

J. GAŃCZARCZYK i J. GRABOWSKA

## GRANICZNE OBCIĄŻENIA BŁONY ZŁÓŻ BIOLOGICZNYCH

Proces oczyszczania ścieków metodą złóż biologicznych związany jest nierozłącznie z właściwościami tzw. "błony biologicznej" pokrywającej rozwiniętą powierzchnię wypełnienia tych urządzeń. Ilości błony biologicznej w złożach (1) zależą od warunków ich pracy, przy czym ilości aktywnej fizjologicznie błony ograniczone są doprowadzeniem tlenu, który wnika w błonę wyłącznie na drodze dyfuzji i jak wykazały badania Schulzego (2) nie sięga głębiej niż na 2 mm.

Opierając się na odpowiednich analogiach z bardziej już rozpracowanym procesem biologicznego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego, przypuszczać można, że obciążenia jednostkowych powierzchni błony biologicznej złóż ładunkiem zanieczyszczeń wyrażonym w  $BZT_5$  określają w znacznym stopniu wyniki omawianego oczyszczania (3). Ze względu na zmniejszające się zanieczyszczenie ścieków przy przepływie przez złoża i w związku z tym doprowadzanie zmniejszających się ładunków zanieczyszczeń na błonę biologiczną pokrywającą niższe części wypełnienia złóż, urządzenia te rozpatrywać można w analogii do wielostopniowego układu osadu czynnego.

Dotychczasowa znajomość charakterystyki fizjologicznej błony biologicznej w warunkach pracy złóż, jest wyraźnie niezadowolająca. Zazwyczaj tylko dane technologiczne określające działanie poszczególnych rodzajów złóż, pozwalają pośrednio zorientować się w stosowanych obciążeniach powierzchni błony i wywołanych tym skutkach. Wyjątek stanowią tu wyłącznie takie szczególne rozwiązania złóż biologicznych jak napowietrzane złoża zatopione (4) (5) i ostatnie konstrukcje Hartmann'a (6) i (7).

Stosowane w napowietrzanych złożach zatopionych obciążenia powierzchni błony wg Wilford'a i Conlon'a (5) wynoszą  $24,5 \text{ g } BZT_5/m^2 \cdot d$  dla uzyskania pełnego biologicznego oczyszczania ścieków i  $49 \text{ g } BZT_5/m^2 \cdot d$  przy

częściowym biologicznym oczyszczaniu. Równocześnie doprowadza się do tych urządzeń około 12 m<sup>3</sup> sprężonego powietrza na 1 m<sup>3</sup> oczyszczanych ścieków.

Opracowane przez Hartmann'a (7) zależności matematyczne dla działania obrotowych złóż zanurzanych, dotyczą również przypadków całkowicie nietypowych dla konwencjonalnych typów złóż i odznaczają się przesadną i wyidealizowaną interpretacją matematyczną, typową dla prac szkoły prof. Pöpel'a.

Celem niniejszej pracy jest określenie do jakich obciążeń błony biologicznej dochodzi się w warunkach zbliżonych do spotykanych w powszechnie stosowanych złożach biologicznych przy:

- a) pełnym biologicznym oczyszczeniu ścieków (obniżka BZT<sub>5</sub> większa od 90%),
- b) ich częściowym biologicznym oczyszczaniu, oraz
- c) przy jakich obciążeniach błony ustają procesy biologicznego oczyszczania ścieków.

Powyższe obciążenia błony biologicznej nazwano tu obciążeniami granicznymi.

### Cześć doświadczalna

W niniejszej pracy posługiwano się poprzednio opisanym (8) modelem złóż biologicznych opartym na zasadzie rur obrotowych.

Przeprowadzone doświadczenia polegały na próbach oczyszczania na tym modelu tzw. "syntetycznych" ścieków miejskich, składających się z roztworów peptonu i mocznika oraz mechanicznie oczyszczonych ścieków miejskich dopływających na oczyszczalnię w Gliwicach.

Charakterystykę ścieków syntetycznych przedstawiono w tab. 1 a charakterystykę mechanicznie oczyszczonych ścieków miejskich podawano przy poszczególnych seriach wyników ich biologicznego oczyszczania.

