

Jerzy Zieliński

Katedra Ogrzewnictwa i Ochrony Atmosfery

Elżbieta Chlęch, Jan Suschka, Jan Szewioła

"HYDROSAN" Gliwice

BADANIA LABORATORYJNE NAD OCZYSZCZANIEM ŚCIEKÓW Z PRODUKCJI  
KAPROLAKTAMU OTRZYMANEGO METODĄ BENZENOWĄ

### Wstęp

Rozwijające się nowe gałęzie produkcji przemysłowej są często źródłem ścieków, których unieszkodliwienie nastrocza obecnie duże trudności z uwagi na kosztowne i skomplikowane metody ich obróbki. Duże trudności nastrocza unieszkodliwianie silnie stężonych ścieków organicznych, występujących między innymi w przemyśle chemicznym w produkcji kaprolaktamu.

Zagadnienie oczyszczania ścieków z produkcji kaprolaktamu nie posiada dotychczas w kraju tradycji [1][2][3].

Jako produkt wyjściowy do produkcji kaprolaktamu stosowany jest najczęściej fenol, a ostatnio produkuje się kaprolaktam w coraz większym stopniu na bazie benzenu lub toluenu.

Metodzie produkcji kaprolaktamu z benzenu towarzyszy powstawanie znacznych ilości ścieków. Ścieki te oprócz kaprolaktamu zawierają pośrednie i uboczne produkty, tworzące się podczas procesu, jak cykloheksan, cykloheksanol, cykloheksanon, oksym cykloheksanonu, benzen, kwasy jedno i dwukarboksylowe.

Oprócz wymienionych związków organicznych w skład tych ścieków wchodziły związki nieorganiczne, w głównej mierze siarczan amonu.

Dane literaturowe podają możliwości rozkładu na drodze biologicznej niektórych składników ścieków z produkcji kaprolaktamu.

W pracy Rogowskiej [4] wykazano, że kaprolaktam może być przyswajany przez bakterie saprofityczne, pochodzące ze ścieków bytowo-gospodarczych i wody rzecznej, po odpowiednim okresie adaptacji. Drobnoustroje te rozwijały się w obecności kaprolaktamu nawet przy jego stężeniach rzędu 1000 mg/l.

Naumowa i inni [5] w badaniach nad możliwością oczyszczania na drodze biologicznej, ścieków z produkcji kaprolaktamu metodą benzenową, stosowali ścieki syntetyczne, przygotowywane zgodnie z danymi projektowymi. Uzyskali oni pozytywne wyniki przy stosowaniu rozcieńczenia tych ścieków ściekami bytowo-gospodarczymi, wodą rzeczną lub wodami czystymi. Stężenie osadu czynnego wynosiło 3000 mg/l, zużycie powietrza  $80 \text{ m}^3/\text{m}^3$  ścieków, w czasie napowietrzania 8-11 godzin, uzyskiwano całkowite usunięcie ze ścieków kaprolaktamu, cykloheksanonu, oksymu cykloheksanonu. Ścieki oczyszczone pozbawione były specyficznego, intensywnego zapachu.

Pitter [6] badał w skali laboratoryjnej możliwość oczyszczania na drodze biologicznej rafinatu pochodzącego z ekstrakcji kaprolaktamu. Autor ten stwierdził, że kaprolaktam i kwas aminokapronowy są łatwe rozkładalne na drodze biologicznej.

Kisielowa i Dudkin [7] podali charakterystykę ścieków pochodzących z produkcji utleniania cykloheksanu powietrzem.

Ścieki alkaliczne, pochodzące z tego procesu, proponują wpięrs silnie zakwaszać dla wytrącenia smolistych substancji. Po oddzieleniu, substancje smoliste proponują kierować do spalania, natomiast powstały roztwór kwaśny można poddać procesowi biologicznego oczyszczania.

Również Liwke i inni [8] uzyskali pozytywne wyniki z prób biologicznego oczyszczania ścieków, powstających w procesie otrzymywania kaprolaktamu, opartego na utlenianiu cykloheksanu powietrzem.

Przy oczyszczaniu ścieków z produkcji kaprolaktamu wspólnie ze ściekami pochodzącymi z produkcji aldehydu octowego i bezwodnika kwasu octowego otrzymano nieco gorsze wyniki.

Kużakow i inni [9] w rezultacie badań w skali laboratoryjnej stwierdzili, że ścieki z zawartością kaprolaktamu są podatne dla biologicznych procesów oczyszczania, przy czym uzyskiwano redukcje ładunku BZT rzędu 98,8% i CZT rzędu 92,5%.

### Część doświadczalna

#### Metodyka badań

Przedmiotem badań przedstawionych w niniejszej pracy były ścieki poprodukcyjne powstające w procesie wytwarzania kaprolaktamu na bazie benzenu. W skład tych wód odpadowych wchodziły ścieki alkaliczne i kwaśne, pobierane z poszczególnych kolumn technologicznych, z pracującej dla potrzeb badawczych instalacji półtechnicznej.

