

Bogumił Kucharski

Katedra Wodociągów i Kanalizacji

ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA ZŁÓŻ SPŁUKIWANYCH

Złóża biologiczne są szeroko stosowane w świecie w technice oczyszczania ścieków. Chociaż ostatnio coraz częściej są one wypierane przez metodę osadu czynnego, sposób oczyszczania ścieków na złożach biologicznych jest w dalszym ciągu atrakcyjny szczególnie dla niedużych jednostek miejskich. W związku z tym pojawiło się wiele prób empirycznego i teoretycznego projektowania procesu biologicznego oczyszczania ścieków na złożach. Próby te dotyczą głównie złóż spłukiwanych, gdyż zastosowanie złóż zraszanych jest ograniczone ze względów ekonomicznych do bardzo małych jednostek miejskich (rzędu 3-5 tys. M).

Ta ilość formuł i sposobów projektowania prowadzi do powstania szeregu wątpliwości przy wyborze odpowiedniej metody wymiarowania złóż, tym bardziej, że każda z metod prowadzi do innych wyników. Celem niniejszej pracy jest ustalenie zakresu zbieżności kilku szerzej stosowanych formuł oraz podanie wytycznych do projektowania.

Proces redukcji zanieczyszczeń organicznych na złożach biologicznych jest procesem złożonym. Stężenie BZT_5 w odpływie ze złoża L_t można przedstawić ogólnie jako funkcję:

$$L_t = f(L_a, a, q_h, T, H, p, P)$$

gdzie:

L_a - stężenie ścieków dopływających do złoża (gBZT_5/m^3)

a - stężenie zawiesiny w ściekach dopływających

q_h - obciążenie hydrauliczne

T - temperatura ścieków na złożu

H - wysokość złoża

r - zanieczyszczenie wtórne

P - ilość powietrza dostarczona do złoża

Przyjmując, że ilość powietrza (tlenu) dostarczona na złoże jest wystarczająca, uwzględniając zależność pomiędzy stężeniem " L_a " ścieków a stężeniem zawiesiny w ściekach dopływających ($L_a = K \cdot a$), biorąc pod uwagę, że zanieczyszczenie wtórne " p " zależy od wysokości złoża " H " i obciążenia hydraulicznego " q_h " oraz wyrażając wpływ temperatury przez stałą prędkość reakcji w danej temperaturze " K_T ", stężenie ścieków odpływających ze złoża można przedstawić prościej jako funkcję [2]:

$$L_t = f(L_a, H, K_T, q_h)$$

Stosowane obecnie wzory matematyczne które uwzględniają powyższe zależności sprowadzają się do wyrażenia określającego przebieg reakcji jednocząsteczkowej.

Wg Howlanda i Schulze'a:

$$\frac{L_t}{L_a} = e^{-k t}$$

gdzie " t " czas przepływu ścieków przez złoże można wyrazić wzo

$$\text{rem } t = \frac{H}{q^n}$$

Czas ten zależy oczywiście od rodzaju wypełnienia złoza, a więc jego granulacji i lepkości cieczy.

Wielkość stałej prędkości reakcji " K_t " jak też wykładnika obciążenia hydraulicznego " n " są różne u różnych autorów

I tak wg:

$$\text{Eckenfeldera} \quad \frac{L_t}{L_a} = e^{-\frac{KH}{q_h^{0,5}}}$$

gdzie

$$K = 1,65 \text{ dla } q_h \text{ w l/min. m}^2$$

$$\text{Sędzikowskiego} \quad \frac{L_t}{L_a} = 10^{-\frac{KH}{q_h^{2/3}} + 5} \quad \text{dla } K = 1,8$$

$$\text{Jakowlewa} \quad \frac{L_t}{L_a} = 10^{-5,26 \frac{HK}{q_h^{0,4}}} \quad \text{dla } \frac{L_a}{L_t} \leq 10$$

$$\frac{L_t}{L_a} = 10^{-\left(\frac{1,63 HK}{q_h^{0,4}} + 0,69\right)} \quad \text{dla } \frac{L_a}{L_t} \geq 10$$