Zawarte w niniejszej pracy oznaczenia analityczne wykonywano wg metodyki "Standard Methods" (9), z tym, że oznaczenia utlenialności wykonywano metodą nadmanganianową.

Doświadczenia prowadzono w ten sposób, że do wpracowanych modeli złóż doprowadzano określone ilości ścieków, rozpoczynając od najmniejszych dawek. Przy każdej



Przebieg oczyszczania ścieków syntetycznych na modelach źróź biologicznych

Lp.	Obciążenie hydrauliczne modelu	Obc.pow. błony biol.	O d p ł y w z m o d e l i z Ź r ó ź							
			Utlenialność	BZT <sub>5</sub>	Azetyny	Azotany	Amoniak	pH	Temperatura	Zagniwalność
	l/d	g BZT <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> /d	mg/l O <sub>2</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	mg/l N	mg/l N	mg/l N		°C	doby
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,40	4,6	8,1	4,6	0,70	3,80	0,36	7,7	19,0	> 10,0
2	4,25	8,2	10,9	8,5	3,30	1,80	4,50	8,0	18,0	> 10,0
3	5,50	10,6	9,0	15,1	2,50	1,16	14,30	7,8	16,0	> 10,0
4	8,00	15,4	10,5	17,7	3,10	2,10	7,74	7,8	19,0	> 10,0
5	10,00	19,3	11,3	27,9	1,16	1,80	8,50	7,9	20,0	> 10,0
6	13,70	26,4	13,2	38,6	3,00	1,80	11,00	7,7	20,0	> 10,0
7	16,00	30,9	14,5	40,3	1,50	0,80	13,30	7,8	19,0	> 10,0
8	21,50	41,5	17,8	65,1	2,03	0,81	14,70	7,8	19,0	> 10,0
9	32,10	62,0	27,9	97,5	1,91	0,56	15,90	7,7	20,0	> 10,0
10	36,70	70,8	29,0	136,4	3,10	0,53	18,06	7,7	20,0	10,0
11	42,80	82,6	32,6	200,8	2,03	0,40	19,30	7,8	19,0	8,0
12	45,50	87,8	34,7	306,1	1,93	0,30	22,30	7,8	18,0	7,0
13	52,40	101,1	42,2	356,2	1,70	0,36	19,30	7,8	18,0	5,0
14	59,80	115,4	51,3	388,3	1,53	0,46	19,60	7,7	19,0	4,0
15	67,20	129,7	57,4	406,8	0,96	0,33	18,60	7,7	20,0	2,5
16	72,00	139,0	58,8	418,1	1,00	0,35	19,60	7,8	20,0	1,0
17	84,00	162,1	62,1	437,2	0,80	0,30	17,00	7,7	20,0	1,0
18	96,00	185,3	65,9	461,8	0,56	0,11	16,00	7,6	20,0	0,75