Do badań pobierano również ścieki zbiorcze z istniejącej produkcji kaprolaktamu wytwarzanego na bazie fenolu, przyjmując je jako reprezentatywne dla ścieków zbiorczych powstających przy produkcji tego związku z benzenu. Wody fenolowe wchodzące w skład ścieków zbiorczych stanowią niemiernodajny składnik z uwagi na ich udział rzędu 2%.

Badania mające na celu unieszkodliwienie występujących w ściekach zanieczyszczeń prowadzono metodą osadu czynnego, przy różnych czasach zatrzymania ścieków w komorach napowietrzania. zmiennych obciążeniach osadu czynnego ładunkiem BZT i CZT i różnych rozcieńczeniach ścieków.

Przed biologicznym oczyszczaniem ścieki z poszczególnych instalacji mieszane były zgodnie z bilansem ścieków i zanieczyszczeń. Przygotowaną mieszaninę ścieków zbiorczych, kwaśnych i alkalicznych rozcieńczano dodatkowo wodą wodociągową w stosunku 1:5 lub 1:3 i dozowano do komór napowietrzania.

Osad czynny, zaadaptowano z osadu czynnego pochodzącego z biologicznej oczyszczalni ścieków wydziału kaprolaktamu. Adaptację osadu prowadzono oddzielnie w każdej komorze przez okres 5-6 dni. W tym okresie systematycznie zwiększano ładunki zanieczyszczeń doprowadzanych do komór, poprzez zmniejszenie stopnia rozcieńczania badanych ścieków do przewidzianego stopnia rozcieńczania 1:5 względnie 1:3.

W celu zapewnienia mikroorganizmom pożywki fosforanowej dawkowano do dopływów w poszczególnych komorach roztwór sześciometafosforanu sodu w ilości 10 mg/l, w pierwszym etapie badań i 20 mg/l w drugim etapie. Ze względu na obecność w ściekach surowych wystarczającej ilości związków azotowych nie dodawano tych ostatnich.

### Metodyka analityczna

Kontrola analityczna prowadzonych badań obejmowała oznaczenia fizyczno-chemiczne w ściekach zasilających komory, w ściekach oczyszczonych oraz w mieszaninie cieczy z osadem czynnym w komorach napowietrzania.

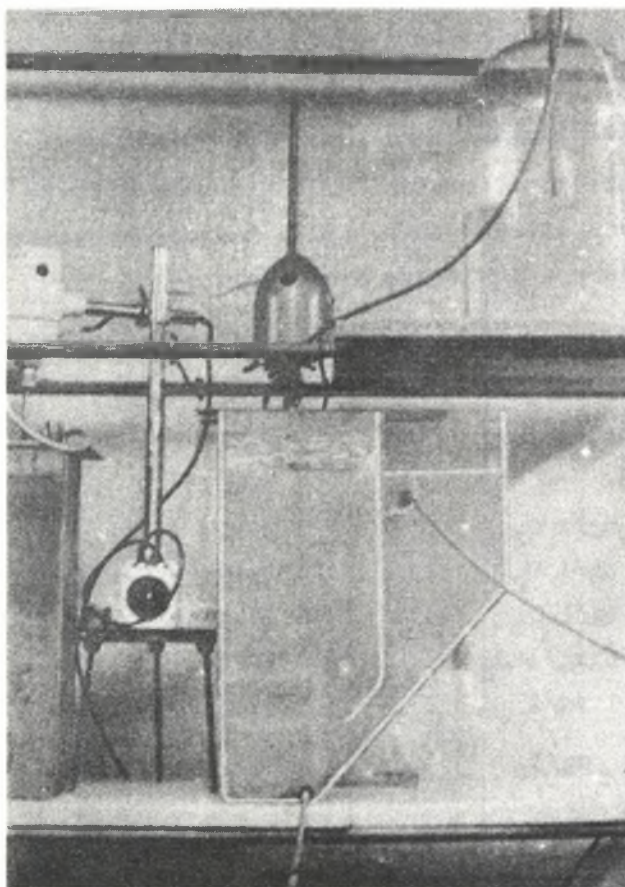
Oznaczenia wykonywano ogólnie przyjętymi metodami, a w szczególności: pH potencjometrycznie, utlenialność w środowisku kwaśnym, CZT z mieszaniną utleniającą, BZT<sub>5</sub> metodą rozcieńczeń, tlen rozpuszczony przy pomocy sondy tlenowej firmy Beckman, suchą pozostałość, zawiesinę wagowo, związki azotowe i fosforany kolorymetrycznie oraz fenole z paranitroaniliną i piramidonem.