gdzie

$$K = 0,138 \text{ dla } t = 12^\circ\text{C}$$

$$K = 0,115 \text{ dla } t = 8^\circ\text{C}$$

Wpływ wysokości złoza na efekty działania

Wysokość złoza ma istotny wpływ na stopień redukcji zanieczyszczeń na złożu. Dla zapewnienia doprowadzenia odpowiedniej ilości powietrza (tlenu) na złoże na zasadzie ciągu naturalne-

go należałoby ograniczyć wysokość złoża do $H = 4,0$ m. W przypadku stosowania złoży wyższych trzeba przewidzieć wymuszony przepływ powietrza przez złoże. Wysokość złoża zależy od stężenia ścieków doprowadzonych na złoże i powinna wzrastać wraz z wzrostem stężenia. Stosowanie mniejszych wysokości złoża spłukiwanego niż $H = 3$ m jest ryzykowne gdyż wg Jakowlewa [1] dla redukcji BZT_5 na złożu z wielkości 150 mg/l do 20 mg/l przy temp. 12°C potrzebna wysokość złoża wynosi ok. 2,5 m, a dla temperatur 8°C - 12°C może okazać się konieczna wysokość ok. 3,8 m.

Obciążenie hydrauliczne

Obciążenie hydrauliczne ma za zadanie zapewnić odpowiednie "spłukiwanie" złoża aby niedopuszczyć do jego zarastania. Stosowane obecnie obciążenia hydrauliczne minimalne - $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ optymalne - $0,8 + 1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ wg [6] są w zasadzie obowiązujące, szczególnie jeśli chodzi o wielkości minimalne. W formułach przedstawiających przebieg procesów na złożach jako reakcję jednocząsteczkową, czas przepływu ścieków przez złoże wyraża się następująco

$$\text{wg danych amerykańskich} \quad [3] \quad [4] \quad t = \frac{H}{q_h^{0,5}}$$

$$\text{wg Howlanda} \quad [5] \quad [3] \quad t = \frac{H}{q_h^{2/3}} \quad \text{dla ruchu}$$

$$\text{laminarnego i} \quad t = \frac{H}{q_h^{1/3}} \quad \text{dla ruchu burzliwego}$$

$$\text{wg Jakowlewa} \quad [1] \quad t = \frac{H}{q_h^{0,4}}$$

Stosowanie w praktyce innych wielkości np $\frac{H}{q_h^{2/3}}$ jak dla ruchu laminarnego może być wątpliwe gdy przepływ ścieków przez złoże jest nieciągły.

Przyjęcie wielkości $\frac{H}{q_h^{0,5}}$ jest zbliżone do danych doświadczalnych [1].

Wzrost obciążenia hydraulicznego bez odpowiedniej zmiany stężenia doprowadzanych ścieków (a więc przy jednoczesnym wzroście ładunku doprowadzonego na złoże) prowadzi do pogorszenia efektów pracy złoża.

Obciążenie hydrauliczne powinno wzrastać z wysokością złoża dla zapewnienia właściwego wykorzystania stężenia ścieków doprowadzanych na złoże.

Dopuszczalne stężenie ścieków doprowadzanych na złoże zalecane do projektowania wynosiło 150 mg BZT₅/l wg danych niemieckich oraz 200 mg BZT₅/l wg danych radzieckich.

W zasadzie ograniczenie takie mogłoby nie obowiązywać gdyż stężenie ścieków doprowadzanych do złoża mogłoby wynosić ok. 500 mg/l [4] biorąc pod uwagę zdolność utleniającą złoża [5]

Jakowlew [1] uzależnia dopuszczalne stężenie ścieków dopływających do złoża od wielkości BZT₅ odpływu i tak podaje

$$L_a = 8 - 10 L_t \quad \text{dla złóż o } H = 4,0 \text{ m}$$

$$L_a = 6 - 8 L_t \quad \text{dla złóż o } H = 3,0 \text{ m}$$

biorąc pod uwagę konstrukcję porównywanych formuł widać że stężenie doprowadzanych ścieków wiąże się z obciążeniem hydraulicznym.