## Przebieg oczyszczania ścieków miejskich na modelach źróź biologicznych

Lp.	Obciążenie hydraulicznego modelu	Obciążenie pow. błony biologicznej		Odpływ z modeli źróź							
				Utlenialność	BZT <sub>5</sub>	Azotyny	Azotany	Amoniak	pH	Temperatura	Zagłiwalność
	l/d	g BZT <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> /d		mg/l O <sub>2</sub>	mg/l O <sub>2</sub>	mg/l N	mg/l N	mg/l N		°C	deby
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6,5	9,1	dopł. odpł.	67,0 13,1	306,6 31,9	ślady 2,25	0,001 0,41	4,50 0,80	7,4 7,7	13,0 18,0	0,08 >10,00
2	12,0	15,6	dopł. odpł.	62,2 6,5	297,6 51,2	0,005 1,80	0,04 0,50	12,00 5,50	7,4 7,7	17,0 18,0	0,13 >10,00
3	28,8	42,3	dopł. odpł.	73,5 32,7	318,6 80,6	0,01 1,40	0,04 0,66	12,00 10,16	7,4 7,7	17,0 18,0	0,13 10,00
4	38,75	64,2	dopł. odpł.	64,3 32,7	356,8 143,4	0,20 1,46	0,02 2,03	15,00 10,30	7,5 7,8	18,0 18,0	0,16 7,00
5	48,2	75,3	dopł. odpł.	61,2 38,3	321,6 183,8	0,25 1,03	0,01 1,60	16,00 11,00	7,5 7,8	18,0 18,0	0,13 6,00
6	53,2	78,0	dopł. odpł.	68,0 46,5	321,2 209,1	0,40 1,46	0,02 1,30	21,30 18,80	7,5 7,8	20,0 22,0	0,08 2,00
7	55,8	87,0	dopł. odpł.	74,8 67,9	338,1 303,6	0,20 0,66	0,03 0,53	23,10 16,00	7,5 7,8	20,0 19,0	0,13 1,50
8	65,6	91,8	dopł. odpł.	65,2 65,0	312,1 308,7	0,25 0,90	0,016 0,33	15,00 18,30	7,5 7,7	18,0 20,0	0,08 1,00
9	72,0	93,6	dopł. odpł.	65,7 66,0	295,2 299,6	0,10 1,00	ślady 0,33	18,00 18,60	7,6 7,7	16,0 18,0	0,13 1,00
10	76,3	114,6	dopł. odpł.	68,8 71,6	321,6 361,2	0,10 0,71	0,00 0,20	18,00 19,10	7,5 7,8	18,0 20,0	0,08 0,75

Tabela 1

Charakterystyka ścieków syntetycznych

Zawartość peptonu	150 mg/l
Zawartość mocznika	50 mg/l
Utlenialność	57 mg/l O <sub>2</sub>
BZT <sub>5</sub>	417 mg/l O <sub>2</sub>
Zawartość azotu ogólnego	98 mg/l N
pH	7,3

wartości obciążenia modelu prowadzono proces do uzyskania stanu równowagi tj. do ustalenia wskaźników analitycznych odpływu. Następnie podwyższano obciążenie modelu.

Uzyskane wyniki badań podano w tab. 2 i 3.

Omówienie wyników

Odnoszenie wyników oczyszczania ścieków na złożach biologicznych do rozwiniętych w tych urządzeniach powierzchni błony biologicznej, aczkolwiek zgodne z przesłankami wymienionymi na wstępie niniejszej pracy, może być kwestionowane z innych punktów widzenia. Przede wszystkim praktyczna strona takiego ujęcia budzi szereg wątpliwości, gdyż istnieją poważne trudności przy określeniu omawianych wielkości w złożach o zastosowaniu technicznym. Rozwinięta powierzchnia błony w takich urządzeniach może różnić się znacznie od powierzchni zastosowanego wypełnienia złóż a warunki jej natleniania i obciążenia ściekami mogą być bardzo zmienne nawet w tych samych urządzeniach,

W opisywanych tu badaniach posługiwano się modelem złóż biologicznych o określonej ściśle powierzchni błony biologicznej, stosunkowo równomiernie obciążonej ściekami i natlenianej w sposób równomierny i dostateczny. Porównanie takiego modelu z urządzeniami technicznymi wymaga zastosowania odpowiednich współczynników, co już zostało podane w poprzedniej pracy autorów (8). Badanie procesów oczyszczania ścieków w niniejszych wyidealizowanych warunkach, prowadzi jednak niewątpliwie do poznania mechanizmu odpowiednich zjawisk, które zapewne nie różnią się w sposób zasadniczy od mających miejsce w urządzeniach technicznych.



Wykonane badania doprowadziły do określenia obciążeń błony biologicznej modelu, do których uzyskuje się pełne biologiczne oczyszczanie ścieków i ich częściowe oczyszczenie oraz przy których następuje zanik efektów oczyszczania ścieków i następnie nawet wzrost stopnia zanieczyszczenia ścieków doprowadzanych do modeli, co tłumaczyć można częściowym rozkładem błony biologicznej. Dane te, nazwane tu granicznymi obciążeniami błony biologicznej, zestawiono w tab. 4.

