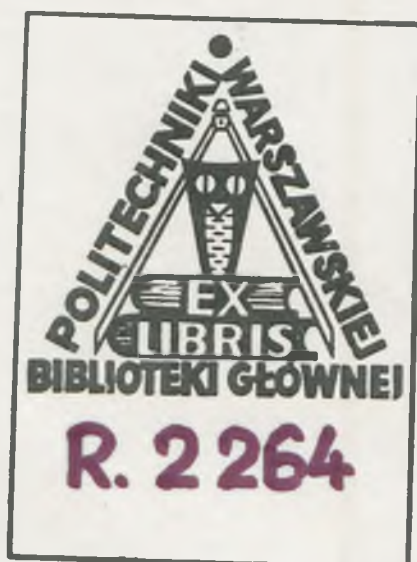




R. 2 264

h tyn 13 k tabl. 200.

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej

Elżbieta Osuch-Pajdzińska

ANALIZA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA ZRZUTU ZANIECZYSZCZEŃ
ZAWARTYCH W ŚCIEKACH DESZCZOWYCH ODPROWADZANYCH
KANALIZACJĄ DESZCZOWĄ I OGÓLNOSPŁAWNĄ

R o z p r a w a d o k t o r s k a



PROMOTOR:

Doc. dr inż. Marek Roman

W a r s z a w a 1975

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej

Biblioteka Gmach-Państwowa

ANALIZA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA BRZUTU ZANIECZYSZCZEN
ZAWARTYCH W ŚCIEKACH DESZCZOWYCH ODPRAWIANYCH
KANALIZACJĄ DESZCZOWĄ I OGÓLNOŚCZYNĄ

W O Z P I A W A G I D O K T O R S K A



PROMOTOR:
Doc. dr inż. Marek Komarny

W A R S Z A W A 1 9 7 5

113-7-46.d

S p i s t r e ś c i

	Strona
1. Geneza problemu ochrony wód przed zanieczyszczeniem ściekami opadowymi	1
2. Charakterystyka dotychczasowych prac dotyczących sposobu ograniczenia zrzutu zanieczyszczeń odprowadzanych kanalizacją ogólnospławną i deszczową	7
3. Przedmiot i cel pracy	15
4. Ogólna metoda wykonania pracy i jej zakres.	16
5. Analiza charakterystyki jakościowej ścieków opadowych	18
5.1. Uwagi ogólne	18
5.2. Zanieczyszczenia ścieków opadowych odprowadzanych siecią kanalizacji deszczowej	19
5.3. Zanieczyszczenia ścieków mieszanych odprowadzanych przez przelewy burzowe.	23
5.4. Specyfika właściwości ścieków opadowych.	27
5.4.1. Specyfika składu ścieków opadowych.	27
5.4.2. Specyfika własności technologicznych ścieków opadowych.	29
5.5. Podsumowanie	32

6. Prognozowanie średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych	34
6.1. Uwagi wstępne	34
6.2. Proponowana metoda ustalania średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych	36
7. Ogólna analiza możliwości zmniejszenia zrzutu zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych	43
7.1. Podstawowe założenia dotyczące własności ścieków opadowych	43
7.2. Sposoby zmniejszenia zrzutu zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych do odbiornika.	45
7.3. Przykładowe oszacowanie wielkości obniżenia zrzutu zanieczyszczeń przy różnych sposobach ich ograniczania	58
7.4. Podsumowanie.	63
8. Analiza możliwości doprowadzenia ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni ścieków przy wyrównanym ich dopływie	66
8.1. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni na jej układ technologiczny przy założeniu stałego efektu oczyszczania.	66

8.2. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni na wielkość urządzeń	74
8.2.1. Założenia	75
8.2.2. Wielkość urządzeń miejskiej oczysz- czalni ścieków w zależności od ob- ciążenia ściekami opadowymi	78
8.3. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miej- skiej oczyszczalni na koszty jej budowy . .	79
8.4. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miej- skiej oczyszczalni na koszty jej eksploa- tacji.	80
8.5. Podsumowanie	81
9. Analiza wpływu przeciążenia miejskiej oczyszczal- ni doprowadzeniem ścieków opadowych na efekt jej działania	84
9.1. Wpływ przeciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni nieprzystosowa- nej do ich przyjęcia na efekt oczyszczania ścieków	84
9.2. Wpływ przeciążenia ściekami opadowymi oczyszczalni przystosowanej do ich przy- jęcia na efekt oczyszczania ścieków.	99
9.3. Podsumowanie	101

10. Możliwości i skutki wydzielonego oczyszczania ścieków opadowych i zrzutów burzowych	103
10.1. Założenia przyjęte do analizy	103
10.2. Nakłady inwestycyjne na urządzenia wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych przy przyjętym schemacie technologicznym	106
10.3. Przykładowe określenie efektu oczyszczania ścieków opadowych w wydzielonej oczyszczalni przy przyjętym jej schemacie technologicznym i niezbędnych nakładów inwestycyjnych.	107
10.4. Wstępna ocena ekonomicznej efektywności zbiornika retencyjnego współpracującego z wydzieloną oczyszczalnią ścieków opadowych	110
10.5. Podsumowanie	113
11. Podsumowanie i wnioski końcowe.	115

Wykaz literatury.

Załącznik Nr 1 - Przykładowe badania ilości i jakości opadu pyłu.

Załącznik Nr 2 - Przykładowe określenie prawdopodobieństwa wystąpienia ciągów dni bezopadowych lub z opadem nie powodującym spływu do kanalizacji dla miast Białegostoku i Częstochowy.

- Załącznik Nr 3 - Przyjęte założenia i zasady obliczeń kubatury urządzeń miejskiej oczyszczalni przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych.
- Załącznik Nr 4 - Przyjęte założenia i zasady obliczania kosztów eksploatacji miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych.

Tablice.

Rysunki.

1. Geneza problemu ochrony wód przed zanieczyszczeniem ściekami opadowymi.

Rozwój urbanizacji, wzrost zainwestowania obszarów miejskich i związane z tym zwiększenie szczelności terenów spowodowały konieczność rozwiązania problemu odprowadzenia wód opadowych. Wody te, ze względu na niewielki stopień ich zanieczyszczenia, mogły być odprowadzane siecią kanałów otwartych lub krytych bezpośrednio do odbiornika. Odprowadzanie wód opadowych siecią kanałów krytych podyktowane było przy tym nie względami sanitarnymi, ale koniecznością odpowiedniego odwodnienia terenu. Bezpośrednie odprowadzenie wód opadowych, a nawet ich mieszaniny (w określonym stosunku) ze ściekami bytowo-gospodarczymi i przemysłowymi bezpośrednio do odbiornika w obrębie jednostki osadniczej umożliwiały także mały stopień wykorzystania i jednocześnie - mały stopień zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

Stąd wyniknęły przesłanki do powstania trzech systemów kanalizacji:

- system kanalizacji rozdzielczej, w którym oddzielną siecią spławiane są ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe do miejskiej oczyszczalni, a oddzielną - wody opadowe bezpośrednio do odbiornika,

- system kanalizacji ogólnospławnej, w którym ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe w okresach bezdeszczowych oraz ścieki bytowo-gospodarcze, przemysłowe i wody opadowe w czasie deszczów lub w okresie odwilży (topnienie śniegu i lodu) odprowadzane są wspólnymi kanałami; w celu odciążenia kolektorów i oczyszczalni ścieków przed dopływem w czasie opadów burzowych bardzo dużych ilości ścieków, stosowane są przelewy burzowe i burzowce, których zadaniem jest odprowadzenie mieszaniny ścieków miejskich i wód opadowych powyżej pewnego przyjętego przepływu w kolektorze, najkrótszą drogą do odbiornika,
- system kanalizacji półrozdzielczej, w którym ścieki miejskie i wody opadowe odprowadzane są dwiema sieciami, lecz przy pewnym ich powiązaniu polegającym na tym, że początkowe ilości wód deszczowych ze spłukanymi zanieczyszczeniami z ulic przechwytywane są za pomocą specjalnych separatorów przez kanały ściekowe i dalej odprowadzane są do oczyszczalni.

Wzrost zanieczyszczenia środowiska naturalnego, związany z coraz większym wykorzystaniem terenów, rozwojem przemysłu, motoryzacji, wzrostem ruchliwości mieszkańców i intensyfikacją rolnictwa, nie pozostał jednak bez wpływu na jakość wód opadowych. Zanieczyszczenie wód opadowych spowodowane jest obecnie nie tylko przez spłukiwanie zanieczyszczeń z powierzchni zlewni. Wody opadowe, zanim dopłyną do odbiornika, ulegają stopniowo coraz większemu zanieczyszczeniu.

Pierwsze zanieczyszczenie wód opadowych następuje już w trakcie przejścia przez przyziemne warstwy atmosfery, z których wychytują one pyły, produkty niespalonego paliwa i różne substancje stałe oraz gazowe usuwane przez zakłady przemysłowe. Wchłonięte przez opady zostają także środki ochrony roślin i nawozy sztuczne unoszone przez wiatr z terenów rolniczych. Największa część zanieczyszczeń dostaje się do wód deszczowych w czasie ich spływu z powierzchni miasta do sieci kanalizacyjnej. Zasadniczymi źródłami zanieczyszczeń są w tym wypadku osiadłe aerozole spłukane z dachów i innych nawierzchni, uliczne śmiecie składające się z produktów ścierania nawierzchni ulic, piasku, spadłych liści, papierów i różnych innych zanieczyszczeń nie zmiecionych z ulic i placów.

Ilość zanieczyszczeń dostających się do wód opadowych jest funkcją wielu czynników i może ulegać znacznym wahaniom, co ilustruje tablica 1-1.

Tak zanieczyszczone wody opadowe odprowadzane bezpośrednio do odbiornika będą wpływać ujemnie na jego czystość oraz bilans tlenowy. Dlatego też nie można już mówić o wodach opadowych, ale o ściekach opadowych [2], które przed odprowadzeniem do odbiornika powinny być odpowiednio oczyszczone.

Problem ewentualnego oczyszczania ścieków opadowych jest trudnym do rozwiązania zagadnieniem techniczno-ekonomicznym, gdyż w grę wchodzi stosunkowo krótkotrwałe zrzuty ścieków o bardzo dużej zmienności, zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym.

Średni roczny odpływ ścieków opadowych z terenów zurbanizowanych jest niewielki w stosunku do odpływu ścieków miejskich w czasie pogody bezdeszczowej i stanowi około 8 % ich objętości.

Wielkość odpływu ścieków opadowych w okresie doby może jednak osiągać wartości przekraczające wielkość dobowego odpływu ścieków miejskich w czasie pogody bezdeszczowej. W zależności od prawdopodobieństwa opadu i rozmiarów zlewni, stosunek dobowego dopływu ścieków opadowych do dopływu ścieków w czasie pogody bezdeszczowej może osiągnąć wartości wyższe od jedności. Natężenie odpływu ścieków opadowych jest zmienne w czasie i jego maksymalna wartość może przewyższać kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt razy wartość maksymalnego odpływu ścieków w czasie pogody bezdeszczowej.

Ładunek zanieczyszczeń odprowadzany ze ściekami opadowymi do odbiornika jest niewielki w skali rocznej i zbliżony jest do ładunku odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej po ich biologicznym oczyszczeniu. Zupełnie inaczej przedstawia się natomiast wielkość ładunku odprowadzanego w ciągu miesiąca, doby, czy też w ciągu jednego opadu.

W tablicy 1-2 przedstawiono orientacyjne zakresy stosunku ilości ścieków opadowych i zawartych w nich zanieczyszczeń do ilości ścieków pogody bezdeszczowej i ładunku ich zanieczyszczeń.

Wielkość ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami opadowymi w ciągu doby jest nieznacznie mniejsza od ładunku odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej, a

w wypadku zawiesiny osiąga nawet wyższe wartości.

Ładunek zanieczyszczeń odprowadzany w ciągu roku czy miesiąca stanowi zaledwie kilka procent ładunku doprowadzanego w tym samym okresie ze ściekami pogody bezdeszczowej.

Koncentracja zanieczyszczeń w odpływie ścieków opadowych ulega znacznym wahaniom i jest zmienna w czasie trwania odpływu tych ścieków. Maksymalne wartości niektórych wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych znacznie przekraczają przeciętne wartości tych wskaźników, charakterystyczne dla ścieków miejskich pogody bezdeszczowej.

Tak więc, ochrona odbiornika przed zanieczyszczeniem ściekami opadowymi powinna być rozpatrywana kompleksowo, z uwzględnieniem możliwości zmniejszenia zanieczyszczeń w zależności od systemu kanalizacji. Niezbędnym warunkiem jaki musi być spełniony dla właściwej oceny możliwości odprowadzania ścieków opadowych do odbiornika jest przyjęcie właściwych założeń dotyczących prognozowania jakości ścieków deszczowych. Założenia te powinny opierać się na już przeprowadzonych i dalszych badaniach jakościowo-ilościowych ścieków opadowych.

Otrzymane wyniki posłużyć mogą do przeprowadzenia analizy techniczno-ekonomicznej związanej z wyborem najbardziej efektywnej metody oczyszczania tych ścieków.

Przy wyborze metod oczyszczania ścieków opadowych należałoby uwzględnić tak odrębne urządzenia do oczyszczania ścieków, jak i wpływ oraz możliwości doprowadzenia ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni.

2. Charakterystyka dotychczasowych prac dotyczących sposobu ograniczenia zrzutu zanieczyszczeń odprowadzanych kanalizacją ogólnospławna i deszczową.

Dotychczasowe publikacje poświęcone problemowi zmniejszania ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami opadowymi są nieliczne i dotyczą głównie ograniczenia ilości zanieczyszczeń odprowadzanych z kanalizacji ogólnospławnej. W pracach tych uwzględnia się trzy zasadnicze możliwości rozwiązania tego problemu, a mianowicie: zastosowania zbiorników retencyjnych, oddzielne oczyszczanie w przystosowanych do tego celu urządzeniach i oczyszczanie wraz ze ściekami pozostałymi we wspólnej oczyszczalni.

Efekt ograniczenia zrzutu zanieczyszczeń odprowadzanych przelewami burzowymi przez zastosowanie zbiorników retencyjnych analizował K. Krauth [3] i W. Munz [4], [5], [6].

K. Krauth rozważania swoje oparł na systemie oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych złożonego ze zbiorników retencyjnych i dwustopniowej biologicznej oczyszczalni. W czasie trwania opadu do oczyszczalni odpływa mieszanina ścieków. Nadmiar ścieków przez przelew burzowy odprowadzany jest do zbiornika retencyjnego. W wypadku przepełnienia zbiornika ścieki po 15-minutowym

zatrzymaniu odprowadzane są do odbiornika. Po zakończeniu spływu ścieków opadowych następuje opróżnianie zbiornika retencyjnego i oczyszczanie zretencjonowanych ścieków i zanieczyszczeń w oczyszczalni.

Dla takiego systemu, w oparciu o badania przeprowadzone w Stuttgart - Busnau, K. Krauth określił średnią w ciągu roku redukcję zanieczyszczeń odprowadzanych do odbiornika w odniesieniu do całości urządzeń. Według K. Krautha, zastosowanie zbiorników retencyjnych umożliwia zatrzymanie średnioroczne 92 % zawiesin i 80 - 85 % zanieczyszczeń dających się rozłożyć biologicznie.

Podobnie jak K. Krauth, możliwość ograniczenia ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego przelewami burzowymi przy zastosowaniu zbiorników retencyjnych analizował W. Munz. Dopływające ścieki opadowe w analizowanym systemie ochrony odbiornika, podzielone zostały na trzy zakresy:

- dopływ w czasie opadów nawaalnych, którego część powyżej pewnego ustalonego natężenia kierowana jest przez przelew bezpośrednio do odbiornika,
- dopływ w czasie opadów średnich; kierowany częściowo do zbiornika retencyjnego, a częściowo do oczyszczalni,
- dopływ w czasie opadów słabych, kierowany bezpośrednio do dwustopniowej biologicznej oczyszczalni.

Efekt oczyszczania analizował W. Munz dla okresu rocznego. W pracy określił wpływ ustawienia przelewów burzo-

wych, wielkość zbiorników retencyjnych i stopień oczyszczania w oczyszczalni - na roczny odpływ zanieczyszczeń do odbiornika.

Przyjęty do rozważań w obu pracach średnioroczny efekt oczyszczania nie daje pełnego obrazu zanieczyszczenia odbiornika w okresach dużej intensywności opadu, kiedy to w stosunkowo krótkim czasie następuje zrzut ścieków. Miarodajnym do określenia wartości natężenia opadu, powyżej którego następuje zrzut ścieków do odbiornika, nie powinien być roczny bilans zanieczyszczeń ~~zanieczyszczeń~~, ale możliwość krótkotrwałego zanieczyszczenia odbiornika, a więc stan jego czystości w miejscu zrzutu. Proponowane przez K. Krautha zbiorniki retencyjne o czasie zatrzymania 15 minut też nie gwarantują pełnej ochrony odbiornika z uwagi na możliwości przepełnienia i wypłukania zgromadzonych zanieczyszczeń w czasie kolejnego intensywnego opadu.

Niedostatkiem prac obu autorów (Krautha i Munza) jest ograniczenie rozważań do szczególnych przypadków i niedostateczne uwzględnienie ekonomicznych aspektów związanych ze zmniejszeniem zrzutu ładunku zanieczyszczeń.

Parametry obliczeniowe zbiorników retencyjnych zostały omówione w aspekcie ochrony odbiornika w nielicznych publikacjach. K. Krauth [3] podaje wzory obliczeniowe do ustalenia objętości zbiorników retencyjnych, biorąc za podstawę czas zatrzymania ścieków. Proponowane wzory oraz czas zatrzymania nie są jednak poparte danymi dotyczą-

cymi efektu działania tak zwymiarowanych zbiorników. Sposób obliczania zbiorników retencyjnych podaje także J. Boczkar [7], wychodząc z założenia, że zanieczyszczona jest tylko pierwsza fala spływających ścieków opadowych. Wymagana objętość zbiorników retencyjnych w takim wypadku może być obliczona przy założeniu, że czas napełnienia zbiornika jest równy czasowi dopływu pierwszej fali opadu z najdalej położonego punktu zlewni. Metoda ta nie daje niestety możliwości ustalenia, jaka część zanieczyszczeń zostanie przechwycona przez zbiornik retencyjny, a ponadto, nie może ona być stosowana w wypadku tych deszczy, które charakteryzują się brakiem szczytu spływu zanieczyszczeń w pierwszym okresie odpływu wód opadowych.

Znacznie więcej prac omawia przeprowadzone badania nad oczyszczaniem ścieków odprowadzanych przez przelewy burzowe. Do oczyszczania tych ścieków stosowano ogólnie przyjęte jak dla ścieków pogody bezdeszczowej metody, dostosowując procesy do ich specyfiki. Omawiane metody obejmowały oczyszczanie ścieków:

- na sitach i mikrositach,
- w separatorach wirowych,
- za pomocą flotacji rozpuszczonym powietrzem,
- za pomocą filtracji o dużej prędkości.

Badania nad oczyszczaniem ścieków na sitach i mikrositach prowadzone były w Portland [8], w Filadelfii [9], i w Milwaukee [11].

Stopień redukcji zawiesin w czasie badań wahał się w dość dużych granicach i wynosił 13 - 99 %. Wyższą efektywność oczyszczania zrzutów burzowych obserwowano przy większej przepustowości mikrosit oraz wyższej koncentracji zawiesin w dopływających ściekach.

Metodę cedzenia i flotacji z zastosowaniem sprężonego powietrza zastosowano w Milwaukee [11], [12], [13].

W celu przeprowadzenia badań posłużono się modelowym systemem urządzeń składającym się z krat, mikrosit, komór mieszania ze sprężonym powietrzem i komór flotacji. Stopień redukcji zawiesin, strat przy prażeniu ChZT i BZT wahał się w znacznych granicach i wynosił 15 - 90%. Dodawanie flokulantów w postaci chlorku żelaza oraz polielektrolitów znacznie poprawiało sprawność urządzeń.

Studia nad efektywnością stosowania filtracji pospiesznej jako metody oczyszczania zrzutów burzowych prowadzono w Cleveland [10], [14].

W trakcie badań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych obserwowano efektywność filtracji przy wysokiej prędkości, w zależności od rodzaju wypełnienia umieszczonego w kolumnie filtracyjnej. Do badań użyto następujących rodzajów wypełnień:

- włókno szklane,
- potrójne wypełnienie (antracyt, piasek, gruboziarnisty garnet),

- odwrócone wypełnienie (garnet na bazie złożonej ze żwiru i gruboziarnistego garnetu).

Porównanie wyników badań wykazało, że najlepsze efekty można uzyskać przy zastosowaniu złoża wykonanego z włókna szklanego. Stopień redukcji zanieczyszczeń wynosił:

- dla BZT₅ zawartego w formie zawiesin - 70 %
- dla zawiesin - 90 %

Niezadowalająca była tylko mętność oszyszczonych ścieków, spowodowana bardzo małymi cząsteczkami zanieczyszczeń.

Przedstawione wyżej badania nad zastosowaniem różnych metod do oczyszczania ścieków opadowych nie pozwalają na kompleksową ocenę efektów i wydzielonego oczyszczania tych ścieków. Proponowane metody zmniejszenia ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego wraz ze ściekami opadowymi do odbiornika nie zapewniają dostatecznej jego ochrony z uwagi na trudności dostosowania urządzeń do zmiennego w czasie i wahającego się w dużych granicach obciążenia hydraulicznego. Wydaje się, że stopniowe oczyszczanie ścieków deszczowych na kilku, wymienionych w powyższych pracach urządzeniach, połączone z uprzednim magazynowaniem ścieków, pozwoliłoby osiągnąć znacznie lepsze efekty.

W niektórych omawianych wyżej pracach uwzględniano możliwość oczyszczania ścieków opadowych we wspólnej oczyszczalni ze ściekami pogody bezdeszczowej, nie analizując jednak szerzej

tego zagadnienia. Wpływ doprowadzenia ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni na koszty jej budowy i eksploatacji określał w swojej pracy J. Zamorski [15], [16]. Wielkość i koszt budowy podstawowych obiektów został ustalony jednak orientacyjnie przy założeniu okresowego przeciążenia urządzeń do mechanicznego i biologicznego oczyszczania w czasie dopływu ścieków opadowych. Takie przeciążenie urządzeń będzie miało istotny wpływ na końcowy efekt oczyszczania. Praca ta - ze względu na odległy już okres jej wykonywania (1960 rok) - w zakresie metodyki, oceny efektywności ekonomicznej urządzeń oraz poziomu kosztów i ich ^{struktury} efekty, jest już zdezaktualizowana.

Rozwiązanie oczyszczania zrzutów burzowych na skalę techniczną metodą osadu czynnego we wspólnej oczyszczalni ze ściekami pogody bezdeszczowej, zaprojektowano dla miasta Kenosha [17], [12]. Na terenie istniejącej miejskiej oczyszczalni wybudowano komory napowietrzania i osadniki wtórne do oczyszczania zrzutów burzowych w czasie trwania opadu. Ponieważ zrzuty burzowe mają miejsce okresowo, w celu utrzymania osadu zaproponowano budowę komór stabilizacji. Osady ze ścieków z okresu pogody bezdeszczowej są kierowane przez zbiorniki stabilizacyjne, zanim przejdą do urządzeń zagęszczających. Osad jest zatrzymywany w zbiorniku stabilizacyjnym przez kilka dni, zapewniając dostarczenie koniecznych bio-cząstek w trakcie rozpoczęcia zrzutu burzowego. Wysoka koncentracja osadu czynnego w komorach stabilizacji pozwala na osiągnięcie wysokiego stężenia w komorach napowietrzania i na skrócenie czasu napowietrzania do 15 minut.

Osiągany efekt redukcji zanieczyszczeń oscylował w granicach 60 - 80% dla BZT₅ i 93% dla zawiesiny.

Brak jest jednak w omawianym opracowaniu wniosków i uogólnień dla zastosowania tej metody na szerszą skalę. Brak też przedstawienia zasad i założeń wymiarowania zastosowanych w oczyszczalni urządzeń. Przyjęty schemat oczyszczania będzie mógł jednak być wykorzystany po szczegółowej analizie, określającej ilość i jakość ścieków, które można w ten sposób oczyścić w oparciu o techniczno-ekonomiczne parametry procesu.

Reasumując przedstawione wyżej prace, należy stwierdzić, że nie stworzyły one nawet ogólnych podstaw do kompleksowej oceny możliwości ograniczenia zrzutu zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych odprowadzanych kanalizacją deszczową i ogólnospławną. W pracach tych przede wszystkim brak jest:

- ustaleń i założeń dotyczących prognozowania jakości ścieków opadowych,
- generalnej analizy możliwości zmniejszenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych w nawiązaniu do różnych systemów kanalizacji,
- analizy możliwości doprowadzenia ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni współdziałającej ze zbiornikiem retencyjnym przy uwzględnieniu aspektów technologicznych i ekonomicznych,
- analizy wpływu przeciążenia miejskiej oczyszczalni na jej efekt działania i na efekt obniżenia zrzutu zanieczyszczeń,
- oceny ekonomicznej efektywności wydzielonego oczyszczania ścieków opadowych.

Na tym tle wyłoniła się celowość rozwiązania wymienionych problemów w ramach niniejszej pracy.

3. Przedmiot i cel pracy.

Przedmiotem pracy jest analiza możliwości ograniczenia zrzutu zanieczyszczeń odprowadzanych siecią kanalizacji ogólnospławnej i deszczowej do odbiornika.

Celem pracy jest stworzenie podstaw teoretycznych, które posłużyłyby do wyboru najwłaściwszej metody ograniczenia zrzutu zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych odprowadzanych kanalizacją ogólnospławną i deszczową - w zależności od warunków lokalnych.

Dla osiągnięcia zamierzonego celu niezbędne było podjęcie następujących zagadnień wymagających rozwiązania:

- ustalenie metody prognozowania jakości ścieków opadowych,
- analiza możliwości zmniejszenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych w nawiązaniu do różnych systemów kanalizacji,
- analiza możliwości doprowadzenia ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni, współdziałającej ze zbiornikiem retencyjnym, przy uwzględnieniu aspektów technologicznych i ekonomicznych,
- określenie wpływu przeciążenia miejskiej oczyszczalni ściekami opadowymi na jej efekt działania i na efekt obniżenia zrzutu zanieczyszczeń,
- analiza ekonomicznej efektywności wydzielonego oczyszczania ścieków opadowych.

Powyższe zagadnienia składają się na całość niniejszej rozprawy.

4. Ogólna metoda wykonania pracy i jej zakres.

Przy wykonywaniu pracy oparto się na dotychczas wykonanych w kraju i zagranicą badaniach jakości ścieków opadowych, których analiza pozwoliła na podjęcie próby podania metody prognozowania jakości ścieków opadowych. W ramach tej pracy podano fragmentaryczne badania własne, przeprowadzone dla przykładowego wyznaczania niektórych parametrów niezbędnych dla stosowania zaproponowanej metody prognozowania jakości ścieków opadowych.

W zasadzie, w ramach pracy nie wykonywano badań nad oczyszczaniem ścieków opadowych, a oparto się na uzyskanych już w tym zakresie rezultatach prac innych autorów. Przeprowadzono jedynie fragmentaryczne badania nad efektem sedymentacji ścieków opadowych.

Powyższe założenia dotyczące kameralnego charakteru pracy wyniknęły z faktu, że wszelkie badania dotyczące ścieków opadowych wymagają przygotowania bardzo dużego zaplecza i potencjału badawczego, którego wykorzystanie jest w całym okresie badawczym bardzo nieznaczne, ze względu na samą istotę opadów (krótkotrwałość i losowy charakter ich występowania). Takie badania mogą być zaprojektowane po przeprowadzeniu odpowiednich studiów kameralnych, z których dopiero mogą wynikać konkretne kierunki badań i niezbędny ich zakres. Taką właśnie rolę ma spełniać niniejsza praca.

Rozważania prowadzono dla ścieków opadowych, które odprowadzane są siecią kanalizacyjną, nie uwzględniając sposobów ograniczenia zanieczyszczeń dostających się do wód deszczowych przed ich wprowadzeniem do kanałów.

Omawiając warunki przejęcia ścieków opadowych przez miejską oczyszczalnię ścieków, ograniczono się do najczęściej spotykanego w kraju schematu mechaniczno-biologicznej oczyszczalni z osadem czynnym.

Analizę ekonomiczną problemu ograniczania zrzutu zanieczyszczeń ze ścieków opadowych przeprowadzono w nawiązaniu do aktualnie stosowanej metodyki efektywności inwestycji dla modelowych układów sieci i oczyszczalni, tak ażeby możliwe było uzyskanie porównywalnych wyników nie obciążonych wpływem specyficznych, często niepowtarzalnych warunków miejscowych.

5. Analiza charakterystyki jakościowej ścieków opadowych.

5.1. Uwagi ogólne.

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat ukazała się znaczna ilość publikacji omawiających różnorodne badania jakości ścieków deszczowych, pochodzących z wód opadowych i zrzutów burzowych z sieci kanalizacji ogólnospławnej. Badania takie prowadzone były w wielu krajach, jak Anglia, Austria, Niemcy, Polska oraz U.S.A. i Z.S.R.R. Miały one charakter wyrywkowy, były wykonywane przeważnie jako wstępne studia przed opracowaniem projektu rozbudowy lub modernizacji miejskiej sieci kanalizacyjnej i nie prowadziły do wyciągnięcia ogólnych wniosków.

W 1970 roku, w Zakładzie Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego Politechniki Warszawskiej podjęto próbę zebrania i usystematyzowania opublikowanych wyników badań dotyczących jakości ścieków opadowych i zrzutów burzowych [18] . ^{x/} Podobną pracę w 1974 roku wykonał Zakład Zaopatrzenia w Wodę, Kanalizacji i Energetyki Komunalnej w Instytucie Kształtowania Środowiska [19] , [20] .

Analiza wyników badań jakości ścieków opadowych wykazała znaczne różnice w wartościach wskaźników zanieczyszczenia. Wskazuje to na fakt, że o stężeniu i charakterze zanieczyszczeń w ściekach deszczowych decyduje wiele czynników, takich jak: zanieczyszczenie atmosfery, rodzaj i stopień zagospodarowania zlewni, częstotliwość oraz sposób czyszczenia zlewni, rodzaj

^{x/} Autorka niniejszej rozprawy była kierownikiem tej pracy.

nawierzchni ulic i placów, intensywność ruchu ulicznego, pora roku, długość przerw między opadami, natężenie opadu, czas trwania opadu. Duże wahania wartości wskaźników zanieczyszczenia oraz wyrywkowość badań (badania te dotyczą zlewni o różnym zagospodarowaniu, prowadzone były w różnych okresach czasu i dotyczą opadów o różnych parametrach) nie pozwalają na ścisłe powiązanie wielkości zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych z wymienionymi wyżej czynnikami i ustalenia miarodajnych do obliczeń wielkości stężeń.

5.2. Zanieczyszczenia ścieków opadowych odprowadzanych siecią kanalizacji deszczowej.

Wody opadowe podczas przejścia przez przyziemne warstwy atmosfery, wchłaniają zawarte w niej aerozole lotne, emitowane przez zakłady przemysłowe. Powstałe w ten sposób zanieczyszczenie wód deszczowych stanowi niewielki ładunek ilościowy, natomiast często charakteryzuje się zróżnicowanym składem chemicznym. Największa ilość zanieczyszczeń dostaje się do ścieków opadowych podczas ich spływu z terenu zlewni do sieci kanalizacyjnej. Głównymi źródłami zanieczyszczeń są w tym wypadku aerozole osiadłe i zmiotki uliczne, które zostają spłukane przez opady deszczowe.

Większość prowadzonych dotychczas badań jakości ścieków opadowych, odprowadzanych siecią kanalizacji deszczowej, dotyczyła zlewni terenów mieszkaniowych oraz terenów miejskich, na których znajdowały się obiekty usługowo-handlowe i w niewielkiej ilości przemysł drobny. W tablicy 5-1 podano maksymalne zakre-

sy i średnie wartości wskaźników zanieczyszczenia ścieków deszczowych, uzyskane w czasie badania spływów z powyższych terenów.

Porównanie stężeń odpowiednich wskaźników zanieczyszczenia ^{ściekach} w ~~wodach~~ opadowych wykazuje, że największe wahania występują w przypadku zawiesiny. Maksymalne stężenie tego wskaźnika uzyskano w czasie badań spływów do wpustów ulicznych, prowadzonych w Leningradzie [23]; osiągnęło ono wartość $40\ 000\ \text{g/m}^3$, gdy w próbach pobranych z kolektorów sieci deszczowej wynosiło do $26\ 000\ \text{g/m}^3$. W większości badań maksymalna wartość stężenia zawiesin nie przekraczała $7000\ \text{g/m}^3$. Zawiesiny ścieków deszczowych składają się w przeważającej części z substancji mineralnych, które stanowią 62% zawiesin ogólnych. BZT_5 ścieków opadowych nie przekracza $285\ \text{g/m}^3$, a CZT osiąga wartość do $3100\ \text{g/m}^3$, podczas gdy średnia wartość tego wskaźnika nie przekracza $111\ \text{g/m}^3$.

Badania składu zanieczyszczeń w ściekach deszczowych wykazały także zawartość azotu organicznego oraz nieznaczną zawartość chlorków, fenoli i związków fosforowych.

Zanieczyszczenia bakteryjne ścieków opadowych wahają się w zależności od warunków miejscowych w dość dużych granicach. W samym Ann-Arbour [24] ilość bakterii w poszczególnych badaniach wahała się w granicach od 26 500 do 17 500 000 w 100 ml spływu deszczowego.

Nieco inaczej kształtują się stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych z terenów wiejskich. Badania jakości spływów deszczowych z wiejskich terenów Coshocton [25] (tablica 5-2)

wykazują mniejsze wartości wskaźników zanieczyszczenia, takich jak BZT₅ i ChZT, natomiast wyższe wartości związków azotu i fosforu.

Stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych nie jest wielkością stałą, lecz ulega zmianom między jednym opadem a drugim oraz w czasie trwania deszczu. Wielkość zmian będzie zależała od intensywności deszczu, czasu jego trwania, okresu pogody bezdeszczowej poprzedzającej opad itp.

W U.S.A., w rejonie Kolumbii, przeprowadzono badania [26] ścieków deszczowych w celu ustalenia zmian ich jakości w miarę trwania opadu oraz określenia przeciętnej zawartości zanieczyszczeń. W wyniku badań ustalono, że dla krótkotrwałych opadów intensywność deszczu nie wpływa w znacznym stopniu na właściwości ścieków, a stężenie każdego składnika rośnie wraz z prędkością spływu. Największe stężenia zanieczyszczeń otrzymano w czasie największych prędkości przepływu. Deszcze długotrwałe o dużej intensywności dają znacznie mniejsze stężenia zanieczyszczeń w porównaniu z opadami krótkotrwałymi (stężenie zawiesin około 1/3; BZT około 1/7), co jest rezultatem znacznego rozcieńczenia wodą z opadów. Obserwacje opadów kolejno po sobie następujących wykazały, że przeciętne stężenia wskaźników zanieczyszczenia ~~wskaźników zanieczyszczenia~~ maleją wraz z nadejściem następnego deszczu. Ten spadek należy przypisać redukcji akumulacji zanieczyszczeń na powierzchni. Właściwości ścieków pochodzących z opadów o długim okresie trwania i o małej intensywności będą prawdopodobnie takie same jak przy burzach kolejno po sobie następujących.