Można też łatwo zauważyć dla utrzymania obc. hydraulicznego $q_h \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ przy stosowaniu formuły wg Eckenfeldera dla złóż

$H = 4$ m i założonych stężeń ścieków dopływających możemy uzyskać następujące wyniki

<u>stężenie początkowe L_0</u>	<u>stężenie odpływu L_1</u>
dla 200 mg/l	20 mg/l
300 "	30 "
400 "	40 "
500 "	50 "
dla złóż $H = 3$ m	"
dla 200 mg/l	35 "
300 "	50 "

przy zastosowaniu formuły wg Jakowlewa

dla złóż $H = 4$ m

a) przy temp. ścieków 12°C

dla 200 mg/l	20 mg/l
dla 300 "	27 "

b) przy temp. ścieków 8°C

dla 200 mg/l	23 mg/l
dla 300 "	37 "

Jak wynika z załączonych rysunków przy złożach o wysokościach $H = 3$ m przy utrzymaniu przynajmniej minimalnego obciążenia hydraulicznego, dla uzyskania pełnego oczyszczania ścieków, a więc w granicach 20-30 mgBZT₅/l w odpływie stosowane stężenia powinny być niższe od 200 mg/l.

W przypadku jeśli obciążenie hydrauliczne jest mniejsze od minimalnego dla założonego efektu oczyszczenia ścieków, należy przewidzieć recyrkulację.

Zagadnienia recyrkulacji

Recyrkulacja w warunkach ścieków miejskich może okazać się potrzebna, nie ze względu na stężenia ścieków, lecz na konieczność zapewnienia odpowiedniego obciążenia hydraulicznego.

Recyrkulacja obniża sprawność działania złoża [5] ale jej stosowanie może okazać się niezbędną dla uzyskania wymaganych efektów oczyszczania. Recyrkulacja obniża ekonomię urządzenia powiększając m.in. zużycie energii. Ma jednak korzystny wpływ na pracę górnych warstw złoża [5]. W przypadku stosowania recyrkulacji przez osadnik wstępny ma ona również taki sam korzystny wpływ na sedimentację w osadniku wstępnym jak wprowadzenie samych osadów wtórnych przed osadnik wstępny.

Obciążenie objętościowe złoża

Dotychczas stosowany sposób projektowania złóż wg Rumpf'a [7] narzucał obciążenie objętościowe złoża w zależności od założonego stężenia odpływu. Można stwierdzić, że formuły wg Eckenfeldera oraz Jakowlewa nie odbiegają pod względem dopuszczalnego obciążenia objętościowego (dla pełnego oczyszczenia ścieków) od takich wg Rumpf'a, a w przypadku złóż $H = 3$ m lub temperatury ścieków 8°C [1] formuły te wymagają niższych obciążeń objętościowych od obciążeń wg Rumpf'a.

Jedynie wzór podany przez Sędzikowskiego dopuszcza wyższe obciążenia objętościowe.

Uwagi końcowe

1. Jak wynika z wykresów podanych przez Sędzikowskiego wzrost stężenia ścieków dopływających na złoże powoduje zmniejszenie wielkości BZT_5 w odpływie. Nie jest to zgodne z innymi formułami (przynajmniej w zakresie obciążeń hydraulicznych

- $q_h \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) wg których wzrost stężenia ścieków dopływających na złożo powoduje wzrost wielkości BZT_5 odpływu. Poza tym jest to sprzeczne z wpływem recyrkulacji na stopień oczyszczenia ścieków na złożu [5] [1] i budzi wątpliwości co do słuszności formuły stosowanej przez Sędzikowskiego [5].
2. Wzór Jakowlewa został skonstruowany na podstawie badań działania złóż o stężeniu ścieków dopływających nie przekraczającym w zasadzie stężenia 200 mg/l. Budzi to obawy przed stosowaniem tego wzoru dla stężeń wyższych
 3. Formuły przedstawiające procesy na złożu jako reakcję jednocząsteczkową wykazują dużą zbieżność z danymi wg Rumpf'a dla pełnego oczyszczania tj. dla wielkości odpływu $20 \pm 30 (40)$ mg BZT_5/l . Można stwierdzić, że wykres Rumpf'a dobrze odzwierciedla procesy w tym zakresie na złożu $H = 3 \div 4$ m przy temperaturze ścieków na złożu ok. 10°C dla obciążeń hydraulicznych $q_h \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.
 4. Formuła stosowana przez Eckenfeldera wykazuje zgodność z wynikami uzyskiwanymi na oczyszczalni Szczukino dla ścieków o temperaturze ok. 10°C . Potwierdza to możliwość zapewnienia zgodności parametrów projektowania z wynikami eksploatacji