Tabela 4

Zestawienie wielkości granicznych obciążeń błony biologicznej modeli złożeń

Lp.	Stopień oczyszczania	Ścieki	
		syntetyczne	miejskie
1.	pełne oczyszczanie biologiczne	do 30 g BZT <sub>5</sub> / m <sup>2</sup> . d	do 10 g BZT <sub>5</sub> / m <sup>2</sup> . d
2.	częściowe oczyszczanie biologiczne	do 83 "	do 78 "
3.	zanik efektów oczyszczania	od 130 "	od 92 "
4.	rozkład błony biologicznej	od 139 "	od 93,6 "

Różnice powyższych wielkości dla ścieków "syntetycznych" i ścieków miejskich w Gliwicach, prowadzą do pewnej oceny tych ścieków miejskich z punktu widzenia możliwości ich oczyszczania. Wydaje się, że w ten sposób można doprowadzić do opracowania względnie prostej metodyki badań nad "oczyszczalnością" różnych ścieków miejskich i przemysłowych na drodze analogicznych pomiarów.

Charakterystyczny dla działania błony biologicznej zanik efektów oczyszczania ścieków po przekroczeniu określonych obciążeń przedstawiono na rys.1. Sformułowanie tej wielkości może mieć zasadniczy wpływ na ocenę zjawisk oczyszczania ścieków na złożach biologicznych. Prowadzi ono bowiem pośrednio do określenia maksymalnej wysokości złożeń jako urządzeń czynnych biologicznie. Poz-

wala także uzasadnić celowość stopniowego doprowadzania ścieków do złoź wieżowych wg idei E. Zaczyńskiego.

Dla przypadków niskich złoź biologicznych, w których rozkład obciążeń błony nie powinien być zbyt znaczny, można przeprowadzić porównanie uzyskanych obciążeń błony z wynikami odpowiednich obciążeń objętości złoź ładunkiem zanieczyszczeń, przy uproszczonym założeniu, że 1 m<sup>3</sup> objętości przeciętnych złoź biologicznych rozwija około 100 m<sup>2</sup> powierzchni błony biologicznej. Ten sposób interpretacji wyników doświadczalnych przedstawiono na rys. 2. Na rysunku tym dla porównania podano również tzw. krzywą Rumpf'a (10), określającą na podstawie danych statystycznych działanie technicznych złoź biologicznych.

Dane przedstawione na rys. 2 pozwalają jeszcze dalej przeprowadzić ocenę wielkości zawartych w tab. 4. Różnice między krzywą Rumpf'a a przebiegiem oczyszczania ścieków miejskich, mimo szeregu istotnych zastrzeżeń dotyczących pierwszego ujęcia, określają wyższą sprawność modelu, niż złoź w skali technicznej. Jeszcze bardziej korzystne wyniki oczyszczania ścieków "syntetycznych" podkreślają wpływ specyficzny "jakości" ścieków na przebieg ich oczyszczania.

Przedstawiony w niniejszej pracy kierunek badań nad oczyszczaniem ścieków metodą złoź biologicznych będzie dalej kontynuowany.

### Zestawienie wyników

1. Posługując się modelami złoź biologicznych opisanymi w poprzedniej pracy, przeprowadzono badania nad oczyszczaniem tą metodą tzw. "syntetycznych" ścieków miejskich, złożonych z roztworów peptonu i mocznika oraz mechanicznie oczyszczonych ścieków miejskich dopływających na oczyszczalnię w Gliwicach.
2. Pełne biologiczne oczyszczanie powyższych ścieków (obniżka BZT<sub>5</sub> większa od 90%) uzyskiwano do granicznych obciążeń błony biologicznej równych ok. 30 g BZT<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> . d w przypadku ścieków syntetycznych i do obciążeń równych ok. 10 g BZT<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> . d przy ściekach miejskich.