Dynamikę zmian stężenia zawiesin i BZT w czasie trwania spływu do kanalizacji ilustruje rysunek 5-1. Jak widać z przedstawionego wykresu, stężenie zanieczyszczeń w ściekach deszczowych maleje w miarę jak wydłuża się czas spływu do kanalizacji. Największe stężenie zanieczyszczeń pokrywa się z największym spływem do kanalizacji. Najczęściej, najbardziej zanieczyszczona jest pierwsza fala ścieków spływająca do kanalizacji w ciągu początkowych 10 - 15 minut.

Potwierdzają to badania przeprowadzone w Leningradzie [18] zestawione w tablicy 5-3.

Od opisanej powyżej i potwierdzonej wynikami badań prawidłowości zmian stężenia zanieczyszczeń w ściekach deszczowych mogą wystąpić odchylenia w dwu przypadkach:

- gdy spływ uliczny spowodowany jest przez deszcz o małym natężeniu (do 8 l/s ha), a prędkość spływu jest niewystarczająca do zmycia większości zanieczyszczeń ulicznych w początkowym okresie trwania spływu, co może spowodować, że ostatnie porcje spływu będą bardziej zanieczyszczone niż pierwsze,
- gdy ze względu na rozmiary zlewni czas koncentracji terenowej jest dość duży i główna fala zanieczyszczeń dociera wraz ze spływem do kanałów z opóźnieniem w stosunku do początku opadu.

Pora roku jest również czynnikiem wpływającym w istotny sposób na charakter i stężenie zanieczyszczeń w ściekach deszczowych. Sezonowe wahania wartości niektórych wskaźników zanieczyszczenia badano w Cincinnati [27] i Ann-Arbour [28]. Na podstawie wyników badań, przedstawionych w tablicy 5-4, można stwierdzić, że największe stężenia zawiesin zaobserwowano w okresie wiosennym, podczas gdy na jesieni wartości te były do

2 razy mniejsze. Wysokie stężenie zawiesiny w okresie wiosny spowodowane jest spływem do kanalizacji bardzo zanieczyszczonych wód roztopowych. Inaczej kształtują się sezonowe zmiany BZT, które największe wartości osiąga w okresie lata i jesieni. Wynika to ze zwiększonej w tych porach roku wartości substancji organicznych. Zawartość związków azotowych i fosforowych osiąga największe stężenia w okresie wiosny i jesieni, kiedy to do ścieków deszczowych przedostają się spływy z terenów rolniczych, zanieczyszczone nawozami sztucznymi.

Przedstawione badania jakości ścieków opadowych dają tylko ogólne rozeznanie w problemie powiązań jakości ścieków opadowych z szeregiem czynników, od których uzależniony jest ich skład. Określenie stężeń i ładunków zanieczyszczeń w ściekach opadowych, na podstawie publikowanych wyników badań nawet w warunkach zbliżonych do przebadanych, a więc przy porównywalnych parametrach zlewni, opadu i sieci - wydaje się niemożliwe. Wynika to z wyrywkowości prowadzonych badań oraz ilości czynników wpływających na jakość ścieków.

5.3. Zanieczyszczenia ścieków mieszanych odprowadzanych przez przelewy burzowe.

System kanalizacji ogólnospławnej odprowadza do oczyszczalni ścieki miejskie pogody bezdeszczowej z pewną ilością ścieków opadowych. Pozostała ilość ścieków odprowadzana jest przez przelewy burzowe wprost do odbiornika.

Badania nad składem i stężeniem zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych przez przelewy burzowe wykazały, że są one mieszaniną ścieków miejskich pogody bezdeszczowej i ścieków opado-

wych, gdyż przy prędkościach przepływu panujących w kanale następuje wymieszanie się tych ścieków [29], [30]. W tablicy 5-5 podano maksymalne i minimalne wartości wskaźników zanieczyszczenia ścieków mieszanych odprowadzanych przez przelewy burzowe w oparciu o badania wykonane w różnych miastach i w różnych okresach czasu. Dane te różnią się od siebie znacznie i wahają się w dość dużych granicach. Przeciętne stężenie zawiesiny w ściekach mieszanych nie przekracza wartości spotykanych w ściekach miejskich pogody bezdeszczowej. Maksymalna wartość jest jednak większa od stężenia w ściekach z dużych miast Polski

Stężenie BZT jest przeciętnie 3,5 do 1,5 raza mniejsze niż w ściekach pogody bezdeszczowej. W niektórych wypadkach przyjmuje jednak bardzo duże wartości. Ścieki mieszane zawierają nieraz znaczne wartości amoniaku, fenoli i chlorków, co można tłumaczyć znacznym udziałem ścieków przemysłowych. Odznaczają się także dużą ilością bakterii.

Zmiany ilościowe odpływu ścieków bytowo-gospodarczych do kanalizacji miejskiej, związane z dobowym rytmem życia mieszkańców miast, wpływają na stopień zanieczyszczenia ścieków mieszanych. Wpływ tego czynnika w wielu wypadkach jest dość znaczny, zważywszy na fakt, że ładunek zanieczyszczeń odprowadzany ze ściekami bytowo-gospodarczymi w nocy stanowi zaledwie kilka procent ich ładunku dziennego. Na rysunku 5-2 pokazano dobowe wahania stężenia zawiesiny, BZT i amoniaku w ściekach bytowo-gospodarczych i ściekach mieszanych z kanalizacji ogólnospławnej w Northampton [31]. Z wykresu (rys. 5-2) wynika, że stężenie zawiesiny w ściekach mieszanych przekracza znacznie jej stężenie w ściekach bytowo-gospodarczych. Porównanie krzy-

wych dotyczących zmian BZT wykazuje nieco inny charakter. Dla godzin nocnych stwierdzono wyższe stężenie BZT w ściekach mieszanych, natomiast w ciągu dnia BZT ścieków bytowo gospodarczych jest przeważnie dwukrotnie wyższe niż w ściekach mieszanych.

Zmiany stężenia zanieczyszczeń w ściekach mieszanych odprowadzanych przez przelewy burzowe były przedmiotem badań w Kolumbii [26], Northampton [31], Haunch Valley [29], San Francisco [32]. Badania wykazały, że podobnie jak przy ściekach deszczowych, parametry jakości zrzutów z przelewów sieci ogólnospławnej ulegają zmianom w czasie trwania spływu. Stopień zmian zależy od intensywności deszczu, czasu jego trwania i okresu pogody bezdeszczowej poprzedzającej opad.

Dla krótkotrwałych opadów intensywność nie wpływa w znacznym stopniu na właściwości ścieków mieszanych, a stężenie każdego składnika rośnie wraz z prędkością spływu (rys. 5-3). Deszcze długotrwałe o dużej intensywności dają znacznie mniejsze stężenia zanieczyszczeń w porównaniu z opadami krótkotrwałymi, co jest rezultatem znacznego rozcieńczenia wodą z opadów.

Okres pogody bezdeszczowej poprzedzającej opad ma znaczny wpływ na jakość odpływu. Wpływ ten wyraźnie zaznacza się przy okresach pogody suchej mniejszych niż 1 dzień i maleje przy okresach bezdeszczowych powyżej 1,5 dnia.

Stężenie zanieczyszczeń w ściekach mieszanych dla okresu pogody suchej, trwającej krócej niż 1 dzień i dla okresów dłuższych, pokazano na rysunku 5-4. Długi okres pogody bezdeszczowej sprzyja akumulacji zanieczyszczeń na powierzchni, co powoduje, że stężenie zanieczyszczeń odprowadzanych przez przelewy znacznie przekracza średnie stężenia w ściekach bytowo-gospodarczych.

Badając wahania stężenia wskaźników zanieczyszczenia w ściekach mieszanych w ciągu trwania spływu deszczu do kanalizacji ogólnospławnej, można zauważyć 3 fazy zmian stężenia zanieczyszczeń [32]. I faza występuje na początku spływu, kiedy jeszcze w kanale sieci ogólnospławnej nie są osiągnięte większe prędkości przepływu i odpływ posiada własności ścieków bytowo-gospodarczych. W miarę zwiększania się spływu deszczowego, rośnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach deszczowych i zwiększa się prędkość przepływu w kanale. W konsekwencji następuje wypłukanie zanieczyszczeń osiadłych w kanale i przepływ II fazy posiada największą ilość zanieczyszczeń. Następnie poziom substancji zanieczyszczających zmniejsza się do stałych wartości, które wynoszą 10 - 25% wartości w czasie pogody bezdeszczowej. Zrzuty ścieków mieszanych przez przelewy burzowe następują najczęściej w czasie trwania II fazy i podobnie jak w przypadku ścieków deszczowych, w ciągu 20 - 30 minut trwania deszczu stężenie zanieczyszczeń osiąga maksymalne wartości. Zwiększone zanieczyszczenie pierwszej fali zrzutów ścieków mieszanych zależy od:

- ilości zanieczyszczeń spłukanych z powierzchni zlewni do sieci kanalizacyjnej w ciągu pierwszych minut deszczu,
- wypłukania w początkowym okresie trwania deszczu osadu gromadzącego się w kanałach w okresie pogody suchej.

W tablicy 5-6 przedstawiono zmiany przeciętnych wartości stężenia zawiesiny, BZT, utlenialności, amoniaku i chlorków w ściekach mieszanych, w zależności od czasu jaki upłynął od momentu rozpoczęcia deszczu, uzyskane w czasie badań prowadzonych dla zlewni Northampton [31]. Stężenie zawiesiny, BZT i utlenialności w ściekach mieszanych w początkowej fazie deszczu prze-

kracza stężenie analogicznych wskaźników w ściekach pogody bezdeszczowej, a następnie następuje powrót do wartości z okresu pogody suchej i zmniejszenie do stałych wartości. Powrót stężenia wskaźników zanieczyszczeń do wartości z okresu pogody suchej dla zawiesiny następował po czasie 50 - 70 minut, dla BZT - po około 10 minutach.

5.4. Specyfika właściwości ścieków opadowych.

5.4.1. Specyfika składu ścieków opadowych.

Podstawą do określenia jakości każdego rodzaju ścieków są przeprowadzane badania fizyko-chemiczne.

Skład ścieków deszczowych zależy jednak od tak wielu czynników, że nawet długotrwałe badania pozwalają na uzyskanie jedynie przybliżonych danych.

Zestawione w tablicach 5-1 i 5-5 maksymalne, minimalne i średnie wartości wskaźników zanieczyszczenia ścieków opadowych i zrzutów burzowych, w oparciu o badania prowadzone w różnych krajach, porównano ze średnimi stężeniami ścieków miejskich w czasie pogody bezdeszczowej.

Porównanie stężeń odpowiednich wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych wykazuje, że największe różnice występują w przypadku zawartości zawiesin. Średnia wartość tego wskaźnika jest w ściekach deszczowych zbliżona do stężenia w ściekach miejskich pogody bezdeszczowej. Jednakże, maksymalne stężenie osiąga w niektórych wypadkach nawet kilkakrotnie większe wartości.

Zawiesiny ścieków opadowych składają się w przeważającej części z substancji mineralnych, których zawartość dochodzi do

62%, podczas gdy w ściekach miejskich wynosi ona około 27%. Potwierdzają to także takie wskaźniki zanieczyszczenia jak BZT_5 i utlenialność.

Maksymalne stężenie BZT_5 w ściekach opadowych nie przekracza 300 g/m^3 , a przeciętne stężenie tego składnika jest kilkakrotnie mniejsze niż w ściekach miejskich pogody bezdeszczowej.

Stosunkowo niskie wartości BZT_5 w ściekach opadowych w porównaniu do ścieków miejskich pogody bezdeszczowej można uzasadnić małą ilością węglowodanów i związków azotowych. W ściekach opadowych ilość azotu organicznego wynosiła $0,52 - 9 \text{ g/m}^3$, gdy w ściekach miejskich - $15 - 60 \text{ g/m}^3$.

Ilość substancji zawartych w ściekach opadowych w postaci stałej jak i rozpuszczonej, czyli sucha pozostałość, wynosi $310 - 3000 \text{ g/m}^3$ i są to w przeważającej części substancje mineralne. Charakterystyczna dla ścieków opadowych jest wysoka wartość CZT oraz wysoki jej stosunek do wartości BZT_5 .

Wartość stosunku CZT do BZT_5 określana była podczas badań jakości ścieków opadowych w rejonie Columbi [26] i wynosiła 1,8 do 32 dla spływów deszczowych i $3,8 + 20$ dla zrzutów burzowych, podczas gdy w ściekach miejskich pogody bezdeszczowej stosunek ten kształtuje się około 2.

Zawartość substancji toksycznych w ściekach deszczowych podana była tylko w dwóch pracach. W Ann-Arbour [28] określano zawartość fenoli i wynosiła ona średnio 16 mg/m^3 , a maksymalnie 70 mg/m^3 . Zawartość ołowiu określano w spływach deszczowych z terenów miejskich w Durham [33] i wynosiła ona $0,1 - 12,6 \text{ g/m}^3$, Większość wyników nie przekraczała jednak $1,5 \text{ g/m}^3$.

5.4.2. Specyfika własności technologicznych ścieków opadowych.

5.4.2.1. Własności sedymentacyjne.

Badania nad oczyszczaniem ścieków opadowych na drodze sedymentacji prowadzone były w Cincinnati [34] oraz w Łodzi [30] i miały na celu ustalenie czasu sedymentacji, przy której uzyskano by najlepsze wyniki redukcji podstawowych wskaźników zanieczyszczenia, takich jak: zawiesina, BZT, CZT, azot organiczny i fosfor ogólny.

W Cincinnati prowadzono badania redukcji wskaźników zanieczyszczenia dla czasów sedymentacji od 20 minut do 24 godzin. Wyniki badań podano w tablicy 5-7 i 5-8.

Nanosząc na wykresy redukcji wskaźników zanieczyszczenia ścieków opadowych procent redukcji, otrzymany w wyniku osadzania ścieków miejskich (rysunek 5-5), można stwierdzić, że redukcja BZT₅ i zawiesiny jest nieco mniejsza dla ścieków deszczowych w porównaniu do ścieków pogody bezdeszczowej, przy tym samym czasie sedymentacji. Zwiększenie czasu sedymentacji powyżej 2 godzin powoduje minimalny wzrost redukcji zanieczyszczeń dla obu rodzajów ścieków.

Nieco inne wyniki uzyskano w ramach badań własnych omówionych w załączniku nr 1. Przy badaniu redukcji wskaźników zanieczyszczenia podczas sedymentacji pyłu spłukiwanego przez opad z powierzchni zlewni [47] największy procent zanieczyszczeń redukowany był już po 5 minutach sedymentacji. Nie obserwowano dużych różnic pomiędzy czasem opadania 5,10 i 20 minut. Następny wzrost redukcji otrzymano po 1 godzinie osadzania.

Ogólnie można liczyć się z korzystniejszymi własnościami sedymentacyjnymi ścieków ^{opadowych} ~~opadających~~ w porównaniu ze ściekami pogody bezdeszczowej, chociaż jednocześnie niektóre wyniki badań wskazują także na występowanie odwrotnych sytuacji.

5.4.2.2. Podatność na procesy biologiczne.

Analiza składu jakościowo-ilościowego ścieków opadowych pozwala stwierdzić, że istnieje możliwość ich biologicznego oczyszczania.

Odczyn ścieków poddawanych biologicznemu oczyszczaniu winien oscylować w granicach $\text{pH} = 6,0 - 9,0$. Zabójcze dla biocenozy jest $\text{pH} < 4,0$ oraz $\text{pH} > 11,0$. W wyniku badań ścieków opadowych uzyskano wartości pH w granicach $4,9 - 7,5$, a więc mieszcząca się w dopuszczalnym zakresie.

Za graniczne temperatury ścieków doprowadzanych do oczyszczalni biologicznej przyjmuje się 5°C do 30°C , gdy temperatura ścieków opadowych waha się w zależności od pory roku od 2°C w zimie do 25°C w lecie.

Zapotrzebowanie związków pokarmowych, warunkujące prawidłowy przyrost biomasy jest w ściekach deszczowych wystarczające. Według Saywera [21] dla prawidłowego przebiegu procesów biologicznego oczyszczania konieczne jest zachowanie następujących stosunków:

$$\text{BZT}_5 : \text{N} = 17 : 1 \quad (\text{max } 32 : 1)$$

$$\text{BZT}_5 : \text{P} = 90 : 1 \quad (\text{max } 150 : 1) .$$

Średnie wartości azotu i fosforu uzyskane na podstawie badań wydają się wystarczające dla utrzymania wyżej podanych stosunków. Zbędne jest więc dodawanie pożywek.

Należy liczyć się z możliwością wystąpienia w ściekach opadowych okresowo znacznych ilości substancji toksycznych, hamujących proces biologicznego oczyszczania. Nieliczne badania zawartości ołowiu wskazują na możliwość wystąpienia stężeń maksymalnych przekraczających wartości dopuszczalne dla procesów biologicznych, które według danych radzieckich [36] wynoszą 1 g/m^3 , a według danych niemieckich [21] - 10 g/m^3 .

Ogólnie można stwierdzić, że ścieki opadowe w mieszaninie z pozostałymi ściekami mogą wykazywać podobne własności do ścieków w czasie pogody bezdeszczowej, mogą być również mniej podatne na procesy biologicznego rozkładu ze względu na zawartość substancji hamujących te procesy. Wydzielone ścieki opadowe charakteryzować się będą prawdopodobnie znikomą podatnością na procesy oczyszczania biologicznego.

5.4.2.3. Specyfika osadów ściekowych ze ścieków opadowych.

Z uwagi na skład ścieków opadowych, wytrącane w procesie sedymentacji osady charakteryzować się będą znaczną zawartością substancji mineralnych.

Według danych amerykańskich [21] ilość piasku z kanalizacji ogólnospławnej w czasie pogody bezdeszczowej waha się w granicach $0,015 - 0,075 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$, a w czasie opadu wzrasta do $0,15 - 0,20 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$ ścieków. Ilość piasku zatrzymywana w piaskownikach ścieków opadowych na terenie oczyszczalni w Kenosha [12] wynosiła średnio $0,22 - 0,44 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$ ścieków opadowych.

Osady powstające ze ścieków opadowych w wyniku sedymentacji charakteryzują się znacznie wyższą zawartością substancji mine-

ralnych w stosunku do osadów wydzielanych ze ścieków w czasie pogody bezdeszczowej. Należy liczyć się ze zmienną zawartością części piaszczystych i ilastych w tych osadach. W związku z tym podatność tego rodzaju osadów na procesy unieszkodliwiania metodami biologicznymi jest znacznie niższa, niż osadów ściekowych w czasie pogody bezdeszczowej.

5.5. Podsumowanie.

Przedstawione dane z publikacji zagranicznych i krajowych, dotyczące charakterystyki jakości ścieków opadowych wskazują na duże wahania koncentracji zanieczyszczeń w ściekach opadowych. Maksymalne i średnie wartości niektórych wskaźników zanieczyszczeń ścieków opadowych znacznie przekraczają przeciętne wartości tych wskaźników, charakterystyczne dla ścieków bytowo-gospodarczych lub miejskich w czasie bezdeszczowej pogody.

Mieszanina ścieków opadowych i miejskich, odprowadzana w czasie deszczu przez przelewy burzowe kanalizacji ogólnospławnej, również charakteryzuje się wysokimi maksymalnymi i średnimi wartościami wskaźników zanieczyszczenia. Ilustrują to dane zestawione w tablicy 5-9, stanowiącej wyciąg z tablic 5-1 i 5-5. Są to dane orientacyjne, ale jak dotychczas jedyne, na jakich można byłoby się oprzeć w dalszych ogólnych rozważaniach.

Analiza specyficznych własności ścieków opadowych i podatności ich na procesy technologiczne wykazała, że:

- ścieki te w mieszaninie ze ściekami miejskimi pogody bezdeszczowej są podatne na podstawowe procesy oczyszczania w stopniu zbliżonym do podatności ścieków w czasie pogody bezdeszczowej,

- ścieki te w postaci wydzielonej od pozostałych mogą wykazywać większą podatność na procesy sedymentacji, natomiast znikomą podatność na procesy biochemicznego rozkładu,
- osady wydzielone ze ścieków opadowych będą zawierały znaczne ilości substancji mineralnej, po wydzieleniu których można je dopiero poddawać procesom unieszkodliwiania na drodze biochemicznej.

6. Prognozowanie średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych.

6.1. Uwagi wstępne.

W obecnym stanie badań naukowych brak jest możliwości jednoznacznego ustalenia wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach opadowych.

Kilku autorów podaje w swoich pracach uogólnione dane dotyczące ładunku zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych. Prawosinskij i Gatiłło [37], w oparciu o badania prowadzone w Mińsku ustalili zależność ładunku zanieczyszczeń spłukanego z powierzchni 1 hektara od wysokości opadu i okresu pogody bezdeszczowej poprzedzającej ten opad. Stwierdzili ponadto, że ładunek ten rośnie wprost proporcjonalnie do wysokości opadu 16 mm, po przekroczeniu której utrzymuje się na stałym poziomie. Wydłużanie się okresu pogody bezdeszczowej wpływa na wzrost ładunku zanieczyszczeń. Określoną w czasie badań zależność ładunku zanieczyszczeń od wysokości opadu i okresu pogody bezdeszczowej poprzedzającej ten opad, przedstawiono na rysunku 6-1.

Przeciętne roczne wielkości ładunku zanieczyszczeń spłukiwanych z terenów miast położonych w europejskiej części Związku Radzieckiego podaje Mołokow [38] (tablica 6-1). Dane te jednak nie pozwalają na określenie miarodajnego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych.

Rechciński [30] proponuje przyjmowanie średnich wartości wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych w zależności od stanu czystości zlewni. Proponowane stężenia zanieczyszczeń

podano w tablicy 6-2. Są to jednak dane bardzo orientacyjne i brak jest wskazówek pozwalających na zaszeregowanie zlewni do poszczególnych klas czystości.

Pewną próbę ustalenia jakości ścieków deszczowych podjął Szigorin [40] podając orientacyjny sposób obliczenia ogólnej ilości zanieczyszczeń dostających się do ścieków opadowych w ciągu określonego czasu oraz sposób określenia stężenia tych zanieczyszczeń. Według Szigorina średnie roczne stężenie zanieczyszczeń w odpływie ścieków opadowych z terenów miejskich można określić według następującego wzoru:

$$Z = \frac{C + A}{10 \cdot F \cdot H \cdot \Psi} \quad \text{g/m}^3$$

gdzie:

- Z - średnie roczne stężenie zawiesin w ściekach opadowych w g/m^3 ,
- C - ilość śmieci gromadzących się na terenie zlewni w okresie z dodatnimi temperaturami powietrza w ciągu roku w g ,
- A - ilość nierozpuszczalnych aerozoli osiadłych na terenie zlewni w okresie z dodatnimi temperaturami powietrza w ciągu roku w g ,
- F - powierzchnia zlewni w ha ,
- H - wysokość opadów deszczowych w ciągu roku w mm,
- Ψ - współczynnik spływu dla danej zlewni.

Przeciętne stężenie BZT_{20} można określić przyjmując, że 1 g suchej substancji aerozoli i śmieci wywołuje w ściekach BZT_{20} równe 0,25 g O_2 . Można również przyjmować, że BZT_5 stanowi około 10 - 15% ilości zawiesin.

$$BZT_5 = (0,10 \div 0,15) Z \quad g/m^3$$

Podana przez Szigorina metoda nie uwzględnia wszystkich czynników wpływających na jakość ścieków opadowych. Umożliwia przy tym obliczenie średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych w okresie rocznym. Uzyskane w ten sposób średnioroczne dane nie mogą stanowić podstawy do ustalenia wpływu ścieków opadowych na stan czystości odbiornika w miejscu ich zrzutu.

6.2. Proponowana metoda ustalania średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych.

Analiza przedstawionych w poprzednim rozdziale metod prognozowania stężenia zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych stworzyła przesłanki do zaproponowania metody pośredniej, będącej modyfikacją i rozwinięciem analizowanych metod.

Podstawowymi założeniami proponowanej metody, która umożliwia obliczenie średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych ^{sq} jest:

- przyjęcie za podstawę do ustalenia masy zanieczyszczeń dostających się do ścieków opadowych, jednostkowych ilości śmieci gromadzących się na ulicach i placach oraz jednostkowych ilości pyłu, przeliczonych przy pomocy odpowiednich współczynników empirycznych na wartości wskaźników różnych rodzajów zanieczyszczeń,
- przyjęcie do obliczeń deszczu miarodajnego o granicznej wysokości opadów, zapewniającej spłukanie maksymalnej ilości zanieczyszczeń nagromadzonych na powierzchni zlewni,

- wprowadzenie zasady obliczania stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych dla deszczu miarodajnego poprzedzonego okresem bezdeszczowym o założonym prawdopodobieństwie czasu trwania tego okresu.

W związku z tym, dla określenia średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych niezbędne jest ustalanie następujących parametrów:

- ilości i składu gromadzących się na terenie zlewni śmieci,
- ilości i składu osiadającego na terenie zlewni pyłu,
- miarodajnego do obliczeń ciągu dni bezopadowych lub z opadem nie powodującym spływu do sieci kanalizacyjnej,
- miarodajnego do obliczeń dla danej zlewni opadu (wysokości opadu), który spłucze maksymalną ilość zgromadzonych zanieczyszczeń,
- współczynnika spływu,
- powierzchni zlewni z wyszczególnieniem powierzchni ulic, placów i terenów zielonych,
- współczynników określających przeliczenie suchej masy śmieci i pyłu na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia.

Wielkość opadu pyłu i gromadzących się na powierzchni zlewni śmieci można ustalić na podstawie badań przeprowadzonych dla danego rejonu.

Wartości bezwymiarowych współczynników określających przeliczenie suchej masy na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia można ustalać na podstawie badań własności fizycznych, chemicznych oraz biochemicznych opadu, pyłu i zmiotek ulicznych gromadzących się na terenie ulic i placów.

Długość ciągów dni bez opadu można ustalić na podstawie danych hydrologiczno-meteorologicznych, dotyczących liczby i długości tych okresów w wieloleciu. Jako opad nie powodujący spływu do kanalizacji proponuje się przyjmować opad, którego wysokość nie przewyższyła 2,0 mm. Miarodajną do obliczeń długość ciągów dni z opadem $\leq 2,0$ mm proponuje się przyjmować wartość ustaloną dla prawdopodobieństwa wystąpienia takiego jak prawdopodobieństwo miarodajnego przepływu w odbiorniku NQ - 5%.

Graniczna wysokość opadu, zapewniająca spłukanie maksymalnej ilości zanieczyszczeń zgromadzonych na powierzchni zlewni, powinna być każdorazowo przedmiotem odpowiednich studiów. Przykładowo, można przyjmować ustaloną przez Gatiłkę wartość $h = 16$ mm

Na podstawie powyższych parametrów można obliczyć średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych według wzoru:

$$S = \frac{(A_1 \alpha_1 + A'_2 \alpha_2) T}{V} \quad \text{kg/m}^3 \quad (6-1)$$

gdzie: S - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych w kg/m^3 ,

A_1 - ilość zanieczyszczeń zgromadzonych na powierzchni ulic i placów w kg/d ,

α_1 - współczynnik bezwymiarowy określający przeliczenie suchej masy śmieci na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia,

A'_2 - ilość aerozoli osiadłych na terenie zlewni, która może zostać spłukana przez opad w kg/d ,

α_2 - współczynnik bezwymiarowy określający przeliczenie suchej masy aerozoli na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia,

- V - objętość deszczu miarodajnego do obliczenia stężenia zanieczyszczeń w m^3 ,
- T - miarodajna do obliczeń długość ciągu dni bezopadowych lub z opadem nie powodującym spływu do kanalizacji o przyjętym prawdopodobieństwie pojawiania w dobach.

Ilość zanieczyszczeń gromadzących się na powierzchni ulic i placów można określić według wzoru:

$$A_1 = a_1 \cdot \eta \cdot F_K \cdot \frac{1}{30} \quad \text{kg/d} \quad (6-2)$$

gdzie:

- A_1 - ilość zanieczyszczeń zgromadzonych na powierzchni ulic i placów w czasie przerwy między deszczami T w kg/d,
- a_1 - ilość śmieci gromadzących się na powierzchni ulic i placów w kg/m^2 . miesiąc ,
- η - współczynnik obliczeniowy ilości pozostałych (nie zmiecionych) śmieci ,
- F_K - powierzchnia ulic i placów w m^2 .

Dla obliczenia ilości aerozoli osiadłych na terenie zlewni, która może być spłukana przez opad, można skorzystać ze wzoru:

$$A_2 = a_2 (F - F_K) \cdot \frac{1}{30} \quad \text{kg/d} \quad (6-3)$$

gdzie:

- A_2 - ilość aerozoli osiadłych na powierzchni zlewni z wyłączeniem powierzchni ulic i placów w kg/d,
- a_2 - opad pyłu w kg/m^2 . miesiąc ,
- F - powierzchnia zlewni w m^2 ,
- F_K - jak we wzorze (6-2) .

Do ustalenia średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych można założyć, że tylko 10% osiadłych na terenach zielonych aerozoli zostanie spłukanych przez opad. W takim razie wzór określający ilość aerozoli osiadłych, która może być spłukana przez deszcz przybierze postać:

$$A'_2 = a_2 (F - F_k - 0,9 F_z) \frac{1}{30} \text{ kg/d} \quad (6-4)$$

gdzie: F_z - powierzchnia terenów zielonych w m^2 ,
pozostałe oznaczenia jak we wzorze (6-3).

W załączniku nr 1 przedstawiono przykładowo badania ilości opadu pyłu a_2 i współczynników określających przeliczenie suchej masy pyłu na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczeń α_2 . Orientacyjne wyniki badań zawiera tablica 6-3 i 6-4. Otrzymane wartości opadu pyłu wykazują znaczne różnice. Duże wartości otrzymano w punktach pomiarowych usytuowanych w centrum miasta (Częstochowa - $a_2 = 118,0 \text{ g/m}^2$ miesiąc), mniejsze - w punktach pomiarowych na granicach miasta (Częstochowa - $a_2 = 23,2 \text{ g/m}^2$ miesiąc, Białystok $a_2 = 7,7 - 22,2 \text{ g/m}^2$ miesiąc). Wartości współczynników przeliczeniowych wahały się w niewielkich granicach. Zebrany pył charakteryzował się małą zawartością substancji organicznych i stosunkowo dużą zawartością substancji chemicznych.

Miarodajną do obliczeń długość ciągów dni bezopadowych i z opadem nie powodującym spływu do kanalizacji T o przyjętym prawdopodobieństwie p można obliczyć korzystając z następującego wzoru:

$$T = T_{50} \exp \frac{f(p)}{k} \quad (6-5)$$

gdzie:

- T - długość ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o przyjętym prawdopodobieństwie pojawiania p ,
- T_{50} - długość ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie pojawiania $p = 50\%$,
- $f(p)$ - funkcja określona całką prawdopodobieństwa
$$\oint \{f(p)\} = \pm (1 - \frac{p}{50})$$
 (patrz Załącznik 2); wartości funkcji $f(p)$ podano w tabelicy 6-5 ,
- k - współczynnik zależny od ilości i długości ciągów dni bezopadowych na danym terenie, określany na podstawie danych statystycznych.

Podany wzór został ustalony w oparciu o dane statystyczne dotyczące liczby i długości okresów bezopadowych i z opadem $\leq 2,0$ mm dla Białegostoku i Częstochowy (załącznik nr 2). W tabelicy 6-6 przedstawiono otrzymane wartości długości ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 50\%$ oraz współczynnika charakteryzującego ilość i długość ciągów dni bezopadowych. Otrzymanie wartości dla obu miast różnią się nieznacznie i wahają się w granicach $T_{50} = 3,59 - 3,75$, $k = 1,07 - 1,14$.

Objętość deszczu miarodajnego można określić ze wzoru:

$$V = 10^{-3} \psi \cdot h \cdot F \quad m^3 \quad (6-6)$$

gdzie: V - objętość deszczu miarodajnego w m^3 ,
 ψ - współczynnik spływu,
 h - miarodajna do obliczeń wysokość opadu, który spłucze maksymalną ilość zanieczyszczeń, mm ,

F - powierzchnia zlewni w m^2 .

Po podstawieniu wzorów (6-2) - (6-6) wzór (6-1) przybierze postać:

$$S = \frac{T_{50} \cdot \exp \frac{f(p)}{k}}{3 \cdot 10^{-2} h \cdot \psi \cdot F} \left[a_1 \cdot \alpha_1 \cdot \eta \cdot F_k + a_2 \alpha_2 (F - F_k - 0,8 F_z) \right] \text{kg/m}^3 \quad (6-7)$$

Przedstawiony wyżej wzór może służyć do określenia średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych. Dla powszechnego stosowania niezbędne jest jednak uściślenie parametrów występujących we wzorze, takich jak:

- deszcz miarodajny o granicznej wysokości opadu, zapewniającej spłukanie maksymalnej ilości zanieczyszczeń nagromadzonych na powierzchni zlewni,
- długość ciągów dni bezopadowych i z opadem nie powodującym spływu do kanalizacji (przykładowo przeanalizowano w załączniku nr 2),
- opad pyłu i wartości współczynników przeliczeniowych na wskaźnik zanieczyszczenia (przykładowo przeanalizowano w załączniku nr 1),
- ilość śmieci gromadzących się na terenach ulic i placów oraz wartości współczynników przeliczeniowych na wskaźnik zanieczyszczenia.

Wszystkie te wielkości powinny być objęte zakresem systematycznych obserwacji i pomiarów tak, ażeby z biegiem lat powstał miarodajny zestaw ich wartości dla poszczególnych aglomeracji czy regionów.

7. Ogólna analiza możliwości zmniejszenia zrzutu zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych.

7.1. Podstawowe założenia dotyczące własności ścieków opadowych.

Przy analizie problemu możliwości zmniejszenia ładunku zanieczyszczeń w odpływach z kanalizacji deszczowej i zrzutach burzowych z kanalizacji ogólnospławnej - należy uwzględnić następujące specyficzne własności dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni:

- 1) Wielkość dopływu ścieków opadowych w okresie doby może osiągać wartości przekraczające wielkość dobowego dopływu ścieków w czasie pogody bezdeszczowej. W zależności od prawdopodobieństwa opadu i rozmiarów zlewni, stosunek dobowego dopływu ścieków opadowych do dopływu ścieków w czasie pogody bezdeszczowej może osiągać wartości wyższe od jedności.
- 2) Natężenie dopływu ścieków opadowych jest zmienne w czasie i jego maksymalna wartość może przewyższać kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt razy wartość maksymalnego dopływu ścieków w czasie pogody bezdeszczowej.
- 3) Koncentracja zanieczyszczeń w dopływie ścieków opadowych również jest zmienna w czasie dopływu i waha się w znacznych granicach.
- 4) Skład ścieków opadowych może znacznie różnić się od składu ścieków w czasie pogody bezdeszczowej - różnice te przede wszystkim polegają na wyższej maksymalnej zawartości zawieszin w ściekach opadowych, wyższej ^{zg} wartości substancji mineralnych w tych zawiesinach, niższych średnich i minimalnych wartościach BZT₅ oraz znacznie wyższym stosunku wartości

CZT do BZT₅. Ponadto, w zależności od specyfiki specjalnych terenów zlewni, ścieki opadowe mogą charakteryzować się zawartością specyficznych zanieczyszczeń, nie występujących lub występujących w mniejszych stężeniach w ściekach pogody bezdeszczowej.