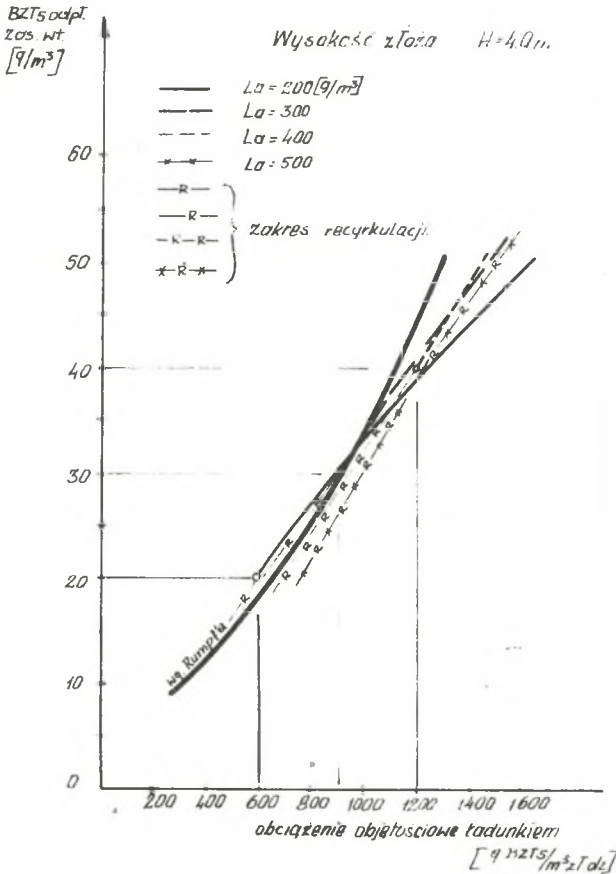
Wnioski

1. Stężenie ścieków dopływających nie musi być ograniczane do 200 mg/l. Może być stosowane do 500 mg/l. Dla uzyskania odpowiedniego efektu działania złoża, zależnego od obciążenia hydraulicznego, stężenie początkowe powinno być ograniczone do wielkości:

