 2000 - 4000 mg/dm³O₂ i 10000 - 12000 mg/dm³O₂. Orzęski występowały w niewielkich ilościach do 20 %. Przy większej prędkości - 0,25 m/s w zakresie stężeń ścieków 2000 - 4000 mg/dm³O₂ dominującą grupą były orzęski, zaś przy pozostałych zakresach wiciowe. Natomiast przy najwyższej stosowanej prędkości obwodowej 0,40 m/s przy stężeniach od 2000 do 8000 mg/dm³O₂ stwierdzono równowagę w częstotliwości występowania dwóch grup pierwotniaków tj. zarodziowych i orzęsków /po około 50 %/. Przy stosowaniu ścieków o najwyższych stężeniach grupą dominującą były zarodziowe.

W podsumowaniu przeprowadzonych doświadczeń należy podkreślić, że przy małych prędkościach obwodowych tj. 0,03 i 0,10 m/s stwierdzono występowanie sukcesji pierwotniaków w zależności od stężenia ścieków dopływających.

Zaś przy wysokich prędkościach 0,25 i 0,40 m/s jedna z grup głównie wiciowe lub zarodziowe, uzyskiwała wyraźną dominację, niezależnie od stężenia ścieków dopływających.

4. PODSUMOWANIE I DYSKUSJA

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie procesem oczyszczania ścieków organicznych jak i mineralnych na złożach obrotowych. Prowadzone są prace w kierunku optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń i parametrów techno-

logicznych procesu oczyszczania ścieków /40, 52, 67/.

Dotychczasowa jednak kontrola wzrostu błony biologicznej jak i eliminacji zanieczyszczeń ze ścieków na podstawie oznaczeń technologicznych i fizyczno-chemicznych wydaje się niewystarczająca.

Rozkład bowiem związków organicznych występujących w ściekach dopływających na złożę przeprowadzają mikroorganizmy. Wydaje się więc celowe, podobnie jak w przypadku osadu czynnego, wprowadzenie testów aktywności metabolicznej drobnoustrojów do oceny pracy tych urządzeń.

W niniejszej pracy przyjęto zakres badań, który pozwolił na wytypowanie biologicznych metod kontroli rozwoju błony. Na podstawie uzyskanych wyników określono optymalne parametry technologiczne złóż obrotowych, przy których zachodził intensywnie proces rozkładu ścieków z produkcji drożdży paszowych.

Badania przeprowadzono na urządzeniu pilotowym /p.p. 2.1/ zainstalowanym w stacji doświadczalnej w Żyrardowskich Zakładach Przemysłu Spirytusowego "Polmos".

W urządzeniu pracowało jednocześnie 5 złóż przy jednakowej prędkości obwodowej i długości taśmy, na które dopływały odpowiednio przygotowane ścieki o stężeniu wyrażonym w BZT_5 wynoszącym 9900, 8000, 6600, 4900, 3400 $mg/dm^3 O_2$ /wartości średnie/. Przeprowadzono 9 serii badań zmieniając parametry /prędkość obwodową i długość taśm/ zachowując w/w stężenia ścieków tj. od 9900 do 3400 $mg/dm^3 O_2$.

Rozwój błony w zależności od zmian w/w parametrów oceniano na podstawie jakości i liczby mikroorganizmów oraz

aktywności enzymatycznej mierzonej aktywnością dehydrogenaz ogólnych /TTC/, dehydrogenazy bursztynianowej /SDH/, glutaminianowej /Glut DH/ i mleczanowej /LDH/.

Wybór dehydrogenaz oznaczanych testem TTC był podyktowany ważnym znaczeniem tych enzymów w metabolizmie komórkowym. Przeprowadzają one bowiem, procesy odwodorowania związków organicznych, powodując ich utlenienie. Informują o aktywności biochemicznej drobnoustrojów, w zależności od zmian czynników abiotycznych, w tym między innymi od parametrów technologicznych procesu oczyszczania. Dane te mogą być wykorzystane do sterowania procesem oczyszczania ścieków.

Dehydrogenaza bursztynianowa jako jeden z ważnych enzymów oddechowych cyklu kwasów trójkarboksylowych /cykl Krebsa/ katalizuje przemianę kwasu bursztynowego w kwas fumarowy. Reakcja ta regulowana jest stężeniem szczawiooctanu, który zapoczątkowuje cykl przemian.

Podkreślić należy, że cykl ten oprócz bardzo ważnej roli jaką odgrywa w procesach oddechowych jest także głównym prekursorem, dostarczającym substratów dla innych szlaków metabolicznych zachodzących w komórkach organizmów, między innymi do syntezy białek komórkowych.