- 5) Pod względem podatności na podstawowe procesy oczyszczania, takie jak sedymentacja i rozkład biochemiczny, ścieki opadowe mogą w mieszaninie z pozostałymi ściekami wykazywać podobne właściwości do ścieków w czasie bezdeszczowej pogody, mogą również być mniej podatne na procesy biochemicznego rozkładu, ze względu na zawartość substancji hamujących te procesy; można też liczyć się z korzystniejszymi właściwościami sedymentacyjnymi tych ścieków, chociaż jednocześnie niektóre wyniki badań wskazują także na występowanie odwrotnych sytuacji.

Ogólnie można stwierdzić, że podatności ścieków opadowych, zarówno wydzielonych jak i zmieszanych z pozostałymi ściekami, na podstawowe procesy oczyszczania ścieków - nie została dotychczas dostatecznie wyjaśniona.

- 6) Osady powstające ze ścieków opadowych w wyniku sedymentacji charakteryzują się znacznie wyższą zawartością substancji mineralnych w stosunku do osadów wydzielanych ze ścieków w czasie pogody bezdeszczowej. Należy liczyć się ze ^{znaczno} ~~zmianą~~ zawartością części piaszczystych i ilastych w tych osadach. W związku z tym, podatność tego rodzaju osadów na procesy unieszkodliwiania metodami biochemicznymi jest znacznie niższa niż osadów ściekowych w czasie pogody bezdeszczowej i celowość stosowania tego rodzaju procesów do unieszkodliwiania takich osadów jest co najmniej wątpliwa.

Powyższe stwierdzenia, szczególnie dotyczące podatności ścieków opadowych na procesy oczyszczania pozwalają na dokonanie dwóch alternatywnych założeń przy rozpatrywaniu problemu ograniczenia zanieczyszczeń wprowadzanych ze ścieków opadowych, a mianowicie:

1. założenie, że ścieki te w mieszaninie z pozostałymi ściekami są podatne na podstawowe procesy oczyszczania w stopniu zbliżonym do podatności ścieków w czasie bezdeszczowej pogody,
2. założenie, że ścieki te w postaci wydzielonej od pozostałych mogą wykazywać większą podatność na procesy sedymentacji, natomiast znikomą podatność na procesy biochemicznego rozkładu, a w mieszaninie z pozostałymi ściekami, zbliżoną podatność na operacje sedymentacji i zmniejszoną nieco reakcję na biochemiczny rozkład.

Jednocześnie wydaje się w pełni uzasadnionym założeniem, że nie celowym jest poddawanie osadów wydzielonych ze ścieków opadowych ^{aniu} ~~niezgodnym~~ na drodze biochemicznej (fermentacja metanowa) bez uprzedniego wydzielenia z nich w odpowiednim stopniu substancji mineralnych (piaszczystych).

7.2. Sposoby zmniejszenia zrzutu zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych do odbiornika.

Wybór sposobu zmniejszenia ładunku zanieczyszczeń w ściekach opadowych zależeć będzie od ilości tych zanieczyszczeń i chłonności odbiornika, do którego będą odprowadzane.

Ograniczenie zanieczyszczenia odbiornika ściekami opadowymi można uzyskać przez zmniejszenie zrzutu lub wielkości ładun-

ku zanieczyszczeń w tych ściekach za pomocą:

- zbiorników retencyjnych, dzięki którym można obniżyć natężenie zrzutu zanieczyszczeń;
- oczyszczania wraz ze ściekami miejskimi we wspólnej oczyszczalni, dzięki czemu można obniżyć zarówno natężenie zrzutu, jak i wielkość ładunku odprowadzanych zanieczyszczeń;
- wydzielonego oczyszczania bezpośrednio na wylotach z kanałów burzowych (ewentualnie przy zastosowaniu zbiorników retencyjnych wykorzystywanych jednocześnie jako osadniki).

Zbiorniki retencyjne mogą pracować jako:

- jedyne urządzenia do oczyszczania ścieków deszczowych (na drodze sedymentacji) przed odprowadzeniem do odbiornika - taki układ pozwala na zatrzymanie najbardziej zanieczyszczonych spływów deszczowych, zmniejszenie zanieczyszczeń na drodze sedymentacji i stopniowe odprowadzenie ścieków opadowych do odbiornika,
- zbiorniki magazynujące ścieki opadowe przed odprowadzeniem ich do dalszego oczyszczania.

W obu przypadkach należy liczyć się z możliwością chwilowego obciążenia odbiornika, kiedy do nieopróżnionego jeszcze zbiornika trafia następna partia spływających ścieków opadowych.

Dopływ ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni ścieków wydaje się możliwy w przypadku wcześniejszego ich uśrednienia. Przyjęcie przez oczyszczalnię miejską całej ilości ścieków opadowych spływających bezpośrednio z kanalizacji deszczowej nie może być brane pod uwagę ze względu na okresowy i zmienny

w czasie charakter tych ścieków. Bezpośrednie doprowadzenie całej ilości ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni spowodowałoby znaczne zwiększenie wymiarów urządzeń, które byłyby w pełni wykorzystane tylko raz na parę lat. Dlatego - rozpatrując możliwość zmniejszenia ładunku zanieczyszczeń zawartego w ściekach opadowych poprzez oczyszczanie w miejskiej oczyszczalni w zależności od systemu sieci kanalizacyjnej i wymagań stawianych dla odbiornika - należy uwzględnić różne układy wariantu wykorzystania miejskiej oczyszczalni ścieków ze współdziałaniem zbiorników retencyjnych lub też bez ich współdziałania.

Biorąc powyższe pod uwagę można wyróżnić następujące układy (tablica 7-1):

A. przy systemie kanalizacji rozdzielczej:

układ R - Z - ścieki opadowe z kanalizacji deszczowej odprowadzane są do odbiornika poprzez zbiorniki retencyjne, których zadaniem jest obniżenie natężenia odpływu ścieków opadowych,

układ R - W - ścieki opadowe z kanalizacji deszczowej odprowadzane są do wydzielonej oczyszczalni ścieków deszczowych,

układ R - Z.O.1 - ścieki opadowe z kanalizacji deszczowej odprowadzane są do zbiorników retencyjnych, a następnie stopniowo do miejskiej oczyszczalni ścieków,

układ R - Z.O.2 - ścieki opadowe z kanalizacji deszczowej odprowadzane są do zbiorników retencyjnych, w których następuje ich oczyszczenie na drodze sedymentacji, a następnie są stopniowo od-

prowadzane do części biologicznej miejskiej oczyszczalni ścieków;

B. przy systemie kanalizacji ogólnospławnej:

układ OS - O - ścieki mieszane doprowadzane do miejskiej oczyszczalni; nadmiar ścieków przez przelewy burzowe odprowadzany jest do odbiornika,

układ OS - Z - ścieki mieszane doprowadzane do miejskiej oczyszczalni; nadmiar ścieków przez przelewy burzowe dopływa do zbiorników retencyjnych, a następnie stopniowo do odbiornika,

układ OS - W - ścieki mieszane doprowadzane do miejskiej oczyszczalni; nadmiar ścieków przez przelewy burzowe dopływa do wydzielonej oczyszczalni zrzutów burzowych,

układ OS -Z.O. - ścieki mieszane doprowadzane do miejskiej oczyszczalni; nadmiar ścieków przez przelewy burzowe dopływa do zbiorników retencyjnych, a następnie stopniowo do miejskiej oczyszczalni ścieków;

C. przy systemie kanalizacji półrozdzielczej:

układ PR - O - pierwsza fala ścieków opadowych oraz dolna część strumienia ścieków opadowych odprowadzana jest do kanałów sieci ściekowej, skąd wraz ze ściekami miejskimi pogody bezdeszczowej dopływa do miejskiej oczyszczalni; pozostała ilość ścieków opadowych odprowadzana jest bezpośrednio do odbiornika,

układ PR - Z - pierwsza fala ścieków opadowych oraz dolna część strumienia ścieków opadowych odprowadzana jest do kanałów sieci ściekowej, skąd wraz ze ściekami miejskimi pogody bezdeszczowej dopływają do miejskiej oczyszczalni; pozostała ilość ścieków deszczowych odprowadzana jest do zbiorników retencyjnych, których zadaniem jest obniżenie natężenia odpływu,

układ PR - W - pierwsza fala ścieków opadowych oraz dolna część strumienia ścieków opadowych odprowadzana jest do kanałów sieci ściekowej, skąd wraz ze ściekami miejskimi pogody bezdeszczowej dopływa do miejskiej oczyszczalni; pozostała ilość ścieków deszczowych doprowadzana jest do wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych,

układ PR - Z.O. - pierwsza fala ścieków opadowych oraz dolna część strumienia ścieków opadowych odprowadzana jest do kanałów sieci ściekowej, skąd wraz ze ściekami miejskimi pogody bezdeszczowej dopływa do miejskiej oczyszczalni; pozostała ilość ścieków deszczowych dopływa do zbiorników retencyjnych, skąd stopniowo doprowadzana jest do miejskiej oczyszczalni ścieków.

W układzie R - Z zadaniem zbiorników retencyjnych jest magazynowanie ścieków opadowych podczas trwania deszczu i stop-

niowe odprowadzenie ich do odbiornika. Zastosowanie tego systemu nie eliminuje zrzutu zanieczyszczeń do odbiornika, ale przez zmniejszenie natężenia odpływu ścieków opadowych zmniejsza się chwilowe obciążenie odbiornika ładunk^{iem} zanieczyszczeń. Ilość ścieków opadowych i odprowadzany z nimi ładunek zanieczyszczeń zależy będzie od wartości współczynnika β określającego zmniejszenie odpływu ścieków opadowych ze zbiornika retencyjnego w stosunku do dopływu i wyniesie:

$$Q_{oz} = \beta \cdot Q_d \quad (7-1)$$

$$L_{oz} = j_d \cdot \beta \cdot Q_d = \beta \cdot L_d \quad (7-2)$$

gdzie: Q_{oz} - ilość ścieków opadowych odprowadzana do odbiornika w m^3/d ,

β - współczynnik określający zmniejszenie odpływu ścieków opadowych ze zbiornika retencyjnego,

Q_d - ilość ścieków opadowych spływająca z danej zlewni do sieci kanalizacyjnej w m^3/d ,

L_{oz} - ładunek zanieczyszczeń odprowadzany ze zbiornika retencyjnego w kg/d ,

j_d - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych w kg/m^3 ,

L_d - ładunek zanieczyszczeń ścieków opadowych spływających z danej zlewni do sieci kanalizacyjnej w kg/d .

Wielkość współczynnika β można ustalić na podstawie bilansu przyrostu zanieczyszczeń w rzece na skutek doprowadzenia ścieków opadowych:

$$\beta = \frac{Q_{rz} (S_{dop} + S_{rz})}{j_d Q_d} + \frac{S_{dop}}{j_d} \quad (7-3)$$

gdzie:

- Q_{rz} - miarodajny przepływ wody w rzece w m^3/d ,
 S_{dop} - dopuszczalne stężenie zanieczyszczeń wody rzecznej po wymieszaniu z doprowadzanymi ściekami w kg/m^3 ,
 S_{rz} - stężenie zanieczyszczeń w wodzie rzecznej dopływającej z górnego odcinka rzeki do miejsca wprowadzenia ścieków w kg/m^3 ,
 j_d, Q_d - jak we wzorach (7-1), (7-2)

Zastosowanie układów OS - 0 i PR - 0 umożliwia oczyszczenie części ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni ścieków. Ilość ścieków opadowych doprowadzona do miejskiej oczyszczalni zależy od jej przepustowości, a efekt oczyszczania ścieków w czasie pogody deszczowej - od stopnia przystosowania oczyszczalni do przyjęcia zwiększonej ilości ścieków. Całkowitą ilość ścieków i ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do odbiornika w czasie pogody deszczowej przy zastosowaniu powyższych układów można określić ze wzorów:

$$Q_{od} = Q_s + Q_d \quad (7-4)$$

$$L_{od} = L_{ocz} + L_p \quad (7-5)$$

gdzie:

- Q_{od} - ilość ścieków odprowadzana do odbiornika w czasie pogody deszczowej w m^3/d ,
 Q_s - ilość ścieków pogody bezdeszczowej w m^3/d ,
 Q_d - jak we wzorze (7-1)

L_{od} - ładunek zanieczyszczeń odprowadzony do odbiornika w czasie pogody deszczowej w kg/d ,

L_{ocz} - ładunek zanieczyszczeń odprowadzany z miejskiej oczyszczalni w czasie pogody deszczowej w kg/d ,

L_p - ładunek zanieczyszczeń odprowadzany ze ściekami opadowymi lub zrzutami burzowymi bezpośrednio do odbiornika w kg/d.

W wypadku kanalizacji ogólnospławnej (układ OS - O) wzory (7-3) i (7-4) przybiorą postać:

$$Q_{od} = Q_s \left(1 + \frac{x t_p}{24} \right) + Q_d - \frac{x t_p}{24} Q_s \quad (7-6)$$

$$\begin{aligned} L_{od} = & j_m Q_s (1 - \eta') \left(1 + \frac{x t_p}{24} \right) + Q_s j_s \left(1 - \frac{24 - t_p}{24} \right) (1 - \eta) + \\ & + j_m \left(Q_d - \frac{x t_p}{24} Q_s \right) \end{aligned} \quad (7-7)$$

gdzie:

x - współczynnik rozcieńczenia ścieków miejskich pogody bezdeszczowej ściekami opadowymi ,

t_p - czas dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni w h ,

η' - efekt oczyszczania miejskiej oczyszczalni ścieków w czasie dopływu ścieków opadowych ,

η - efekt oczyszczania miejskiej oczyszczalni w czasie oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej ,

j_m - stężenie zanieczyszczeń mieszaniny ścieków pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych w kg/m^3 ,

j_s - stężenie zanieczyszczeń w ściekach pogody bezdeszczowej w kg/m^3 ,

pozostałe oznaczenia jak we wzorach (7-1) do (7-5).

W wypadku kanalizacji półrozdzielczej (układ PR - 0):

$$Q_{od} = Q_s + Q_d$$

$$\begin{aligned} L_{od} = & (1 - \eta) Q_s j_s \left(1 - \frac{24 - t_p}{24}\right) + (1 - \eta') \left(Q_s j_s \frac{t_p}{24} + \right. \\ & \left. + Q_{do} j_d\right) + j_d (Q_d - Q_{do}) \end{aligned} \quad (7-8)$$

gdzie:

Q_{do} - ilość ścieków opadowych dopływających do miejskiej oczyszczalni w m^3/d ,

pozostałe oznaczenia jak we wzorach (7-4) do (7-7)

W układach OS - Z i PR - Z zbiorniki retencyjne przechwytują zrzuty burzowe lub część ścieków opadowych. Pozostała ilość ścieków opadowych razem ze ściekami pogody bezdeszczowej oczyszczana jest w miejskiej oczyszczalni. Całkowitą ilość ścieków i ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do odbiornika w czasie pogody deszczowej przy zastosowaniu powyższych układów można określić ze wzorów:

$$Q_{od} = Q_s + Q_{do} + \beta Q_{zr} \quad (7-9)$$

$$L_{od} = L_{ocz} + L_{oz} \quad (7-10)$$

gdzie:

Q_{zr} - ilość ścieków dopływająca do zbiornika retencyjnego w m^3/d ,

L_{oz} - ładunek zanieczyszczeń odprowadzany ze zbiornika retencyjnego w kg/d ,

pozostałe oznaczenia jak we wzorach (7-1) do (7-8).

W wypadku kanalizacji ogólnospławnej (układ OS - Z) wzory (7-4) i (7-5) przybiorą postać:

$$Q_{od} = Q_s \left(1 + \frac{x t_p}{24} - \beta \frac{x t_p}{24} \right) + \beta \cdot Q_d \quad (7-11)$$

$$\begin{aligned} L_{od} = & j_m Q_s (1 - \eta') \left(1 + \frac{x t_p}{24} \right) + Q_s j_s \left(1 - \frac{24 - t_p}{24} \right) (1 - \eta) + \\ & + \beta j_m (Q_d - Q_s \frac{x t_p}{24}) \end{aligned} \quad (7-12)$$

oznaczenia jak we wzorach (7-1) do (7-9)

W wypadku kanalizacji półrozdzielczej (układ PR - Z):

$$Q_{od} = Q_s + Q_{do} + \beta (Q_d - Q_{do}) \quad (7-13)$$

$$\begin{aligned} L_{od} = & (1 - \eta) Q_s j_s \left(1 - \frac{24 - t_p}{24} \right) + (1 - \eta') (Q_s j_s \frac{t_p}{24} + Q_{do} j_d) + \\ & + \beta \cdot j_d \cdot (Q_d - Q_{do}) \end{aligned} \quad (7-14)$$

gdzie: oznaczenia jak we wzorach (7-4) do (7-9) .

W układzie R - W ścieki opadowe podlegają oczyszczeniu w wydzielonej oczyszczalni, w której następuje obniżenie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego z tymi ściekami. Ilość ścieków opadowych oraz odprowadzany z nimi do odbiornika ładunek zanieczyszczeń można określić wzorami

$$Q_{odw} = \xi \cdot Q_d \quad (7-15)$$

$$L_{odw} = (1 - \eta_w) \xi Q_d \cdot j_d \quad (7-16)$$

gdzie: Q_{odw} - ilość ścieków opadowych odpływająca z wydzielonej oczyszczalni w m^3/d ,

ξ - współczynnik określający zmniejszenie odpływu ścieków opadowych z wydzielonej oczyszczalni w stosunku do dopływu,

L_{odw} - ładunek zanieczyszczeń odprowadzany z wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych w kg/d ,

η_w - efekt oczyszczania wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych ,

Q_d, j_d - jak we wzorach (7-1) i (7-2)

Przy zastosowaniu układów OS - W i PR - W zrzuty przez przelewy burzowe lub część ścieków opadowych oczyszczana jest w wydzielonej oczyszczalni ścieków, pozostała część ścieków opadowych razem ze ściekami pogody bezdeszczowej dopływa do miejskiej oczyszczalni. Całkowita ilość ścieków pogody deszczowej oraz odprowadzany z nimi ładunek zanieczyszczeń zależny będzie od efektu oczyszczania obu oczyszczalni i wyniesie:

$$Q_{od} = Q_s + Q_{do} + \xi Q_w \quad (7-17)$$

$$L_{od} = L_{ocz} + L_w \quad (7-18)$$

gdzie: Q_w - ilość ścieków opadowych lub zrzutów burzowych dopływająca do wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych w m³/d ,

L_w - ładunek zanieczyszczeń odpływający z wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych w kg/d ,

pozostałe oznaczenia jak we wzorach (7-4) i (7-5).

W wypadku kanalizacji ogólnospławnej wzory (7-17) i (7-18) można przedstawić następująco:

$$Q_{od} = Q_s \left(1 + \frac{xt_p}{24} - \xi \frac{xt_p}{24} \right) + \xi Q_d \quad (7-19)$$

$$L_{od} = j_m Q_s (1 - \eta')(1 - \frac{xt_p}{24}) + Q_s j_s (1 - \frac{24 - t_p}{24}) (1 - \eta) + \xi j_m (1 - \eta_w) (Q_d - Q_s \frac{xt_p}{24}) \quad (7-20)$$

- oznaczenia jak we wzorach (7-6) i (7-7) oraz (7-13) i (7-14)

W układach R - Z.O.1 , OS - Z.O i PR - Z.O. ścieki opadowe i zrzuty burzowe doprowadzane są do zbiorników retencyjnych, skąd stopniowo dopływają do miejskiej oczyszczalni, gdzie są oczyszczane wraz ze ściekami miejskimi pogody bezdeszczowej. Wielkość dopływu ścieków opadowych ze zbiornika retencyjnego zależy będzie od przepustowości miejskiej oczyszczalni ścieków i wymaganego stopnia oczyszczania dla mieszaniny ścieków miejskich pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych. Wyróżnić tu można następujące przypadki:

- dla sieci kanalizacji rozdzielczej:

- 1) miejska oczyszczalnia ścieków wymiarowana jest na przepływ ścieków miejskich pogody bezdeszczowej oraz wymagany stopień oczyszczania mieszaniny ścieków, nie mniejszy niż dla ścieków pogody bezdeszczowej; dopływ ścieków opadowych odbywa się tylko w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków pogody bezdeszczowej;
- 2) miejska oczyszczalnia ścieków wymiarowana jest na przepływ ścieków miejskich pogody bezdeszczowej i dostosowana do przyjęcia ścieków opadowych, ale wymagany stopień oczyszczania mieszaniny ścieków jest mniejszy niż dla ścieków pogody bezdeszczowej;
- 3) miejska oczyszczalnia ścieków wymiarowana jest na łączny przepływ ścieków pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych przy określonym efekcie oczyszczania;

- dla sieci kanalizacji ogólnospławnej i półrozdzielczej - oczyszczalnia ścieków wymiarowana jest na łączny przepływ mieszaniny ścieków, przy czym efekt oczyszczania mieszaniny może być równy albo mniejszy od efektu oczyszczania przy dopływie ścieków pogody bezdeszczowej; opróżnianie zbiornika retencyjnego może odbywać się w czasie pogody bezdeszczowej, a przepływ ścieków ze zbiornika będzie równy ilości ścieków opadowych dopływających do oczyszczalni w czasie trwania spływu deszczu; zwiększenie przepływu ścieków opadowych ze zbiornika retencyjnego można uzyskać przez wyrównanie nierównomierności dopływu ścieków pogody bezdeszczowej.

Całkowita ilość ścieków oraz ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do odbiornika przy zastosowaniu powyższych układów wyniesie:

- dla sieci kanalizacji rozdzielczej i półrozdzielczej:

$$Q_{od} = Q_s + \beta Q_d \quad (7-21)$$

$$E_{od} = (1 - \eta^1) (j_s Q_s + j_d \beta Q_d) \quad (7-22)$$

- dla sieci kanalizacji ogólnospławnej:

$$Q_{od} = (1 + x) Q_s + \beta (Q_d - x Q_s) \quad (7-23)$$

$$E_{od} = (1 - \eta^1) \left[j_m \cdot Q_s \left(1 + \frac{x t_p}{24} \right) + Q_s j_s \left(1 - \frac{24 - t_p}{24} \right) + \beta j_m (Q_d - Q_s \frac{x t_p}{24}) \right] \quad (7-24)$$

gdzie oznaczenia - jak wyżej.

W układzie R - Z.O.2. ścieki opadowe dopływają do zbiorników retencyjnych, w których następuje wstępne ich oczyszczanie

nie na drodze sedymentacji, a następnie są stopniowo doprowadzane do części biologicznej miejskiej oczyszczalni ścieków. Wielkość dopływu ścieków opadowych ze zbiornika retencyjnego - podobnie jak w układzie R - Z.O.1 - zależy będzie od przepustowości miejskiej oczyszczalni ścieków i wymaganego stopnia oczyszczania dla mieszaniny ścieków miejskich pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych. Zakładając, że efekt oczyszczania ścieków opadowych w zbiornikach retencyjnych będzie równy efektowi oczyszczania w osadnikach wstępnych miejskiej oczyszczalni ścieków, ładunki zanieczyszczeń i ilości ścieków można określić korzystając ze wzorów (7-19) i (7-20).

Zastosowanie układu Z.O.2 do innych systemów sieci kanalizacyjnych wydaje się niecelowe ze względu na występowanie bezpośredniego dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni, a zatem istnieje konieczność dostosowania wszystkich obiektów oczyszczalni do ich przyjęcia i oczyszczenia.

7.3. Przykładowe oszacowanie wielkości obniżenia zrzutu zanieczyszczeń przy różnych sposobach ich ograniczania.

Przedstawione w poprzednim rozdziale sposoby zmniejszenia zanieczyszczeń odprowadzanych ze ściekami opadowymi do odbiornika pozwalają na obniżenie natężenia zrzutu lub wielkości ładunku zanieczyszczeń w tych ściekach.

W celu przeanalizowania stopnia ograniczenia ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do odbiornika przy zastosowaniu omówionych układów, obliczono przykładowo stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika ze ściekami pogody bez-

deszczowej i ściekami opadowymi dla każdego z układów, do ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego z oczyszczonymi ściekami pogody bezdeszczowej oraz średnio dobowy efekt oczyszczania sumy ścieków odprowadzanych do odbiornika w dobach z opadami.

Do analizy porównawczej przyjęto przykładowo jednostkę osadniczą o powierzchni zlewni $F = 2000$ ha i gęstości zaludnienia $M = 300$ mieszkańców/ha. Ilość ścieków pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych oraz średnie stężenia zanieczyszczeń podano w tablicy 7-2 i 7-3. Przyjęto jeden deszcz w ciągu doby o czasie trwania 90 minut i prawdopodobieństwie $p = 20\%$. W obliczeniach dla uproszczenia nie uwzględniono zmian stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych w czasie trwania opadu przyjmując za podstawę średnie stężenie zanieczyszczeń w tych ściekach.

Uwzględniając możliwość oczyszczania ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni przyjęto, że efekt oczyszczania w niej ścieków pogody bezdeszczowej wynosi 90%, a mieszaniny ścieków pogody deszczowej - 90%, 80% i 75%, w zależności od stopnia przystosowania oczyszczalni do przyjęcia ścieków opadowych.

Wyniki przykładowego oszacowania wielkości ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej w stosunku do ładunku odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej oczyszczanymi w miejskiej oczyszczalni dla różnych układów ograniczenia zrzutu zanieczyszczeń ścieków opadowych - przedstawiono w tablicach 7-4 ÷ 7-14.

Zastosowanie zbiorników retencyjnych do obniżenia natężenia zrzutu ścieków opadowych (układ R-Z) nie wpływa na obniżenie sumarycznego ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ście-

kami pogody deszczowej do odbiornika. Zmniejszeniu ulega tylko chwilowe obciążenie odbiornika. Rozłożenie w czasie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika zależne jest od przyjętej wartości współczynnika obniżenia natężenia zrzutu β . Dla $\beta \geq 1$ nie uzyskuje się obniżenia dobowego ładunku zanieczyszczeń. Zmniejszeniu ulega natomiast ładunek chwilowy, który przy deszczach krótkotrwałych o dużym natężeniu może osiągać znaczne wartości. Wydłużenie czasu odpływu ścieków opadowych ze zbiornika retencyjnego ($\beta > 1$) wpływa na znaczne zmniejszenie odprowadzanego ładunku zanieczyszczeń w ciągu doby.

W przedstawionym przykładzie obliczeniowym (tablica 7-6) stosunek dobowego ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego z sumą ścieków pogody deszczowej w stosunku do dobowego ładunku ścieków pogody bezdeszczowej dla $\beta = 0,3$ wynosił $1,6 \div 2,0$ dla BZT₅ oraz $2,1 \div 4,2$ dla zawiesiny (zależnie od stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych), gdy przy braku zbiorników stosunek ten wyniósł - $3,1 \div 4,5$ dla BZT₅ i $13,9 \div 14,9$ dla zawiesiny. (Tablica 7-13 i 7-14).

Zastosowanie zbiorników retencyjnych w połączeniu z oczyszczaniem części ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni (układ OS - Z i PR - Z) umożliwia nie tylko obniżenie natężenia zrzutu zanieczyszczeń, ale także ich częściową redukcję. Wielkość redukcji zanieczyszczeń zależna będzie od efektu oczyszczania miejskiej oczyszczalni w czasie dopływu ścieków opadowych i jej przepustowości. Zmniejszenie efektu oczyszczania miejskiej oczyszczalni w czasie pogody deszczowej przy możliwości jednoczesnego doprowadzenia do niej dużych ilości ścieków opadowych umożliwia większą redukcję zanieczyszczeń, niż utrzy-

manie dużego efektu oczyszczania przy małej przepustowości oczyszczalni. Przykładowo obliczony średnio dobowy efekt oczyszczania sumy ścieków odprowadzanych do odbiornika w dobach z opadami przy utrzymaniu efektu oczyszczania w oczyszczalni jak dla ścieków pogody bezdeszczowej i oczyszczania w niej 50% spływających ze zlewni ścieków opadowych, wynosił 81 - 79% dla BZT₅ i 74 - 70% dla zawiesin, gdy przy zmniejszonym efekcie oczyszczania ścieków mieszanych w miejskiej oczyszczalni do 80% z równoczesnym wzrostem ilości doprowadzanych ścieków opadowych do 100%, wynosił on 87 - 86% dla BZT₅ i 85 - 84% dla zawiesiny (tablica 7-4 i 7-5). Ilość ścieków opadowych oczyszczana w miejskiej oczyszczalni w układach OS - O, PR - O, OS - Z, PR - Z zależna będzie nie tylko od jej przepustowości, ale także od czasu trwania i natężenia deszczu. Przy deszczach długotrwałych o małym natężeniu większa objętość deszczu będzie mogła być poddana oczyszczeniu, przy deszczach krótkotrwałych o dużym natężeniu znaczna część mieszaniny ścieków lub ścieków opadowych (zależnie od systemu sieci kanalizacyjnej) odprowadzona zostanie do odbiornika. Zastosowanie zbiorników retencyjnych umożliwi obniżenie natężenia odpływu ścieków opadowych lub zrzutów burzowych i ograniczenie godzinowego obciążenia odbiornika ładunkiem zanieczyszczeń (tablica 7-7 i 7-8).

• Wydzielone oczyszczanie ścieków opadowych pozwala na znaczne obniżenie odprowadzanego ładunku zanieczyszczeń ze ściekami pogody deszczowej przy wszystkich trzech systemach sieci kanalizacyjnej. Przy systemie kanalizacji rozdzielczej (układ R - W) średnio dobowy efekt oczyszczania sumy ścieków pogody deszczowej będzie zależał od efektu oczyszczania ścieków opa-

dowych w wydzielonej oczyszczalni i w omawianym przykładzie (tablica 7-9) wynosił 90% - 75% w odniesieniu do BZT_5 i 90 - 55% w odniesieniu do zawartości zawiesin. Średnio dobowy efekt oczyszczania sumy ścieków w dobach z opadami dla systemów kanalizacji ogólnospławnej i rozdzielczej (układ OS - W i PR - W) będzie zależał od efektu oczyszczania miejskiej oczyszczalni w czasie dopływu ścieków opadowych i efektu oczyszczania ścieków w wydzielonej oczyszczalni. Przykładowo ustalony (tablica 7-10 i 7-11) stosunek dobowego ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej dla efektu oczyszczania obu oczyszczalni 90% wynosił 1,2 - 1,3 dla BZT_5 i 1,7 - 2,4 dla zawiesin (w zależności od stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych) gdy stosunek godzinowego ładunku osiągał znacznie wyższe wartości (2,7 - 3,8 dla BZT_5 i 6,6 - 12,1 dla zawiesin), a zatem przy deszczach krótkotrwałych o dużym natężeniu ładunek zanieczyszczeń odprowadzany w przekroju godzinowym może osiągnąć znaczne wartości i mieć niekorzystny wpływ na odbiornik. Obniżenie natężenia odpływu ścieków z wydzielonej oczyszczalni spowoduje rozłożenie odprowadzanego ładunku w czasie.

Oczyszczając całą ilość ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni współpracującej ze zbiornikiem retencyjnym uzyskuje się podobne rezultaty obniżenia ładunku zanieczyszczeń jak przy wydzielonym oczyszczaniu tych ścieków w oczyszczalni o dużej sprawności (70 - 90%). Całkowity efekt oczyszczania ścieków pogody deszczowej będzie zależał od stopnia dostosowania oczyszczalni do przyjęcia ścieków opadowych oraz ich

podatności na procesy oczyszczania. Stopniowe oczyszczanie ścieków i odprowadzanie ich do odbiornika zmniejsza także godzinowy zrzut ładunku zanieczyszczeń.

7.4. P o d s u m o w a n i e .

W ramach analizy możliwości zmniejszenia zrzutów zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych uwzględniono:

- zastosowanie zbiorników retencyjnych, zarówno w aspekcie obniżenia natężenia zrzutów, jak też pod kątem przechwylenia całości zrzutu przy współdziałaniu z miejską oczyszczalnią,
- możliwość oczyszczania ścieków opadowych bezpośrednio na wylotach,
- możliwość oczyszczania ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni przy współdziałaniu zbiorników retencyjnych.

W tablicy 7-1 zestawiono różne układy zastosowania wyżej wymienionych rozwiązań dla trzech systemów kanalizacji: rozdzielczej, ogólnospławnej i półrozdzielczej. Zastosowanie powyższych układów uwarunkowane jest realizacją następujących przedsięwzięć:

- budowy zbiorników retencyjnych,
- budowy wydzielonych oczyszczalni ścieków opadowych,
- dostosowania miejskiej oczyszczalni do przyjęcia ścieków opadowych.

W poszczególnych układach musi być zastosowane jedno z powyższych przedsięwzięć lub jednocześnie dwa, albo trzy przedsięwzięcia.

Przykładowa analiza wielkości obniżenia zrzutu zanieczyszczeń przy różnych sposobach ich ograniczenia pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- 1 - Największe ograniczenie zrzutu zanieczyszczeń w ściekach opadowych można uzyskać stosując układy R - Z.O.1, R - Z.O.2, OS - Z.O. , PR - Z.O., w których cała ilość ścieków oczyszczana jest w miejskiej oczyszczalni razem ze ściekami pogody bezdeszczowej. W ten sposób osiąga się obniżenie zrzutu zanieczyszczeń 75% - 90%, w zależności od stopnia dostosowania miejskiej oczyszczalni do przyjęcia ścieków opadowych.
- 2 - Wydzielone oczyszczanie ścieków opadowych lub zrzutów burzowych w układach R - W, OS - W, PR - W pozwala na względnie wysokie obniżenie zrzutu zanieczyszczeń w okresie dobowym, natomiast w przekroju godzinowym odprowadzany ładunek może znacznie obciążyć odbiornik, dlatego wydaje się celowe równoczesne obniżenie natężenia odpływu oczyszczonych w wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych.
- 3 - Układy OS - O, PR - O, OS - Z i PR - Z, w których część ścieków opadowych oczyszczana jest w miejskiej oczyszczalni, a pozostała bezpośrednio, albo poprzez zbiornik retencyjny obniżający natężenie ich odpływu, odprowadzana jest do odbiornika, wydają się niekorzystne ze względu na mały stopień redukcji zanieczyszczeń i tylko krótkotrwałe (przy deszczach nawalnych) wykorzystanie oczyszczalni, która i tak musi być dostosowana do przyjęcia ścieków opadowych.