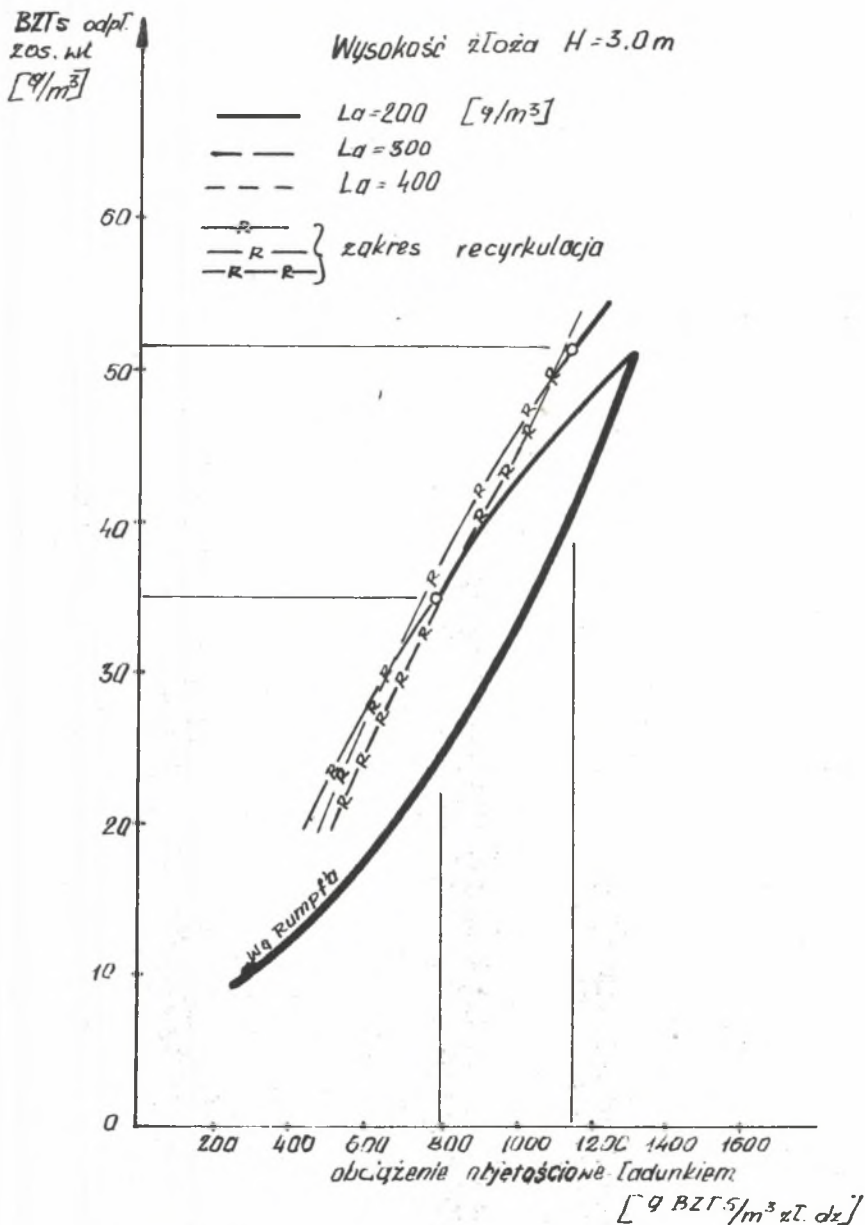
$$L_a = 10 L_t \quad \text{dla złóż } H = 4 \text{ m}$$

$$L_a = 6 L_t \quad \text{dla złóż } H = 3 \text{ m}$$

2. Dla projektowania złóż splukiwanych w procesie jednostopniowego oczyszczania tzn. dla pełnego oczyszczenia ścieków zalecić można stosowanie wykresu Rumpf'a i przyjmowanie stężeń ścieków dopływających jak podano w p. 1 wniosków.