Dehydrogenaza glutaminianowa jest jednym z enzymów katalizującym reakcję przemian kwasu α -keto-glutarowego do wytworzenia glutaminianu - aminokwasu odgrywającego ważną rolę w syntezie białek. Aktywność tego enzymu może być więc wskaźnikiem zdolności mikroorganizmów błony biologicznej do wytwarzania białek komórkowych.

Dehydrogenaza mleczanowa jest enzymem niezbędnym w procesie oddychania beztlenowych bakterii mlekowych. Katalizuje ona proces utleniania kwasu pirogronowego do kwasu mlekowego. Aktywność tej dehydrogenazy jest wskaźnikiem aktywności metabolicznej bakterii beztlenowych /fermentacji mlekowej/, które mogą się rozwinąć w warstwach błony biologicznej o ograniczonym dostępie tlenu.

W oparciu o wyniki aktywności enzymatycznej oraz liczebności bakterii i grzybów w błonie złożeń obrotowych, przeprowadzono analizę parametrów kinetycznych.

Wykorzystano w tym celu model zaproponowany przez Chase /10/ dla opisu aktywności enzymatycznej mikroorganizmów osadu czynnego. Określono wartości:

- K_s /stała substratowa tj. stężenie substratu równe 1/2 maksymalnej aktywności enzymatycznej lub maksymalnej liczby bakterii czy grzybów/
- Z_{max} / maksymalna możliwa aktywność enzymatyczna/
- M_{max} / maksymalna możliwa liczba bakterii lub grzybów/.

Okazało się, że interpretacja wyników na podstawie powyższego modelu pozwala na wytypowanie optymalnych parametrów technologicznych pracy złoża obrotowego, przy którym uzyskuje się prawidłowy rozwój błony.

Analiza parametrów kinetycznych wykazała, że istnieje zależność pomiędzy stężeniem substratu, a aktywnością dehydrogenaz ogólnych i dehydrogenazy bursztynianowej oraz liczbą bakterii i grzybów. W innych testach jak LDH i Glut DH nie uzyskano tej zależności.

Mikroorganizmy wykazywały aktywność dehydrogenazy mleczanowej i glutaminianowej jedynie w początkowym okresie wzrostu błony maksymalnie do 10 dnia hodowli. Zjawisko to występowało przy takich parametrach technologicznych, przy których rozwój błony był powolny tj. małych prędkościach obwodowych, niskich stężeniach ścieków dopływających. Długość taśmy natomiast nie miała wpływu na zmiany aktywności enzymatycznej LDH i Glut DH. W okresie fazy stałego wzrostu błony nie stwierdzono aktywności tych enzymów.

Należy przypuszczać, że bakterie mlekowe, które dostawały się na złożo obrotowe pochodziły z mikroflory ścieków dopływających, nie miały jednak w błonie odpowiednich warunków do swego rozwoju.

Fakt zaniku aktywności dehydrogenazy glutaminianowej mikroorganizmów, który informuje o intensywności procesów syntezy białek komórkowych, wyjaśnić można zmianami metabolizmu komórek w czasie rozwoju błony biologicznej. Badania Tomlinsona i Snaddon /63/ wykazały, że w pierwszej fazie wzrostu błony biologicznej 50 % związków organicznych dopływających ze ściekami zużywanych jest na przyrost masy komórek, 25 % uwalnianych w wyniku oddychania jako CO_2 , pozostała natomiast część trafia do odpływu. W fazie stanu stałego mikroorganizmy błony wykorzystują 63 % związków organicznych w procesie oddychania, uwalniając je jako CO_2 , a tylko ok. 20 % tych związków zużywanych jest do syntezy białek komórkowych.

Z przytoczonych danych wynika, że na podstawie testu Glut DH można wnioskować o intensywności wzrostu błony tylko w począt-

kowym okresie jej namnażania.

W całym okresie prowadzonych badań natomiast, wielce przydatne okazały się testy aktywności ogólnej dehydrogenaz i dehydrogenazy bursztynianowej, zarówno do określania czynników limitujących rozwój mikroorganizmów, takich jak tlen czy substrat jak i do oceny przebiegu procesów enzymatycznych w błonie.