Aparatura doświadczalna

Urządzenia doświadczalne składały się z:

- a) naczyń dozujących,
- b) komór napowietrzania wraz z kieszeniowymi osadnikami wtórnymi,
- c) odbieralników.

Komory napowietrzania wykonane były ze szkła organicznego i miały różne objętości: 6, 12 i 15 l.



Rys. 1. Aparatura doświadczalna



Do komór dopływały ścieki grawitacyjnie z dozowników i po odpowiednim czasie retencji w komorach przelewem odpływały do odbiorników. Czas retencji w tych urządzeniach zależał od wielkości przepływu, zmiennego w zależności od serii badań.

Komorę osadu czynnego napowietrzano przy pomocy aeratora powierzchniowego napędzanego przez mieszadło laboratoryjne. Ten sposób napowietrzania powodował dostarczenie nadmiaru tlenu dla przebiegających procesów biochemicznych oraz zapewniał całkowite wymieszanie cieczy z osadem czynnym w komorze. Z technologicznego punktu widzenia komora była zbliżona do modelu reaktora przepływowego z pełnym zmieszaniem cieczy zasilającej z masą reagującą i z całkowitym zawarciem osadu czynnego.

#### Przebieg i wyniki badań

Ścieki zbiorcze, kwaśne i alkaliczne pobierano z instalacji przemysłowych kilkakrotnie. Skład fizyczno-chemiczny omawianych ścieków podano w poniższym zestawieniu:

	Zbiorcze	kwaśne	alkaliczne
Mętność mg/l SiO <sub>2</sub>	50-250	5	500-1250
Barwa mg/l Pt	300-800	10	50000
pH	5,8-8,4	1,0	12,0
Tlen rozp. mg/l O <sub>2</sub>	1,9-2,4	-	-
BZT <sub>5</sub> mg/l O <sub>2</sub>	730-870	6940	10500
CZT mg/l O <sub>2</sub>	2760-4948	7169	173536-177600
Utlenialność mg/l O <sub>2</sub>	255-740	4180	13000-19500
Azot N <sub>NH<sub>4</sub></sub> " mg/l	14,5-510,0	n.w.	-
Azot N <sub>NO<sub>2</sub></sub> , mg/l	ślady	n.w.	-
Azot N <sub>NO<sub>3</sub></sub> , mg/l	0,6-1,3	0,9	-
Azot organ. mg/l	631-658	-	-
Siarczany mg/l	1082-4445	-	-

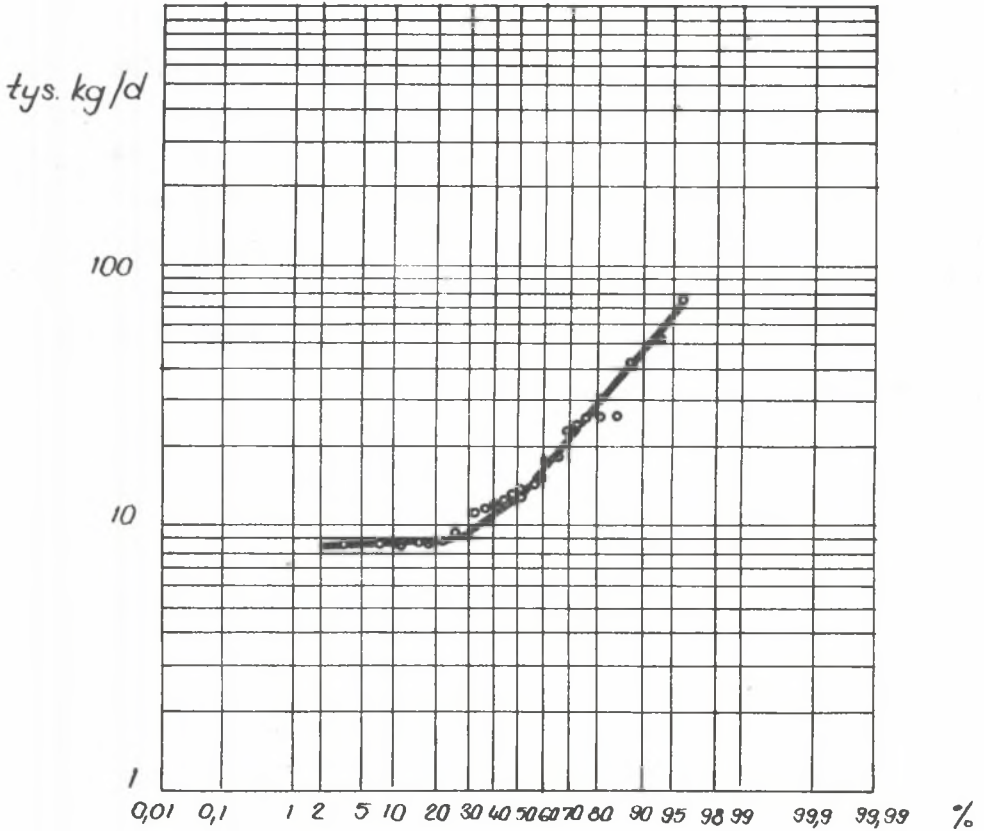
Chlorki mg/l	30,8-89,0	459,5	4118,0
Fenole mg/l	1,2-6,0	3,6	20,4
Sucha pozost. og. mg/l	2556-5585	416	529495-718740
" " lotna mg/l	302-2299	288	255855-427850
" " min. mg/l	2254-3286	128	273640-290890
Zawiesina og. mg/l	68,2-197,0	-	-