- 4 - Preferowanym do przyjęcia wydaje się być układ, w którym wszystkie ścieki opadowe oczyszczane będą wraz ze ściekami pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni (R - Z.O.1, R - Z.O.2, PR - Z.O., OS - Z.O.). Wniosek ten ma charakter wstępny, gdyż nie uwzględnia wyników analizy ekonomicznej, która jest przedmiotem rozdziału 8.
- 5 - Na tle przeprowadzonej analizy nasuwa się generalny wniosek dotyczący oceny systemu kanalizacji ogólnospławnej. Z punktu widzenia ochrony wód przed zanieczyszczeniem, ten rodzaj kanalizacji jest niekorzystny, gdyż nawet w układzie współdziałania ze zbiornikiem retencyjnym obliczonym na całkowite zatrzymanie ścieków pogody deszczowej z określonym prawdopodobieństwem, stwarza on zagrożenie zanieczyszczenia odbiornika nieoczyszczonymi lub częściowo oczyszczonymi ściekami bytowo-gospodarczymi i przemysłowymi. W tej sytuacji preferowane muszą być rodzaje kanalizacji rozdzielczej i półrozdzielczej, które przy współdziałaniu ze zbiornikami retencyjnymi całkowicie eliminują zagrożenie odbiorników ściekami bytowo-gospodarczymi i przemysłowymi, a dopuszczają jedynie z pewnym prawdopodobieństwem zagrożenie nieoczyszczonymi lub częściowo oczyszczonymi ściekami opadowymi.

8. Analiza możliwości doprowadzenia ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni ścieków przy wyrównanym ich dopływie.

8.1. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni na jej układ technologiczny przy założeniu stałego efektu oczyszczania.

Schemat technologiczny oczyszczalni uzależniany jest od charakteru doprowadzanych do oczyszczalni ścieków oraz wymaganego stopnia redukcji zanieczyszczeń.

Dla przeciętnych ścieków miejskich pogody bezdeszczowej wykonuje się najczęściej oczyszczalnie mechaniczno-biologiczne. Ścieki podczyszczane na urządzeniach do mechanicznego oczyszczania w zależności od wymaganego efektu, są oczyszczane dalej na urządzeniach biologicznych jedno- lub dwustopniowych.

Omówiony w poprzednich rozdziałach charakter ścieków opadowych, głównie okresowość ich występowania oraz zmienne stężenie zanieczyszczeń, praktycznie uniemożliwiają proces oczyszczania bez wstępnego uśredniania ilości i składu ścieków opadowych. Do dalszych rozważań przyjęto wstępne uśrednianie ścieków opadowych w zbiorniku retencyjnym, z którego ścieki dawkowane będą do dalszego oczyszczania w miejskiej oczyszczalni.

Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków mieszanych może być w zasadzie taki sam jak dla ścieków miejskich pogody bezdeszczowej.

W dalszych rozważaniach przyjęto najczęściej spotykany w kraju i pozwalający osiągnąć najwyższy stopień redukcji zanieczyszczeń schemat oczyszczalni z osadem czynnym.

Elementy wchodzące w skład oczyszczalni mechanicznej to:

- krata,
- piaskownik,
- osadnik wstępny.

Elementy oczyszczalni biologicznej to:

- komory napowietrzania z osadem czynnym,
- osadnik wtórny.

Doprowadzenie każdej ilości ścieków opadowych na urządzenia miejskiej oczyszczalni ścieków do mechanicznego oczyszczania jest możliwe z punktu widzenia technologicznego. Zwiększona ilość ścieków spowoduje bądź to większe napełnienie w komorze krat i piaskownika, bądź konieczność włączenia dodatkowych jednostek.

Podczyszczanie ścieków w osadnikach wstępnych związane jest także z odpowiednią ilością włączanych komór, których liczba ze względów technologicznych jest nieograniczona.

Inaczej wygląda sytuacja z urządzeniami do biologicznego oczyszczania ścieków. Budowa dodatkowych komór osadu czynnego, do których dopływałaby zwiększona ilość ścieków nie rozwiązuje całkowicie zagadnienia. Zapewnienie odpowiedniego stopnia oczyszczania ścieków uwarunkowane jest stężeniem osadu czynnego w komorach napowietrzania. Ponieważ dopływ ścieków opadowych występuje okresowo, istnieje konieczność posiadania w każdej chwili gotowego do pracy osadu czynnego.

Ciągłe utrzymywanie świeżego osadu jest możliwe przy zastosowaniu układu oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego z regeneracją osadu (rys. 8-1 i 8-2).

W proponowanym układzie technologicznym miejskiej oczyszczalni ścieków można wyróżnić:

- część mechaniczną oczyszczalni, wymiarowaną na przepływ mieszaniny ścieków pogody bezdeszczowej i opadowych,
- część biologiczną oczyszczalni A wymiarowaną na przepływ ścieków pogody bezdeszczowej,
- część biologiczną oczyszczalni B wymiarowaną na przepływ ścieków opadowych,
- część przeróbki osadów ściekowych.

W czasie pogody bezdeszczowej ścieki poprzez urządzenia do mechanicznego oczyszczania dopływają do komór aeracji A i dalej poprzez osadniki wtórne A do odbiornika. W komorach napowietrzania następuje oczyszczanie ścieków osadem czynnym systemem konwencjonalnym, przy czasie zatrzymania około 4 h.

Osad nadmierny usuwany z osadników wtórnych kierowany jest do odświeżania osadu magazynowanego w komorach regeneracji osadu. Osad w komorze regeneracji jest napowietrzany i zatrzymywany przez kilka dni, zapewniając dostarczenie koniecznych mikroorganizmów w czasie dopływu ścieków opadowych. Napowietrzany w komorze regeneracji osad może osiągnąć stężenie do 10 kg/m^3

Po przejściu przez komory regeneracji osad nadmierny wraz z osadem z osadników wstępnych odprowadzany jest do urządzeń unieszkodliwiania osadów ściekowych.

W czasie rozpoczęcia dopływu do oczyszczalni mieszaniny ścieków miejskich pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych

osad z komór regeneracji doprowadzany jest do komór mieszania. Doprowadzenie osadu następuje przez przewód łączący komorę regeneracji z czerpnią pompowni recyrkulatu, skąd pompami recyrkulacyjnymi podawany jest do komór mieszania.

Po przejściu przez urządzenia do mechanicznego oczyszczania ścieki mieszane dopływają częściowo do komór aeracji A i częściowo do komór mieszania. W komorach aeracji A następuje oczyszczanie ścieków i ich odpływ, jak przy dopływie ścieków pogody bezdeszczowej.

W komorach mieszania odbywa się wymieszanie ścieków z osadem doprowadzanym z komór regeneracji. Mieszanina ścieków i osadu spływa do komór osadu czynnego B, gdzie następuje ich napowietrzanie i oczyszczanie. Oczyszczone ścieki, poprzez osadniki wtórne odprowadzane są do odbiornika.

Osad z osadników wtórnych B w czasie pracy komór aeracji B recyrkulowany jest do komór mieszania z pominięciem komór regeneracji osadu. Osad nadmierny z osadników wtórnych A i B oraz osad z osadników wstępnych odprowadzany jest do urządzeń przeróbki osadów.

Po zakończeniu dopływu ścieków opadowych komora aeracji B jest opróżniana, a osad z osadników wstępnych B doprowadzany jest do komór regeneracji osadu.

Ilość ścieków opadowych jaka może być okresowo doprowadzona do urządzeń biologicznego oczyszczania przy zachowaniu stałego efektu oczyszczania uzależniona będzie od ilości magazynowanego osadu oraz jego wieku.

Wiek osadu czynnego określa przeciętny czas przebywania cząsteczki osadu czynnego w komorze aeracji i można go wyznaczyć ze stosunku masy osadu zawartego w komorach aeracji do masy codziennie usuwanego osadu nadmiernego. Można to przedstawić wzorem:

$$\tau = \frac{G_n}{\Delta G} \quad (8-1)$$

gdzie:

τ - wiek osadu czynnego w dobach,

G_n - masa osadu czynnego w komorach aeracji w kg ,

ΔG - masa osadu nadmiernego w kg/d.

Masę osadu czynnego w komorach aeracji można wyrazić wzorem:

$$G_n = Z_r V_r + Z_A V_A$$

lub

(8-2)

$$G_n = Z_A V_A + Z_B V_B$$

gdzie:

Z_r - koncentracja osadu czynnego w komorze regeneracji w kg/m^3 ,

V_r - objętość komory regeneracji osadu w m^3 ,

Z_A - koncentracja osadu czynnego w komorze aeracji A w kg/m^3 ,

V_A - objętość komory aeracji A w m^3 ,

Z_B - koncentracja osadu czynnego w komorze aeracji B w kg/m^3 ,

V_B - objętość komory aeracji B w m^3 .

Ilość osadu nadmiernego równa jest według K. Imhoffa [41] około 1 g/g BZT₅ usuniętego. Przyjmując redukcję zanieczysz-

czeń w procesie oczyszczania około 90%, ilość osadu nadmiernego w czasie dopływu ścieków pogody bezdeszczowej można określić:

$$\Delta G = 0,9 L_{sb} \quad (8-3)$$

gdzie:

L_{sb} - ładunek zanieczyszczeń (wyrażony przez BZT_5) w ściekach miejskich pogody bezdeszczowej dopływających do części biologicznej oczyszczalni w kg/d.

Podstawiając zależność (8-2) i (8-3) do wzoru (8-1) otrzymamy:

$$\tau = \frac{Z_r V_r + Z_A V_A}{0,9 L_{sb}} \quad (8-4)$$

Niezbędna ilość osadu w komorach aeracji jest określona przez ładunek zanieczyszczeń w ściekach mieszanych dopływających do części biologicznej oczyszczalni i przyjętą wielkość obciążenia osadu w komorach napowietrzania:

$$A'_d = \frac{L_{mb}}{Z_r V_r + Z_A V_A}$$

lub

(8-5)

$$Z_r V_r + Z_A V_A = \frac{L_{mb}}{A'_d}$$

gdzie:

A'_d - obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń w czasie dopływu ścieków opadowych - w kg O_2 /kg d ,

L_{mb} - ładunek zanieczyszczeń w ściekach mieszanych dopływających do części biologicznej oczyszczalni w kg O_2 /d .

Ładunek zanieczyszczeń w ściekach mieszanych można określić z sumy ładunku zanieczyszczeń w ściekach pogody bezdeszczowej L_{sb} i w ściekach opadowych L_{db} dopływających do części biologicznej oczyszczalni:

$$L_{mb} = L_{sb} + L_{db} \quad (8-6)$$

Po podstawieniu zależności (8-5) i (8-6) wzór (8-4) przybierze postać:

$$\tau = \frac{L_{sb} + L_{db}}{0,9 L_{sb} \cdot A'_d} \quad (8-7)$$

Obciążenie osadu czynnego w komorach napowietrzania przy pełnym biologicznym oczyszczaniu i efekcie oczyszczania 90% według Von der Emde [42] powinno wynosić 0,5 kg BZT₅/kg·d. Wyznaczony ze wzoru (8-7) wiek osadu będzie wynosił:

$$\tau = \frac{L_{db}}{0,45 L_{sb}} + \frac{1}{0,45} \quad (8-8)$$

Przyjmując średnie stężenie zanieczyszczeń wyrażone BZT₅ w ściekach opadowych można orientacyjnie obliczyć wiek osadu w komorze regeneracji dla różnych wielkości dopływu ścieków opadowych:

W tablicy 8-1 podano wiek osadu dla średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych równego $j_{db} = 0,5 j_{sb}$ i $j_{db} = 0,3 j_{sb}$, gdzie:

j_{db} - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych dopływających do części biologicznej miejskiej oczyszczalni, wyrażone BZT₅,

j_{sb} - stężenie zanieczyszczeń w ściekach pogody bezdeszczowej dopływających do części biologicznej miejskiej oczyszczalni, wyrażone BZT₅.

Wiek osadu czynnego przy przyjętej konwencjonalnej metodzie oczyszczania ścieków za pomocą osadu czynnego powinien wynosić 3-4 dni [42]. W świetle powyższego wiek osadu będzie granicą ilości doprowadzanych do oczyszczalni miejskiej ścieków. Dlatego też dopływ ścieków opadowych do oczyszczalni możliwy jest do około 200 - 300% ścieków miejskich pogody bezdeszczowej. Dalsze zwiększenie dopływu ścieków opadowych spowoduje konieczność wydłużenia wieku osadu, co z kolei spowoduje mineralizację tego osadu, a więc obniżenie jego przyrostu i aktywności. Kierując się tą przesłanką założono, że oczyszczalnia ścieków może przyjąć w czasie deszczu około 300% ścieków opadowych w stosunku do pogody bezdeszczowej przy utrzymaniu nieobniżonego stopnia oczyszczania. Doprowadzenie większej ilości ścieków do oczyszczalni przekraczających 300%, a dochodzących do 1000% jak to praktykuje się w niektórych krajach, musi przy tym założeniu spowodować obniżenie efektu oczyszczania ścieków biologicznie oczyszczanych.

Przyjęcie wieku osadu jako kryterium ograniczającego dopływ ładunku zanieczyszczeń do oczyszczalni może być dyskusyjne, gdyż dotychczas nie zostały dostatecznie wyjaśnione związki zachodzące pomiędzy tymi parametrami, a aktywnością osadu i efektem oczyszczania. Inne też można by uzyskać wartości dopuszczalnego dopływu ładunku zanieczyszczeń do oczyszczalni przy założeniu niższego obciążenia osadu czynnego. Niższe obciążenie osadu, np. rzędu $0,25 \text{ kg BZT}_5 / \text{kg} \cdot \text{d}$ prowadzi do procesów oczyszczania z nitryfikacją w czasie bezdeszczowej pogody, co jednak nie wydaje się możliwe do utrzymania w czasie krótkotrwałych obciążeń osadu ładunkami zanieczyszczeń zawar-

tymi w ściekach deszczowych. Można natomiast sądzić, że w takim wypadku przede wszystkim odgrywają rolę zjawiska sorbcyjne. W związku z tym przyjęto to obciążenie osadu $0,5 \text{ kg BZT}_5/\text{kg d.}$

Przy wyborze sposobu unieszkodliwiania osadów ze ścieków mieszanych zatrzymywanych w osadnikach wstępnych i wtórnych można założyć, że będą one pozbawione substancji mineralnych, które zatrzymane będą w piaskownikach. Do unieszkodliwiania tych osadów można zatem stosować takie same metody jak do unieszkodliwiania osadów ze ścieków pogody bezdeszczowej.

W dalszych rozważaniach, w celu określenia wpływu obciążania miejskiej oczyszczalni ściekami opadowymi na wielkość urządzeń, wielkość nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacji, przyjęto unieszkodliwianie osadów ściekowych przy pomocy fermentacji w wydzielonych komorach, skąd odprowadzane będą do suszenia na poletkach osadowych.

8.2. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni na wielkość urządzeń.

8.2.1. Założenia.

Wpływ obciążenia ściekami opadowymi na wielkość urządzeń miejskiej oczyszczalni ścieków przeanalizowano dla przyjętego układu technologicznego mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków miejskich, przy założeniu niezmiennego efektu jej oczyszczania.

Wielkość urządzeń określono dla dwóch przypadków dopływu ścieków opadowych:

- ścieki opadowe dopływają ze zbiornika retencyjnego, którego opróżnianie odbywa się niezależnie od dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej,
- ścieki opadowe dopływają ze zbiornika retencyjnego w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej.

Do analizy porównawczej przykładowo przyjęto jednostkę osadniczą o powierzchni zlewni 2000 ha i gęstości zaludnienia 300 M/ha. Wskaźnik ilości ścieków miejskich w czasie pogody bezdeszczowej przyjęto dla okresu perspektywicznego według danych do programowania w planach jednostek osadniczych [43] :

- średnia dobowa ilość ścieków $Q_d \text{ śr} = 400 \text{ dm}^3/\text{M}\cdot\text{d}$
- maksymalna dobowa ilość ścieków $Q_d \text{ max} = 450 \text{ dm}^3/\text{M}\cdot\text{d}$
- maksymalna godzinowa ilość ścieków $Q_h \text{ max} = 8 \text{ dm}^3/1000 \text{ M}\cdot\text{s}$

Do obliczenia ilości ścieków dla okresu kierunkowego, zgodnie z projektem W.T.P.P Zapotrzebowania Wody i Ilości Ścieków [44] zastosowano współczynnik $n = 1,2$. Ilość wód infiltracyjnych ustalono przyjmując wskaźnik - $0,12 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$. Jednostkowe stężenia zanieczyszczeń w ściekach miejskich pogody bezdeszczowej przyjęto na podstawie charakterystyki ścieków dopływających z miejskich jednostek osadniczych [21], [42]:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| j_s wyrażone BZT_5 | - 300 g/m^3 |
| j_s wyrażone zawartością zawiesin | - 350 g/m^3 |

Ścieki opadowe dopływają do miejskiej oczyszczalni ścieków ze zbiornika retencyjnego, którego zadaniem jest uśrednienie ilości i jakości spływających z kanalizacji deszczowej ścieków opadowych. Ilość zgromadzonych w zbiorniku ścieków zależ-

na będzie od powierzchni zlewni, współczynnika spływu i wysokości opadu. W przypadku dopływu ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni ze zbiornika retencyjnego, niezależnie od dopływu ścieków pogody bezdeszczowej, ich ilość określono w % średniego godzinowego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej. W przypadku dopływu ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków pogody bezdeszczowej ilość dopływających ścieków opadowych będzie zależała od godzinowego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej, wyrównując różnicę pomiędzy obliczeniowym dla urządzeń dopływem ścieków miejskich określonym przez średni przepływ z godzin dziennych Q_h a Q_{sr} , a godzinowym rzeczywistym dopływem tych ścieków. Tak ustaloną ilość ścieków opadowych, dopływających do oczyszczalni w ciągu doby można określić na podstawie nierównomierności dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej. Na rysunku 8-3 przedstawiono przykładowo obliczania ilości ścieków opadowych dopływających w ciągu doby do oczyszczalni dla godzinowego dopływu ścieków miejskich przy współczynniku nierównomierności godzinowej $N_h = 1,9$ i $N_h = 1,2$. Ilość ścieków opadowych, którą może przejąć miejska oczyszczalnia w ciągu doby w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich ^{dla}, różnych wartości współczynnika nierównomierności dopływu przedstawiono na rysunku 8-4 i wynosi ona od 15 do 50% średniego dobowego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej (godzinowy rozkład dopływu ścieków przyjęto według Fiodorowa [45]).

Ze względu na obliczenie wielkości urządzeń do przeróbki osadów przyjęto jako miarodajną do obliczeń ilości ścieków

opadowych oczyszczanych w miejskiej oczyszczalni w ciągu miesiąca, średnią wysokość opadów w ciągu miesięcy letnich - 100 mm, a w ciągu roku - 600 mm.

Średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych przyjęto na podstawie danych z różnych badań przedstawionych w poprzednim rozdziale ~~i przyjęto~~ w dwóch wariantach:

- I wariant - j_d wyrażone BZT_5 - 90 g/m^3
 j_d wyrażone zawartością zawiesin -
- bez zawiesin mineralnych zatrzymywanych w piaskowniku - 350 g/m^3
- z zawiesinami mineralnymi zatrzymywanymi w piaskowniku - 575 g/m^3
- II wariant - j_s wyrażone BZT_5 - 150 g/m^3
 j_d wyrażone zawartością zawiesin -
- bez zawiesin mineralnych zatrzymywanych w piaskowniku - 700 g/m^3
- z zawiesinami mineralnymi zatrzymywanymi w piaskowniku - 1150 g/m^3

Wielkości charakterystycznych przepływów i ładunków zanieczyszczeń dla przykładowej oczyszczalni przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych przedstawiono w tablicy 8-2.

8.2.2. Wielkość urządzeń miejskiej oczyszczalni ścieków w zależności od obciążenia ściekami opadowymi.

Kubaturę urządzeń miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych obliczono dla przykładowo ustalonych parametrów (tablica 8-2) według zasad przedstawionych w załączniku nr 3. Wyniki zestawiono w tablicy 8-3.

Wielkość urządzeń do mechanicznego oczyszczania ścieków wzrasta proporcjonalnie do przyjętego przepływu. Część biologiczna oczyszczalni dla przyjęcia ścieków opadowych wymaga szeregu dodatkowych ^{obiektów} ~~ścieków~~, jak: komory regeneracji osadu, komory mieszania, komory napowietrzania pracujące w czasie dopływu ścieków opadowych.

Wielkość tych urządzeń rośnie wraz ze wzrostem ilości ładunku zanieczyszczeń wyrażonego BZT_5 w dopływającej mieszance ścieków pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych.

Kubatura wydzielonych komór fermentacji i powierzchnia poletek do suszenia osadu wzrasta przy dopływie ścieków opadowych do oczyszczalni, niezależnie od dobowej wartości tego dopływu, ale w zależności od ilości wytrącanych osadów w ciągu miesiąca lub roku. Powyższa prawidłowość wynika z przyjętych zasad wymiarowania wielkości urządzeń do przeróbki osadu dla okresu miesięcznego (W.K.F.) i roku (poletka) oraz okresowości występowania dopływu ścieków opadowych.

Zakładając, że ścieki opadowe będą dopływały do miejskiej oczyszczalni w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków pogody bezdeszczowej, wielkość urządzeń do oczyszczania mechanicznego i biologicznego ścieków nie ulegnie zmianie w stosunku do okresu pogody bezdeszczowej. Powiększenia wymagają obiekty gospodarki osadowej. Komory fermentacji wymiarowane powinny być na sumaryczną ilość osadów wytrącanych w ciągu miesiąca ze ścieków miejskich i opadowych, a poletka do suszenia na sumaryczną ilość osadów z komór fermentacji w ciągu roku.

Obliczona powierzchnia poletek do suszenia osadów powodowałaby konieczność zajęcia stosunkowo dużych obszarów terenu.

W związku z powyższym wydaje się celowe zastosowanie innego sposobu odwadniania, jak np. lagunowanie, odwadnianie mechaniczne, spalanie, suszenie. Brak jest jeszcze pełnych danych odnośnie nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji mechanicznej przeróbki osadów; dlatego w dalszych rozważaniach przyjęto odwadnianie osadów na poletkach z założeniem, że każda inna metoda będzie się mieściła w przyjętych kosztach.

8.3. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni na koszty jej budowy.

Koszty budowy poszczególnych elementów miejskiej oczyszczalni przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych ustalono dla przyjętego układu technologicznego w oparciu o jednostkowe nakłady inwestycyjne [46] .

Wielkość nakładów określono w zależności od kubatury urządzeń obliczonej w poprzednim rozdziale dla różnych wartości godzinowego dopływu ścieków opadowych.

Obliczone nakłady inwestycyjne na urządzenia technologiczne miejskiej oczyszczalni ścieków, przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych oraz ich wzrost w stosunku do nakładów miejskiej oczyszczalni nie przyjmującej ścieków opadowych, zestawiono w tablicach 8-4 i 8-5. oraz przedstawiono na rysunku 8-5.

Analiza kosztów urządzeń miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych uwidacznia wzrost nakładów inwestycyjnych wraz ze wzrostem dopływu ścieków opadowych i ładunku zanieczyszczeń. Przy dopływie ścieków opadowych w ilości 100% ścieków pogody bezdeszczowej, nakłady

wzrosną o 45 - 47% (zależnie od stężenia zanieczyszczeń) w stosunku do nakładów na oczyszczalnię nie przyjmującą ścieków opadowych. Dalsze zwiększenie dopływu ścieków do 300% powoduje wzrost nakładów o 112,6 - 115,8%.

Doprowadzenie ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków pogody bezdeszczowej wymaga wzrostu nakładów inwestycyjnych o 4,4 - 5,9%. Prawie dwukrotny wzrost stężenia zanieczyszczeń w dopływających ściekach opadowych powoduje niewielkie zwiększenie nakładów inwestycyjnych na urządzenia miejskiej oczyszczalni ścieków - rzędu 1 - 4%.

8.4. Wpływ obciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni ścieków na koszty jej eksploatacji.

Koszty eksploatacji miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych obliczono według zasad podanych w załączniku nr 4.

W tablicy 8-9 i na rys. 8-5 przedstawiono roczne koszty eksploatacji miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych. Elementy składowe kosztów eksploatacji, takie jak: koszty energii elektrycznej ^{x/}, koszty amortyzacji wra-
stają proporcjonalnie do przyjętej dobowej ilości dopływających ścieków opadowych i ładunku zanieczyszczeń. Pozostałe elementy kosztów eksploatacji zależą od rocznej ilości ścieków oraz ładunku zanieczyszczeń i są stałe dla różnych wartości miarodajnego przepływu ścieków opadowych przyjętego dla obliczenia wielkości urządzeń oczyszczalni.

^{x/} Koszty energii elektrycznej zestawiono w tablicach 8-6, 8-7 i 8-8.

Całkowite koszty eksploatacji oczyszczalni ścieków dostosowanej do przyjęcia ścieków opadowych wzrastają o 7,6% do 87,3% (zależnie od wielkości przepływu i stężenia zanieczyszczeń) w stosunku do kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków nie przyjmującej ścieków opadowych. Wzrost stężenia zanieczyszczeń ścieków opadowych powoduje wzrost kosztów eksploatacji rzędu 1,0 - 5%. Doprowadzenie ścieków opadowych do oczyszczalni w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej wymaga wzrostu kosztów eksploatacji o 4 do 5,6%. Przy uwzględnieniu wartości produktów ubocznych koszty eksploatacji miejskiej oczyszczalni ścieków wzrastają o 9,1 - 111,7%.

8.5. P o d s u m o w a n i e .

Doprowadzenie uśrednionych ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni przy utrzymaniu stałego efektu jej oczyszczania bez zmiany jej układu technologicznego jest możliwe poprzez odpowiednie sterowanie dopływem ścieków opadowych do oczyszczalni - głównie w okresie niskich dopływów ścieków w czasie bezdeszczowej pogody. Tą drogą można - w zależności od wielkości i charakteru jednostek osadniczych - poddać oczyszczaniu w ciągu doby do 60% dobowej ilości ścieków pogody bezdeszczowej. Będzie to wymagało powiększenia obiektów do przeróbki osadów. Związany z tym wzrost niezbędnych nakładów inwestycyjnych wyniesie około 4,4 - 5,9%, a kosztów eksploatacji - 4,0 - 5,6%.

Poddanie oczyszczeniu większej ilości ścieków opadowych w urządzeniach do mechanicznego oczyszczania ścieków nie wpły-

nie w istotny sposób na ich układ technologiczny. Wpływie natomiast na ich wielkość. Istotnych zmian wymaga natomiast układ biologicznego oczyszczania ścieków.

Zaproponowany schemat technologiczny miejskiej oczyszczalni ścieków posiada dodatkowe obiekty do oczyszczania zwiększonej ilości ścieków, będące w stałej gotowości do pracy; są to: komory regeneracji osadu, spełniające również rolę zbiorników magazynujących osad, komory mieszania, dodatkowe komory napowietrzania i osadniki wtórne.

Ilość ścieków opadowych jaka może być doprowadzona do oczyszczalni o powyższym układzie została określona w oparciu o taki parametr osadu czynnego jak jego wiek. Przyjęcie w niniejszej pracy wieku osadu jako kryterium ograniczającego dopływ ładunku zanieczyszczeń do oczyszczalni może być dyskusyjne, gdyż dotychczas nie zostały dostatecznie wyjaśnione zależności pomiędzy tym parametrem a aktywnością osadu i efektem oczyszczania, co wymaga dalszych badań i studiów.

Wielkość urządzeń do oczyszczania ścieków zależy od przewidywanej intensywności dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni, a więc od czasu opróżniania zbiornika retencyjnego (lub systemu zbiorników). Związany z tym wzrost nakładów inwestycyjnych na budowę miejskiej oczyszczalni wynosi 9,6 do 115,8%, w zależności od przewidywanej intensywności doprowadzenia ścieków deszczowych do oczyszczalni (w zakresie od 10% do 300% przepływu pogody bezdeszczowej).

Doprowadzenie do oczyszczalni zretencjonowanych ścieków opadowych powoduje wzrost kosztów eksploatacji o około 7,6 - 87,3%. Wykorzystanie sterowania dopływu ścieków opadowych,

dostosowanego do nierównomierności dopływu ścieków pogody bezdeszczowej przy wykorzystaniu zbiornika retencyjnego, stwarza możliwości obniżenia tego wzrostu do około 4,4 - 5,9%.

9. Analiza wpływu przeciążenia miejskiej oczyszczalni doprowadzeniem ścieków opadowych na efekt jej działania.

9.1. Wpływ przeciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni nieprzystosowanej do ich przyjęcia na efekt oczyszczania ścieków.

Praktycznie każda oczyszczalnia ścieków może pracować przy zwiększeniu dopływu. Pociąga to jednak za sobą określony skutek - zmniejszenie efektu oczyszczania.

Rozpatrując możliwość doprowadzenia ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni starano się ustalić do jakich granic z punktu widzenia technologicznego możliwe jest okresowe przeciążenie urządzeń. Analizie poddano poszczególne obiekty miejskiej oczyszczalni ścieków pracującej w oparciu o konwencjonalny schemat oczyszczania z osadem czynnym.

Urządzenia do mechanicznego oczyszczania ścieków mogą okresowo pracować z przeciążeniem. Większy od obliczeniowego przepływ przez kraty spowoduje podniesienie się zwierciadła ścieków w komorze krat, a po przekroczeniu poziomu przelewu awaryjnego nieoczyszczona część ścieków popłynie do piaskownika kanałem obiegowym.

Piaskowniki, z uwagi na współpracujące z nimi urządzenie do utrzymania stałej prędkości, przy okresowym przeciążeniu zwiększonym przepływem ścieków będą spełniały swe zadanie ze zmniejszonym efektem zatrzymania ziaren piasku. Niezatrzymane w piaskowniku części mineralne będą osadzały się razem z substancjami organicznymi w osadniku wstępnym i utrudniały przeróbkę osadów. Ilość przepływających przez piaskownik

ścieków jest jednak ograniczona jego głębokością. Przy znacznym ich przepływie może nastąpić przelanie ścieków i wypływ na teren oczyszczalni. W tej sytuacji, dla przyjęcia fali ścieków przez piaskowniki proponuje się wykonać dodatkowe urządzenia przejmujące nadmiar ścieków. W czasie dopływu ścieków opadowych mogą być wykorzystane także piaskowniki rezerwowe.

Zwiększony przepływ ścieków przez osadnik wstępny skróci czas ich zatrzymania w urządzeniu, co spowoduje zmniejszenie efektu oczyszczania. Jednocześnie następują ^{opad} zaburzenia hydrauliczne w dopływie i odpływie ścieków, co także wpłynie niekorzystnie na proces sedymentacji zawiesin w osadniku.

Komory napowietrzania mogą pracować także z krótszym czasem zatrzymania ścieków, co jak i w przypadku osadnika wstępnego związane jest ze zmniejszeniem efektu oczyszczania.

Efekt oczyszczania ścieków w osadnikach wtórnych zwykle przyjmuje się taki, aby zawartość zawiesin w ściekach odpływających z osadnika wtórnego nie przekraczała wartości dopuszczalnej, która ze względu na wymagania wynikające z warunków ochrony odbiornika wynosi $0,03 \text{ kg/m}^3$. Dopływ do osadnika wtórnego zwiększonej ilości ścieków wynikającej z dopływu ścieków opadowych spowoduje zwiększenie zawartości zawiesin w odpływie, których graniczną wartość proponuje się przyjąć $0,06 \text{ kg/m}^3$. Przyjęta powyżej wartość wydaje się być największą dopuszczalną dla ścieków pogody deszczowej, gdyż dla ścieków pogody bezdeszczowej stosowana jest ona przy częściowym biologicznym ich oczyszczaniu.

Główne czynniki jakie decydują o efekcie działania osadników wtórnych to:

- obciążenie hydrauliczne osadnika,
- koncentracja zawiesin osadu czynnego w ściekach doprowadzanych do osadnika,
- własności sedymentacyjne osadu czynnego wyrażone na przykład indeksem osadowym.

Doprowadzenie większej ilości ścieków do osadnika wtórnego spowoduje zwiększenie obciążenia hydraulicznego, co w efekcie wpłynie na wzrost prędkości przepływu ścieków przez osadnik. Hydrodynamiczne oddziaływanie strumienia przepływających ścieków może spowodować wynoszenie z osadnika zawiesin osadu czynnego pogarszając w ten sposób znacznie jego sprawność.

Z uwagi na zależność koncentracji zawiesin osadu czynnego w zwiększonej ilości ścieków dopływających do osadnika od stopnia recyrkulacji można wyróżnić tu dwa przypadki:

- 1) stopień recyrkulacji w czasie dopływu zwiększonej ilości ścieków spowodowanego dopływem ścieków opadowych, określany jako stosunek ilości osadu recyrkulowanego do przepływu ścieków pogody bezdeszczowej, nie ulega zmianie pomimo zwiększenia dopływu,
- 2) istnieje możliwość dostosowania stopnia recyrkulacji do zwiększonej ilości ścieków.

W pierwszym przypadku koncentracja zawiesin w ściekach dopływających do osadnika wtórnego ulegnie zmniejszeniu, a obciążenie osadnika masą zawiesin, definiowane jako iloczyn obciążenia hydraulicznego dopływającymi ściekami i koncentracji zawiesin w dopływających ściekach, nie ulegnie zmianie. W drugim przypadku koncentracja zawiesin w dopływających ściekach będzie

zależała od możliwości zwiększenia stopnia recyrkulacji w stosunku do recyrkulacji przyjętej dla dopływu ścieków pogody bezdeszczowej. Zwiększenie stopnia recyrkulacji z jednej strony pozwoli utrzymać koncentrację osadu czynnego w komorach napowietrzania na poziomie koncentracji w czasie oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej, z drugiej jednak strony spowoduje zwiększenie obciążenia osadnika wtórnego masą zawieszin. Zwiększenie to według badań Pflanza [42] spowodować może nawet ponad dwukrotny wzrost stężenia zanieczyszczeń w odpływających ściekach wyrażonego zawartością zawieszin.

Doprowadzenie do oczyszczalni zwiększonej ilości ścieków spowodowanej dopływem ścieków opadowych może wpłynąć na zwiększenie indeksu osadowego osadu, a zatem na pogorszenie jego własności sedymentacyjnych, co przy zwiększonym obciążeniu hydraulicznym osadnika wpłynie niekorzystnie na jakość odprowadzanych do odbiornika ścieków.