Z porównania wartości parametrów kinetycznych uzyskanych w teście TTC i teście aktywności dehydrogenazy bursztynianowej, można wnioskować o ograniczającym wpływie dostępu tlenu lub substratu na rozwój mikroorganizmów podczas rozkładu ścieków. Badania Polańskiego /46/ nad kinetyką reakcji enzymatycznych w procesie biodegradacji związków organicznych osadem czynnym wykazały, że aktywność ogólna dehydrogenaz jest wyższa aniżeli aktywność dehydrogenazy bursztynianowej. Doświadczenia przeprowadzono, stosując niskie stężenia związków organicznych 10 - 100 mg/dm³ zapewniając jednocześnie wysokie stężenia tlenu. W tym przypadku czynnikiem ograniczającym wzrost mikroorganizmów był substrat, a nie tlen. W niniejszej pracy natomiast, uzyskiwano wyższe wartości aktywności dehydrogenazy bursztynianowej aniżeli ogólnej dehydrogenaz. Pozwala to stwierdzić, że w warunkach pracy złożeń obrotowych czynnikiem ograniczającym wzrost mikroorganizmów w błonie jest dyfuzja tlenu.

Analiza parametrów kinetycznych aktywności ogólnej dehydrogenaz - TTC oraz dehydrogenazy bursztynianowej, a także liczebności bakterii, pozwoliła na wytypowanie optymalnych parametrów technologicznych złożeń obrotowych w procesie oczyszczania ścieków z produkcji drożdży paszowych. Stwierdzono przy

tym, który z nich, tj. długość taśmy czy prędkość obwodowa wpływały znacząco na rozwój biomasy błony. Okazało się, że w badanym urządzeniu czynnikiem ograniczającym wzrost błony, była dyfuzja tlenu i substratów zależna od prędkości obwodowej. Zjawisko to opisywali Sanders /54/, Hoehn /29/ w odniesieniu do innego typu złożeń obrotowych.

Długość taśmy natomiast mająca wpływ na czas kontaktu organizmów ze ściekami, to jest na dostępność substratów w przypadku badanych złożeń, nie odgrywała roli czynnika limitującego rozwój błony. Wskazują na to wartości K_s uzyskane m. in. przy prędkości obwodowej 0,10 m/s. Dla taśm o długości 3,5 i 4,5 m wartości K_s wyznaczone na podstawie testu TTC były jednakowe i wynosiły po 20.000 mg/dm³O₂, a wyznaczone dla aktywności bursztynianowej odpowiednio: 11.400; 10.100 mg/dm³O₂.

Powyższe rozważania więc, wskazują, że prędkość obwodowa jest głównym parametrem decydującym o tempie namnażania mikroorganizmów uwarunkowanym dyfuzją tlenu. Na podstawie analizy kinetyki aktywności enzymów /test TTC i SDH/ oraz wzrostu bakterii wytypowano optymalną prędkość obwodową. W badaniach zastosowano cztery prędkości: 0,03; 0,10; 0,25; 0,40 m/s. Przy pierwszych trzech prędkościach następował wzrost parametrów kinetycznych K_s i Z_{max} , charakteryzujących aktywność enzymatyczną drobnoustrojów oraz K_s i M_{max} opisujących wzrost bakterii. Dla taśmy np. o długości 3,5 m wartości K_s zwiększały się wraz z podwyższaniem prędkości obwodowej od 16000 do 25000 mg/dm³O₂ /wg testu TTC/ oraz od 10000 do 15600 mg/dm³O₂ /wg testu SDH/ a także od 9900 do 15000 mg/dm³O₂ /wg oznaczeń

liczebności bakterii/. Przy prędkości największej, natomiast wzrostowi K_s /wg testu SDH i oznaczeń liczebności bakterii/ towarzyszył gwałtowny spadek parametrów Z_{max} i M_{max} . Związane było to z działaniem sił tzw. ścinających, które są przyczyną wymywania błony ze złoża.

Wyniki te znajdują potwierdzenie w badaniach Sandersa /54/, Truleara i Characklisa /64/, Characklisa /8/.

Autorzy ci przeprowadzali eksperymenty nad rozwojem błony biologicznej przy prędkościach obwodowych 0,03 - 0,30 m/s i stwierdzili, że przy największej stosowanej przez nich prędkości 0,30 m/s następuje intensywne wymywanie masy błony.

Wyniki testów enzymatycznych /aktywności ogólnej dehydrogenaz i dehydrogenazy bursztynianowej/ oraz liczby bakterii wskazały, że rozwój błony zachodził najintensywniej przy prędkości obwodowej 0,25 m/s. Przeprowadzone w niniejszej pracy badania przy użyciu testu SDH nad określeniem ilości aktywnej biomasy wykazały, że przy tej prędkości uzyskano największą jej ilość tj. 1,770 mg białka/cm². Zwiększenie prędkości do 0,40 m/s spowodowało wyraźny spadek ilości aktywnej biomasy do 1,211 mg białka/cm² jak również wydłużenie czasu rozwoju błony.