Zmienny skład fizyczno-chemiczny poszczególnych rodzajów ścieków miał wpływ na duże wahania w jakości substratu doprowadzanego z mieszaniną tych ścieków do komór napowietrzania. Na rys. 2 przedstawiono rozkład zmian ładunku zanieczyszczeń w zmiennych suchej pozostałości w ciągu jednego miesiąca.

Mieszanina ścieków bez rozcieńczania wodą, poddawana oczyszczaniu osadem czynnym, charakteryzowała się następującym składem fizyczno-chemicznym.

Barwa mg/l Pt	200 - 400
Mętność mg/l SiO <sub>2</sub>	300 - 500
pH	5,7 - 7,0
Tlen rozp. mg/l O <sub>2</sub>	1,8 - 2,3
BZT <sub>5</sub> mg/l O <sub>2</sub>	550--1052
CZT mg/l O <sub>2</sub>	2720 - 7160
Utlenialność mg/l O <sub>2</sub>	427 - 1060
Azot amonowy mg/l N <sub>NH<sub>4</sub></sub>	34,6 - 234,0
Azot azotanowy N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	0,12 - 0,60
Fosforany mg/l PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,52 - 3,3
Fenole mg/l	5,4 - 8,7
Sucha pozost. og. mg/l	13100 - 13200
" " lotna mg/l	10000 - 10380
" " min. mg/l	3100 - 2220

Szczególnie duże wahania występowały w ilości doprowadzane-  
go ładunku zanieczyszczeń wyrażonych przez  $BZT_5$ , CZT i utle-  
niałość.



Rys. 2. Częstotliwość występowania ładunku suchej pozostałości  
w ściekach zbiorczych

Badania prowadzono w dwóch etapach, w pierwszym etapie prze-  
prowadzono 4 serie doświadczeń dla ścieków rozcieńczonych wodą



wodociągową w stosunku 1:5 przy czasach zatrzymania 6, 9, 12 i 15 godzin. Serie tych doświadczeń oznaczono symbolami A, B, C i D.

Jedną serię badań w tym etapie przeprowadzono dla ścieków rozcieńczonych w stosunku 1:3 przy 18 godzinnym czasie napowietrzania i oznaczono symbolem E. Czas trwania każdej serii wynosił 25 dni. Stężenie zawiesiny osadu czynnego w komorach, wyrażone suchą masą osadu, było w granicach 1,5 - 1,7 g/l. W drugim etapie prowadzonych badań wykonano 2 serie doświadczeń ze ściekami rozcieńczonymi w stosunku 1:3 stosując 3 i 6 godzinny czas retencji w komorach napowietrzania, oznaczonych symbolami H i I. Stężenie zawiesiny osadu czynnego było w granicach 3,0 - 4,0 g/l suchej masy. Czas trwania każdej serii wynosił 25 dni.

Jedną serię badań powtórzono dla ścieków rozcieńczonych w stosunku 1:5 i 6 godzinnego czasu kontaktu z osadem czynnym zachowując jego stężenie w komorze ok. 3 g/l. Serię tą oznaczono symbolem F. Ostatnia przeprowadzona seria doświadczeń miała na celu zbadanie możliwości biologicznego oczyszczania ścieków surowych nierozcieńczanych wodą. Tą serię badań przeprowadzono w komorze oznaczonej symbolem G przy 12 godz. czasie zatrzymania ścieków i stężenia suchej masy osadu ok. 3 g/l.

Czas trwania każdej serii w II etapie badań wynosił również 25 dni.