Reasumując, można wyciągnąć ogólny wniosek, że oprócz przepustowości kanałów, urządzeniem limitującym ilość doprowadzanych ścieków do oczyszczalni są osadniki wtórne. Dopływ ścieków opadowych i ścieków pogody bezdeszczowej do obliczonych na parametry ścieków pogody bezdeszczowej osadników wtórnych wydaje się możliwy przy założeniu, że nie spowoduje on większego niż dwukrotne pogorszenia jakości odpływu. Ponieważ dopływ ścieków opadowych wpłynie na zwiększenie obciążenia hydraulicznego osadnika wtórnego oraz może spowodować zwiększenie jego obciążenia masą zawieszin i pogorszenie własności sedymentacyjnych osadu, przyjęcie założenia, że przy

dwukrotnym zwiększeniu przepływu uzyskuje się dwukrotnie mniejszy efekt działania nie będzie prawdopodobnie obciążone dużym błędem, pomimo braku jeszcze dokładnie ustalonych zależności pomiędzy efektem zatrzymania zawieszin, a obciążeniem osadnika. Dlatego w dalszych rozważaniach przyjęto możliwość zwiększenia obciążenia miejskiej oczyszczalni ściekami opadowymi do wartości 100% ścieków pogody bezdeszczowej i obliczono efekt oczyszczania takiej oczyszczalni.

Zwiększenie obciążenia komór aeracji ściekami opadowymi spowoduje krótszy od obliczeniowego czas kontaktu ścieków z osadem czynnym. Ponieważ stężenie ścieków odprowadzanych z komór napowietrzania BZT_5 uzależnione jest od czasu kontaktu ścieków z osadem czynnym, przy skróceniu czasu przebywania ścieków w komorach nastąpi obniżenie efektu oczyszczania. Drugim podstawowym wskaźnikiem, który ulegnie zmniejszeniu w czasie dopływu ścieków opadowych, będzie koncentracja zawieszin w komorze. Zwiększeniu natomiast ulegnie obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń oraz obciążenie hydrauliczne komór.

Zależność pomiędzy efektem oczyszczania a wyżej wymienionymi parametrami podaje wzór Eckenfeldera [42] :

$$\eta = \frac{K Z T}{1 + K Z T} \quad (9-1)$$

gdzie:

- η - efekt oczyszczania ścieków w komorach aeracji,
- K - stała szybkości procesu oczyszczania ścieków
w $m^3/kg \cdot h$,
- Z - koncentracja osadu czynnego w komorze aeracji
w kg/m^3 ,

T - czas aeracji ścieków w h .

Czas napowietrzania ścieków w komorach aeracji można wyznaczyć z zależności:

$$T = \frac{V}{Q} \quad (9-2)$$

gdzie:

V - objętość użyteczna komór aeracji w m^3 ,

Q - natężenie przepływu ścieków poddawanych oczyszczaniu w m^3/h .

Koncentracja osadu czynnego w komorach aeracji zależna będzie od stopnia recyrkulacji i koncentracji osadu czynnego pobieranego do recyrkulacji, co można przedstawić wzorem:

$$Z = \frac{Q_r \cdot Z_r}{Q + Q_r} \quad (9-3)$$

gdzie:

Q_r - natężenie przepływu osadu recyrkulowanego w m^3/h ,

Z_r - koncentracja zawiesin w osadzie recyrkulowanym w kg/m^3 ,

Z i Q - jak we wzorach (9-1) i (9-2)

lub przy założonym stopniu recyrkulacji:

$$n = \frac{Q_r}{Q}$$
$$Z = \frac{n Z_r}{1 + n} \quad (9-4)$$

gdzie:

n - stopień recyrkulacji ,

pozostałe oznaczenia jak we wzorze (9-3).

Koncentrację zawiesin w osadzie recyrkulowanym można wyznaczyć wykorzystując empiryczną zależność podaną przez Merke-la [42] pomiędzy koncentracją osadu zagęszczanego w komo-rze osadowej osadnika wtórnego a czasem zagęszczania:

$$Z_r = \frac{1010}{I} T_{os}^{0,31} \quad (9-5)$$

gdzie:

I - indeks osadowy w ml/g ,

T_{os} - czas zagęszczania osadu w h .

Przy przyjęciu czasu zagęszczania osadu recyrkulowanego w osadnikach równego czasowi przepływu przez dolną część osad-nika $T_{os} = 0,5$ h oraz podstawiając powyższą zależność do wzoru (9-4) otrzymamy:

$$Z = \frac{814 n}{(1 + n) I} \quad (9-6)$$

Po uwzględnieniu zależności (9-2) i (9-6) we wzorze (9-1) otrzymamy wzór określający efekt oczyszczania ścieków w komo-rach aeracji.

$$\eta = \frac{814 n K V}{I Q (1+n) + 814 n K V} \quad (9-7)$$

Jeżeli przyjmiemy, że efekt oczyszczania w komorach aera-cji w czasie dopływu ścieków pogody bezdeszczowej, w ilości Q_s ma być równy $\eta = 0,9$, niezbędna objętość komór obliczo-na ze wzoru (9-7) powinna wynosić:

$$V = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{I Q_s (1+n)}{K n} \quad (9-8)$$

gdzie:

V - użyteczna objętość komór aeracji w m^3 ,

- I - indeks osadu czynnego doprowadzanego do osadnika w ml/g ,
- Q_s - natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej w m^3/h ,
- K - stała szybkości procesu oczyszczania w $m^3/kg \ h$
- n - stopień recyrkulacji.

W czasie przeciążenia komór aeracji miejskiej oczyszczalni ścieków spowodowanym dopływem ścieków opadowych, poszczególne parametry występujące we wzorze (9-7) mogą ulec zmianie. Ścieki opadowe mogą spowodować zmniejszenie wartości stałej szybkości procesu oczyszczania i pogorszenie indeksu osadowego osadu czynnego. Stopień recyrkulacji zależeć będzie od obliczeniowej wydajności pompowni recyrkulatu. W celu określenia efektu oczyszczania ścieków w miejskiej oczyszczalni przy jej przeciążeniu spowodowanym doprowadzeniem ścieków opadowych, rozpatrzono następujące przypadki:

1. Ścieki opadowe nie spowodują zahamowania szybkości procesu oczyszczania ścieków osadem czynnym $K_d^{1/} = K$;
2. ścieki opadowe spowodują spadek szybkości procesu oczyszczania ścieków osadem czynnym $K_d^{1/} = 0,8 K$; zmniejszenie stałej szybkości procesu poniżej przyjętej wartości $K_d = 0,8 K$ wskazywać będzie na zawartość substancji hamujących proces oczyszczania osadem czynnym i takie ścieki należałoby oczyszczać innymi metodami;

^{1/} Indeks "d" dotyczy parametrów w czasie oczyszczania mieszaniny ścieków pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych.

3. indeks osadu czynnego w czasie oczyszczania mieszaniny ścieków nie ulegnie zmianie $I_d = I$;
4. indeks osadu czynnego w czasie oczyszczania mieszaniny ścieków pogorszy się $I_d = 1,5 I$; wzrost indeksu osadowego powyżej przyjętej wartości $I_d = 1,5 I$ wpłynie na pogorszenie własności sedymentacyjnych osadu, a zatem także i na większe stężenie zawiesin w ściekach odpływających z osadnika wtórnego;
5. pompownia recyrkulatu nie jest przystosowana do zwiększenia przepływu w czasie dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni; stopień recyrkulacji określany jako stosunek przepływu osadu recyrkulowanego do przepływu ścieków pogody bezdeszczowej nie ulegnie zmianie $n_d = n$;
6. przepustowość pompowni recyrkulatu można zwiększyć dwukrotnie $n_d = 2 n$, gdyż najczęściej pompy dobierane są na 100% recyrkulacji.

Efekt pracy części biologicznej oczyszczalni wyrażony redukcją BZT₅ obliczono uwzględniając różne kombinacje wyżej wymienionych wypadków:

A.

$$\begin{aligned} K_d &= K \\ I_d &= I \\ n_d &= n \end{aligned}$$

Efekt oczyszczania ścieków w komorach aeracji przy zwiększonym ich dopływie można obliczyć ze wzoru (9-1), który po podstawieniu zależności (9-2) przybierze postać:

$$\eta' = \frac{K Z_d V}{(Q_s + Q_d) + K Z_d V} \quad (9-9)$$

gdzie:

- η' - efekt oczyszczania miejskiej oczyszczalni w czasie dopływu ścieków opadowych ,
- Z_d - koncentracja osadu czynnego w komorach aeracji w czasie dopływu ścieków opadowych w kg/m^3 ,
- Q_s - natężenie przepływu oczyszczanych ścieków pogody bezdeszczowej , m^3/h ,
- Q_d - natężenie przepływu ścieków opadowych w m^3/h ,
pozostałe oznaczenia jak we wzorze (9-1).

Określając ilość ścieków opadowych ze stosunku

$$x = \frac{Q_d}{Q_s}$$

oraz koncentrację osadu czynnego Z_d ze wzoru (9-3), uwzględniając dopływ ścieków opadowych

$$Z_d = \frac{Q_r Z_{rd}}{Q_s + Q_d + Q_r}$$

lub

$$Z_d = \frac{n Z_{rd}}{(1 + x + n)}$$

gdzie: Z_{rd} - koncentracja osadu w recyrkulacji w czasie dopływu ścieków opadowych do osadnika wtórnego, którą można przyjąć przy nie zwiększonym stopniu recyrkulacji w stosunku do pogody bezdeszczowej $n = n_d$ równą koncentracji osadu recyrkulowanego w czasie dopływu tylko ścieków pogody bezdeszczowej $Z_{rd} = Z_d$ -

otrzymamy zależność efektu oczyszczania w komorach aeracji w zależności od stopnia recyrkulacji oraz ilości dopływających ścieków opadowych:

$$\eta' = \frac{9 (1 + n)}{(1 + x + n) (1 + x) + 9 (1 + n)} \quad (9-10)$$

B. $K_d = 0,8 K$

$$I_d = I$$

$$n_d = n$$

Wyznaczony jak wyżej wzór na efekt oczyszczania będzie miał postać:

$$\eta' = \frac{7,2 (1 + n)}{(1 + x + n) (1 + x) + 7,2 (1 + n)} \quad (9-11)$$

C. $K_d = 0,8 K$

$$I_d = 1,5 I$$

$$n_d = n$$

Wzór na efekt oczyszczania przedstawiał się będzie następująco:

$$\eta' = \frac{4,8 (1 + n)}{(1 + x + n) (1 + x) + 4,8 (1 + n)} \quad (9-12)$$

Zwiększając w czasie dopływu ścieków opadowych dwukrotnie recyrkulację skracamy czas zagęszczania osadu w komorze osadowej osadnika wtórnego.

Koncentrację zawiesin w recyrkulowanym osadzie można wyznaczyć z wzoru:

$$Z_{rd} = \frac{1010}{I} \left(\frac{V_{os}}{Q_{rd}} \right)^{0,31} \quad (9-13)$$

gdzie:

Z_{rd} - koncentracja zawieszin w recyrkulowanym osadzie w czasie dopływu ścieków opadowych w kg/m^3 ,

V_{os} - objętość dolnej części osadnika przeznaczonej na zagęszczanie w m^3 ,

Q_{rd} - natężenie przepływu osadu recyrkulowanego w m^3/h

I - indeks osadu w ml/g -

podstawiając do wzoru (9-13) zależności:

$$V_{os} = n \cdot Q_s \cdot T_{os}$$

lub
$$V_{os} = 0,5 \cdot n \cdot Q_s$$

oraz
$$Q_{rd} = 2 n Q_s$$

otrzymamy:

$$Z_{rd} = \frac{656,5}{I} \quad (9-14)$$

Zmniejszenie koncentracji osadu recyrkulowanego wpłynie w znacznym stopniu na koncentrację osadu w komorach aeracji, co można przedstawić wzorami:

$$Z_d = \frac{Q_{rd} Z_{rd}}{Q_s + Q_d + Q_{rd}}$$

$$Z_d = \frac{2n Q_s Z_{rd}}{Q_s + Q_d + 2n Q_s}$$

lub

$$Z_d = \frac{2n Z_{rd}}{1 + x + 2n} \quad (9-15)$$

Po podstawieniu wzoru (9-14) powyższą zależność można przedstawić następująco:

$$Z_d = \frac{1313 n}{I (1 + x + 2n)} \quad (9-16)$$

Efekt oczyszczania przy zwiększonym dopływie ścieków i dwukrotnie zwiększonej recyrkulacji można wyznaczyć podstawiając do zależności (9-9) zależność (9-16), co można przedstawić następująco dla:

D.

$$\begin{aligned} K_d &= K \\ I_d &= I \\ n_d &= 2n \end{aligned}$$

$$\eta' = \frac{14,52 (1 + n)}{(1 + x) (1 + x + 2n) + 14,52 (1 + n)} \quad (9-17)$$

E.

$$\begin{aligned} K_d &= 0,8 K \\ I_d &= I \\ n_d &= 2n \end{aligned}$$

$$\eta' = \frac{11,62 (1 + n)}{(1 + x) (1 + x + 2n) + 11,62 (n + 1)} \quad (9-18)$$

F.

$$\begin{aligned} K_d &= 0,8 K \\ I_d &= 1,5 I \\ n_d &= 2n \end{aligned}$$

$$\eta' = \frac{7,74 (1 + n)}{(1 + x) (1 + x + 2n) + 7,74 (1 + n)} \quad (9-19)$$

Obliczenia efektu oczyszczania ścieków w komorach aeracji przy zwiększonym ich dopływie przeprowadzono dla wartości stopnia recyrkulacji w czasie dopływu ścieków pogody bezdeszczowej.

wej $n = 0,5$ i $n = 0,8$. Wartość dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni przyjęto w granicach 10 do 100% miarodajnego do obliczania urządzeń natężenia dopływu ścieków pogody bezdeszczowej. Wyniki przedstawiono na rysunkach 9-1 do 9-12.

Przeciążenie komór aeracji większą ilością ścieków i większym ładunkiem zanieczyszczeń może spowodować obniżenie efektu oczyszczania z 90% do 74% przy niezminionej recyrkulacji i dopływie ścieków opadowych równym ilości ścieków pogody bezdeszczowej (rys. 9-1 i 9-2). Wystąpienie w ściekach opadowych czynników wpływających niekorzystnie na przebieg procesu biologicznego oczyszczania osadem czynnym (obniżenie stałej szybkości reakcji) spowoduje dalsze zmniejszenie efektu oczyszczania do 70% (rys. 9-3 i 9-4), zaś przy jednoczesnym pogorszeniu indeksu osadowego - do 66% (rys. 9-5 i 9-6).

Możliwość dwukrotnego zwiększenia stopnia recyrkulacji w czasie dopływu ścieków opadowych w stosunku do stopnia recyrkulacji w czasie dopływu ścieków pogody bezdeszczowej przyczyni się do mniejszego spadku efektu oczyszczania, który będzie wynosił 79% (rys. 9-7 i 9-8) przy dopływie ścieków opadowych równym ilości ścieków pogody bezdeszczowej. Obniżenie stałej szybkości reakcji spowoduje obniżenie efektu oczyszczania do 74% (rys. 9-9 i 9-10), a przy jednoczesnym pogorszeniu indeksu osadowego - do 66% (rys. 9-11 i 9-12).

Doprowadzenie zwiększonej ilości ścieków do osadników wstępnych spowoduje skrócenie czasu zatrzymania i zmniejszenie efektu oczyszczania mechanicznego. Z uwagi na brak jednoznacznych danych ustalających zależność pomiędzy czasem se-

dymantacji a redukcją zanieczyszczeń w ściekach opadowych i mieszaniu tych ścieków ze ściekami pogody bezdeszczowej, do dalszych rozważań przyjęto zależności wyprowadzone dla ścieków miejskich pogody bezdeszczowej [21] . Przyjęte powyżej założenie może być obarczone pewnym błędem, wynikającym z korzystniejszych własności sedymentacyjnych ścieków opadowych, chociaż jednocześnie niektóre wyniki badań wskazują na wystąpienie sytuacji odwrotnych [34] , [47] .

Jak zaznaczono uprzednio, dla przyjęcia fali ścieków opadowych przez piaskownik proponuje się wykonać dodatkowe urządzenia przejmujące nadmiar ścieków. Jeżeli ścieki opadowe dopływają ze zbiornika retencyjnego spełniającego rolę osadnika można je kierować bezpośrednio do urządzeń biologicznego oczyszczania i zbędnym staje się dostosowanie piaskowników do zwiększonego przepływu.

Wpływ przeciążenia miejskiej oczyszczalni doprowadzeniem ścieków opadowych na efekt jej działania przedstawiono na rysunkach 9-1 do 9-12. Stopień redukcji zanieczyszczeń w oczyszczonych ściekach maleje wraz ze wzrostem dopływu ścieków opadowych. W zależności od podatności ścieków opadowych na procesy biologicznego rozkładu efekt oczyszczania miejskiej oczyszczalni przeciążonej dopływem^m ścieków opadowych może zmniejszyć się z 92,5% w czasie dopływu ścieków pogody bezdeszczowej do 77% przy dopływie ścieków opadowych w ilości 100% ścieków pogody bezdeszczowej i do 74% przy wystąpieniu czynników wpływających niekorzystnie na procesy biologicznego oczyszczania osadem czynnym.

9.2. Wpływ przeciążenia ściekami opadowymi oczyszczalni przystosowanej do ich przyjęcia na efekt oczyszczania ścieków.

Przystosowanie miejskiej oczyszczalni do przyjęcia ścieków opadowych przy utrzymaniu niezmiennego efektu jej oczyszczania umożliwia w wypadku braku zbiorników retencyjnych oczyszczenie ograniczonej ilości ścieków uwarunkowane przepustowością oczyszczalni.

W rozdziale 8.1. przedstawiono schemat technologiczny oczyszczalni z osadem czynnym, przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych, przy utrzymaniu niezmiennego efektu jej oczyszczania. Oczyszczalnia taka składa się z części A pracującej w czasie dopływu ścieków pogody bezdeszczowej oraz w czasie dopływu ścieków opadowych i z części B - uruchamianej w czasie dopływu ścieków opadowych. W zależności od zaprojektowanej przepustowości takiej oczyszczalni można w niej oczyszczać ścieki opadowe w ilości do 300% ścieków pogody bezdeszczowej. Oczyszczenie większej ilości ścieków jest możliwe, jeżeli przeciążymy oczyszczalnię co spowoduje zmniejszenie efektu jej działania.

Podobnie jak przy przeciążeniu ściekami opadowymi oczyszczalni nieprzystosowanej do ich przyjęcia, urządzeniem limitującym ilość doprowadzanych ścieków będą osadniki wtórne, których zwiększone dwukrotnie obciążenie może spowodować ponad dwukrotne zwiększenie zawartości osadu czynnego w odpływie. W związku z tym w oczyszczalni przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych w ilości 300% ścieków pogody bezdeszczowej można oczyścić ścieki opadowe w ilości 700% ścieków pogody

bezdeszczowej przy zmniejszonej redukcji zanieczyszczeń (ścieki opadowe w ilości 100% ścieków pogody bezdeszczowej mogą być oczyszczane w części A miejskiej oczyszczalni ścieków, a pozostałe 600% w części B).

Przeciążenie piaskowników ze względu na znaczne ilości zawiesiny mineralnej zawartej w ściekach opadowych wydaje się niekorzystne dla dalszego oczyszczania ścieków i dlatego proponuje się przystosowanie kubatury piaskowników do spodziewanej ilości ścieków pogody deszczowej.

Doprowadzenie zwiększonej ilości ścieków do osadników wstępnych spowoduje skrócenie czasu zatrzymania w nich ścieków i zmniejszenie efektu oczyszczania części mechanicznej oczyszczalni. Wielkość redukcji zanieczyszczeń można ustalić wykorzystując zależność efektu oczyszczania od czasu sedymentacji określoną dla ścieków miejskich pogody bezdeszczowej.

Efekt oczyszczania ścieków w przeciężonych urządzeniach do biologicznego oczyszczania można obliczyć wykorzystując zależności podane w rozdziale 9.1.

Wielkość redukcji zanieczyszczeń nieprzeciążonej i przeciążonej dopływem ścieków opadowych oczyszczalni przystosowanej do ich przyjęcia przedstawiono na rysunku 9-13. W przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych oczyszczalni można oczyścić ścieki opadowe w ilości do 300% ścieków pogody bezdeszczowej z efektem oczyszczania $\geq 90\%$, zależnie od przyjętych do obliczeń parametrów osadu czynnego (do porównań i obliczeń w niniejszej pracy przyjęto 92,5%), a przy wystąpieniu w ściekach opadowych czynników wpływających nieko-

rzystnie na przebieg procesu biologicznego oczyszczania z efektem około 83%. Przeciążenie takiej oczyszczalni umożliwi doprowadzenie do niej ścieków opadowych w ilości do 700% ścieków pogody bezdeszczowej i oczyszczenie ich z efektem 81% lub odpowiednio 65% przy wystąpieniu czynników wpływających niekorzystnie na przebieg procesu biologicznego oczyszczania.

9.3. Podsumowanie.

Przeciążenie miejskiej oczyszczalni ścieków doprowadzeniem ścieków opadowych możliwe jest w wypadku dostosowania kubatury piaskowników do zwiększonego przepływu lub w wypadku kiedy dopływające do oczyszczalni ścieki opadowe pozbawione są łatwo opadających zawiesin mineralnych.

Doprowadzenie zwiększonej ilości ścieków do pozostałych urządzeń oczyszczalni spowoduje zmniejszenie efektu jej działania. Stopień redukcji zanieczyszczeń w oczyszczalni będzie maleł wraz ze zwiększeniem dopływu ścieków opadowych. Wystąpienie w ściekach opadowych substancji hamujących procesy biologiczne (np. fenole, związki ołowiu) spowoduje dalsze obniżenie efektów oczyszczania, wyrażonych redukcją BZT_5 .

Ilość ścieków opadowych jaką można przeciążyć miejską oczyszczalnię ścieków jest uwarunkowana działaniem osadnika wtórnego. W wypadku osadników wtórnych, projektowanych przy założeniu konwencjonalnych obciążeń, dwukrotne zwiększenie dopływu ścieków do oczyszczalni spowoduje około dwukrotny wzrost stężenia zawiesin w ściekach odpływających z oczyszczalni; jednocześnie należy liczyć się z gorszymi własnościami sedymentacyjnymi osadu czynnego doprowadzanego do osadnika wtórnego. Dla-

tego dopływ ścieków opadowych w ilości 100% ścieków pogody bezdeszczowej przyjęto jako wartość graniczną, którą można przeciążyć miejską oczyszczalnię ścieków, bez specjalnego dostosowania jej do tego celu.

Przeciążenie oczyszczalni ścieków nieprzystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych umożliwia oczyszczenie ścieków opadowych w ilości 100% przepływu ścieków pogody bezdeszczowej, co wymaga wzrostu nakładów inwestycyjnych na miejską oczyszczalnię około 4% w stosunku do oczyszczalni nieprzyjmującej ścieków opadowych. Wzrost nakładów związany jest z koniecznością dostosowania do zwiększonej ilości ścieków wymiarów pompowni i piaskowników.

Przeciążenie oczyszczalni przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych w ilości 300% ścieków pogody bezdeszczowej przy niezmiennym efekcie oczyszczania stwarza możliwości oczyszczenia w niej ścieków opadowych w ilości do 700% ścieków pogody bezdeszczowej ze zmniejszonym efektem oczyszczania. Wymaga to wzrostu nakładów inwestycyjnych do około 130% w stosunku do nakładów poniesionych w związku z budową miejskiej oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej.

Redukcja zanieczyszczeń w sumie ścieków pogody deszczowej jest tym większa, im większa ilość ścieków opadowych może być oczyszczona w miejskiej oczyszczalni, nawet przy zmniejszonym efekcie jej oczyszczania w czasie dopływu ścieków opadowych (rys. 9-13).

10. Możliwości i skutki wydzielonego oczyszczania ścieków opadowych i zrzutów burzowych.

10.1. Założenia przyjęte do analizy.

W rozdziale 2 niniejszej pracy przedstawiono dane literaturowe omawiające dotychczasowe badania nad wydzielonym oczyszczaniem ścieków opadowych lub zrzutów burzowych [8] do [14]. Większość badań przeprowadzona była w skali półtechnicznej lub laboratoryjnej, a uzyskiwane wyniki wykazywały stosunkowo duże rozbieżności w osiąganym stopniu redukcji zanieczyszczeń. Wyniki badań oczyszczania ścieków opadowych lub zrzutów burzowych na sitach i mikrositach oraz poprzez filtrację lub flotację wskazują na skuteczność stosowania wyżej wymienionych metod, nie dostarczają jednak wszystkich niezbędnych danych potrzebnych do obliczenia urządzeń ani zasad właściwej eksploatacji.

W związku z tym założono, że przedmiotem analizy będzie oczyszczanie ścieków deszczowych oparte na zastosowaniu sedimentacji poprzedzonej cedzeniem na kratach lub sitach.

Przy wyborze schematu technologicznego oczyszczania ścieków opadowych lub zrzutów burzowych oparto się na danych dotyczących rodzaju i ilości zanieczyszczeń zawartych w tych ściekach. Duże stężenie zawiesin, a szczególnie zawiesin mineralnych, skłania do mechanicznego oczyszczania tego rodzaju ścieków. O zastosowaniu odpowiednich urządzeń do mechanicznego oczyszczania ścieków powinna decydować zarówno aktualna produkcja tych urządzeń jak i względy eksploatacyjne.

Przyjęty schemat technologiczny wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych (rys. 10-1) oparto na urządzeniach aktualnie dostępnych w kraju. W skład oczyszczalni wchodzi następujące urządzenia:

- kraty,
- piaskowniki napowietrzane,
- osadniki.

Kraty zatrzymywać będą większe zanieczyszczenia pływające i wleczone. Dla usunięcia ze ścieków opadowych zawiesin mineralnych przyjęto budowę piaskownika usytuowanego za kratą. Pozostałe zawiesiny będą zatrzymywane w osadnikach.

Duża zawartość zawiesiny mineralnej w ściekach opadowych i zrzutach burzowych oraz zmienny w czasie dopływ tych ścieków do urządzeń oczyszczających skłania do zastosowania piaskowników o znacznej sprawności oraz przystosowanych do zmiennego przepływu ścieków. Takimi piaskownikami, coraz szerzej stosowanymi na świecie są piaskowniki napowietrzane. Jak wykazują badania [48], [49] piaskowniki napowietrzane pozwalają na:

- utrzymanie tego samego efektu działania przy znacznych różnicach dopływu,
- zatrzymanie - w porównaniu ze zwykłymi poziomymi piaskownikami - znacznie większej ilości ziaren o średnicach poniżej 0,5 mm,
- zatrzymanie, w porównaniu ze zwykłymi poziomymi piaskownikami większej ilości zawiesin mineralnych,
- zastosowanie zbiornika flotacyjnego do usuwania substancji pływających.

Jednocześnie wstępne napowietrzanie znacznie poprawia efekt osadzania zawieszin w osadnikach wstępnych [49] .

Zastosowany piaskownik napowietrzany będzie również wykorzystany jako urządzenie do zatrzymywania części pływających (oleje, tłuszcze) poprzez dobudowę odpowiedniej komory zblokowanej z piaskownikiem. Proces flotacji następujący przy zmniejszeniu prędkości ścieków w urządzeniu będzie dodatkowo intensyfikowany przez powietrze wprowadzane do komór piaskownika.

Zatrzymanie pozostałych zawieszin odbywać się będzie w osadniku na zasadach takich jak w osadnikach wstępnych dla ścieków miejskich pogody bezdeszczowej. Efekt oczyszczania zależny będzie od przyjętego czasu zatrzymania.

Sposób usuwania osadów gromadzonych na dnie osadnika z uwagi na specyficzny charakter ścieków opadowych będzie się różnił od ogólnie przyjętych metod odprowadzania osadów z osadników dla ścieków miejskich. Stosunkowo duże wymiary osadników deszczowych stwarzają przesłanki do hydraulicznego usuwania osadów za pomocą urządzenia zwanego refulerem. Okresowo refulowane z dna osady w zależności od układu wysokościowego sieci kanalizacji miejskiej mogą być doń wprowadzane rurociągiem grawitacyjnym lub przewodem tłocznym. Doprowadzenie osadów razem ze ściekami pogody bezdeszczowej do miejskiej oczyszczalni będzie wymagało odpowiedniego dostosowania urządzeń do ich przeróbki. Przy braku możliwości odprowadzenia osadów do kanalizacji miejskiej należy rozpatrzyć inne sposoby unieszkodliwiania osadów jak na przykład odwadnianie na polach refulacyjnych.

W proponowanym układzie technologicznym istnieje możliwość pełnej automatyzacji i sterowania procesem. Sterowanie kraty może odbywać się w zależności od napełnienia w kanale doprowadzającym ścieki; dopływ powietrza do piaskownika następować może w zależności od natężenia przepływu. Odprowadzanie zanieczyszczeń, zgromadzonych w komorze flotacji do studzienki zbiorczej odbywać się może samoczynnie poprzez odpowiednią regulację wylotu.

Efekt oczyszczania ścieków opadowych lub zrzutów burzowych w wydzielonej oczyszczalni o zaproponowanym schemacie technologicznym będzie zależeł od ilości zawiesin mineralnych zatrzymywanych w piaskowniku i czasu zatrzymania ścieków w osadnikach. Redukcję zawiesin mineralnych w piaskownikach określono w oparciu o dane dotyczące ilości piasku zatrzymywanego w piaskownikach ze ścieków opadowych [12], [21]. Dla piaskowników ~~napowietrzonych ścieków~~ napowietrzanych tak obliczony efekt oczyszczania ścieków wyrażony redukcją zawiesiny powiększono o 10%. Ze względu na brak dostatecznych danych dotyczących redukcji zawiesin w ściekach opadowych w zależności od czasu sedimentacji, w celu ustalania efektów oczyszczania tych ścieków w osadnikach można przyjąć zależność efektu sedimentacji od czasu zatrzymania jak dla ścieków miejskich pogody bezdeszczowej (tablica 10-1) [42].

10.2. Nakłady inwestycyjne na urządzenia wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych przy przyjętym schemacie technologicznym.

Koszty budowy poszczególnych elementów wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych ustalono dla

przyjętego w poprzednim rozdziale układu technologicznego w oparciu o jednostkowe nakłady inwestycyjne [46] . Wielkość nakładów określono w zależności od kubatury urządzeń obliczonej dla różnych wartości maksymalnego dopływu ścieków (tablica 10.2). Wielkość osadników obliczono dla czasu zatrzymania w nich ścieków: 15 minut, 30 minut i 60 minut.

Obliczone nakłady inwestycyjne zestawiono w tablicy 10-3 i przedstawiono na rysunku 10-2. Wielkość nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię ścieków zależna będzie od przyjętej przepustowości oczyszczalni i przyjętego czasu zatrzymania ścieków opadowych w osadnikach. Wzrost wymaganego efektu oczyszczania ścieków opadowych lub zrzutów burzowych wymaga znacznego wzrostu nakładów inwestycyjnych (rys. 10-3). Obliczone nakłady inwestycyjne dla pełnego obrazu kosztów związanych z wydzielonym oczyszczaniem ścieków opadowych lub zrzutów burzowych należy powiększyć o nakłady związane ze wzrostem wielkości urządzeń do przeróbki osadów w miejskiej oczyszczalni ścieków lub wydzielonym ich unieszkodliwianiem.

10.3. Przykładowe określenie efektu oczyszczania ścieków opadowych w wydzielonej oczyszczalni przy przyjętym jej schemacie technologicznym i niezbędnych nakładów inwestycyjnych.

W celu przeanalizowania skuteczności oczyszczania ścieków opadowych lub zrzutów burzowych w wydzielonej oczyszczalni o zaproponowanym w poprzednim rozdziale układzie technologicznym, obliczono efekt oczyszczania w niej ścieków oraz efekt oczyszczania sumy ścieków pogody deszczowej odprowadzanych systemem

kanalizacji rozdzielczej, ogólnospławnej i półrozdzielczej przy założonej sprawności miejskiej oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej.

Do analizy porównawczej przykładowo przyjęto jak w rozdziale 7 i 8 jednostkę osadniczą o powierzchni zlewni skanalizowanej $F = 2000$ ha i gęstości zaludnienia $M = 300$ mieszkańców/ha. Ścieki opadowe lub zrzuty burzowe (w zależności od systemu kanalizacji) odprowadzane będą 10-cioma wylotami, poprzez urządzenia oczyszczające do odbiornika. Każdy z wylotów odprowadza ścieki z powierzchni zlewni $F' = 200$ ha, a maksymalny przepływ wynosi $7 \text{ m}^3/\text{s}$. W wypadku systemu kanalizacji ogólnospławnej i półrozdzielczej ścieki opadowe w czasie trwania opadu częściowo dopływać będą do miejskiej oczyszczalni nieprzystosowanej do ich przyjęcia (efekt oczyszczania w czasie dopływu ścieków opadowych będzie mniejszy w stosunku do efektu oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej). Dopływ ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni można przyjąć równy przepływowi ścieków pogody bezdeszczowej (dla przyjętych jak w rozdziale 7 i 8 parametrów obliczeniowych i powierzchni zlewni $F' = 200$ ha przepływ ten wyniesie $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$).

W tablicy 10-4 przedstawiono efekt oczyszczania ścieków opadowych lub zrzutów burzowych w wydzielonej oczyszczalni oraz efekt oczyszczania sumy ścieków pogody deszczowej przy sprawności miejskiej oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej - 92,5% dla trzech systemów sieci kanalizacyjnej. Uwzględniono dwa warianty schematu technologicznego wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych:

1. składający się z kraty i piaskownika napowietrzanego,
2. składający się z kraty, piaskownika napowietrzanego i osadnika o czasie zatrzymania ścieków 15, 30 lub 60 minut.

W wypadku zastosowania pierwszego wariantu schematu technologicznego wydzielonej oczyszczalni ścieków (bez osadników) zatrzymane zostają w znacznej ilości zanieczyszczenia mineralne i pływające. Pozostała ilość zanieczyszczeń zostaje odprowadzana do odbiornika. Średnio-dobowy efekt oczyszczania sumy ścieków pogody deszczowej wyrażony redukcją BZT_5 waha się w granicach 53 - 38% dla systemu kanalizacji rozdzielczej w zależności od stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych, 72 - 69% dla kanalizacji ogólnospławnej i 77 - 69% dla półrozdzielczej, (przy zmniejszonym efekcie oczyszczania mieszaniny ścieków w miejskiej oczyszczalni 80 - 75%). Efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawartości zawiesin, bez uwzględnienia zawiesin mineralnych zatrzymanych w piaskownikach, wynosi 53 - 38% dla systemu kanalizacji rozdzielczej, 58 - 46% dla systemu kanalizacji ogólnospławnej i 58 - 46% dla systemu kanalizacji półrozdzielczej. Zastosowanie osadników poprawia efekt oczyszczania sumy ścieków pogody bezdeszczowej wyrażonej BZT_5 o 2 do 6% i zawiesiną - o 13 do 35% w zależności od przyjętego czasu sedimentacji.