Przy określaniu liczebności grzybów największy ich rozwój zaobserwowano przy małych prędkościach obwodowych 0,03 i 0,10 m/s i długości taśmy 3,5 m. Badania Truleara i Characklisa /64/ wykazały, że grzyby w błonie biologicznej rozwijają się przy niskich obciążeniach złoża ładunkiem glukozy, natomiast wraz ze wzrostem obciążenia dominację w biocenozie osiągały bakterie.

W złożach, poza bakteriami i grzybami występowały także organizmy zwierzęce, głównie pierwotniaki reprezentowane przez nieliczne gatunki. Nie stwierdzono obecności makrofauny żerującej. Podobne dane przedstawił Tomlinson i Snaddon /63/ dla złóż obrotowych wysokoobciążonych. Analiza mikroskopowa błony wykazała, że przy małych prędkościach obwodowych 0,03 i 0,10 m/s występowała sukcesja pierwotniaków w zależności od stężenia ścieków, przy czym następstwo odpowiednich grup było uzależnione od długości taśm. Przy wyższych prędkościach 0,25 i 0,40 m/s obserwowano dominację wiciowych lub zarodkowych.

Analiza biologiczna błony jako badanie kontrolne może być przydatna do oceny prawidłowości rozwoju błony szczególnie przy niskich obciążeniach złoża. Przy wysokich obciążeniach dominują w biocenozie bakterie, a zróżnicowanie fauny jest niewielkie. Badania więc mikroskopowe błony nie mają większego znaczenia dla oceny tempa jej rozwoju.

W trakcie przeprowadzonych doświadczeń wprowadzono modyfikację metody oznaczania aktywności ogólnej dehydrogenaz testem TTC. Zgodnie z metodyką /32/ do próbek wprowadza się glukozę jako substrat egzogeny. Z badań przeprowadzonych przez Toerien² i Kotze /61/ wynika, że pewne węglowodany m. in. glukoza mogą hamować syntezę niektórych enzymów i obniżać poziom ich aktywności. W niniejszej pracy, obok glukozy w eksperymentach stosowano roztwór peptonu. Okazało się, że dodatek peptonu był odpowiednim substratem egzogenym dla drobnoustrojów błony w przeciwieństwie do glukozy. W obecności

glukozy aktywność dehydrogenaz często była niższa, aniżeli bez jej dodatku. Niektórzy autorzy jak Richards i wsp. /51/ zalecają stosowanie jako substratu egzogenego - roztwór ekstraktu drożdżowego.

Przeprowadzone w niniejszej pracy badania wykazały przydatność testów enzymatycznych jak i oznaczeń ilościowych bakterii do kontroli procesu rozwoju błony na złożach obrotowych. Zastosowana analiza parametrów kinetycznych pozwoliła na wybór parametrów technologicznych, przy których aktywność biochemiczna mikroorganizmów jak i ilość aktywnej biomasy jest największa. Odpowiedni dobór testów enzymatycznych ma duże znaczenie w określeniu czynników ograniczających rozwój błony przy danych parametrach procesu oczyszczania. Zaproponowane metody badań aktywności enzymatycznej powinny znaleźć zastosowanie jako kontrolne do oceny przebiegu procesów biochemicznych w innych typach złożeń.

5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że testy enzymatyczne oraz badania ilościowe mikroorganizmów występujących w błonie biologicznej złożeń obrotowych oczyszczających ścieki z produkcji drożdży pozwalają na:

- kontrolę intensywności rozwoju błony,
- ocenę przebiegu procesów biochemicznych w zależności od stosowanych parametrów technologicznych oczyszczania ścieków,
- wytypowanie parametrów technologicznych, decydujących

o rozwoju błony, jak również wybór optymalnych warunków procesu oczyszczania.

5.1. Biocenoza błony biologicznej na złożu obrotowym oczyszczającym ścieki z przemysłu drożdżowego, charakteryzowała się składem typowym dla złóż wysokoobciążonych tj. dominacją bakterii, niewielką ilością grzybów oraz małym zróżnicowaniem taksonomicznym organizmów zwierzęcych.