Poniżej zestawiono podstawowe parametry przeprowadzonych badań technologicznych:

Seria badań	Stopień rozcieńcz. wodą wodoc.	Zakres obciążeń			Czas zatrzymania
		Hydraulicznego	Ładunkiem CZT	Ładunkiem BZT <sub>5</sub>	
	ścieki, woda	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .dobę	g/g·dobę	g/g i. dobę	godziny
A	1:5	2,6	2,3-3,7	0,7-1,4	9
B	1:5	2,0	1,5-3,3	0,5-1,3	12
C	1:5	4,0	2,8-4,7	0,8-2,3	6
D	1:5	1,6	0,7-2,1	0,4-0,9	15

Seri ba- dań	Stopień rozcieńcz. wodą wodoc.	Zakres obciążeń			Czas za- trzymania
		Hydraulicz- nego	Ładunkiem CZT	Ładunkiem BZT <sub>5</sub>	
	ścieki, woda	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , dobę	g/g·dobę	g/g · dobę	godziny
E	1:3	2,0	1,2-2,4	0,4-0,8	18
H	1:3	8,0	3,5-5,9	0,5-1,9	3
I	1:3	4,0	1,7-2,8	0,3-0,9	6
F	1:5	4,0	0,9-2,2	0,4-0,5	6
G	bez roz- cieczeń	2,0	1,7-4,8	0,4-1,0	12

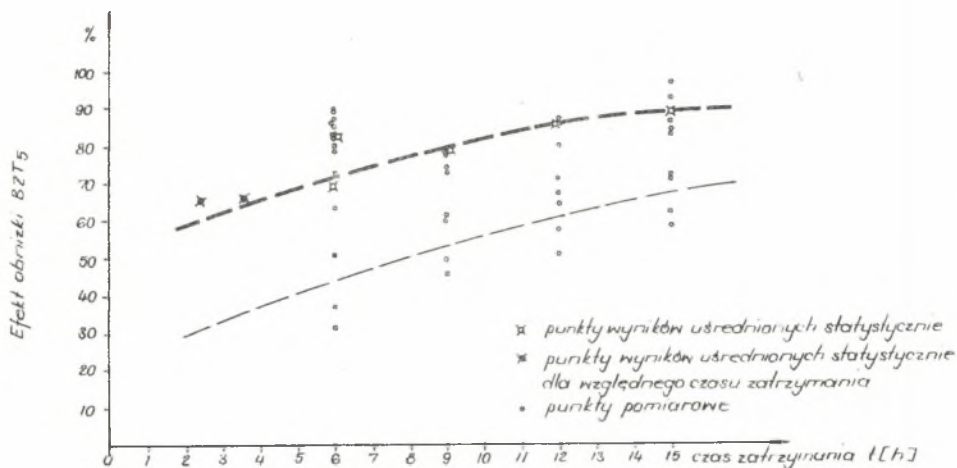
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono możliwość oczyszczania ścieków z produkcji kaprolaktanu produkowanego metodą benzenową. Nie stwierdzono toksycznego lub też ujemnego wpływu składników tych ścieków na przebieg procesu oczyszczania.

W warunkach przeprowadzonych badań laboratoryjnych uzyskano dobre efekty oczyszczania tych ścieków. Szczegółowa interpretacja natrafia jednak na pewne trudności związane z dużymi wahaniami w jakości doprowadzanego substratu do komór napowietrzania.

Uzyskane wyniki oczyszczania przedstawiono w sposób graficzny jako zależność czasu zatrzymania ścieków w komorze lub też obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń.

Rys. 3 przedstawia zależność redukcji BZT<sub>5</sub> od czasu zatrzymania w komorze napowietrzania dla ścieków rozcieńczonych w stosunku 1:5. Porównując poszczególne wyniki oznaczeń stwierdzono znaczny rozrzut wyników. Dlatego uśredniono statystycznie wyniki z poszczególnych serii doświadczalnych i dodatkowo wprowadzono do rys. 3.

Interpretowane w ten sposób wyniki pozwoliły na wykreślenie przybliżonej, liniowej zależności efektów oczyszczania od czasu zatrzymania w komorze.

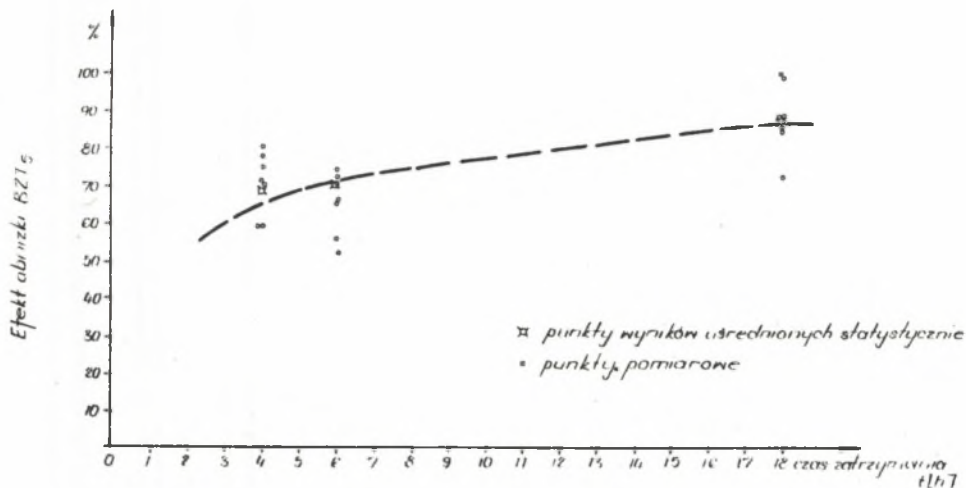


Rys. 3. Zależność efektów oczyszczania od czasu zatrzymywania w komorze napowietrzania