3. Znaczne wyniki częściowego biologicznego oczyszczania uzyskiwano dla ścieków syntetycznych do obciążeń rzędu  $83 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  a w przypadku ścieków miejskich do obciążeń rzędu  $78 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ .
4. Przy obciążeniach błony znacznie większych od podanych powyżej, wyniki oczyszczania gwałtownie maleją. Przy obciążeniach błony dla ścieków syntetycznych wyższych od  $139 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  uzyskiwano wyższe  $\text{BZT}_5$  odpływu ze złoża niż dopływu na złoża. Przypisać to można częściowemu rozkładowi błony w tych warunkach. Analogiczne zjawisko dla ścieków miejskich zaobserwowano przy obciążeniach wyższych od  $93,6 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ .
5. Powyższe graniczne obciążenia błony biologicznej, różne dla przypadku oczyszczania ścieków syntetycznych i ścieków miejskich w Gliwicach, prowadzą do określenia porównawczej charakterystyki oczyszczania danych ścieków miejskich.
6. Określenie maksymalnych obciążeń błony biologicznej, przy których następuje zanik efektów oczyszczania ścieków może doprowadzić do określenia maksymalnych wysokości złoża, jako urządzeń czynnych biologicznie i wyjaśnia celowość stopniowego doprowadzania ścieków na złoża wieżowe.

#### PISMIENNICTWO

1. HEUKELEKIAN, H.: "The Relationship between Accumulation, Biochemical and Biological Characteristics of Film and Purification Capacity of Biofilter and Standard Filter. I. Film Accumulation", Sew. Works J. 17, 23 (1945).
2. SCHULZE, K.: "Experimental Vertical Screen Trickling Filter", Sew Ind. Wastes 29, 458 (1957)
3. GAŃCZARCZYK J.: "Próba systematyki sposobów biologicznego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego", Gaz, Woda i Tech.Sanit. 34, 51 (1960)
4. KESSLER, L.H., NORSGOARD J.T.: "Operation of Army Sewage Treatment Plants", Sew Works J. 14, 1228 (1942)



5. WILFORD J., CONLON T.P.: "Contact Aeration Sewage Treatment Plants in New Jersey", Sew.Ind. Wastes. 29, 845 (1957).
6. PÖPEL F.: "Abbauleistung und Sauerstoffverbrauch der Kleinlebewelt in Belüftungsbecken und Tröpfkörpern", Ber. ATV 10, 107 (1959)
7. HARTMANN H.: "Entwicklung und Betrieb von Tauchtropfkörperanlagen", Gas- u. Wasserfach 101, 281 (1960).
8. GAŃCZARCZYK J., GRABOWSKA J.: "Zastosowanie rur obrotowych jako laboratoryjnych modeli złoź biologicznych", Gaz, Woda i Technika Sanit. 33, 396 (1959)
9. AMER. WATER WORKS ASS.: "Standard Methods for the Examination of Water and Sewage", New York 1955
10. GAŃCZARCZYK J.: "Obliczenie wysoko-obciążonych złoź biologicznych metodą dopuszczalnych obciążeń", Gaz, Woda i Techn.Sanit. 31, 374 (1957).

Limiting loadings of biological film  
on trickling filters

SUMMARY

Previously described model of biological filters was used to studying the purification process of synthetic sewage, composed with peptone and urea solutions, and sewage after primary sedimentation basins in Gliwice treatment plant.

Complete biological purification of above mentioned sewages (decrease of BOD more than 90 per cent) was resulted in the loading range to 30 g BOD/m<sup>2</sup> . d, regarding to synthetic sewage and the loads of 10 g BOD/m<sup>2</sup> . d for the Gliwice sewage.

Valuable effects of partial biological treatment was resulted in the case of synthetic sewage to the loadings of 83 g BOD/m<sup>2</sup> . d and for the Gliwice sewage to 78 g BOD/m<sup>2</sup> . d.

In the range of biological film loadings greater than above mentioned, the effects of purification rapidly minimize. At loadings greater than  $139 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{d}$  and  $93,6 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{d}$  for synthetic sewage and Gliwice sewage respectively, there were resulted greater BOD of the effluents than the BOD of the influent to the biological filter models. It can be explained as the partial decomposition of biological film in such conditions of loading.