5.2. Spośród testów enzymatycznych, najbardziej przydatne do oceny intensywności rozwoju biomasy błony okazały się testy aktywności ogólnej dehydrogenaz - TTC i aktywności dehydrogenazy bursztynianowej /SDH/. Testy te informują o utlenianiu związków organicznych we wszystkich fazach wzrostu błony. Test dehydrogenazy glutaminianowej /Glut DH/ - może być wykorzystywany tylko w początkowym okresie rozwoju błony tj. w fazie logarytmicznej wzrostu mikroorganizmów. Aktywność tego enzymu obrazuje szybkość syntezy białek komórkowych zachodzących intensywnie w pierwszych etapach wzrostu błony.

5.3. Test aktywności dehydrogenazy mleczanowej /LDH/ nie obrazował procesów biochemicznych zachodzących w błonie, z uwagi na swoją specyficzność w odniesieniu do metabolizmu bakterii fermentacji typowo mlekowej.

Bakterie te, jakkolwiek mogą występować w badanych ściekach nie znajdują odpowiednich warunków do rozwoju w błonie biologicznej.

5.4. Analiza ilościowa wykazała przydatność określania liczebności bakterii do oceny intensywności rozwoju błony, natomiast grzybów - tylko przy małych prędkościach obwodowych.

5.5. Kinetyczny model Chase obrazujący aktywność enzymatyczną mikroorganizmów w osadzie czynnym, może być stosowany do wyznaczania parametrów kinetycznych aktywności dehydrogenaz drobnoustrojów i liczebności bakterii oraz grzybów występujących w błonie złożeń obrotowych. Analiza parametrów kinetycznych, wg tego modelu pozwoliła na wytypowanie czynników decydujących o wzroście błony oraz na wybór optymalnych parametrów technologicznych oczyszczania ścieków.

W badanym złożu obrotowym czynnikiem ograniczającym rozwój mikroorganizmów była dyfuzja tlenu, a nie dostępność substratu zależna od prędkości obwodowej.

Jako optymalną wartość prędkości, przy której uzyskuje najintensywniejszy rozwój błony uznano 0,25 m/s. Przy tej prędkości stwierdzono także najwyższą aktywność ogólną dehydrogenaz, dehydrogenazy bursztynianowej oraz wzrost bakterii.

5.6. Oznaczanie aktywności dehydrogenazy bursztynianowej pozwoliło na wyznaczanie ilości aktywnej biomasy błony biologicznej. Najwyższą wartość aktywnej biomasy 1,770 mg/białka/cm² stwierdzono także przy optymalnej prędkości obwodowej - 0,25 m/s.

5.7. Metodyka testu TTC stosowana do pomiaru aktywności ogólnej dehydrogenaz, została zmodyfikowana przez wprowadzenie peptonu jako substratu egzogenego zamiast glukozy.

Wnioski z niniejszej pracy wskazują na konieczność wprowadzenia do badań rutynowych metod enzymatycznych, które obrazują przemiany biochemiczne zachodzące w procesie oczyszczania ścieków metodami biologicznymi.



6. PIŚMIENNICTWO

1. Atkinson B., Daoud I.S. : Diffusion effects within microbial films. Trans. Inst. Chem. Engrs. 48, 245, 1970
2. Benefield L.D., Randall C.W.: Oxygen utilisation in the completely mixed activated-sludge process. J. Wat. Pollut. Control Fed. 51, 2952, 1979
3. Berman T.: Alkaline phosphatases and phosphorus availability in Lake Kenneret. Limnol. Oceanogr. 15, 663, 1970
4. Bożko L., Kańska Z., Michałowski K.: Dehydrogenase activity of activated sludge in purification of industrial and municipal wastes. Pol. Arch. Hydrobiol. 21, 133, 1974
5. Brink N.: Biological studies in biological filters. Int. Revue ges Hydrobiol. 52, 1; 51, 1967
6. Calaway W.T.: Intermittent sand filters. Sewage Industr. Wastes 29, 1, 1957
7. Calaway W.T.: Nematodes in wastewaters. J. Wat. Pollut. Control Fed. 35, 1006, 1963
8. Characklis W.G.: Attached microbial growths-attachment and growth. Water Research 7, 1113, 1973
9. Characklis W.G., Trulicar M.G., Bryers J.D., Zilver N.: Dynamics of biofilm processes: methods. Water Research 16, 1207, 1982