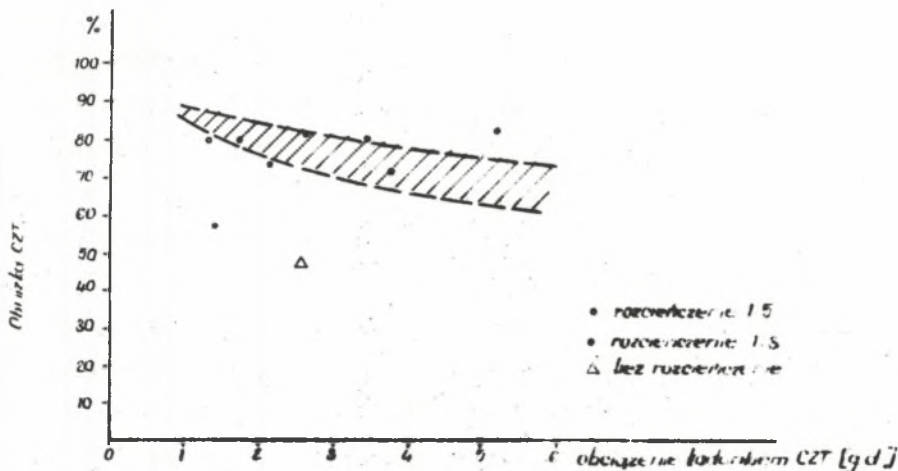
Dodatkowo naniesiono wyniki redukcji BZT<sub>5</sub> dla ścieków rozcieńczonych w stosunku 1:3 w zależności od teoretycznego, czasu zatrzymania. Uzyskano dobre efekty oczyszczania wyrażone obniżką CZT w stosunku do obciążenia ładunkiem CZT jednostki osadu czynnego. Wyniki uśrednione statystycznie z ostatniej dekadę badań technologicznych przedstawiono na rys. 4.

W badanym zakresie obciążeń osadu czynnego od ok. 1,3 - 5,2 g/g.d uzyskano obniżenie wartości CZT w zakresie od 70-82%. Ze względu na stwierdzony znaczny rozrzut wyników celowe wydaje się posługiwanie się przedziałem zależności efektów obniżki CZT od obciążenia ładunkiem CZT (rys. 5).

Równocześnie dla jednej serii badań (D) z rozcieńczeniem 1:5 uzyskano wyjątkowo małą redukcję CZT – średnio około 58%.



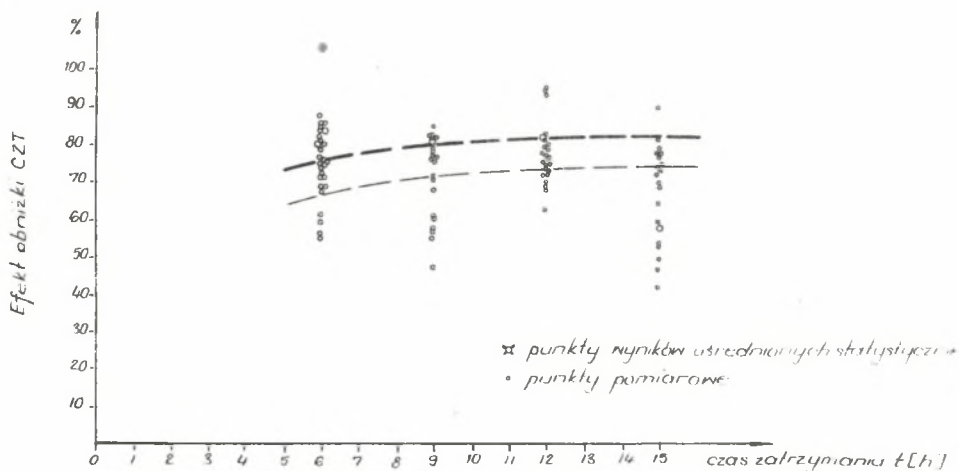
Rys. 4. Zależność obniżki BZT<sub>5</sub> od czasu zatrzymywania ścieków w komorze napowietrzania. Rozcieńczenie ścieków 1:3



Rys. 5. Zależność obniżki CZT do obciążenia osadu czynnego

Prawdopodobnie niższe efekty oczyszczania uzyskane w komorze D z 15 godzinnym czasem zatrzymania wiążą się z powstawaniem produktów pośrednich jak również trudnością w dozowaniu niewielkich ilości ścieków. Bardziej jednoznaczne wyjaśnienie tego zagadnienia wymaga prowadzenia dalszych badań w tym kierunku.