Wydzielone oczyszczanie ścieków opadowych wymaga nakładów inwestycyjnych, których wielkość zależy od przyjętego schematu technologicznego oczyszczalni i wymaganego efektu oczyszczania. W przypadku oczyszczania ścieków opadowych na kratkach i w piaskownikach oraz przy założeniu grawitacyjnego przepływu ścieków

przez urządzenia wydzielonej oczyszczalni, bez konieczności stosowania pompowni ścieków, nakłady inwestycyjne wynoszą 2 - 6% nakładów na miejską oczyszczalnię ścieków pogody bezdeszczowej (nakłady inwestycyjne na urządzenia miejskiej oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej dla analizowanej jednostki osadniczej zostały określone w rozdziale 8.3 niniejszej pracy). Zwiększenie nakładów do 6% związane jest z doprowadzeniem części ścieków do miejskiej oczyszczalni (system kanalizacji ogólnospławnej i półrozdzielczej), gdzie przewiduje się dostosowanie pompowni i piaskowników do przyjęcia tych ścieków. Zastosowanie osadników powoduje znaczny wzrost niezbędnych nakładów inwestycyjnych, które wynoszą 38 - 91% nakładów na miejską oczyszczalnię ścieków pogody bezdeszczowej w zależności od przyjętego czasu zatrzymania w nich ścieków, w tym około 3% będą stanowiły nakłady związane ze zwiększeniem urządzeń do przeróbki osadów doprowadzanych z osadników deszczowych do miejskiej oczyszczalni lub związane z wydzielonym unieszkodliwianiem tych osadów.

10.4. Wstępna ocena ekonomicznej efektywności zbiornika retencyjnego współpracującego z wydzieloną oczyszczalnią ścieków opadowych.

Przedstawiony w poprzednim rozdziale schemat wydzielonej oczyszczalni ścieków wymaga budowy urządzeń o znacznej przepustowości. Zastosowanie zbiorników retencyjnych może w znacznym stopniu obniżyć kubaturę urządzeń do wydzielonego oczyszczania ścieków i jednocześnie pozwoli na obniżenie natężenia zrzutu ścieków opadowych, co zmniejszy także ładunek zanieczyszczeń wprowadzany do odbiornika w jednostce czasu. Ograniczenie ła-

dunku zanieczyszczeń odprowadzanego w jednostce czasu do odbiornika spowoduje także zmniejszenie wymaganego ze względu na ochronę odbiornika stopnia oczyszczania ścieków opadowych.

Współpraca zbiornika retencyjnego z oczyszczalnią ścieków opadowych powinna pozwolić zatem na obniżenie nakładów inwestycyjnych, związanych z budową urządzeń do oczyszczania ścieków przy jednoczesnych kosztach związanych z budową zbiornika retencyjnego.

Na rysunku 10-4 przedstawiono ideowy sposób wyznaczania optymalnego natężenia dopływu ścieków opadowych do wydzielonej oczyszczalni współpracującej ze zbiornikiem retencyjnym. Krzywa J_0 przedstawia wysokość nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię ścieków opadowych w zależności od natężenia dopływu skierowywanych do niej ścieków, a krzywa J_z nakłady inwestycyjne na zbiornik retencyjny o objętości niezbędnej do przechwycenia pozostałej, nie przyjętej przez oczyszczalnię części ścieków opadowych spływających z kanalizacji deszczowej. Jak zaznaczono wyżej ograniczenie natężenia odpływu ścieków opadowych do odbiornika wpłynie na zmniejszenie wymaganego stopnia ich oczyszczania, a zatem zmniejszeniu ulegną nakłady inwestycyjne na oczyszczalnię, co ilustruje krzywa J_0' . Łącznie nakłady związane z wydzielonym oczyszczaniem ścieków opadowych będą sumą nakładów na wydzieloną oczyszczalnię ścieków i zbiornik retencyjny, co przedstawia krzywa $J_0' + J_z$. Stosowanie zbiornika retencyjnego jest oczywiście tylko wówczas uzasadnione ekonomicznie, jeżeli użyje się w ten sposób obniżenie tej sumy nakładów w porównaniu z nakładami potrzebnymi na oczyszczalnię przeznaczoną dla

100% ilości ścieków opadowych. Można przypuszczać, że istnieje też optymalny stosunek obciążenia oczyszczalni i zbiornika retencyjnego przy którym uzyskuje się minimalną wartość sumy $J'_0 + J_z$, co przedstawiono ideowo na rys. 10-4.

W celu przykładowego oszacowania wielkości nakładów inwestycyjnych na mechaniczną oczyszczalnię ścieków współpracującą ze zbiornikiem retencyjnym określono dla przyjętej do analizy w poprzednim rozdziale jednostki osadniczej ($F = 2000$ ha, $F' = 200$ ha, $Q_d = 7 \text{ m}^3/\text{s}$, $t = 45$ minut), zależność tych nakładów od przepustowości oczyszczalni (rys. 10-5). Jak wynika z rysunku budowa zbiornika retencyjnego współpracującego z oczyszczalnią o małym efekcie oczyszczania ($\eta_w = 38\%$) wpłynie na wzrost nakładów inwestycyjnych w stosunku do nakładów na oczyszczalnię o przepustowości 100% ilości ścieków opadowych. W wypadku oczyszczalni o wyższym efekcie oczyszczania ($\eta_w = 46\%$) dla współczynnika rozdziału ścieków opadowych ^{1/} około 50% i wyższych, suma nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię i zbiornik jest niższa od wymaganych nakładów na

^{1/} Współczynnik rozdziału ścieków opadowych

$$k = \frac{Q_0}{Q_z + Q_0} \quad 100\%$$

gdzie:

Q_0 - natężenie dopływu ścieków opadowych do wydzielonej oczyszczalni,

Q_z - natężenie dopływu ścieków do zbiornika retencyjnego.

oczyszczalnię ścieków o przepustowości 100% przepływu ścieków opadowych. Oczyszczalnia o wysokim efekcie oczyszczania ($\eta_w = 60\%$) i przepustowości równej 100% ilości ścieków opadowych wymaga większych nakładów inwestycyjnych niż wynosi suma nakładów na oczyszczalnię o tym samym efekcie oczyszczania i zbiornik retencyjny dla różnych wartości współczynnika rozdziału ścieków. Ilustruje to także rysunek 10-6, na którym przedstawiono zależność stosunku sumy nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię ścieków i zbiornik retencyjny do nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię ścieków o przepustowości równej 100% natężenia dopływu ścieków opadowych w zależności od współczynnika rozdziału ścieków k . Stosunek ten dla oczyszczalni o efekcie oczyszczania $\eta_w = 38\%$ jest większy od 1, a dla oczyszczalni o efekcie oczyszczania $\eta_w = 60\%$ mniejszy od 1 dla $0 < k < 100\%$, przy czym najniższe nakłady inwestycyjne otrzymano dla $k = 30\%$.

Zmniejszenie efektu oczyszczania ścieków w wydzielonej oczyszczalni związane ze współpracą zbiornika retencyjnego może wpłynąć na dalsze obniżenie sumy nakładów inwestycyjnych na oczyszczalnię i zbiornik.

10.5. Podsumowanie.

Analiza dotychczasowych prac dotyczących wydzielonego oczyszczania ścieków opadowych lub ich mieszaniny ze ściekami pogody bezdeszczowej wykazała, że oczyszczanie takich ścieków znajduje się jeszcze w fazie prac badawczych i praktycznie nie powinno być jeszcze stosowane.

Na podstawie analizy rodzaju zanieczyszczeń w ściekach opadowych zaproponowano schemat technologiczny mechanicznej

oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych składający się z: kraty, piaskowników napowietrzanych i osadników. Efekt oczyszczania takiej oczyszczalni będzie zależał od czasu sedymentacji ścieków w osadnikach i wyniesie 38 - 62% dla zawiesin i 16 - 27% dla BZT₅. Zastosowanie piaskowników napowietrzanych pozwoli na zatrzymanie znacznej części zawiesin mineralnych oraz umożliwi zatrzymanie części pływających (oleje, tłuszcze).

Wydzielone oczyszczanie ścieków opadowych wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych, których zmniejszenie można uzyskać stosując zbiornik retencyjny współdziałający z oczyszczalnią. Zastosowanie zbiornika retencyjnego pozwoli na ograniczenie wielkości urządzeń oczyszczalni oraz na zmniejszenie wymaganego efektu oczyszczania ścieków w wydzielonej oczyszczalni. Jak wykazał analizowany przykład, budowa zbiornika retencyjnego współpracującego z wydzieloną oczyszczalnią ścieków opadowych o niskim efekcie oczyszczania ($\eta_w = 38\%$) wpłynie na wzrost nakładów inwestycyjnych. Natomiast dla oczyszczalni o wysokim efekcie oczyszczania ($\eta_w = 60\%$) suma nakładów na wydzieloną oczyszczalnię ścieków i zbiornik retencyjny jest niższa od nakładów na wydzieloną oczyszczalnię ścieków o przepustowości równej 100% przepływu ścieków opadowych. W analizowanym przykładzie najniższe nakłady inwestycyjne otrzymano dla współczynnika rozdziału ścieków $k = 30\%$ (tzn. 30% ścieków opadowych dopływa bezpośrednio do oczyszczalni, a pozostałe 70% magazynowane jest w zbiorniku retencyjnym).

11. Podsumowanie i wnioski.

1. Charakterystyczną cechą zrzutów ścieków opadowych jest między innymi to, że w porównaniu z wielkością zrzutów ścieków i zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych i przemysłowych stanowią one w skali roku lub miesiąca mało istotne obciążenie dla odbiornika (od kilku do kilkunastu procent), natomiast w skali doby obciążenia te są już znaczne i osiągają wielkości kilkudziesięciu procent, a w okresie godzin trwania odpływu ścieków opadowych przekraczają kilkakrotnie obciążenia wywołane samymi ściekami bytowo-gospodarczymi i przemysłowymi.
2. Analiza specyficznych własności ścieków opadowych i podatności ich na procesy technologiczne wykazała, że:
 - ścieki te w mieszaninie ze ściekami miejskimi pogody bezdeszczowej są podatne na podstawowe procesy oczyszczania w stopniu zbliżonym do podatności ścieków w czasie pogody bezdeszczowej,
 - ścieki te w postaci wydzielonej od pozostałych mogą wykazywać większą podatność na procesy sedymentacji, natomiast znikomą podatność na procesy biochemicznego rozkładu,
 - osady wydzielone ze ścieków opadowych będą zawierały znaczne ilości substancji mineralnych, po wydzieleniu których można je dopiero poddać procesom unieszkodliwiania na drodze biochemicznej.
3. W pracy przeanalizowano istniejące dotychczas metody wyznaczania średnich koncentracji zanieczyszczeń w ściekach opa-

dowych (metodę Szigorina i metodę Gatilły) i na tej podstawie zaproponowano własną metodę wyznaczania tych wartości, będącą modyfikacją i rozwinięciem analizowanych metod.

Podstawowymi założeniami opracowanej metody są:

- przyjęcie za podstawę do obliczeń deszczu miarodajnego o granicznej wysokości opadu zapewniającej spłukanie maksymalnej ilości zanieczyszczeń nagromadzonych na powierzchni zlewni,
- wprowadzenie zasady obliczania stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych dla deszczu miarodajnego poprzedzonego okresem bezdeszczowym o założonym prawdopodobieństwie czasu trwania tego okresu; prawdopodobieństwo to proponuje się przyjmować takie jak prawdopodobieństwo wystąpienia niskiego przepływu w odbiorniku ($NQ - 5\%$),
- przyjęcie za podstawę do ustalenia masy zanieczyszczeń dostających się do ścieków opadowych jednostkowych ilości śmieci gromadzących się na ulicach oraz jednostkowych ilości opadu pyłu przeliczonych przy pomocy odpowiednich współczynników empirycznych na wartości wskaźników różnych rodzajów zanieczyszczeń.

Ustalony na podstawie powyższych założeń wzór do obliczania przeciętnego stężenia ścieków opadowych jest następujący:

$$S = \frac{T_{50} \exp \frac{f(p)}{k}}{3 \cdot 10^{-2} h \cdot \psi \cdot F} \left[a_1 \alpha_1 \cdot \eta \cdot F_k + a_2 \alpha_2 (F - F_k - 0,9 F_z) \right] \text{ kg/m}^3$$

gdzie:

S - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych w kg/m^3 ,

- T_{50} - długość ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie $p = 50\%$.
- $f(p)$ - funkcja określona całką prawdopodobieństwa
- $$\Phi \{f(p)\} = \pm \left(1 - \frac{p}{50}\right)$$
- k - współczynnik zależny od ilości i długości ciągów dni bezopadowych na danym terenie określony na podstawie danych statystycznych,
- h - miarodajna do obliczeń wysokość opadu, który spowoduje maksymalną ilość zanieczyszczeń w mm,
- ψ - współczynnik spływu,
- F - powierzchnia zlewni w ha,
- F_k - powierzchnia ulic i placów w ha,
- F_z - powierzchnia terenów zielonych w ha,
- a_1 - ilość śmieci gromadzących się na powierzchni ulic i placów w kg/m^2 . miesiąc,
- a_2 - opad pyłu w kg/m^2 . miesiąc,
- η - współczynnik obliczeniowy ilości pozostałych (nie zmiecionych) śmieci,
- α_1 - współczynnik bezwymiarowy określający przeliczenie suchej masy zmiotek ulicznych na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczeń,
- α_2 - współczynnik bezwymiarowy określający przeliczenie suchej masy pyłu na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia.

4. Dla stosowania w praktyce opracowanego sposobu obliczania przeciętnego stężenia ścieków opadowych niezbędne jest ustalenie wartości parametrów takich jak:

- deszcz miarodajny o granicznej wysokości opadu zapewniającej spłukanie maksymalnej ilości zanieczyszczeń zgromadzonych na powierzchni zlewni,
- długość ciągów dni bezopadowych i z opadem nie powodującym spływu do kanalizacji,
- opad pyłu i wartości współczynników przeliczeniowych na wybrany wskaźnik zanieczyszczenia,
- ilość śmieci gromadzących się na terenach ulic i placów oraz wartości współczynników przeliczeniowych na wybrany wskaźnik zanieczyszczenia.

Wszystkie te wielkości powinny być objęte zakresem systematycznych obserwacji i pomiarów, tak ażeby z biegiem lat powstał miarodajny zestaw ich wartości dla poszczególnych aglomeracji czy regionów.

5. W ramach analizy możliwości zmniejszenia zrzutów zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych uwzględniono:

- zastosowanie zbiorników retencyjnych zarówno w aspekcie obniżenia natężenia zrzutów, jak też pod kątem przechwycenia całości zrzutu przy współdziałaniu z miejską oczyszczalnią,
- możliwość oczyszczania ścieków opadowych bezpośrednio na wylotach,
- możliwość oczyszczania ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni przy współdziałaniu zbiorników retencyjnych.

Zastosowanie powyższych układów uwarunkowane jest realizacją następujących przedsięwzięć:

- budowy zbiorników retencyjnych,
- budowy wydzielonych oczyszczalni ścieków opadowych,

- dostosowania miejskiej oczyszczalni do przyjęcia ścieków opadowych.

W poszczególnych układach może być zastosowane jedno z powyższych przedsięwzięć, lub jednocześnie dwa lub trzy przedsięwzięcia.

6. Przykładowa analiza obniżenia zrzutu zanieczyszczeń pozwoliła stwierdzić, że przy różnych sposobach ich ograniczenia można uzyskać następujące wielkości:

Sposób obniżenia wielkości ładunku i system kanalizacji	Obniżenie wielkości zrzutu zanieczyszczeń w stosunku do całego ładunku w czasie deszczowej pogody w okresie godzinowym	
	BZT ₅ , %	Zawiesiny, %
1	2	3
1. Wykorzystanie oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej bez jej przystosowania i bez retencjonowania ścieków opadowych: - kanalizacja rozdzielcza - kanalizacja ogólnospławna - kanalizacja półrozdzielcza	0 1/2/ 0 - 1,4 5,7 - 11,5	0 11,7 - 19,5 11,7 - 13,1
2. Zastosowanie zbiorników retencyjnych i wykorzystanie oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej przy jej dodatkowym obciążeniu ściekami opadowymi: - kanalizacja rozdzielcza - kanalizacja ogólnospławna - kanalizacja półrozdzielcza	82,5 - 93,0 73,5 - 88,9 70,1 - 86,2	86,0 - 96,3 79,0 - 89,8 79,0 - 91,0
3. Zastosowanie wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych przy jednoczesnym wykorzystaniu oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej:		

1	2	3
- kanalizacja rozdzielcza	29,2 - 84,7	29,8 - 88,4
- kanalizacja ogólnospławna	17,0 - 82,6	35,2 - 85,7
- kanalizacja półrozdzielcza	28,3 - 81,6	35,2 - 86,3
4. Zastosowanie oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej i przystosowanie jej do przyjęcia ścieków opadowych przy współdziałaniu ze zbiornikiem retencyjnym:		
- kanalizacja rozdzielcza	88,7 - 94,8	73,4 - 88,1
- kanalizacja ogólnospławna	88,7 - 94,8	73,4 - 88,1
- kanalizacja półrozdzielcza	88,7 - 94,8	73,4 - 88,1

- 1/ Układ porównawczy - ścieki pogody bezdeszczowej odprowadzane do odbiornika po oczyszczeniu w miejskiej oczyszczalni, ścieki opadowe odprowadzane bezpośrednio do odbiornika.
- 2/ Wartość 1,4% otrzymano dla stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych (150 g/m^3); przy mniejszym stężeniu (90 g/m^3) sumaryczny ładunek odprowadzany do odbiornika w czasie opadu jest większy w porównaniu z ładunkiem odprowadzanym siecią kanalizacji rozdzielczej.

Na tle przeprowadzonej analizy nasuwa się generalny wniosek dotyczący oceny systemu kanalizacji ogólnospławnej. Z punktu widzenia ochrony wód przed zanieczyszczeniem ten rodzaj kanalizacji jest niekorzystny, gdyż nawet w układzie współdziałania ze zbiornikiem retencyjnym obliczonym na całkowite zatrzymanie ścieków pogody deszczowej z określonym prawdopodobieństwem stwarza on zagrożenie zanieczyszczenia odbiornika nieoczyszczonymi lub częściowo oczyszczonymi ściekami bytowo-gospodarczymi i przemysłowymi. W tej sytuacji preferowane muszą być rodzaje ka-

- nalizacji rozdzielczej i półrozdzielczej, które przy współdziałaniu ze zbiornikami retencyjnymi całkowicie eliminują zagrożenie odbiorników ściekami bytowo-gospodarczymi i przemysłowymi, a dopuszczają jedynie z pewnym prawdopodobieństwem zagrożenie nieoczyszczonymi lub częściowo oczyszczonymi ściekami opadowymi.
- Analiza klasycznego układu mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków opartego na metodzie osadu czynnego przeprowadzona pod kątem wpływu możliwości dodatkowego obciążenia tego rodzaju oczyszczalni ściekami opadowymi pozwoliła na ustalenie następujących wniosków:
- a) W każdym wypadku obciążanie oczyszczalni ściekami opadowymi nieprzystosowanej specjalnie do ich przyjęcia spowoduje obniżenie efektu oczyszczania mieszaniny ścieków, zarówno ze względu na wzrost obciążenia poszczególnych urządzeń, jak i na ewentualność występowania w ściekach opadowych substancji hamujących procesy biologiczne.
 - b) Głównym elementem ograniczającym wielkość hydraulicznego przeciążenia oczyszczalni są osadniki wtórne; z tego względu możliwe jest przeciążenie oczyszczalni ściekami opadowymi w wysokości nieprzekraczającej 100% natężenia dopływu ścieków w czasie bezdeszczowej pogody.
 - c) W każdym wypadku przeciążenia oczyszczalni doprowadzeniem ścieków opadowych niezbędne jest odpowiednie dostosowanie piaskowników do zatrzymywania zanieczyszczeń piaszczystych przy zwiększonym przepływie ścieków.
 - d) Zastosowanie zbiornika retencyjnego lub systemu zbiorników stwarza możliwości wykorzystania przepustowości urządzeń oczyszczalni w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków bez-

deszczowej pogody (godziny nocne). Tą drogą można - w zależności od wielkości i charakteru jednostek osadniczych - poddać oczyszczeniu w ciągu doby do 60% dobowej ilości ścieków pogody bezdeszczowej bez obniżki efektu oczyszczania ścieków. Będzie to wymagało powiększenia obiektów do przeróbki osadów. Związany z tym wzrost niezbędnych nakładów inwestycyjnych wyniesie około 4,4 - 5,9%, a kosztów eksploatacji 4,0 - 5,6%.

8. W pracy zaproponowano technologiczny schemat oczyszczalni mechaniczno-biologicznej przystosowanej do przyjęcia dodatkowego obciążenia wynikającego z dopływu ścieków opadowych. Głównym dodatkowym elementem technologicznym takiej oczyszczalni jest zbiornik regeneracji i magazynowania osadu czynnego. Zaproponowany układ oczyszczalni daje możliwość doprowadzenia ścieków opadowych o natężeniu przepływu do 300% przepływu ścieków bezdeszczowej pogody bez obniżenia efektu oczyszczania ścieków. Układ ten może być również obciążony w wyższym stopniu do 700% ścieków pogody bezdeszczowej przy obniżeniu jednak efektu oczyszczania do 65% usunięcia BZT₅ zamiast około 90%. Zaproponowany układ technologiczny oczyszczalni dostosowanej do przyjęcia ścieków opadowych w podanym wyżej zakresie charakteryzuje się wyższą kapitałochłonnością w stosunku do oczyszczalni dla ścieków pogody bezdeszczowej o 115% przy założeniu 300% dopływu ścieków opadowych bez obniżenia efektu oczyszczania lub 700% dopływu przy obniżeniu efektu oczyszczania.

9. W aktualnym stanie rozwoju zagadnienia oczyszczania ścieków opadowych należy uznać, że dla praktyki na razie może wchodzić w grę tylko częściowe ich oczyszczanie; pełne oczyszczanie tych

ścieków znajduje się jeszcze w trakcie prac badawczych.

Z analizy układu wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych i współpracującego z nią zbiornika retencyjnego wynika, że ze względów ekonomicznych stosowanie zbiornika retencyjnego jest uzasadnione tylko wówczas, jeżeli wymagany efekt oczyszczania ścieków opadowych ze względu na odbiornik jest wyższy od około 45% usuwania zawieszin. W pracy przedstawiono również wstępnie związany z tym problem optymalizacji przepustowości wydzielonej oczyszczalni ścieków i objętości zbiornika retencyjnego.

10. Z przedstawionej tu pracy wynika konieczność prowadzenia dalszych badań dotyczących problemu ochrony wód przed zanieczyszczeniami zawartymi w ściekach odprowadzanych ze skanalizowanych terenów miejsko-przemysłowych, a w szczególności konieczność rozwiązania następujących zagadnień:

- rozwinięcie badań i obserwacji dotyczących składu i własności opadów deszczowych oraz obserwacji meteorologicznych dotyczących okresów bezdeszczowych w celu uzyskania danych niezbędnych do prognozowania stężenia ścieków opadowych przy zastosowaniu metody zaproponowanej w niniejszej pracy;
- przeprowadzenie analizy wpływu krótkotrwałych zrzutów ścieków opadowych na odbiornik oraz opracowanie zasad ustalania warunków odprowadzania tego rodzaju ścieków do odbiornika;
- ustalenie własności technologicznych ścieków opadowych z wybranych charakterystycznych zlewni, a szczególnie ich podatności na podstawowe procesy oczyszczania;
- zbadanie ilości i własności osadów wydzielonych ze ścieków opadowych odprowadzanych w charakterystycznych zlewni i możliwości ich unieszkodliwiania;

- zbadanie wpływu dodatku ścieków opadowych na przebieg, efekt i ekonomikę oczyszczania mieszaniny ścieków miejskich,
- zbadanie oddziaływania zbiornika retencyjnego na własności ścieków zretencjonowanych oraz opracowanie odpowiedniej konstrukcji zbiornika retencyjnego tak, ażeby zretencjonowane ścieki nie zgniwały, a wszystkie zawarte w ściekach osady mogły być przesłane ze zbiornika do miejskiej oczyszczalni.

Specjalnym zagadnieniem wymagającym badań jest problem oszacowania wielkości zrzutów powstających w okresie zimy, wiąże się to zarówno z wpływem naturalnych okresów odwilży na wielkość zrzutów, jak też i wpływem sposobu i systemu usuwania śniegu i likwidacji gołoledzi.

W Y K A Z L I T E R A T U R Y

- [1] Miłaszewski R., Osuch-Pajdzińska E. - Charakterystyka zanieczyszczeń ścieków pochodzących z wód opadowych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1972, nr 4.
- [2] Nowakowska-Błaszczyk A., Błaszczyk P. - Problemy odprowadzania wód deszczowych w świetle postępu urbanizacji kraju. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1969, nr 5.
- [3] Krauth K. - Entlastung der Gewässer durch Behandlung des Regenwassers in Regenüberlaufbecken. Wasserwirtschaft 63 (1973), 2.
- [4] Munz W. - Entlastungskonzeptionen im Mischsystem. G.W.F. - Wasser Abwasser 114 (1973) H.11.
- [5] Munz W. - Die Wirkung verschiedener Gewässerschutzmassnahmen auf den Vorfluter. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie. Revue suisse d'Hydrologie. Birkhäuser Verlag Basel (Schweiz) - 28/2, 1966.
- [6] Munz W. - Der Einfluß von Regenbecken auf die jährliche Belastung eines Vorfluters. G.W.F. - 109 H 30, 26, 1968.
- [7] Boczar J. - Obliczanie objętości zbiorników retencyyjnych wód deszczowych obciążonych ładunkiem zanieczyszczeń. Gospodarka Wodno-Ściekowa. Biuletyn Branżowy 1969, nr.1

- [8] Marske D.M. High-rate, fine-mesh screening of combined wastewater overflows. Journal Water Pollution Control Federation, 1970, nr 8.
- [9] Diaper E.W.J., Glover G.E. - Microstraining of combined sewer overflows. Journal Water Pollution Control Federation, 1971, nr 10.
- [10] Field R., Struzeski E.J. - Management and control of combined sewer overflows. Journal Water Pollution Control Federation, 1972, nr 7.
- [11] Gupta M.K., Agnew R.W. - Two Wisconsin cities treat combined sewer overflows. Screening and dissolved air flotation are used in Racine's physical / chemical treatment process. Water and Sewage Works, 1973 nr.8.
- [12] Łukinych N.A. - Oczystka liwniowych wód w systemie obszczepławnoej kanalizacji gorodow S.SZ.A. Wodossnabżenie i sanitarnaia tiechnika, 1975, nr 7.
- [13] Mason D.G. - Treatment of combined sewer overflows. Journal Water Pollution Control Federation, 1972, vol.44 nr 3.
- [14] Lee J.A., Chia Shun Shin, De Filippi J.A. - Filtering combined sewer overflows. Journal Water Pollution Control Federation, 1972, vol. 44, no 7.
- [15] Zamorski J. - Wpływ systemu sieci kanalizacyjnej na koszty budowy oczyszczalni ścieków. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1960 , nr 4.

- [16] Zamorski J. - Zależność wskaźników ekonomicznych dla oczyszczalni ścieków miejskich od systemu sieci kanalizacyjnej. Materiały na XIV Konferencję Naukowo-Techniczną "Postęp techniczny w dziedzinie oczyszczania ścieków". Część I. Katowice 1971.
- [17] Hansen Ch., Agnew R.W. - Two Wisconsin cities treat combined sewer overflows. Water and Sewage Works, 1973, vol. 120, no 8.
- [18] Praca Zbiorowa: Kryteria i zasady odprowadzania wód deszczowych do wód powierzchniowych. Politechnika Warszawska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego, Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Oczyszczania Ścieków. Warszawa, 1970 r. (maszynopis).
- [19] Fidala-Szope M. - Charakterystyka zanieczyszczenia odpływów z kanalizacji deszczowej. Instytut Kształtowania Środowiska. Zakład Zaopatrzenia w Wodę, Kanalizacji i Energetyki Komunalnej. Warszawa 1974 (maszynopis).
- [20] Sawicka-Siarkiewicz H. - Charakterystyka ilościowa i zanieczyszczenia zrzutów burzowych z kanalizacji ogólnospławnej oraz wpływ stopnia początkowego rozcieńczenia i ukształtowania przelewów na charakterystykę zrzutów. Instytut Kształtowania Środowiska. Zakład Zaopatrzenia w Wodę, Kanalizacji i Energetyki Komunalnej. Warszawa 1974. (maszynopis).
- [21] Praca Zbiorowa: Oczyszczanie ścieków miejskich. Warszawa 1972, Arkady.

- [22] Szklarzewicz K. - Charakterystyka zanieczyszczeń w ściekach miejskich i ich prognoza. Synteza. Instytut Kształtowania Środowiska, Zakład Zaopatrzenia w Wodę, Kanalizacji i Energetyki Komunalnej. Warszawa, 1975.
- [23] Szigorin G.G. - K woprosu o zagrjaznennosti powierchnostnyh stokow gorodow. Wodosnabżeniye i Sanitarnaja Tiechnika 1956, nr 2.
- [24] Benzie W.J., Courchain R.J. - Discharges from separate storm sewers and combined sewers. Journal Water Pollution Control Federation. 1966, vol. 38, nr 3.
- [25] Robert G.G., Taft R.A. - Bieżące prace badawcze w Robert A. Taft Sanitary Engineering Center nad zanieczyszczeniem spływów deszczowych oraz oczyszczaniem wody i ścieków. Zeszyty Naukowe Politechniki Wrocławskiej. Inżynieria Sanitarna XI, nr 135, 1967.
- [26] De Filippi J.A., Shih C.S. - Characteristics of separated storm and combined sewer flows. Journal Water Pollution Control Federation. 1971, nr. 10.
- [27] Weibel S.R., Anderson R.J., Woodward R.L. - Urban land runoff as a factor in stream pollution. Journal Water Pollution Control Federation. 1964, nr 7.
- [28] Burm R.J., Krawczyk D.F., Harlow G.L. - Chemical and physical comparison of combined and separate sewer discharges. Journal Water Pollution Control Federation. 1968, vol. 40, nr 1.

- [29] Hedley G., King M.V. - Suggested correlation between storm sewage characteristics and storm overflow performance. The Institution of Civil Engineers Proceeding, III, 1971, vol. 48.
- [30] Rechciński M. - Oczyszczanie wód deszczowych na terenie m. Łodzi - propozycje obliczenia stopnia oczyszczania, Łódź, 1970 (praca niepublikowana).
- [31] Gameson A.L.H., Davidson R.N. - Storm Water Investigations at Northampton. The Institution of Sewage Purification Journal and Procesding, 1963, cz. 2.
- [32] Eckhoff D.W. - Characterization and control of combined sewer overflows, San Francisco. Water Research Pergamon Press 1969, vol. 3, Printed in Great Britain.
- [33] Bryan E.H. - Concentrations of lead in urban storm water. Journal Water Pollution Control Federation 1974, nr. 10.
- [34] Weibel S.R., Weidner R.B., Christianson A.G., Anderson R.J. - Characterization, treatment and disposal of urban stormwater. Third International Conference on Water Pollution Research. Munich 1968, Section I, paper 15.
- [35] Evans F.L., Geldreich E.E., Weibel S.R., Robeck G.G. - Treatment of urban stormwater runoff. Journal Water Pollution Control Federation 1968, vol. 40, nr 5.
- [36] Sprawocznik Projektrowszczyka - Kanalizacja Nasienlennych Miest i Promyszlennych Priedpriati.j. Mo-skwa 1963.

- [37] Prawosziński N.A., Gatikło P.D. - O Raszczete zagryżaznenija wodojemow powierchnostnym stokom. Nauczno-Issledowatelskij Institut Wodnych Problem Ministerstwa Melioracji i Wodnogo Chozjajstwa SSSR, Wodootiwiedicnije i Oczistka Wod, Izdatelstwo "Nauka i Technika", Mińsk 1969.
- [38] Mołokow M.B. - Połurozdielnaja sistiema kanalizacji, Wodosnabżenije i Sanitarnaja Tiechnika, 1969, nr 6.
- [39] Weibel S.R., Weidner R.B., Cohen J.M., Christianson A.G. - Pestitides and Other Contaminents in Rainfall and Runoff. Journal Water Works Association, 1966, nr 8.
- [40] Szigorin G.G. - Obszcziesplawnaja sistiema kanalizacji, Moskwa 1960.
- [41] Imhoff K. - Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik W.B. i A. Warszawa 1957.
- [42] Błaszczuk W., Roman M., Stamatello H. - Kanalizacja, Arkady, Warszawa 1974, tom II.
- [43] Nowakowska-Błaszczuk A., Błaszczuk P. - Wodociągi i Kanalizacja w Planowaniu Przestrzennym. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1974.
- [44] Projekt Wytycznych Technicznych Programowania i Projektowania Zapotrzebowania Wody i Ilości Ścieków w Miejskich Jednostkach Osadniczych. Opracowanie Zakładu Zaopatrzenia w Wodę i Oczyszczania Ścieków Politechniki Warszawskiej (maszynopis).
- [45] Fiodorow J.F., Szifrin S.M. - Kanalizacja. Moskwa 1968.

- [46] Praca Zbiorowa. Redukcja zanieczyszczeń w oczyszczalniach ścieków o różnych układach technologicznych oraz nomogramy do określenia kapitałochłonności i kosztów eksploatacji oczyszczalni oraz urządzeń do transportu ścieków. Politechnika Warszawska. Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego. Warszawa 1973 (maszynopis).
- [47] Praca Zbiorowa. Analiza jakości ścieków opadowych odprowadzanych z terenów Zakładów Przemysłu Włókienniczego oraz określenie warunków ich odprowadzania do odbiornika. Politechnika Warszawska. Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego. 1974 r. (maszynopis).
- [48] Albrecht A.E. - Aerated grit operation design and chamber. Water and Sewage Works. 1967 , nr 8.
- [49] Von Hans Hartmann - Der belüftete Sandfang. Gas und Wasserfach H 20, 1966.
- [50] Praca Zbiorowa - Metody Sanitarnego Badania Powietrza Atmosferycznego. Biuletyn Służby Sanitarno-Epidemiologicznej Województwa Katowickiego. 1974, nr. 1.
- [51] Kaczmarek Z. - Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1970.
- [52] Hänsel H. - Podstawy rachunku błędów. WNT, Warszawa 1968.
- [53] Bronsztejn J.N., Siemiendiajew K.A. - Matematyka. Poradnik Encyklopedyczny. P.W.N. Warszawa 1968.

- [54] Taryfa EZ/60. Wydawnictwa Katalogów i Cenników, Warszawa 1972 r.
- [55] Roman M., Heidrich Z. - Ogólne zasady obliczania kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków. Gospodarka Wodno-Ściekowa. Biuletyn Branżowy nr 4, 1968.
- [56] Roczne Sprawozdanie GK-5-z z zatrudnienia i funduszu płac w jednobranżowych przedsiębiorstwach gospodarki komunalnej w branży wodociągi i kanalizacja, za rok 1974. - Departament Pracy i Płac M.G.T. i O.Ś., Warszawa 1974.
- [57] Projekt Wytucznych Branżowych. Metodyka ekonomicznej efektywności inwestycji wodociągowych i kanalizacyjnych. Instytut Kształtowania Środowiska. Zakład Zao-
patrzenia w Wodę, Kanalizacji i Energetyki Komunalnej. (Maszynopis).
- [58] Wytuczne Techniczne Projektowania. Budownictwo Oczyszczalni Ścieków. Wydawnictwo Katalogów i Cenników, Warszawa.
- [59] Roman M., Rut T., Heidrich Z. - Techniczno-ekonomiczne wskaźniki pompowni ścieków. Gospodarka Wodna nr 1 , 1969.