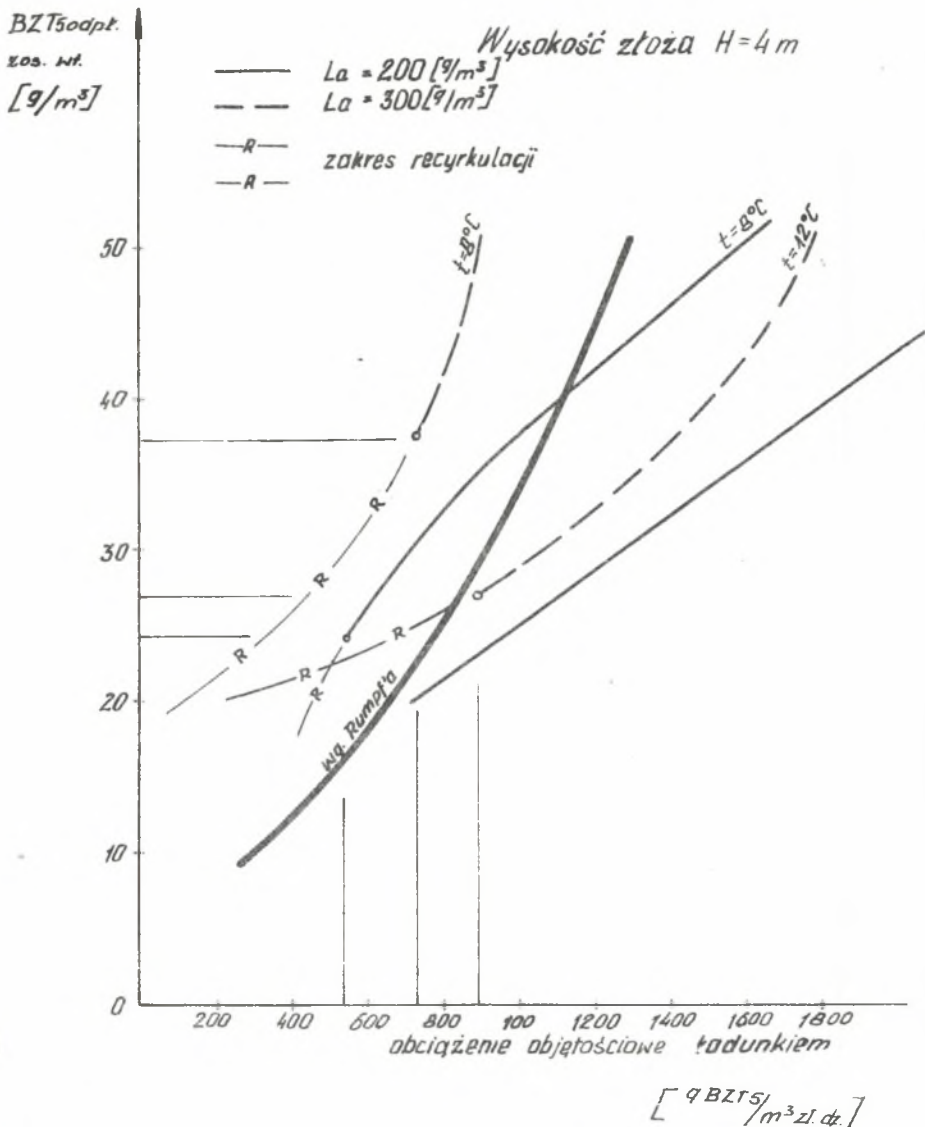


Rys. 1. Krzywe $L_t = f(a)$ wg Eckenfeldera, dla równania $\frac{L_t}{L_a} = e^{\frac{-KH}{0,5 q_h}}$ dla $K = 1,65$