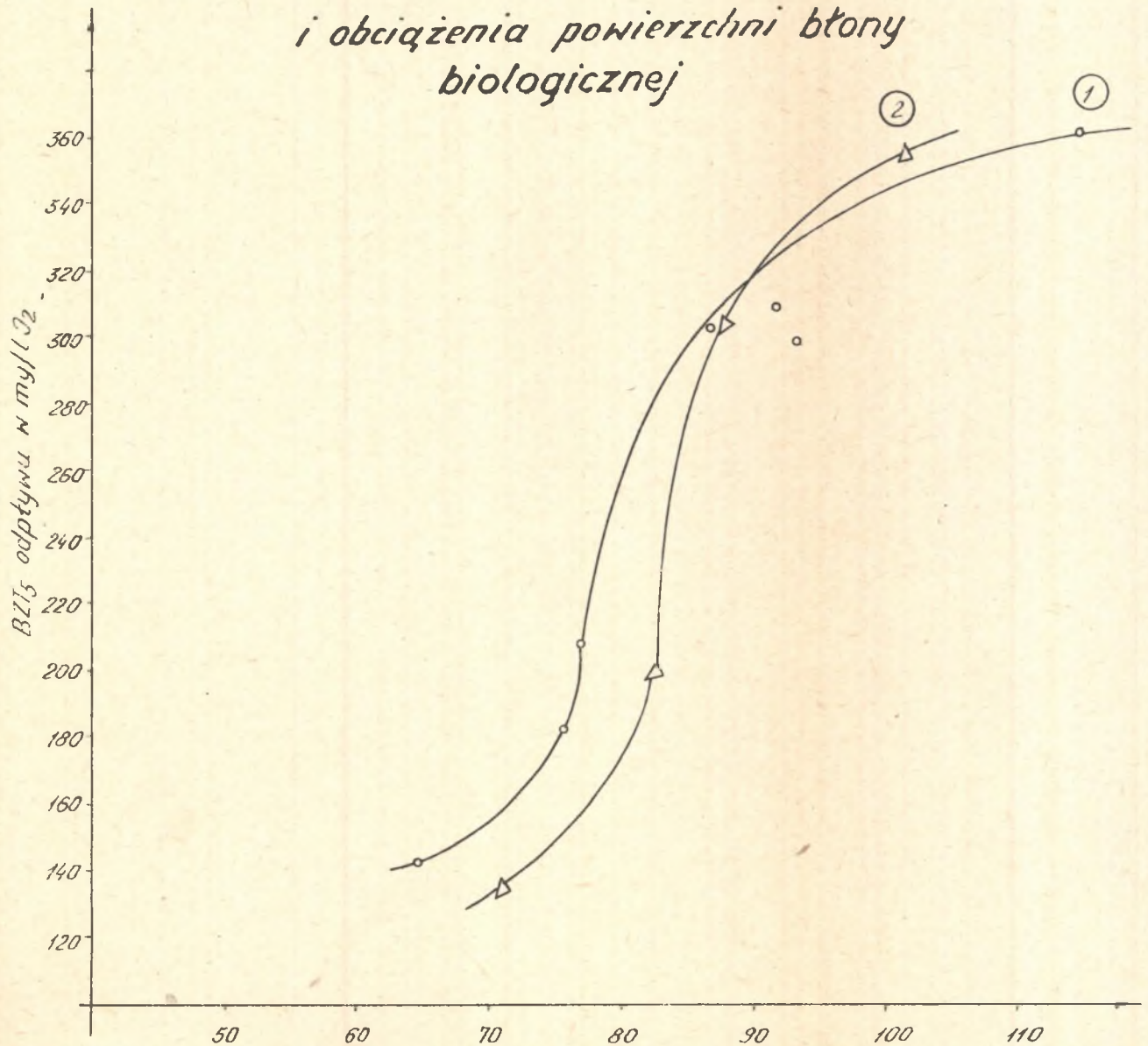
The divergencies between the limiting loadings of the biological film for the synthetic sewage and Gliwice sewage, lead to comparative determination of the treatability of these sewages.

Simultaneously, the determinations of loadings of the film, above which the purification effects rapidly minimize, may be of value for designing the maximum depths of the filters acting as true biological units, and also explains, the results of load distribution (step - loading) at biological filters of considerable depth.