Tablica 1-1.

Orientacyjne wartości BZT_5 i koncentracji zawiesin w spływających wodach opadowych ustalone na podstawie wyników badań wielu autorów [1] .

Rodzaj wód opadowych	BZT_5 g/m^3	Zawartość zawiesin g/m^3
Wody deszczowe pobrane bezpośrednio z opadu atmosferycznego	2,4 - 31	0 - 72,2
Spływy z dachów	19 - 74	0 - 443
Spływy z ulic i placów trafiające do kanalizacji deszczowej	29 - 500	5 - 40 000
Zrzuty burzowe z kanalizacji ogólnospławnej	50 - 614	17 - 2000

Wy s z c z e s ł n i e		Współczynnik spływu	Jednostkowe ilości i ładunki zanieczysz- czeń ścieków opadowych			
		ψ	wielkości roczne	wielkości miesięczne	wielkości dobowe	wielkości godzinowe
W jednostkach bezwzględnych						
Ilość ścieków m ³ /ha		0,3	1800	300	60	20
Ładunek BZT ₅ kg/ha ^{2/}		0,5	3000	500	100	33
Ładunek zawiesiny kg/ha ^{2/}		0,3	45-180	8-30	1,5-6	0,5-2
		0,5	75-300	12-50	2,5-10	0,8-3
		0,3	900-1800	150-300	30-60	10-20
		0,5	1500-3000	250-500	50-100	16-33
W procentach w odniesieniu do ścieków miejskich pogody bezdeszczowej						
Ilość ścieków % ^{3/}		0,3-0,5	7-12	14-25	83-150	660-1180
Ładunek BZT ₅ % ³		0,3-0,5	1-8	1-8	7-50	53-400
Ładunek zawiesiny, % ^{3/}		0,3-0,5	10-35	20-71	119-238	1660-1886

- 1/ Liczby zawarte w tablicy ustalono przy następujących założeniach:
- wysokość opadu w przeciagu: doby - 20mm, czas trwania opadu t=90min, czas trwania spływu t_s=180min
 - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych:
 - 2/ wartości niższe dotyczą stężeń: BZT₅ - 0,025 kg/m³, zawiesiny - 0,5 kg/m³
 - wartości wyższe dotyczą stężeń: BZT₅ - 0,1 kg/m³ - zawiesiny - 1,0 kg/m³
 - wskaźnik ilości ścieków pogody bezdeszcz. q = 0,4 m³/m.d
 - BZT₅, ścieków pogody bezdeszczowej - 0,3 kg/m³
 - zawartość zawiesin w ściekach pogody bezdeszczowej - 0,35 kg/m³
 - 3/ - dla współczynnika spływu $\psi=0,3$, przyjęto gęstość zaludnienia G = 100 M/ha
 - dla współczynnika spływu $\psi=0,5$, przyjęto gęstość zaludnienia G = 300 M/ha

Zakres wartości wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych
(według danych z różnych badań)

Wskaźnik zanieczyszczenia	Jednostki	Wartości wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych		Wartości wskaźników w ściekach pogody bezdeszczowej [22],[21]
		wartości minimalne i maksymalne	zakres wartości średnich	
1	2	3	4	5
Mętność	g/m ³	30 - 1290	176	100 - 375
Barwa	"	7 - 460	-	50 - 400
Odczyn pH		3,9 - 8,7	4,9 - 7,5	7,1 - 8,6
Zawiesiny	g/m ³	5 - 40 000	27 - 16737	95 - 1070
mineralne	%	62	-	-
organiczne	%	38	-	-
Sucha pozost.	g/m ³	310- 14 600	254 - 2166	780 - 1594
BZT ₅	"	1 - 285	-	150 - 520
BZT	"	28 - b.d.	7 - 335	
Utlenialność	"	13,6 - 164	12 - 122	40 - 285
CZT	"	28 - 3100	19 - 111	-
Chlorki	"	3 - 428	12	-
Azot ogólny	"	0,3 - 12,7	3,1 - 9,6	-
Azot nieorgan.	"	0,1 - 8,2	1,0 - 5,6	-
Azot organiczny	"	0,5 - 9,0	-	-
Azotany	"	2,8	-	0 - 0,5
Chlor organiczny	"	0,1 - 4,7	0,4 - 1,7	-
Ołów	"	0,09- 12,6	-	-
Fenole	mg/m ³	1 - 70	16	-
Miano coli	ml	10 ⁻³ -10 ⁻⁵	-	-
Indeks coli	w 100 ml	16000-17 mln	600 000	-

Tablica 5-2.

Stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych
z miejskich terenów Cincinnati i wiejskich
terenów Coshocton [25]

Wskaźnik zanieczyszczenia	Jednostki	Stężenie zanieczyszczeń			
		Cincinnati 1962-64		Coshocton 1964-65	
		zakres stężeń z badań	średnio na opad	zakres stężeń z badań	średnio na opad
Zawiesiny	g/m ³	5 - 1200	227	5 - 2074	313
BZT	"	20 - 610	111	30 - 159	79
CZT	"	1 - 173	17	0,5 - 2,3	7
Azot całkowity	"	0,3 - 7,5	3,1	2,2 - 12,7	9
Azot organiczny	"	0,1 - 3,4	1,0	0,2 - 8,2	5
Fosfor	"	0,2 - 7,3	1,1	0,25 - 3,3	1,7

Wpływ czasu trwania deszczu na wartość podstawowych
wskaźników zanieczyszczeń w ściekach opadowych [18]

Wskaźnik zanieczyszcze- nia	Jed- nostki	Stężenie zanieczyszczeń	
		na początku spływu	po 20-30 min. od początku spływu
Utlenialność	g/m ³	216,5	120,0
BZT ₅	"	160,3	112,0
Amoniak	"	3,0	3,0
Azotany	"	0,36	0,08
Zawiesiny	"	1762,0	795,6
mineralne	%	45	45,3
organiczne	%	55	54,7
Miano coli	ml	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴	10 ⁻² - 10 ⁻³

Sezonowe wahania stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych [27], [28]

Wskaźnik zanieczyszczenia	Jednostki	Wiosna		Lato		Jesiń	
		Cincinnati	Ann-Arbor	Cincinnati	Ann-Arbor	Cincinnati	Ann-Arbor
Zawiesiny	g/m ³	250	940-4400	190	1200-2100	160	470-1940
Straty przy prażeniu	"	62	160- 530	48	121- 400	41	31- 216
BZT	"	19	24 - 23	15	16 - 49	28	27 - 31
CZT	"	100	-	100	-	84	-
Azotany	"	0,44	0,8-3,0	0,52	0,2-1,4	0,26	0,6-0,7
Azotyny	"	0,06	-	0,07	-	0,03	-
Azot organiczny	"	2,0	0,3-2,0	2,0	0,4-1,6	1,9	-
Fosfor	"	-	1,4-9,4	-	2,4-7,8	-	1,2-4,8
Fenole	"	-	11-30	-	1-16	-	-

Zakres wartości wskaźników zanieczyszczenia
w ściekach mieszanych odprowadzanych przez przelewy burzowe
(według danych z różnych badań)

Wskaźnik zanieczyszczenia	Jednostki	Wartości wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych		Wartości wskaźników w ściekach pogody bez-deszczowej [21] [22]
		Wartości minimalne i maksymalne	Zakres wartości średnich	
Odczyn pH		7,1 - 7,5	-	7,1 - 8,6
Zawiesiny	g/m ³	10 - 2000	158-622	95 - 1070
Sucha pozostałość	"	120 - 2900	883	780 - 1594
BZT ₅	"	50 - 614	-	150 - 520
BZT	"	80 - 470	71 - 134	-
Utlenialność	"	33 - 320	-	40 - 285
CZT	"	10 - 1760	382	-
Chlorki	"	15,8 - 58,6	-	-
Azot organiczny	"	0,08-38,4	3,7	-
Amoniak	"	0 - 134	126	-
Fosforany	"	1,8 - 43,2	3,0-14,6	-
Fenole	mg/m ³	37 - 8000	312	-
Indeks coli	w 100 ml	2 - 20 mln	2,4 mln	-

Zmiany przeciętnych wartości wskaźników zanieczyszczenia w ściekach mieszanym w czasie trwania deszczu w Northampton [31]

Przeciętne wartości wskaźników zanieczyszczenia															
Czas od początku deszczu min.	Zawiesiny			BZT			Utlenialność			Amoniak			Chlorki		
	g/m ³	% wartości- ci ście- ków pogo- dy bez- deszczowej	g/m ³	% wartości- ci ście- ków pogo- dy bez- deszczowej	g/m ³	% wartości- ci ście- ków pogo- dy bez- deszczowej	g/m ³	% wartości- ci ście- ków pogo- dy bez- deszczowej	g/m ³	% wartości- ci ście- ków pogo- dy bez- deszczowej	g/m ³	% wartości- ci ście- ków pogo- dy bez- deszczowej	g/m ³	% wartości- ci ście- ków pogo- dy bez- deszczowej	
0-5	811	252	351	112	106	134	22,5	52	58,6	64					
5-15	754	234	288	92	90	114	18,5	43	54,2	59					
15-25	743	231	249	79	85	108	15,3	36	42,1	46					
25-35	626	194	203	65	73	93	12,2	28	37,0	41					
35-50	481	149	145	46	60	76	9,4	22	33,0	36					
50-70	319	99	99	32	44	56	7,9	18	27,0	30					
70-120	254	79	90	29	39	47	7,0	16	32,0	36					
> 120	197	61	78	25	33	42	8,0	19	26,6	29					

Tablica 5-7

Charakterystyka ścieków opadowych oraz wyniki
redukcji wskaźników zanieczyszczenia po 20 mi-
nutach sedymentacji [35]

Wskaźnik zanieczyszcze- nia	Stężenie zanieczyszczeń w badanych ściekach opa- dowych g/m ³		Redukcja zanieczyszczeń po 20 minutach sedymen- tacji w %	
	z 8 desz- czy	z 50 desz- czy	z 8 desz- czy	z 50 desz- czy
BZT	4 - 220	1 - 170	13	13
CZT	48 - 810	20 - 610	13	19
Zawiesiny	110 - 930	9 - 1200	33	38
Sucha pozo- stałość	24 - 130	1 - 290	24	37

Tablica 5-8

Wpływ czasu sedymentacji na redukcję podstawowych wskaźników zanieczyszczenia - na podstawie badań przeprowadzonych w Cincinnati. [34]

Wskaźnik zanieczyszczenia	Stężenie zanieczyszczeń w badanych ściekach g/m ³	Redukcja zanieczyszczeń przy różnych czasach sedymentacji				
		10 min.	20 min.	60 min.	4 h	24 h
Azot amonowy	0,2	0	0	0	0	0
Azot azotynowy	0,05	0	0	0	0	0
Azot azotanowy	0,5	0	0	0	0	0
Azot organiczny	1,4	14	21	43	86	86
Fosfor ogólny	1,15	4	13	13	34	39
Fosfor rozpuszczony	0,46	0	0	0	0	0
BZT	25,0	40	44	20	20	48
CZT	62,0	13	13	18	34	47
Zawiesiny	231,0	39	46	57	71	87
Sucha pozostałość	38,0	34	45	50	60	84

Tablica 5-9

Orientacyjne dane dotyczące jakości ścieków opadowych i ścieków mieszaných z przelewów burzowych

Wskaźnik zanieczyszczenia	Jednostki	Maksymalne stężenia wskaźników zanieczyszczenia		Średnie stężenia wskaźników zanieczyszczenia		Stężenia ścieków pogody bezdeszczowej
		w ściekach opadowych	w ściekach mieszaných	w ściekach opadowych	w ściekach mieszaných	
Zawiesiny	g/m ³	26 000	2000	27-16737	158-622	95 - 1070
Sucha pozostałość	"	3 000	960	254- 2166	883	780 - 1594
CZT	"	3 100	1760	382	19-111	-
BZT	"	285 ^{x/}	614 ^{x/}	7-335	71-134	150 - 520

^{x/} dotyczy BZT₅

Tablica 6-1.

Przecietne roczne ładunki zanieczyszczeń spłukiwane
przez opad z terenów miejskich

Wskaźnik zanieczysz- czenia	Jed- nostki	Europejska część Związku Ra- dzieckiego [38]				Cincinnati [39]
		ścieki desz- czowe	ścieki rozto- powe	ścieki z mycia ulic	razem	
Zawiesiny	kg/a/ha	360	600	340	1300	820
BZT ₂₀	„	72	40	26	138	37
CZT	„	-	-	-	-	296

Tablica 6-2

Proponowane przez Rechcińskiego średnie wartości
wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych

[18]

Rodzaj spływu	Miarodajne stężenie zanieczyszczeń w g/m ³ w zależności od czystości zlewni					
	zlewnia bardzo czysta		zlewnia czysta		zlewnia przeciętna	
	BZT ₅	Zawie- siny	BZT ₅	Zawie- siny	BZT ₅	Zawie- siny
z terenów miesz- kaniowych	50	100	80	300	120	500
z terenów przemy- słowych	100	100	150	300	250	500
z mycia ulic	50	500	100	3000	150	6500
z tajania śniegu	30	1000	50	2000	80	3000
zrzuty z przele- wów burzowych	150	200	300	500	400	800

Tablica 6-3.

Orientacyjne wartości opadu pyłu a_2
uzyskane na podstawie badań

Miejscowość	Opad pyłu a_2 w g/m^2 miesiąc
Białystok	7,7 - 22,2
Częstochowa	23,2 - 118,0

Tablica 6-4

Orientacyjne wartości współczynnika
określającego przeliczenie suchej masy pyłu
na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia

Rodzaj zanieczyszczenia	Wartość współczynnika przeliczeniowego α_2
Sucha pozostałość	$\alpha_2 = 1$
BZT ₅	$\alpha_2 = 0,009 - 0,01$
CZT	$\alpha_2 = 0,25 - 0,50$
Utlenialność	$\alpha_2 = 0,03 - 0,10$

Tablica 6-5

Tablica wartości funkcji $f/p/$ określonej całką
prawdopodobieństwa

$$f/p/ = \pm \Phi_{-1} \left(\left| 1 - \frac{p}{50} \right| \right)$$

p %	f/p/	p %	f/p/	p %	f/p/
1,0	2,33	5	1,64	20	0,84
1,2	2,26	6	1,55	22	0,77
1,4	2,20	7	1,48	24	0,70
1,6	2,15	8	1,41	26	0,64
1,8	2,10	9	1,34	28	0,58
2,0	2,05	10	1,28	30	0,52
2,5	1,96	12	1,18	35	0,39
3,0	1,88	14	1,08	40	0,26
3,5	1,81	16	0,99	45	0,13
4,0	1,75	18	0,91	50	0,00
4,5	1,69				

U w a g i : 1/ nie powiększając dokładności /dwie cyfry po przecinku/ można pomiędzy wartościami tablicowymi interpolować liniowo;

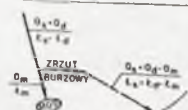
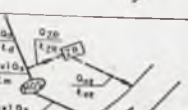
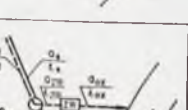
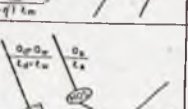
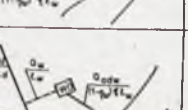
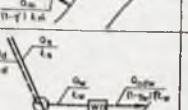
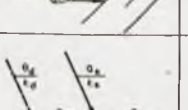
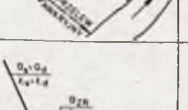
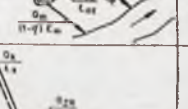
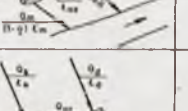
2/ przy $p > 50$ stosować wzór $f/p/ = -f/100-p/$

Tablica 6-6

Długości ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie $p = 50\%$ / T_{50} / i wartości współczynnika k charakteryzującego długość i ilość ciągów dni z opadem $\leq 2,0$ mm określone według danych dla Białegostoku i Częstochowy

dla danych	Białystok		Częstochowa	
	T_{50}	k	T_{50}	k
z dziesięciolecia	3,75	1,13	3,61	1,13
z okresu bez opadów śnieżnych w dziesięcioleciu	3,75	1,14	3,59	1,07

**SPOSÓB ZMNIJSZENIA ZRZUTU ZANIECZYSZCZEN ZAWARTYCH W ŚCIEKACH OPADOWYCH
ODPROWADZANYCH DO ODBIORNIKA**

Lp	SPOSÓB OBNIEŻENIA WIELKOŚCI ZRZUTU ZANIECZYSZCZEN	ZAKRES STOSOWANIA	SYMBOL UKŁADU	SCHEMAT UKŁADU	NIEZBĘDNE PRZEDSIĘWZIĘCIA	EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	OBNIEŻENIE NATĘŻENIA ZRZUTU ŚCIEKÓW OPADOWYCH	OBJAŚNIENIA SYMBOLI
1	OBNIEŻENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEN CZĘŚCI ŚCIEKÓW OPADOWYCH W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI	SYSTEM KANALIZACJI OGÓLNOŚPIAWNEJ	OS-0		DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 1-30\%$	—	M MIEJSKA OCZYSZCZALNA ŚCIEKÓW Z ZBIORNIK RETENCYJNY W WYDZIELONA OCZYSZCZALNA ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH — KANAŁY ŚCIEKÓW BYTOWO-GOSPODARZYCH I PRZEMYSŁOWYCH — KANAŁY ŚCIEKÓW OPADOWYCH ○ SEPARATOR OS CZĘŚĆ MECHANICZNA MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW OB CZĘŚĆ BIOLOGICZNA MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW Q_p - ŁOŚĆ ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ W m³/s Q_z - ŁADUNEK ZANIECZYSZCZEN ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ W kg/d Q_d - ŁOŚĆ ŚCIEKÓW OPADOWYCH SPŁYWAJĄCA Z DANEJ ZLEWNI DO ŚCIEKU KANALIZACYJNEJ W m³/s η - EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI Q_m - ŁOŚĆ ŚCIEKÓW OPADOWYCH ODPYMAJĄCYCH ZE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO W m³/s L_z - ŁADUNEK ZANIECZYSZCZEN ODPROWADZANY ZE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO W m³/d L_m - ŁADUNEK ZANIECZYSZCZEN MIESZANYCH ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ I OPADOWYCH W m³/d η_s - EFEKT OCZYSZCZANIA MIESZANYCH ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ I OPADOWYCH W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW Q_{d+Z} - ŁOŚĆ ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH ODPROWADZANA Z WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW OPADOWYCH W m³/s η_{d+Z} - EFEKT OCZYSZCZANIA WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH Q_m - ŁOŚĆ MIESZANYCH ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ I ŚCIEKÓW OPADOWYCH ODPYMAJĄCA DO MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI W m³/s L_m - ŁADUNEK ZANIECZYSZCZEN ODPROWADZANY Z CZĘŚCI MECHANICZNEJ MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ZE ŚCIEKAMI POGODY BEZDESZCZOWEJ η_m - EFEKT OCZYSZCZANIA MIESZANYCH ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ I OPADOWYCH W CZĘŚCI BIOLOGICZNEJ MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW β - WSPÓŁCZYNNIK OBNIEŻENIA NATĘŻENIA ODPYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH ZE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO γ - WSPÓŁCZYNNIK OBNIEŻENIA NATĘŻENIA ODPYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH Z WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW
		SYSTEM KANALIZACJI PÓŁROZDZIELCZEJ	PR-0		DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 1-30\%$	—	
2	OBNIEŻENIE NATĘŻENIA ZRZUTU ŚCIEKÓW OPADOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH	SYSTEM KANALIZACJI ROZDZIELCZEJ	R-Z		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH DLA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	—	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_d}$	
		SYSTEM KANALIZACJI OGÓLNOŚPIAWNEJ	OS-Z		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH DLA ŚCIEKÓW OPADOWYCH, DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 1-30\%$	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_d}$	
3	OBNIEŻENIE NATĘŻENIA ZRZUTU PRZY WYKORZYSTANIU ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH I OBNIEŻENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEN W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW	SYSTEM KANALIZACJI PÓŁROZDZIELCZEJ	PR-Z		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH DLA ŚCIEKÓW OPADOWYCH, DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 1-30\%$	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_d + Q_{d+Z}}$	
		SYSTEM KANALIZACJI ROZDZIELCZEJ	R-W		BUDOWA WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 30-90\%$	$\gamma = \frac{Q_{d+Z}}{Q_d}$	
4	OBNIEŻENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEN W URZĄDZENIACH DO WYDZIELONEGO OCZYSZCZANIA	SYSTEM KANALIZACJI OGÓLNOŚPIAWNEJ	OS-W		DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH, BUDOWA WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI DLA ZRZUTÓW BURZOWYCH	$\eta = 30-90\%$	$\gamma = \frac{Q_{d+Z}}{Q_d}$	
		SYSTEM KANALIZACJI PÓŁROZDZIELCZEJ	PR-W		DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH, BUDOWA WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 30-90\%$	$\gamma = \frac{Q_{d+Z}}{Q_d}$	
5	OBNIEŻENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEN W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI I URZĄDZENIACH DO WYDZIELONEGO OCZYSZCZANIA	SYSTEM KANALIZACJI ROZDZIELCZEJ	R-Z01		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH DLA ŚCIEKÓW OPADOWYCH, DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 75-90\%$	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_d}$	
		SYSTEM KANALIZACJI OGÓLNOŚPIAWNEJ	OS-Z01		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH DLA ZRZUTÓW BURZOWYCH, DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 75-90\%$	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_{d+Z}}$	
6	OBNIEŻENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEN W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW	SYSTEM KANALIZACJI PÓŁROZDZIELCZEJ	PR-Z01		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH DLA ŚCIEKÓW OPADOWYCH, DOSTOSOWANIE MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 75-90\%$	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_{d+Z}}$	
		SYSTEM KANALIZACJI ROZDZIELCZEJ	R-Z02		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH PRACUJĄCYCH JAKO OSA ONIKI ŚCIEKÓW OPADOWYCH, DOSTOSOWANIE CZĘŚCI BIOLOGICZNEJ MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 75-90\%$	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_{d+Z}}$	
7	OBNIEŻENIE ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEN W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW PRZY WYKORZYSTANIU ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH JAKO OSADNIKÓW	SYSTEM KANALIZACJI ROZDZIELCZEJ	R-Z02		BUDOWA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH PRACUJĄCYCH JAKO OSA ONIKI ŚCIEKÓW OPADOWYCH, DOSTOSOWANIE CZĘŚCI BIOLOGICZNEJ MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI DO PRZYJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH	$\eta = 75-90\%$	$\beta = \frac{Q_{d+Z}}{Q_{d+Z}}$	

Tablica 7-2

Parametry przyjęte do analizy porównawczej różnych układów ograniczenia ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych z sumą ścieków pogody deszczowej do odbiornika

Lp	P a r a m e t r	Ozna- czenie	Jednostki	Wartość parametrów
1	Powierzchnia zlewni	F	ha	2000
2	Gęstość zaludnienia	G	M/ha	300
3	Wskaźnik ilości ścieków pogody bezdeszczowej			
	a/ bez wód infiltracyjnych	q_s	m^3/Md	0,48
	b/ z wodami infiltracyjnymi	q_s	m^3/Md	0,52
4	Stężenie zanieczyszczeń ścieków pogody bezdeszczowej			
	a/ bez wód infiltracyjnych			
	- BZT ₅	j_s BZT ₅	g/m^3	300
	- zawiesiny	j_{sz}	g/m^3	350
	b/ z wodami infiltracyjnymi			
	- BZT ₅	j_s BZT ₅	g/m^3	280
	- zawiesiny	j_{sz}	g/m^3	330
5	Czas trwania opadu	t	min	90
6	Wysokość opadu	h	mm	20
7	Współczynnik spływu	ψ	-	0,5
8	Średnie stężenie zanieczyszczeń ścieków opadowych			
	- BZT ₅	j_d BZT ₅	g/m^3	90-150
	- zawiesina			
	a/ bez zawiesin mineralnych zatrzymywanych w piaskowniku	j_{dz}	g/m^3	350-700
	b/ z zawiesinami mineralnymi zatrzymowanymi w piaskowniku	j_{dz}'	g/m^3	575-1150

Ilość ścieków pogody bezdeszczowej i ścieków opadowych oraz ładunki zanieczyszczeń odprowadzane z przykładowej zlewni przyjętej do analizy porównawczej różnych układów ograniczenia ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych ze ściekami opadowymi do odbiornika

Rodzaj ścieków	Średnia ilość ścieków		Średni ładunek zanieczyszczeń			
	m ³ /d	m ³ /h	BZT ₅		zawiesin	
			kg/d	kg/h	kg/d	kg/h
Ścieki pogody bezdeszczowej	308 736	12 864	86 400	3600	100 800	4200
Ścieki opadowe	200 000	66 700	18000-30000	6000-10000	70000-140000	23400-46700

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego z sumą ścieków pogody deszczowej do odbiornika dla systemu kanalizacji ogólnospławnej /układ OS-O/

Wskaźnik zanieczyszczenia		BZT ₅		Zawiesiny		Efekt oczyszczania miejskiej oczyszczalni w %
1	2	3	4	5	6	
90	100	3,2-4,2	18,8-26,6	73-68	6,8-11,6	60-51
	200	2,7-3,5	15,2-21,5	77-73	5,5- 9,3	68-61
	300	2,3-2,8	10,6-15,1	81-79	4,3- 7,2	74-70
80	100	3,3-4,4	19,6-27,8	72-68	7,0-12,9	58-46
	500	1,9-2,2	7,6- 9,6	86-85	2,8- 4,3	83-82
	600	1,5-1,8	5,3- 7,6	87-86	2,5- 3,9	85-84
75	100	3,4-4,4	20,1-28,4	72-67	7,2-12,4	58-48
	500	2,5-3,2	6,7- 9,4	79-76	3,1- 5,0	81-79
	600	1,8-2,1	6,7- 9,4	85-84	2,9- 4,6	83-80

*Efekt oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni
 $\eta_z = \eta_b = 90\%$

η_z - efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawiesin
 η_b - efekt oczyszczania wyrażony redukcją BZT₅

**/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

***/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego z sumą ścieków pogody deszczowej do odbiornika dla systemu kanalizacji półrozdzielczej - układ /PR - O/

Wskaźnik zanieczyszczenia		BZT ₅				Zawiesiny		
1	2	3	4	5	6	7	8	
Efekt oczyszczania ścieków w czasie dopływu ścieków opadowych $\eta_z = \eta_b \%$	Ilość ścieków opadowych dopływających do miejscowej oczyszczalni $\eta_z = \eta_b \%$	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	
90	100	2,8-3,7	14,8-23,9	77-71	6,8-12,5	46,9-92,8	60-48	
	200	2,3-3,2	11,9-18,8	81-76	5,5- 9,9	37,2-75,3	68-59	
	300	2,0-2,7	9,0-14,3	83-80	4,3- 7,6	26,6-54,2	74-87	
80	100	2,9-4,1	16,1-25,5	77-71	7,0-12,9	49,1-96,0	58-46	
	500	1,7-2,0	5,3- 7,6	86-85	2,8-4,4	23,4-26,1	83-82	
	600	1,5-1,8	5,3-7,6	87-86	2,5-3,9	13,1-24,2	85-84	
75	100	3,0-4,1	16,7-26,2	75-69	7,2-13,1	50,0-97,5	58-46	
	500	1,7-2,1	6,7-9,5	86-84	2,9- 4,6	26,4-30,2	83-80	
	600	1,7-2,1	6,7-9,4	86-84	2,9- 4,6	16,4-30,1	83-80	

*/ Efekt oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni

$$\eta_z = \eta_b = 90\%$$

η_z - efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawiesin

η_b - efekt oczyszczania wyrażony redukcją BZT₅

**/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

***/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej przy obniżeniu natężenia zrzutów burzowych przez zastosowanie zbiorników retencyjnych i przy obniżeniu ładunku zanieczyszczeń ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni /układ OS-Z/

Wskaźnik zanieczyszczenia			BZT ₅			Zawiesiny		
Współczynnik obniżenia natężenia zrzutu ścieków opadowych $\beta = \frac{Q_{oz}}{Q_p}$	Efekt oczyszczania ścieków w czasie dopływu ścieków opadowych $\eta_z = \eta_b$, %	Ilość ścieków opadowych dopływających do miejskiej oczyszczalni w % godzinowego ładunku pogody deszczowej	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzonego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/			Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku zanieczyszczeń odprowadzonego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/		
			3	4	5	6	7	8
$\beta \geq 1$	75	100	3,4-4,4	4,7-6,7	72-67	7,2-12,4	11,9-21,7	58-48
	80	100	3,3-4,3	4,3-6,1	72-68	7,0-12,1	10,8-19,7	59-49
	90	100	3,2-4,2	3,5-4,9	73-69	6,8-11,6	8,6-15,8	60-51
		200	2,7-3,5	3,7-5,2	78-74	5,5-9,3	10,8-16,9	68-61
		300	2,3-2,8	4,0-5,6	81-79	4,3-7,2	9,9-18,1	74-70
$\beta = 0,6$	75	100	2,5-3,2	3,7-5,2	72-67	4,9-8,3	9,3-16,9	58-48
	80	100	2,4-3,1	3,3-4,6	72-68	4,8-8,0	8,2-15,0	59-49
	90	100	2,3-2,9	2,4-3,4	73-69	4,5-7,5	5,0-11,0	60-51
		200	2,0-2,5	2,7-3,9	78-74	3,8-6,2	6,8-12,5	68-61
		300	1,8-2,2	3,1-4,3	81-79	3,2-5,1	7,6-14,0	74-70
$\beta = 0,5$	75	100	2,3-2,8	3,4-4,9	72-67	4,4-7,2	8,6-15,7	58-48
	80	100	2,2-2,8	3,0-4,3	72-68	4,2-7,0	7,5-13,8	59-49
	90	100	2,1-2,6	2,2-3,1	73-69	3,9-6,5	5,4-9,9	60-51
		200	1,9-2,3	2,5-3,5	78-74	3,4-5,4	6,2-11,4	68-61
		300	1,7-1,4	2,8-4,0	81-79	2,9-4,5	7,1-13,0	74-70
$\beta = 0,3$	75	100	1,8-2,2	2,9-3,8	72-67	3,2-5,2	7,3-13,4	58-48
	80	100	1,8-2,1	2,5-3,2	72-68	3,1-4,9	6,2-11,4	59-49
	90	100	1,7-2,0	1,7-2,3	73-69	2,8-4,4	4,1- 7,5	60-51
		200	1,5-1,8	2,0-2,7	78-74	2,5-3,9	5,0- 9,2	68-61
		300	1,4-1,7	2,3-3,4	81-79	2,3-3,5	6,0-10,9	74-70

m/ Efekt oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni $\eta_z = \eta_b = 90\%$

η_z - efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawiesin
 η_b - efekt oczyszczania wyrażony redukcją BZT₅

mm/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

mmm/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej przy obniżeniu natężenia zrzutu ścieków opadowych przez zastosowanie zbiorników retencyjnych i obniżeniu ładunku zanieczyszczeń ścieków opadowych w miejskiej oczyszczalni /układ PR-Z/

Wskaźnik zanieczyszczenia			BZT ₅			Zawiesiny		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\beta \geq 1$	75	100	3,0-4,1	5,3-7,1	75-69	7,2-13,1	11,9-20,9	58-46
	80	100	2,9-4,1	4,6-6,3	81-77	7,0-12,9	10,8-19,3	59-46
	90	100	2,7-3,9	3,3-4,8	82-80	6,8-12,5	8,6-16,1	60-48
		200	2,3-3,2	3,5-4,4	85-84	5,5- 9,9	10,8-17,4	68-59
		300	2,0-2,7	3,1-5,5	88-87	4,3- 7,6	9,9-18,6	74-68
$\beta = 0,6$	75	100	2,3-3,0	4,5-5,8	75-69	4,9- 8,6	9,3-15,7	58-46
	80	100	2,2-2,9	3,8-5,0	81-77	4,8-8,4	8,2-14,1	59-46
	90	100	2,0-2,8	2,5-3,5	82-80	4,5-8,0	6,0-10,9	60-48
		200	1,8-2,4	2,7-3,9	85-84	3,8-6,5	6,8-12,6	68-59
		300	1,7-2,1	3,0-4,4	88-87	3,2-5,3	7,6-14,2	74-68
$\beta = 0,5$	75	100	2,1-2,8	4,3-5,5	75-69	4,4-7,5	8,6-14,4	58-46
	80	100	2,0-2,7	3,6-4,7	81-77	4,2-7,3	7,5-12,8	59-46
	90	100	1,9-1,5	2,3-3,2	82-80	3,9-6,9	5,4- 9,6	60-48
		200	1,7-2,2	2,6-3,6	85-84	3,4-5,7	6,2-11,3	68-59
		300	1,6-1,9	2,8-4,1	88-87	2,9-4,7	7,1-13,0	74-68
$\beta = 0,3$	75	100	1,8-2,2	3,9-4,8	75-69	3,2-5,2	7,3-11,8	58-46
	80	100	1,7-2,1	3,2-4,0	81-77	3,1-5,0	6,2-10,2	59-46
	90	100	1,5-1,9	1,9-2,5	82-80	2,8-4,6	4,1- 7,0	60-48
		200	1,5-1,8	2,2-3,0	85-84	2,5-4,0	5,0- 8,9	68-59
		300	1,5-1,6	2,5-3,6	88-87	2,3-3,6	6,0-10,8	74-68

*/ Efekt oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni $\eta_z = \eta_b = 90\%$

η_z - efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawiesin

η_b - efekt oczyszczania wyrażony redukcją BZT₅

**/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

***/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej przy obniżeniu ładunku zanieczyszczeń ścieków opadowych w wydzielonej oczyszczalni /układ R-W/

B Z T 5			Z a w i e s i n a		
Wskaźnik zanieczyszczenia	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej ze ściekami pogody bezdeszczowej		Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej		Średnio dobowy efekt oczyszczania sumy ścieków odprowadzanych do odbiornika w dobach z opadami
$\rho_w, \%$	w okresie dobowym	w okresie godzinowym	w okresie dobowym	w okresie godzinowym	z opadami
1	2	3	4	5	6
30	2,5 - 3,4	12,7 - 20,4	80 - 75	5,9 - 10,7	39,9 - 78,8
50	2,0 - 2,7	9,3 - 14,9	83 - 80	4,5 - 7,9	28,8 - 56,6
70	1,6 - 2,0	6,0 - 9,3	87 - 85	3,1 - 5,2	17,7 - 34,3
90	1,2 - 1,3	2,7 - 3,8	90	1,7 - 2,4	6,6 - 12,1
					65 - 55
					74 - 67
					82 - 78
					90