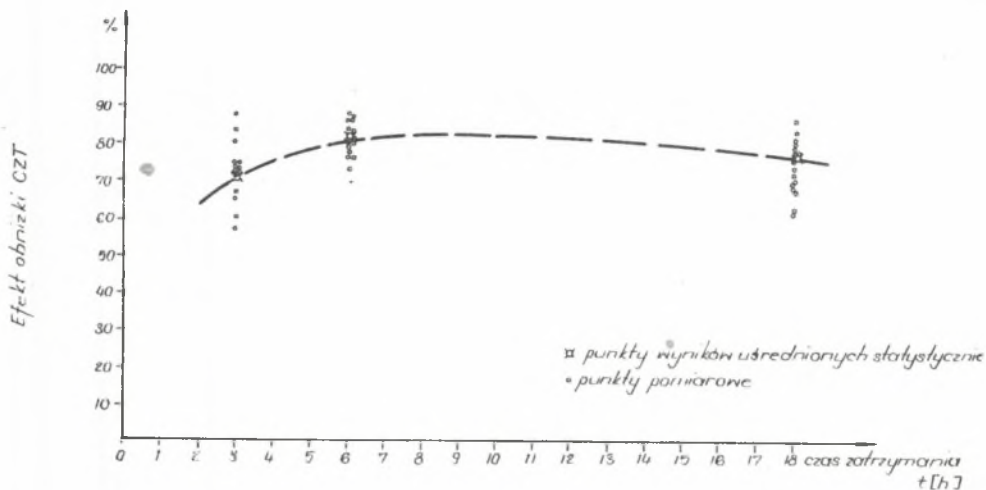
Na rys. 6 przedstawiono zależność uzyskanych efektów redukcji CZT w zależności od czasu zatrzymania w komorze napowietrzania dla ścieków rozcieńczonych wodą w stosunku 1:5.



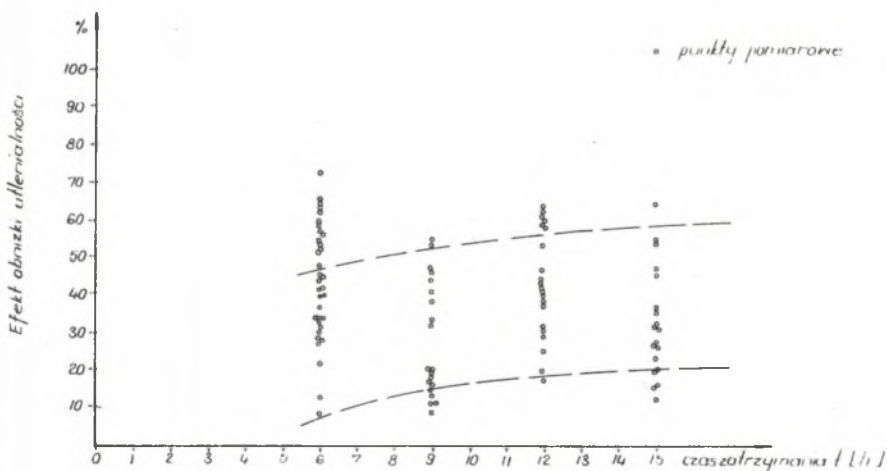
Rys. 6. Zależność obniżki CZT od czasu zatrzymywania w komorze napowietrzania. Rozcieńczenie ścieków 1:5

Rys. 7 przedstawia podobną zależność dla ścieków rozcieńczonych w stosunku 1:3, a na rys. 4 wykreślono zależność obniżki BZT<sub>5</sub> od czasu zatrzymania ścieków rozcieńczonych w tym samym stosunku. Analizując redukcję utlenialności ścieków w wyniku ich biologicznego oczyszczania, stwierdzono jej obniżenie

w zakresie 15-60% w zależności od czasu kontaktu ścieków z osadem czynnym (rys. 8).



Rys. 7. Zależność obniżki CZT od czasu zatrzymywania w komorze napowietrzania. Rozcieńczenie ścieków 1:3



Rys. 8. Zależność obniżki utlenialności od czasu zatrzymywania w komorze napowietrzania. Rozcieńczenie ścieków 1:5



Niezależnie od analizy efektywności oczyszczania ścieków w zależności od czasu ich zatrzymania w komorze napowietrzania lub też obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń dużą uwagę zwrócono na możliwość oczyszczania ścieków bez ich uprzedniego rozcieńczenia wodą wodociągową lub też jedynie umiarkowanego rozcieńczenia. Dlatego też przeprowadzono badania przy rozcieńczeniu wodą wodociągową w stosunku 1:3 oraz bez rozcieńczenia. Przy rozcieńczeniu ścieków wodą w stosunku 1:3 nie stwierdzono wyraźnego obniżenia efektywności oczyszczania wyrażonej obniżki CZT w stosunku do obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń.