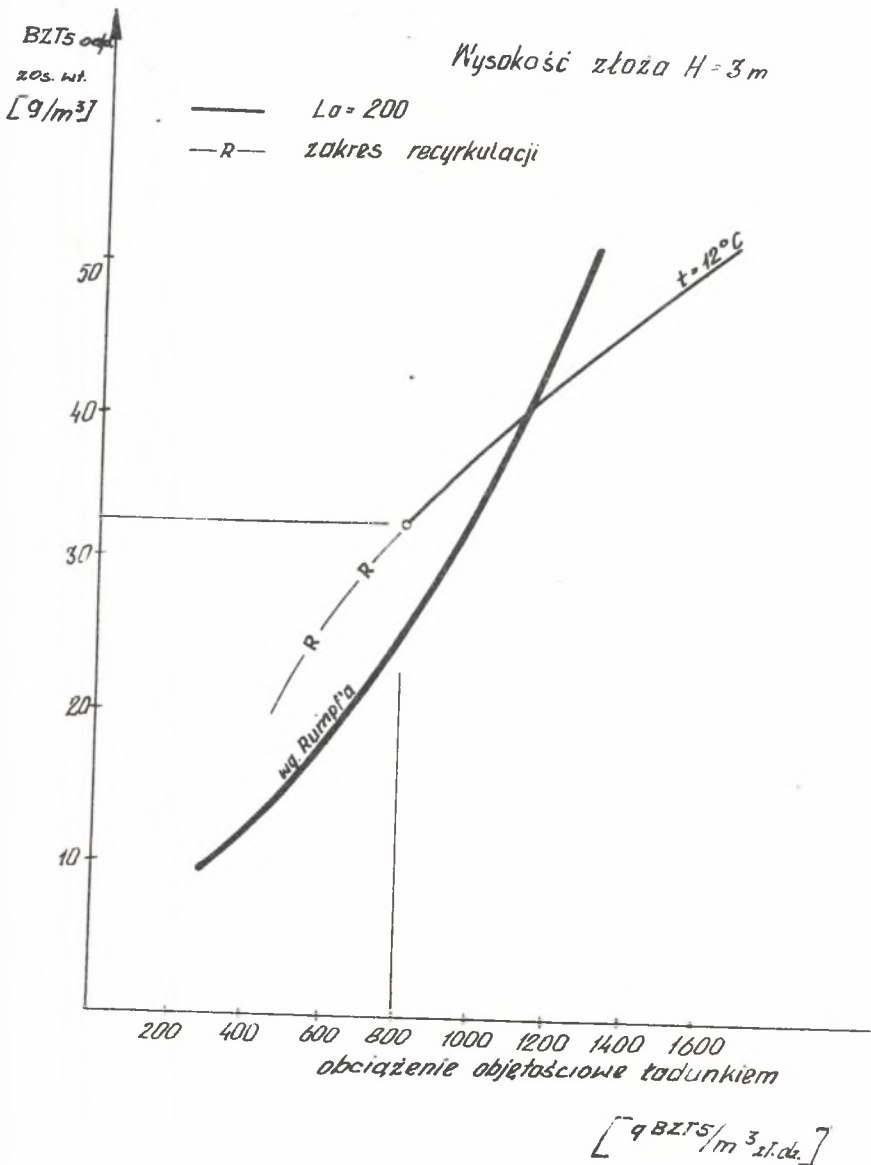
Rys. 2. Krzywe $L_t = f(A)$ wg Eckenfeldera

$$\text{dla równania } \frac{L_t}{L_a} = e^{\frac{-KH}{0,5 q_h}} \quad \text{dla } K = 1,65$$



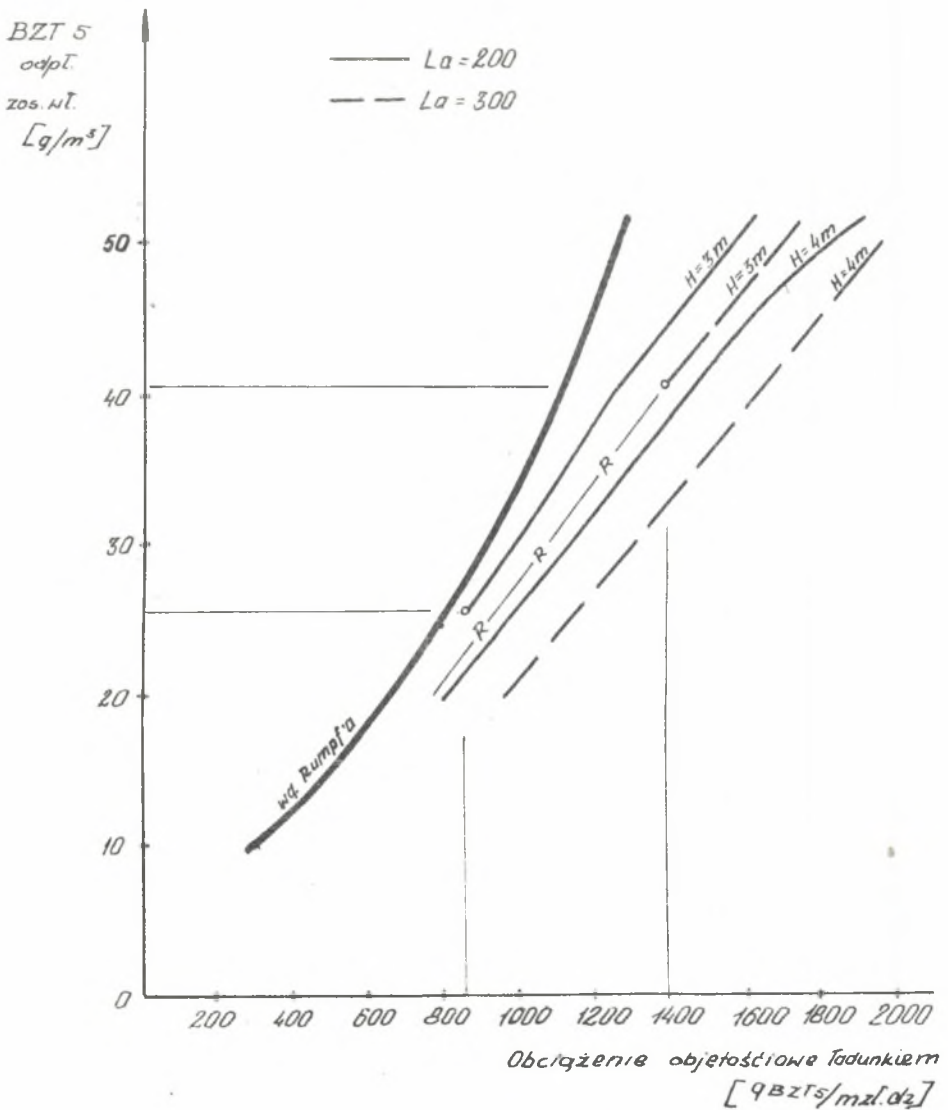
Rys. 3. Krzywe $L_t = f(A)$ wg Jakowlewa