10. Chase L.M.: A dynamic kinetic model of the activated sludge process. *Biotechnol. Bioeng.* 19, 1431, 1977
11. Corpe W.A.: Microfouling: the role of primary film - forming marine bacteria. *Proceedings of the International Congress on Marine Corrosion and Fouling* 598-609 Northwestern University Press, Evanston IL 1973
12. Curds C.R.: A theoretical study of factors influencing the microbial population dynamics of the activated - sludge process - I. *Water Research* 7, 1269, 1973
13. Curds C.R., Cockburn A.: Protozoa in biological sewage treatment processes - I.A. survey of the protozoan fauna of British percolating filters and activated sludge plants. *Water Research* 4, 225, 1970
14. Curtis E.J.C., Curds C.R.: Sewage fungus in rivers in the United Kingdom: The slime community and its constituent organisms. *Water Research* 5, 1147, 1971
15. Ćwiczenia z biochemii. Praca zbiorowa pod redakcją Klyszejko-Stefanowicz L. PWN Warszawa - Poznań 1982
16. Dexter S.C., Sullivan J.D., Williams J., Watson S.: Influence of substrate wettability on the attachment of marine bacteria to wetted surfaces *Appl. Microbiol.* 30, 298, 1975
17. Ecological aspects of used - water treatment. Vol. I. The organisms and their ecology. Ed. Curds C.R. Hawkes H.A. Academic Press, London 1975

18. Gaudy E., Wolfe R.S.: Composition of an extracellular polysaccharide produced by *Sphaerotilus natans*.
Appl. Microbiol. 10, 200, 1962
19. Geesey G.G., Mutch R., Costerton J.W., Green R.B.: Sessile bacteria: an important component of the microbial population in small mountain streams. Limnol. Oceanogr. 23, 1214, 1978
20. Gerchakov S.M., Marszałek D.S., Roth F.J., Sallman B., Udey L.R.: Observations on microfouling applicable to OTEC systems. Proceedings OTEC Biofouling and Corrosion Symposium 63-75, Seattle WA, 1977
21. Grabińska - Łoniewska A., Słomczyński T., Kańska Z.: Opracowanie mikrotestu enzymatycznego na oznaczanie aktywności reduktazy azotanowej /typu A, B/ u bakterii denitryfikacyjnych. Temat PR-7 01.07.05 cz. III. Instytut Inżynierii Środowiska Warszawa P.W. 1983 /maszynopis/
22. Grady C.P.L., Roper R.E.: A model for the biooxidation process which incorporates the viability concept. Water Research 8, 471, 1974
23. Hamilton R.D., Hohm-Hansen O.: ~~Ad~~enosine triphosphate control of marine bacteria. Limnol. Oceanogr. 12, 319, 1967
24. Hawkes H.A.: The ecology of waste water treatment.
Pergamon Press, Oxford, 1963
25. Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziorowski B.:
"Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków"
Arkady, Warszawa, 1976

26. Heukelekian H., Crosby E.S.: Slime formation in polluted waters. I. Laboratory and field study methods. *Sewage and Wastes* 27, 1391, 1955
27. Heukelekian H., Crosby E.S.: Slime formation in polluted waters II. Factors affecting slime growth. *Sewage and Wastes* 28, 78, 1956
28. Heukelekian H., Crosby F.S.: Slime formation in sewage III. Nature and composition of slimes. *Sewage and Wastes* 28, 206, 1956
29. Hoehn R.C., Ray A.D.: Effects of thickness on bacterial film. *J. Wat. Pollut. Control. Fed.* 45, 2302, 1973
30. Jones C.H., Roth I.L., Sanders W.M.: Electron microscopic study of a slime layer. *J. Bact.* 99, 316, 1969
31. Kańska Z., Grabińska-Loniewska A., Rzechowska E., Lebowska M.: Ćwiczenia z biologii sanitarnej II. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1979
32. Kańska Z., Lebowska M., Zienkowski A.: PN-62/C-04616.08. Woda i ścieki. Badania specjalne osadów. Oznaczenie aktywności dehydrogenaz w osadzie czynnym metodą spektrofotometryczną z TTC
33. Kańska Z., Słomczyński T., Grabińska-Loniewska A., Lebowska M.: Zastosowanie testów enzymatycznych do określenia aktywności biochemicznej biocenozy biorących udział w procesach oczyszczania ścieków. *Seminaria Instytutu Inżynierii Środowiska /w druku/*