Rys. 1

Zależność  $BZT_5$  oczyszczonych ścieków  
i obciążenia powierzchni błony  
biologicznej

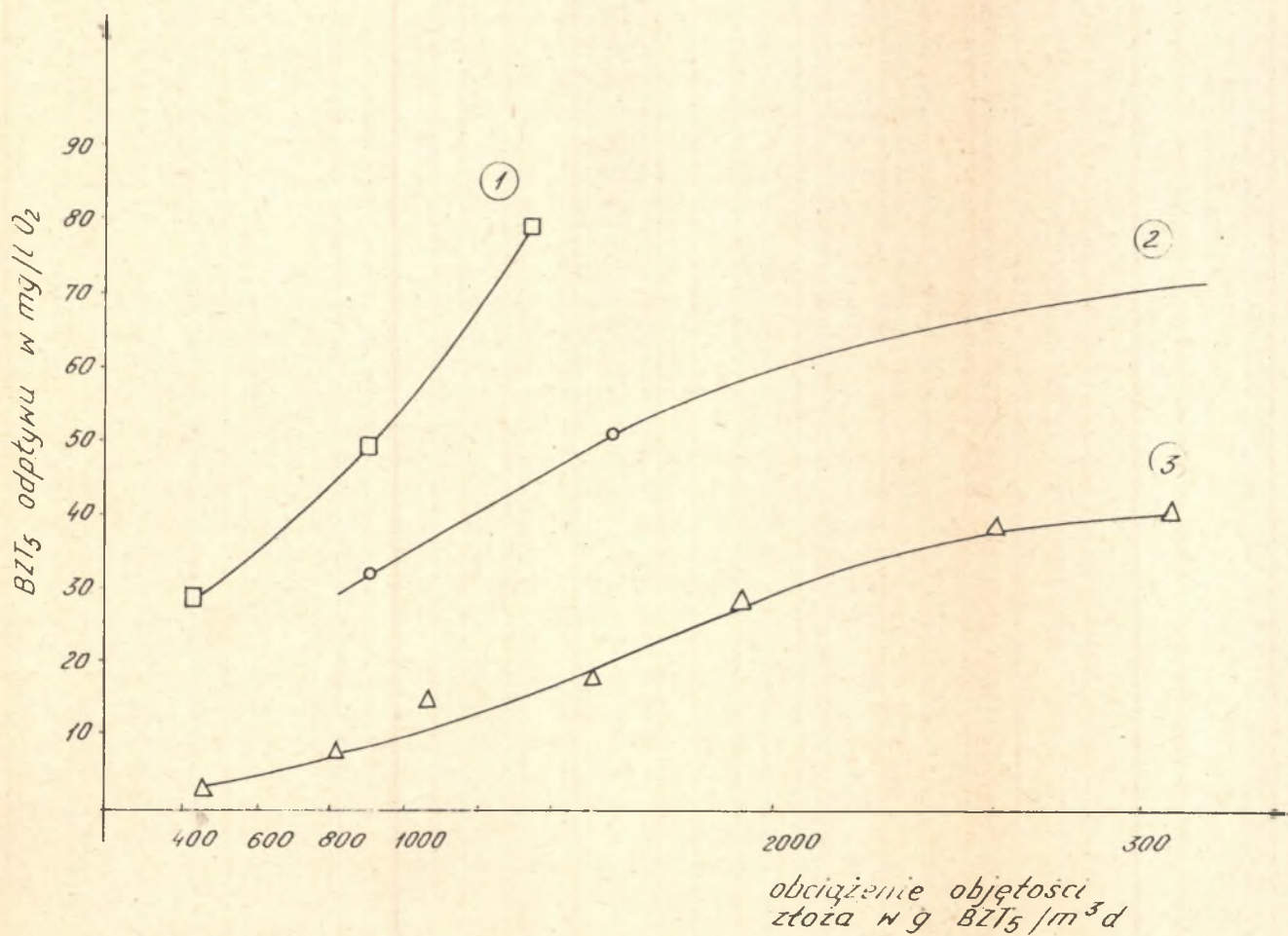


obciążenie powierzchni błony  
biologicznej w  $g BZT_5 / m^2 \cdot d$

1. Krzywa dla ścieków miejskich

2. " " " " syntetycznych

Rys. 2  
 Zależność  $BZT_5$  oczyszczonych ścieków  
 i obciążenia objętości złoza



1. Krzywa Rumpfa
2. Krzywa dla ścieków miejskich
3. " " " syntetycznych