Jedynie w przypadku oczyszczania ścieków nierozcieńczonych stwierdzono znaczną obniżkę efektów usunięcia ładunku CZT (rys. 5). Jednocześnie wyjaśnić należy, że badania te wykonane były we względnie krótkim okresie czasu i istnieje prawdopodobieństwo nie pełnego zaadaptowania mikroorganizmów osadu czynnego do warunków zwiększonego stężenia ścieków. Nie bez efektu pozostał wpływ obniżonego pH ścieków wprowadzanych do komory (około 5,4). Szczególną uwagę zwrócono na zagadnienie nierozcieńczania lub też umiarkowanego rozcieńczenia ścieków ponieważ wiąże się to z możliwością obniżenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

### Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono możliwość biologicznego oczyszczania ścieków z produkcji kaprolaktamu otrzymanego metodą benzenową.
2. Nie stwierdzono toksycznego lub też ujemnego wpływu na przebieg procesu oczyszczania, dodatku ścieków z procesu destylacji cykloheksanolu i cykloheksanonu.
3. Uzyskano redukcję ładunku BZT<sub>5</sub> w zakresie 60-88% dla czasu zatrzymania w granicach 3-15 godzin.

4. Stwierdzono możliwość usunięcia około 70% ładunku CZT w zakresie obciążeń osadu czynnego do 4 g/g · dobę.
5. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono możliwość stosowania niewielkich rozcieńczeń dozowanych ścieków bez pogorszenia efektów oczyszczania.

### Literatura

- [1] GROMSKI L., GROMSKA D., GWTS, 1967, 41, 167.
- [2] PALION K.: Przem. Chemiczny, 1969, 68, 60.
- [3] SUSCHKA J., HALSKA A., SZEWIOŁA J., ZIELIŃSKI J.: Materiały XII Konf. Naukowo-Technicznej, Katowice, 1969 t.2, 269.
- [4] ROGOWSKAJA C.; Mikrobiologia, 1954, 23, 464.
- [5] NAUMOWA R., GOŁOWANOWA E.; GUBERNATOROWA W.: Zbornik Projektowanijsa Wodosnabż. 1962, Nr 4/14, 16.
- [6] PITTEP P.: Chemicky Prumysl, 1966, 16/41, 225
- [7] KISIELEWA R., DUDKIN M.; Chim. Promyslennost, 1966, 42, 743.
- [8] LIWKE W., GUBERNATOROWA W., NIKIFOROWA W., MJSZIJ R.:Chim. Promyslennost, 1966, 42, 590.
- [9] KULAKOW E., ISZCHANOWA E., WANDJUK N.; Trudy WODGEO, 1967, str. 18.

## S t r e s z c z e n i e

Przeprowadzone badania nad oczyszczaniem ścieków z produkcji kaprolaktamu wykazały możliwości ich efektywnego oczyszczania metodą osadu czynnego. Nie stwierdzono toksycznego lub też ujemnego wpływu na przebieg procesu oczyszczania dodatku ścieków z procesu destylacji cykloheksanolu i cykloheksanonu.

Uzyskano redukcję ładunku BZT<sub>5</sub> w zakresie 60-80% oraz redukcję ładunku CZT dochodzącą do 70%.

Stwierdzono możliwość stosowania niewielkich rozcieńczeń dozowanych ścieków, bez pogorszenia efektów oczyszczania.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРОИЗВОДСТВА КАПРОЛАКТАМА ИЗ БЕНЗОЛА

## Р е з ю м е

Проведены исследования очистки сточных вод от производства капролактама показали возможность их эффективной очистки методом активного ила.

Не обнаружено токсического или отрицательного влияния на процесс очистки сточных вод добавки промышленных вод из установки перегонки циклогексанола и циклогексанона.

Получены результаты указывают, что снижение БПК достигало пределов 60-88%, а снижение ХПК достигало 70%.

Опыты указывают на возможность применения только небольших разбавлений дозированных сточных вод без ухудшения полученных эффектов очистки.

LABORATORY INVESTIGATIONS ON BENZENE  
BASED CAPROLACTAM WASTE WATERS

S u m m a r y

Experiments on activated sludge treatment of caprolactam waste waters were carried out. The possibility of effective purification was shown. On the basis of carried out experiments it was stated that the addition of waste waters from cyclohexanol and cyclohexanon distillation hasn't had any toxic or adverse effect on the microorganisms responsible for the purification process. A 60 to 80% reduction of  $BOD_5$  load was obtained. The COD load reduction reached 70%. Further it was stated that without effectiveness lowering rather small dilution of wastes was possible.