34. Khararjian M.A.: Oxygen uptake as a control parameter.
J. Wat. Pollut. Control. Fed. 52, 823, 1980
35. Kiss S., Dragan-Bularda M. i Radulescu D.:
Biological significance of enzymes accumulated in soil.
Adv. Agron. 27, 25, 1975
36. Klapwijk A., Drent J., Steenvoorden J.H.A.M.: A modified
procedure for the TTC - dehydrogenase test in activated
sludge. Water Research 8, 121, 1974
37. Klimowicz H.: Przewodnik do szybkiej oceny przebiegu pro-
cesu oczyszczania ścieków osadem czynnym. Część I - Orzeski.
Gaz Woda 48, 278, 1974
38. Kornegay B.H., Andrews J.F.: Kinetics of fixed film biolo-
gical reactors. Proc. 22nd Ind Waste Conf. Purdue Univ.
W. Lafayette Ind. Ext. Ser. 132, 620, 1968
39. Kotzé J.P.: Methods for the determination of intermediary
enzymes in mixed cultures used for the purification of
organic polluted waters. Water Research 1, 351, 1967
40. Krzemieniewski M.: Technologiczna efektywność oczyszczania
ścieków na biologicznym złożu taśmowym. Rozprawa doktorska.
Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki War-
szawskiej. Warszawa, 1983
41. La Motta D.J.: Internal diffusion and reaction in biolo-
gical films. Envir. Sci. Technol. 10, 765, 1976

42. Meadows P.S.: The attachment of bacteria to solid surfaces. *Archs. Microbiol.* 75, 374, 1971
43. Miksch K.: Aktywność fizjologiczna drobnoustrojów w procesie osadu czynnego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Inżynieria Sanitarna*, 24, 1983
44. Norman G., Characklis W.G., Bryers J.D.: Control of microbial fouling in circular tubes with chlorine. *Devel. Ind. Microbiol.* 18, 581, 1977
45. Pavoni J.L., Tenney W.M., Echelberger W.F.Jr.: Bacterial exocellular polymers and biological flocculation. *J. Wat. Pollut. Control. Fed.* 44, 414, 1972
46. Polański J.: Badanie kinetyki reakcji enzymatycznych w procesie biodegradacji wybranych związków organicznych. Praca dyplomowa. Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 1985
47. Pretorius W.A.: Some operational characteristics of a bacterial disc unit. *Water Research* 5, 1141, 1971
48. Przewłocki J.: Oznaczanie aktywności osadu czynnego. *Gaz, Woda i Techn. Sanit.* 44, 56, 1970
49. Raabe Z.: *Zarys protozoologii*. PWN, Warszawa, 1964
50. Raczkowski W., Stasiak M.: Możliwość zastosowania metody oznaczania dehydrogenazy do kontroli procesu osadu czynnego. *Gaz, Woda i Techn. Sanit.* 44, 133, 1970

51. Richards S.R., Hastwell C., Davies M.: The comparative Examination of 14 activated - sludge plants using enzymatic techniques Wat. Pollut. Control. 83, 300, 1984
52. Roman M., Olszewski W., Zabłocki L.: Badania kontenerowych oczyszczalni ścieków ze złożami biologicznymi. Materiały na Sympozjum Złoża biologiczne. Polski Komitet do Spraw I.A.W.P.R.G. II Warszawa, 1985
53. Ryssov-Nielsen H.: Measurement of the inhibition of respiration in activated - sludge by a modified determination of the TTC - dehydrogenase activity. Water Research 9, 1179, 1975
54. Sanders W.M. III: Oxygen utilization by slime organisms in continuous culture. Air & Wat. Pollut. Int. 10, 253, 1966
55. Sayler G.S., Puziss M., Silver M.: Alkaline phosphatase assay for freshwater sediments: application to perturbed sediment systems. Appl. Environ. Microbiol. 38, 92, 1979
56. Skujins J.: Extracellular enzymes in soil CRC Crit. Rev. Microbiol. 4, 383, 1976
57. Sridhar M.K.C., Pillai C.: Protease activity in sewage, sludges and effluents. Wat. Waste Treat. 16, 35, 1973
58. Teuber M., Brodisch K.E.U.: Enzymatic activities of activated sludge as potential measures of active biomass. Proc. Soc. Gen. Microbiol. 3, 119, 1976

59. Teuber M., Brodlich K.E.U.: Enzymatic activities of activated sludge. *European J. Appl. Microbiol.* 4, 185, 1977
60. Thiel P.G., Hattingh W.H.J.: Determination of hydrolytic enzyme activities in anaerobic digesting sludge. *Water Research* 1, 191, 1967
61. Toerien D.F., Kotzé J.P.: The effect of hexoses and hexose polymer on the levels of some enzyme activities of a bacterium isolated from an anaerobic digester. *Water Research* 1, 595, 1967
62. Tomczyńska J., Klimiuk J., Klimiuk E.: Dwustopniowe biologiczne oczyszczanie odcieków po zdrożdżowaniu wywaru melsowego metodą rozkładu beztlenowego i osadu czynnego. *Prace Instytutów i Lab. Bad. Przem. Spoż.* 24, 2; 263, 1974
63. Tomlinson T.G., Snaddon D.H.M.: Biological oxidation of sewage by films of microorganisms. *Air & Wat. Pollut. Int.* 10, 865, 1966
64. Trulear M.G., Characklis W.G.: Dynamics of biofilm processes. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* 54, 1288, 1982
65. Walker I., Davis M.: The relationship between viability and respiration rate in the activated - sludge process. *Water Research* 11, 575, 1977
66. Weddle C.L., Jenkins D.: The viability and activity of activated sludge. *Water Research* 5, 621, 1971