dla formuły $\frac{L_t}{L_a} = f\left(\frac{10 HK_t}{q^{0,4} t}\right)$



Rys. 4. Krzywe $L_t = f(A)$ wg Jakowlewa

$$\text{dla formuły } \frac{L_t}{L_a} = f\left(\frac{10HK_t}{q \cdot 0,4}\right)$$



Rys. 5. Krzywe $L_t = f(Q)$ wg Sędzikowskiego

$$\text{dla formuły } \frac{L_t}{L_a} = 10^{q_h \frac{-1,8 H}{2/3}} + 5$$

LITERATURA

- [1] S.W. JAKOWLEW - Iskustwiennyje biologičeskie okislitiele i metody ich rasczieta Gosstrojizgat - Moskwa 1959
- [2] J. GANCZARCZYK - Empiryczne i teoretyczne próby projektowania biologicznego procesu oczyszczania ścieków metodą wysoko-obciążonych złóż zraszanych GŹTS rok XXXII 1958 s. 217
- [3] W.W. ECKENFELDER, D.J. O'Connor - Biological waste treatment P.P. Ltd New York 1961
- [4] ECKENFELDER, von Der Emde, Gloyna, Malina, Ford - Waste treatment plant design and operational control. The University of Texas at Austin Austin, Texas 1969
- [5] T. SĘDZIKOWSKI - Uproszczone graficzne sposoby obliczania złóż biologicznych wg metody obciążeń hydraulicznych. Materiały na IV naradę roboczą projektantów oczyszczalni ścieków.
- [6] V. STICHA - Odvodneni mest kanalisace a Cistirny Statni Nakladatelstvi Techicke Literatury. Praha 1958
- [7] Von H. ROHDE - Betriebsergebnisse von klarenlagen Das Gas - und Wasserfach 1960 zeszyt 652

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

Referat zawiera interpretację różnych formuł stosowanych do projektowania złóż biologicznych.

Przeprowadzono porównanie tych formuł na rysunkach oraz przedyskutowano zakres ich stosowania do projektowania w procesie jednostopniowym dla pełnego oczyszczania ścieków.

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИОФИЛЬТРОВ

Р е з ю м е

Доклад содержит интерпретацию разных формул применяемых для проектирования биофильтров. Проведено сравнение этих формул на рисунках, а также был обсуждён предел их применения в одноступенчатом процессе для полной очистки сточных вод.

PROBLEMS OF DESIGNING TRICKLING FILTERS

S u m m a r y

The paper contains the interpretation of various formulae applied to the designing of trickling filters. This formulae were compared with one another by means of drawings: there has been also discussed the range of their application in a one-stage process with the purpose of a full treatment of sewage.