67. Wenda R.: Badania sprawności hydraulicznej i technologicznej złoza tarczowego oraz weryfikacja wybranych modeli procesu rozkładu substancji organicznej. Rozprawa doktorska. Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 1984
68. White C.C., Bobbie R.J., Herron J.S., King J.D., Morrison S.J.: Biochemical measurements of microbial mass and activity from environmental samples. Native Aquatic Bacteria: Enumeration Activity and Ecology. ASTM STP 695 /Edited by Costerton J.W. and Colwell R.R./ 69-81, 1979
69. Wilkinson J.F.: The extracellular polysaccharides of bacteria. Bact. Rev. 22, 46, 1958
70. Veicuri L., Gruia E., Godeanu S.: The determination of some enzymatic activities as a research method of the activated sludge. Rev. Roum. Biochim. 2, 87, 1965

7. SPIS TABLIC

1. Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i Z_{max} aktywności ogólnej dehydrogenaz /test TTC/ mikroorganizmów błony biologicznej na złożu obrotowym.
2. Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i Z_{max} aktywności dehydrogenazy bursztynianowej /test SDH/ mikroorganizmów błony biologicznej na złożu obrotowym.
3. Zestawienie wyników badań nad określeniem aktywnej ilości biomasy błony biologicznej.
4. Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i M_{max} liczebności bakterii błony biologicznej na złożu obrotowym.
5. Zestawienie wartości parametrów kinetycznych K_s i M_{max} liczebności grzybów błony biologicznej na złożu obrotowym.
6. Zestawienie wyników badań nad określeniem ilości organizmów zwierzęcych występujących w błonie biologicznej.

8. SPIS RYSUNKÓW

1. Schemat głównych dróg przenoszenia materii w procesie oczyszczania ścieków organicznych na złożach /Hawkes 1963/.
2. Schemat złoża obrotowego

9. SPIS FOTOGRAFII

1. Urządzenie pilotowe

10. SPIS WYKRESÓW

1. Aktywność ogólna dehydrogenaz /test TTC/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 2,5$ m.
2. Aktywność ogólna dehydrogenaz /test TTC/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3,5$ m.
3. Aktywność ogólna dehydrogenaz /test TTC/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4,5$ m.
4. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej /test SDH/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 2,5$ m.
5. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej /test SDH/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3,5$ m.
6. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej /test SDH/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4,5$ m.
7. Aktywność dehydrogenazy mleczanowej /test LDH/ i dehydrogenazy glutaminianowej /test Glut DH/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 2,5$ m.

8. Aktywność dehydrogenazy mleczanowej /test LDH/ i dehydrogenazy glutaminianowej /test Glut DH/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3,5$ m.
9. Aktywność dehydrogenazy mleczanowej /test LDH/ i dehydrogenazy glutaminianowej /test Glut DH/ mikroorganizmów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4,5$ m.
- 10 - 13. Aktywność dehydrogenazy bursztynianowej /test SDH/, zawartość białka oraz ilość zużytego substratu przez mikroorganizmy w zależności od czasu hodowli błony biologicznej na złożu o długości taśmy $L = 3,5$ m.
14. Liczebność bakterii błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 2,5$ m.
15. Liczebność bakterii błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3,5$ m.
16. Liczebność bakterii błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4,5$ m.
17. Liczebność grzybów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 2,5$ m.

18. Liczebność grzybów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3,5 \text{ m}$.
19. Liczebność grzybów błony biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4,5 \text{ m}$.
20. Częstotliwość występowania pierwotniaków w błonie biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 2,5 \text{ m}$.
21. Częstotliwość występowania pierwotniaków w błonie biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 3,5 \text{ m}$.
22. Częstotliwość występowania pierwotniaków w błonie biologicznej w zależności od stężenia ścieków [S] dopływających na złożo o długości taśmy $L = 4,5 \text{ m}$.





B.
20098



400000000113010

Wypożyczalnia
dla Pracowników