*/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

**/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej przy obniżeniu ładunku zanieczyszczeń mieszaniny ścieków w miejskiej oczyszczalni i wydzielonej oczyszczalni zrzutów burzowych /układ OS-W/

Wskaźnik zanieczyszczeń			BZT ₅			Zawiesiny		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	75	100	2,7-3,5	14,7-20,8	78-74	5,5-9,3	36,7-67,2	68-61
			2,7-3,4	14,2-20,2	78-75	5,3-9,0	35,2-65,2	68-62
			2,6-3,2	13,4-19,0	79-76	5,1-8,5	33,6-61,3	70-64
			2,2-2,8	10,8-15,4	82-80	3,9-7,0	27,1-49,6	75-71
			1,9-2,3	8,3-11,7	84-83	3,5-5,6	20,7-37,8	80-76
50	75	100	2,3-2,8	11,1-20,8	81-79	4,4-7,2	27,8-50,8	74-70
			2,2-2,8	10,7-15,1	82-79	4,2-7,0	26,7-48,8	75-71
			2,1-2,6	9,8-13,9	83-81	4,0-6,5	24,6-44,9	77-73
			1,9-2,3	8,1-11,5	84-83	3,2-5,1	20,3-37,1	80-77
			1,7-2,0	6,4- 9,1	86-85	2,3-3,5	11,3-20,7	83-81
70	75	100	1,8-2,2	7,5-10,7	85-84	3,2-5,2	18,8-34,4	81-78
			1,8-2,1	7,1-10,0	85-84	3,1-4,9	17,7-32,4	82-79
			1,7-2,0	6,2- 8,8	86-85	2,8-4,4	15,6-28,5	83-81
			1,5-1,8	5,4- 7,6	87-86	2,5-3,9	13,5-24,6	85-84
			1,4-1,7	4,5- 6,4	88	2,3-3,5	11,3-20,7	86-85
90	75	100	1,4-1,6	3,9-5,6	88	2,1-3,1	9,8-18,0	88-87
			1,3-1,5	3,5-5,0	88	2,0-2,9	8,8-16,0	88
			1,2-1,3	2,6-3,8	90	1,7-2,4	6,6-12,1	90
			1,2-1,3	2,6-3,8	90	1,7-2,4	6,6-12,1	90
			1,2-1,3	2,6-3,8	90	1,7-2,4	6,6-12,1	90

m/ Efekt oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni

$\eta_z = \eta_b = 90\%$

η_z - efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawiesin

η_b - efekt oczyszczania wyrażony redukcją BZT₅

mm/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

mmm/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej przy obniżeniu ładunku zanieczyszczeń ścieków opadowych w wydzielonej oczyszczalni i w oczyszczalni miejskiej razem ze ściekami pogody bezdeszczowej /układ PR-W/

Wskaźnik zanieczyszczenia			BZT ₅			Zawiesiny		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wydzielonej oczyszczalni ścieków $\eta_w, \%$	Efekt oczyszczania w czasie dopływu ścieków $\eta_b = \eta_z \times \%$	Efekt oczyszczania do opadów Ilość ścieków odprowadzanych w okresie godzinowym	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	Stosunek ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej do ładunku odprowadzanego ze ściekami pogody bezdeszczowej **/	Wartość obliczeniowa w okresie godzinowym	Wartość obliczeniowa w okresie godzinowym	Wartość obliczeniowa w okresie godzinowym	Wartość obliczeniowa w okresie godzinowym
30	75	100	2,5-3,3	12,7-19,5	80-75	5,5-9,7	36,7-70,8	68-59
	80	100	2,4-3,2	12,1-18,8	80-76	5,3-9,5	35,7-69,2	68-60
	90	100	3,2-3,0	10,7-16,2	82-78	5,1-9,1	33,5-65,9	70-62
		200	2,0-2,6	8,8-13,0	84-81	3,9-7,4	27,1-53,0	75-69
50		300	1,7-2,2	6,9-10,8	86-83	3,5-6,0	20,7-40,2	80-75
	76	100	2,1-2,8	10,0-15,0	82-80	4,4-7,5	27,8-52,9	74-69
	80	100	2,0-2,7	9,4-14,3	83-80	4,2-7,3	26,7-51,3	75-70
	90	100	1,9-2,5	8,0-11,7	84-82	4,0-6,9	24,6-48,0	77-71
70		200	2,3-2,2	6,8-10,6	86-84	3,2-5,7	20,3-39,4	80-76
		300	1,6-1,9	5,5- 8,5	87-86	2,9-4,7	16,0-30,8	83-80
	75	100	1,8-2,2	7,3-10,6	85-84	3,2-5,2	18,8-34,9	81-78
	80	100	1,7-2,1	6,7- 9,8	86-84	3,1-5,0	17,7-33,3	82-79
90	90	100	1,5-1,9	5,4-8,3	87-86	2,8-4,6	15,6-30,0	83-86
		200	1,5-1,8	4,7-7,2	88-87	2,5-4,0	13,5-25,7	85-83
		300	1,4-1,6	4,1-6,1	88	2,3-3,6	11,3-21,5	86-85
	75	100	1,5-1,6	4,6-6,1	88	2,1-3,0	9,8-17,0	88-87
90	80	100	1,4-1,5	4,0-5,3	89	2,0-2,8	8,8-15,4	88
	90	100	1,2-1,3	2,7-3,8	90	1,7-2,4	6,6-12,1	90
		200	1,2-1,3	2,7-3,8	90	1,7-2,4	6,6-12,1	90
		300	1,2-1,3	2,7-3,8	90	1,7-2,4	6,6-12,1	90

*/ Efekt oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni

$$\eta_b = \eta_z = 90\%$$

η_b - efekt oczyszczania wyrażony redukcją BZT₅

η_z - efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawiesin

**/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

***/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Przykładowe porównanie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do odbiornika z sumą ścieków pogody deszczowej przy wspólnym ich oczyszczaniu w miejskiej oczyszczalni współdziałającej ze zbiornikiem retencyjnym

/układ R-Z.O.1, R-Z.O.2, PR-Z.O, OS-Z.O/

Wskaźnik zanieczyszczenia			BZT ₅			Zawiesiny		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Efekt oczyszczania ścieków w czasie dopływu ścieków do miasta - $\eta'_z = \eta'_b / \%$	90	1,2	1,2-1,4	1,2-1,5	90	1,8-3,5	2,1-4,3	90
	200	3,0	1,2-1,4	1,6-2,1	90	1,8-3,5	3,1-5,4	90
	300	5,7	1,2-1,4	2,0-2,6	90	1,8-3,5	4,2-7,4	90
80	100	1,2	2,6-3,1	2,1-3,0	80	3,0-3,2	4,3-6,3	80
	75	1,2	3,3-3,8	3,0-3,8	75	4,3-5,7	5,1-7,9	75

*/ Efekt oczyszczania ścieków pogody bezdeszczowej w miejskiej oczyszczalni $\eta_z = \eta_b = 90\%$

η_z - efekt oczyszczania wyrażony redukcją zawiesin

η_b - efekt oczyszczania wyrażony redukcją BZT₅

**/ Wartości niższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości wyższe - większych stężeń zanieczyszczeń

***/ Wartości wyższe dotyczą mniejszych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opadowych, wartości niższe - większych stężeń zanieczyszczeń

Tablica 7-13

Przykładowe porównanie efektywności obniżenia zrzutu ładunku zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych przy różnych układach systemów kanalizacyjnych i średnim stężeniu ścieków opadowych $BZT_5 = 150 \text{ g/m}^3$, zawiesiny - 700 g/m^3

/zlewnia skanalizowana $F = 2000 \text{ ha}$, czas trwania deszczu $t = 90 \text{ min}$, wysokość opadu $h = 20 \text{ mm/}$

Symbol układu	Współczynnik obniżenia natężenia odpływu ścieków opadowych lub zrzutów burzowych ze zbiornika retencyjnego $\beta = \frac{Q_{oz}}{Q_{ZR}}$	Ilość ścieków opadowych do miejskiej oczyszczalni w % godzinowego odpływu ścieków pogody bezdeszczowej	Efekt oczyszczania ścieków w czasie odpływu ścieków opadowych: - w odniesieniu do BZT ₅ - η_b - w odniesieniu do zawartości zawiesin - η_z				Stosunek ładunku zanieczyszczeń sumy ścieków pogody deszczowej do ładunku ścieków pogody bezdeszczowej odprowadzanych do odbiornika i wyrażony przez:				
			wydzielonych ścieków bez ścieków opadowych	mieszaniny ścieków suchej pogody i deszczowych oczyszczonych w miejskiej oczyszcz.	wydzielonych ścieków opadowych lub mieszaniny ścieków ze zrzutów burzowych	sumy wszystkich ścieków pogody deszczowej w okresie dobowym		BZT ₅		Zawartości zawiesin	
						η_b	η_z	w okresie godzinowym	w okresie dobowym	w okresie godzinowym	w okresie dobowym
			$\eta_b = \eta_z$	$\eta_b = \eta_z$	$\eta_b = \eta_z$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R-O*	-	-	90%	-	-	74%	53%	17,7	3,1	56,6	13,9
OS-O	-	100-300	90%	90%	0	73-81%	60-74%	18,8-10,6	3,2-2,3	46,9-26,6	6,8-4,3
	-	100-600	90%	80-75%	0	72-87%	58-85%	20,1- 5,3	3,4-1,5	50,0-13,1	7,2-2,5
PR-O	-	100-300	90%	90%	0	77-83%	60-74%	14,8- 9,0	2,8-2,0	46,9-26,6	6,8-4,3
	-	100-600	90%	80-75%	0	75-87%	58-85%	16,7- 5,3	3,0-1,5	50,0-13,1	7,2-2,5
R-Z	1,0-0,3	-	90%	-	0	74%	53%	3,1- 1,6	3,1-1,6	7,9- 2,1	7,9-2,1
OS-Z	1,0-0,3	100-300	90%	90%	0	73-81%	60-74%	4,0- 1,7	3,2-1,4	9,9- 4,1	6,8-2,3
	1,0-0,3	100	90%	80-75%	0	72%	58-59%	4,7- 2,5	3,4-1,8	11,9- 6,2	7,2-3,1
PR-Z	1,0-0,3	100-300	90%	90%	0	82-88%	60-74%	3,3- 1,9	2,7-1,4	9,9- 4,1	6,8-2,3
	1,0-0,3	100	90%	80-75%	0	75-81%	58-59%	5,3- 3,2	3,0-1,7	11,9- 6,2	7,2-3,1
R-W	-	-	90%	-	30-90%	80-90%	65-90%	12,7- 2,7	2,5-1,2	39,9- 6,6	5,9-1,7
OS-W	-	100-300	90%	90%	30-90%	79-90%	70-90%	13,4- 2,6	2,6-1,2	33,6- 6,6	5,1-1,7
	-	100	90%	80-75%	30-90%	78-88%	68-88%	14,7- 3,5	2,7-1,3	36,7- 8,8	5,5-2,0
PR-W	-	100-300	90%	90%	30-90%	82-90%	70-90%	10,7- 2,7	2,2-1,2	33,5- 6,6	5,1-1,7
	-	100	90%	80-75%	30-90%	80-89%	68-88%	12,7- 4,0	2,5-1,4	36,7- 8,8	5,5-2,0
R-Z.0.1	1,2-5,7	100-300	90%	90%	0	90%	90%	2,0- 1,2	1,2	4,2- 2,1	3,5
R-Z.0.2											
PR-Z.0	1,2	100	90%	80-75%	0	80-75%	80-75%	3,0- 2,1	3,3-2,6	5,1- 4,3	4,3-3,0
OS-Z.0											

*/ Układ R-O - odprowadzanie ścieków opadowych siecią kanalizacji rozdzielczej bezpośrednio do odbiornika

Tablica 7-14

Przykładowe porównanie efektywności obniżenia zrzutu ładunku zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych przy różnych układach systemów kanalizacyjnych i średnim stężeniu ścieków opadowych: BZT₅ - 150 g/m³, zawiesiny - 700 g/m³ /zlewnia skanalizowana - F = 2000 ha, czas trwania deszczu - t = 90 min, wysokość opadu - h = 20 mm/

Symbol układu	Współczynnik obniżenia natężenia odpływu ścieków opadowych lub zrzutów ze zbiornika retencyjnego $\beta = \frac{Q_{oz}}{Q_{ZR}}$	Ilość ścieków opadowych dopływających do miejskiej oczyszczalni w % godzinowego dopływu ścieków pogody bezdeszczowej	Efekt oczyszczania ścieków w czasie odpływu ścieków opadowych: w odniesieniu do BZT ₅ - η_b w odniesieniu do zawartości zawiesin - η_z			Stosunek ładunku zanieczyszczeń sumy ścieków pogody deszczowej do ładunku ścieków pogody bezdeszczowej odprowadzanych do odbiornika i wyrażony przez:					
			wydzielonych ścieków bez ścieków opadowych $\eta_b = \eta_z$	mieszanych ścieków suchej pogody i deszczowych oczyszcz. w miejs. oczyszcz. $\eta_b = \eta_z$	wydzielonych ścieków opadowych lub mieszanych ścieków ze zrzutów burzowych $\eta_b = \eta_z$	Sumy wszystkich ścieków pogody deszczowej w okresie dobowym		BZT ₅		Zawartość zawiesin	
						η_b	η_z	w okresie godzinowym	w okresie dobowym	w okresie godzinowym	w okresie dobowym
R-O ^{*/}	-	-	90%	-	-	67%	38%	28,8	4,5	112,2	14,9
OS-O	-	100-300	90%	90%	-	68-79%	51-70%	26,6-15,1	4,2-2,8	85,9-48,7	11,6-7,2
	-	100-600	90%	80-75%	-	67-86%	46-84%	28,4- 7,6	4,4-1,8	90,3-24,2	12,9-3,9
PR-O	-	100-300	90%	90%	-	71-80%	48-87%	23,9-14,3	3,7-2,7	92,8-54,2	12,5-7,6
	-	100-600	90%	80-75%	-	69-86%	46-84%	25,5- 7,6	4,1-1,8	97,5-24,2	13,1-3,9
R-Z	1, 1,0-0,3	-	90%	-	-	67%	38%	4,5- 2,0	4,5-2,0	14,9- 4,2	14,9-4,2
OS-Z	1,0-0,3	100-300	90%	90%	-	69-79%	51-70%	5,6-2,8	4,2-1,4	18,1- 7,5	11,6-3,5
	1,0-0,3	100	90%	80-75%	-	67-68%	48-49%	6,7- 3,2	4,4-2,1	21,7-11,4	12,4-4,9
PR-Z	1,0-0,3	100-300	90%	90%	-	80-87%	48-68%	5,5- 2,5	8,9-1,5	18,6- 7,0	12,5-3,6
	1,0-0,3	100	90%	80-75%	-	69-77%	46%	7,1- 4,0	4,1-2,1	20,9-10,2	13,1-5,0
R-W	-	-	90%	-	30-90%	75-90%	55-90%	20,4- 3,8	3,4-1,3	78,8-12,1	10,7-2,4
OS-W	-	100-300	90%	90%	30-90%	76-90%	64-90%	19,9- 3,8	3,2-1,3	61,3-12,1	8,5-2,4
	-	100	90%	80-75%	30-90%	74-88%	61-88%	20,8- 5,0	3,5-1,5	67,2-16,0	9,3-2,9
PR-W	-	100-300	90%	90%	30-90%	78-90%	62-90%	16,2- 3,8	3,0-1,3	65,9-12,1	9,1-2,4
	-	100	90%	80-75%	30-90%	75-89%	59-88%	19,5- 5,3	3,3-1,5	70,8-15,4	9,7-2,8
R-Z.0.1	1,2-5,7	100-300	90%	90%	-	90%	90%	2,6- 1,5	1,4	7,4- 4,3	3,6
R-Z.0.2											
PR-Z.0											
OS-Z.0	1,2	100	90%	80-75%	-	80-75%	80-75%	3,8- 3,0	3,8-3,1	7,9- 6,3	5,7-3,2

^{*/} Układ R-O - odprowadzanie ścieków opadowych siecią kanalizacji rozdzielczej bezpośrednio do odbiornika

Tablica 8-1.

Wiek osadu w komorze regeneracji miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych przy różnych natężeniach przepływu tych ścieków

Przepływ ścieków opadowych w % Q_s	wiek osadu τ w dobach	
	$j_{db} = 0,5 j_{sb}$	$j_{db} = 0,3 j_{sb}$
100	3,3	2,9
150	3,8	3,2
200	4,4	3,5
300	5,5	4,2

Q_s - natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej w m^3/d ,
 j_{db} - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych dopływających do części biologicznej miejskiej oczyszczalni, wyrażone BZT_5 ,
 j_{sb} - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach pogody bezdeszczowej dopływających do części biologicznej miejskiej oczyszczalni, wyrażone BZT_5 .

Tablica 8-2

Zestawienie przyjętych do obliczeń parametrów miejskiej oczyszczalni ścieków, przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych /zlewnia skanalizowana $F = 2000$ ha, gęstość zaludnienia $G = 300$ M/ha/

Natężenie dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni $Q_{h\text{śr}_s}$	Charakterystyczne przepływy obliczeniowe					Ładunek zanieczyszczeń przy średnio dobowym dopływie mieszaniny ścieków				Średnie stężenie zanieczyszczeń w mieszaninie ścieków			
	Średni dobowy $Q_{d\text{śr}}$	Maksymalny dobowy $Q_{d\text{max}}$	Maksymalny godzinowy $Q_{h\text{max}}$	Średni z godzin-dziennych $Q_{dh\text{śr.}}$	Minimalny godzinowy $Q_{h\text{min}}$	BZT ₅ w kg/d		Zawiesiny /bez zanieczyszczeń mineralnych zatrzymywanych w piaskowniku/ w kg/d		BZT ₅ w g/m ³		Zawiesiny /bez zanieczyszczeń mineralnych zatrzymywanych w piaskowniku/ w g/m ³	
	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /h	m ³ /h	Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II
0	308740	344740	21664	19064	5664	86400		100800		280		326	
10	339614	375614	22950	20350	6950	89180	91031	111606	122412	263	268	329	360
20	370488	386488	24237	21637	8237	91957	95662	122412	144024	248	258	330	389
50	463110	479106	280961	25496	12096	100293	109555	154830	208860	217	237	334	451
80	555732	571732	31955	29355	15955	106829	123449	187248	273696	192	222	337	492
100	617480	653480	34528	32728	18528	114187	132720	208860	316920	185	215	338	513
150	773850	807850	40960	38360	24960	128260	155880	262890	424980	166	201	340	549
200	926220	962220	47392	44792	31392	141973	179022	316920	533040	153	193	342	576
300	1214220	1270960	60256	57656	44256	169760	225330	424980	749160	140	186	350	617

$Q_{h\text{śr}_s}$ - średnie dobowe natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej,

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 90 \text{ g/m}^3$, $j_{dz} = 350 \text{ g/m}^3$

Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 150 \text{ g/m}^3$, $j_{dz} = 700 \text{ g/m}^3$

Tablica 8-3

Zestawienie kubatury urządzeń miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych /zlewnia skanalizowana F = 2000 ha, G= 300 M/ha/

Natężenie przepływu ścieków opadowych na oczyszczalni x/ q _{hśr}	Kubatura urządzeń w m ³																				Powierzchnia poletek osadowych w m ²							
	Kraty		Pompownia ścieków		Piaskowniki o przepływie		Osadniki wstępne		Komory osadu		Komory mieszania		Komory osadu		Komory regeneracji	Osadniki wtórne typu		Wydzielone komory fermentacji		Wariant I		Wariant II						
	Wariant I i II		Wariant I i II		poziomym		o przepływie		czylnego		Wariant I i II		Wariant I i II		Wariant I	Dorr'a A i B		Wariant I						Wariant II				
	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana	użytkowa	budowlana				
0	-	1.500	-	3.990	360	720	38.128	70.500	59.861	98.770	-	-	-	-	-	-	47.660	83.403	81.505	130.408	81.505	130.408	356.500	463.000	356.500	463.000		
10	-	1.550	-	4.347	382	764	40.700	75.295	59.861	98.770	321	643	3.860	7.720	1.137	2.274	1.159	2.318	50.875	89.031	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500
20	-	1.600	-	4.473	404	808	43.274	80.057	59.861	98.770	643	1286	7.720	15.440	2.144	4.288	2.231	4.462	54.092	94.662	86.425	150.000	91.690	137.000	383.000	498.000	391.000	508.500
50	-	1.660	-	5.542	468	936	50.992	94.335	59.861	98.770	1608	3216	19.300	38.600	4.691	2.975	5.123	8.709	63.740	111.545	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500
80	-	1.750	-	6.617	528	1056	58.710	108.613	59.861	98.770	2573	5146	30.875	52.490	6.640	11.288	7.677	13.051	73.388	128.428	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500
100	-	1.950	-	7.563	575	1150	64.346	119.040	59.861	98.770	3416	6832	38.590	65.603	7.996	13.593	9.293	15.798	81.820	143.185	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500
150	-	2.200	-	9.350	684	1368	76.720	141.932	59.861	98.770	4824	9648	57.890	98.413	10.763	18.297	13.032	22.154	95.900	167.825	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500
200	-	2.500	-	11.137	792	1584	89.584	165.730	59.861	98.770	6432	12864	77.185	131.214	13.227	22.486	16.684	28.363	111.980	195.965	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500
300	-	3.100	-	14.710	1002	2004	115.312	213.327	59.861	98.770	9648	19296	115.780	196.826	18.154	30.862	24.120	41.004	144.140	253.686	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500
xx/	-	1.500	-	3.990	360	720	38.128	70.500	59.861	98.770	-	-	-	-	-	-	-	-	47.660	83.403	86.425	150.000	91.690	157.000	383.000	498.000	391.000	508.500

x/q_{hśr} - średnie dobowe natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej

xx/ - dopływ ścieków opadowych w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: j_{d BZT₅} = 90 g/m³ ; j_{dz} = 350 g/m³
Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: j_{d BZT₅} = 150 g/m³ ; j_{dz} = 700 g/m³

Tablica 8-4

Zestawienie nakładów inwestycyjnych na urządzenia technologiczne miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych /zlewnia skanalizowana F = 2000 ha, gęstość zaludnienia G = 300 M/ha/

Natężenie dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni % $Q_{h\bar{s}r_s}$	Nakłady inwestycyjne w tys. zł												Wydzielone komory fermentacji		Poletka osadowe		R a z e m		Sieć technologiczna		Razem	
	Kraty	Pompownia ścieków	Piaskownik	Osadniki wstępne	Komory osadu z urządzeniami do napowietrzania A	Komory mieszanania z urządzeniami do napowietrzania	Komory osadu z urządzeniami do napowietrzania B	Komory regeneracji osadu z urządzeniami do napowietrzania		Osadniki wtórne A i B	Pompownia osadu i recyrkulatu		Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II
	Wariant I i II	Wariant I i II	Wariant I i II	Wariant I i II	Wariant I i II	Wariant I i II	Wariant I i II	Wariant I	Wariant II	Wariant I i II	Wariant I	Wariant II										
0	2964	46311	2527	66904	124549	-	-	-	-	78067	47148	47148	145796	145796	132411	132411	646677	646677	64668	64668	711345	711345
10	3063	49244	2682	70476	124549	1888	12043	4493	4550	83333	51458	51483	163800	171440	142428	145431	709157	719882	70916	71988	780073	791870
20	3141	51868	2836	74933	124549	3009	21372	7525	7773	87373	54577	54625	163800	171440	142428	145431	737411	748350	73741	74835	811152	823185
50	3237	62520	3164	88298	124549	6271	49176	12441	13133	101506	63384	63485	163800	171440	142428	145431	819774	832220	81977	83222	901751	915442
80	3412	69466	3295	100250	124549	9031	66872	16142	18154	116870	68639	68799	163800	171440	142428	145431	884754	897569	88475	89757	973229	987326
100	3777	74098	3588	108326	124549	11546	83578	18910	21154	130298	73715	73909	163800	171440	142428	145431	938613	951694	93861	95169	1032474	1046863
150	4233	85124	3735	127313	124549	14424	124100	23786	28800	148357	82099	82357	163800	171440	142428	145431	1043948	1059863	104395	105986	1148343	1165849
200	4745	92622	4118	146505	124549	18396	163755	29232	36503	170686	92573	92899	163800	171440	142428	145431	1153410	1171649	115341	117165	1268751	1288814
300	5844	109280	4429	185801	124549	25085	245639	38917	50640	217663	110225	110669	163800	171440	142428	145431	1373660	1396470	137366	139647	1511026	1536117
**/ X	2964	46311	2527	66904	124549	-	-	-	-	78067	47148	47148	163800	171440	142428	145431	674698	685341	67470	68534	742168	753875

*/ $Q_{h\bar{s}r_s}$ - średnie dobowe natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej

**/ X - dopływ ścieków opadowych w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_{dBZT_5} = 90 \text{ g/m}^3$; $j_{dz} = 350 \text{ g/m}^3$

Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_{dBZT_5} = 150 \text{ g/m}^3$; $j_{dz} = 700 \text{ g/m}^3$

Tablica 8-5

Procentowy rozkład nakładów inwestycyjnych na urządzenia technologiczne miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych /zlewnia skalizowana F = 2000 ha, gęstość zaludnienia G = 300 M/ha/

Urządzenia technologiczne miejskiej oczyszczalni ście- ków przystosowanej do przy- jęcia ścieków opadowych	Nakłady inwestycyjne w % nakładów inwestycyjnych na oczyszczalnię ścieków pogody bezdeszczowej dla wartości natężenia dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni w % $Q_h \text{ } \overline{sr}_s$ */																			
	W a r i a n t I										W a r i a n t II									
	0	10	20	50	80	100	150	200	300	x**/	10	20	50	80	100	150	200	300	x**/	
Kraty	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,4	
Pompownia ścieków	6,5	6,9	7,3	8,8	9,9	10,4	12,0	13,0	15,4	6,5	6,9	7,3	8,8	9,9	10,4	12,0	13,0	15,4	6,5	
Płaskowniki	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	
Osadniki wstępne	9,4	9,9	10,5	12,4	14,1	15,2	17,9	20,6	26,1	9,4	9,9	10,5	12,4	14,1	15,2	17,9	20,6	26,1	9,4	
Komory osadu czynnego z urzą- dzeniami do napowietrzania-A	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	
Komory mieszania z urządzenia- mi do mieszania	-	0,2	0,4	0,9	1,3	1,6	2,0	2,6	3,5	-	0,2	0,4	0,9	1,3	1,6	2,0	2,6	3,5	-	
Komory osadu czynnego z urządzeniami do napowie- trzenia - B	-	1,8	3,0	6,9	9,4	11,7	17,4	23,0	34,5	-	1,8	3,0	6,9	9,4	11,7	17,4	23,0	34,5	-	
Komory regeneracji osadu z urządzeniami do napowie- trzenia	-	9,6	1,1	1,7	2,3	2,7	3,3	4,1	5,5	-	0,6	1,1	1,8	2,6	3,0	4,0	5,1	7,1	-	
Osadniki wtórne	11,0	11,7	12,3	14,3	16,4	18,3	20,9	24,0	30,6	11,0	11,7	12,3	14,3	16,4	18,3	20,9	24,0	30,6	11,0	
Pompownia recyrkulatu i osadu	6,6	7,2	7,7	8,9	9,6	10,4	11,8	13,0	15,5	6,6	7,2	7,7	8,9	9,7	10,4	11,6	13,1	15,6	6,6	
Wydzielone komory fermentacji	20,5	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	
Poletka osadowe	18,6	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	
Sieć technologiczna	9,1	10,0	10,4	11,5	12,4	13,2	14,7	16,2	19,6	9,6	10,1	10,5	11,7	12,6	13,4	14,9	16,5	19,6	9,6	
R a z e m :	100,0	109,6	114,0	126,8	136,9	145,0	161,3	178,3	212,6	104,4	111,1	115,6	128,6	139,0	147,0	163,8	181,2	215,8	105,9	

*/ $Q_h \text{ } \overline{sr}_s$ - średnie dobowe natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 90 \text{ g/m}^3$; $j_{dz} = 350 \text{ g/m}^3$

Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 150 \text{ g/m}^3$; $j_{dz} = 700 \text{ g/m}^3$

**/ x - dopływ ścieków opadowych w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej

Tablica 8-6

Zestawienie parametrów miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych do obliczenia zużycia energii elektrycznej.

Cel zużycia energii elektrycznej	Parametry miejskiej oczyszczalni ścieków do obliczenia energii elektrycznej													Oczyszczalnia mieszaniny ścieków pogody bezdeszczowej i opadowych					
	Oczyszczalnia ścieków pogody bezdeszczowej			Oczyszczalnia mieszaniny ścieków pogody bezdeszczowej i opadowych Wariant I							Oczyszczalnia mieszaniny ścieków pogody bezdeszczowej i opadowych Wariant II								
	Ilość ścieków lub osadów ściekowych tys.m ³ /a	Manometryczna wysokość podnoszenia m H ₂ O	Ładunek zanieczyszczeń wyrażony BZT ₅ tys.kg/a	Ilość ścieków lub osadów ściekowych			Manometryczna wysokość podnoszenia m H ₂ O	Ładunek zanieczyszczeń wyrażony BZT ₅			Masa osadu w komorze regeneracji w tys.kg.	Ilość ścieków lub osadów ściekowych			Manometryczna wysokość podnoszenia m H ₂ O	Ładunek zanieczyszczeń wyrażony BZT ₅			Masa osadu w komorze regeneracji w tys. kg.
				pogody bezdeszczowej tys.m ³ /a	opadowych tys.m ³ /a	razem tys.m ³ /a		w ściekach pogody bezdeszczowej tys.kg/a	w ściekach opadowych tys.kg/d	razem tys.kg/a		pogody bezdeszczowej tys. m ³ /a	opadowych tys.m ³ /a	razem		w ściekach pogody bezdeszczowej tys.kg/a	w ściekach opadowych tys.kg/a	razem tys.kg/a	
Pompowanie ścieków	112.690	10	-	112690	6.000	118.600	10	-	-	-	-	112.690	6.000	118.690	10	-	-	-	-
Napowietrzanie ścieków w procesie osadu czynnego	112.690	-	31.336	112690	6.000	118.690	-	31.336	378	31.714	-	112.690	6.000	118.690	-	31.336	450	31.986	-
Napowietrzanie osadu czynnego w komorze regeneracji	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,374 ^{x/} 181,54	-	-	-	-	-	-	-	11,59-241,20 ^{x/}
Pompowanie osadu recyrkulowanego	112.690	4	-	112690	6.000	118.690	4	-	-	-	-	112.690	6.000	118.690	4	-	-	-	-
Pompowanie osadu do komór fermentacji	2.037	24	-	2037	53	2.090	24	-	-	-	-	2.037	96	2.133	24	-	-	-	-

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d BZT_5 = 90 \text{ g/m}^3$; $j_d z = 350 \text{ g/m}^3$
Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d BZT_5 = 150 \text{ g/m}^3$; $j_d z = 700 \text{ g/m}^3$
^{x/} w zależności od przyjętego natężenia dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni /10-300 % średniego dobowego natężenia dopływu ścieków pogody bezdeszczowej/

Tablica 8-7

Zestawienie zużycia energii elektrycznej w miejskiej oczyszczalni ścieków
przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych /zlewnia skanalizowana
F = 2000 ha, gęstość zaludnienia G = 300 M/ha/

Cel zużycia energii elektrycznej	Zużycie energii elektrycznej w M kWh/a				
	W oczyszczalni nie przyjmują- cej ścieków opadowych	W oczyszczalni przyjmującej ścieki opadowe w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków opadowych		W oczyszczalni przystosowanej do przyjęcia ścieków opado- wych	
		Wariant I	Wariant II	Wariant I	Wariant II
Pompowanie ścieków.	6137,8	6456,7	6456,7	6456,7	6456,7
Napowietrzanie ścieków w komorach osadu czynnego.	18279,3	18523,8	18658,5	18523,8	18658,5
Mieszanie ścieków w komorach miesza- nia.	-	-	-	32,0	32,0
Napowietrzanie osadu czynnego w komo- rze regeneracji.	-	-	-	110,7-1767,0*	112,8-2347,0*
Pompowanie osadu z komór regeneracji do komór napowietrzania.	-	-	-	13,0	20,0
Pompowanie osadu recyrkulowanego.	2455,1	2585,9	2585,9	2585,9	2585,9
Pompowanie osadu do komór fermentacji.	266,3	272,9	278,5	272,9	278,5
Mieszanie osadów w komorach fermenta- cji.	4277,7	4466,0	4636,5	4466,0	4636,5
R a z e m	31416,2	32305,3	32616,1	32462,0-34118,3*	32780,9-35034,1*

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 90 \text{ g/m}^3$, $j_{dz} = 350 \text{ g/m}^3$

Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 150 \text{ g/m}^3$, $j_{dz} = 700 \text{ g/m}^3$

* / W zależności od przyjętego natężenia dopływu ścieków opadowych do oczyszczalni
/10-300% średniego dobowego natężenia dopływu ścieków pogody bezdeszczowej/

Tablica 8-8

Zestawienie maksymalnego zapotrzebowania mocy dla miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych oraz cen jednostkowych energii elektrycznej /zlewnia skanalizowana F = 2000 ha, gęstość zaludnienia G = 300 M/ha/

Cel zapotrzebowania mocy	Maksymalne zapotrzebowanie mocy w kW dla oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych przy natężeniu dopływu ścieków opadowych w % średniego dobowego natężenia ścieków pogody bezdeszczowej																			
	W a r i a n t I										W a r i a n t II									
	0	10	20	50	80	100	150	200	300	x ^{*/}	10	20	50	80	100	150	200	300	x ^{*/}	
Pompownie ścieków	1180	1251	1321	1531	1742	1844	2232	2583	3284	1180	1251	1321	1531	1742	1844	2232	2583	3884	1180	
Napowietrzanie ścieków w komorach osadu czynnego	3112	3153	3197	3359	3524	3706	3942	4269	4996	3112	3180	3254	3523	3799	4102	4495	5040	6252	3112	
Mieszanie ścieków	-	7	14	35	56	70	105	140	210	-	7	14	35	56	70	105	140	210	-	
Napowietrzanie osadu czynnego w komorze regeneracji	-	12	24	52	74	89	120	147	202	-	13	25	57	85	103	145	185	268	-	
Pompowanie osadu z komór regeneracji do komór napowietrzania	-	4	6	14	22	30	42	56	84	-	4	6	14	22	30	42	56	84	-	
Pompowanie osadu recyrkulowanego	415	444	472	556	640	714	863	976	1257	415	444	472	556	640	714	863	976	1257	415	
Pompowanie osadu do komór fermentacji	30	34	35	38	41	43	48	53	63	30	36	37	48	49	53	63	73	93	30	
Mieszanie osadów w komorze fermentacji	488	505	505	505	505	505	505	505	505	505	521	521	521	521	521	521	521	521	521	
R a z e m :	5225	5410	5574	6092	6606	7003	7840	8726	10589	5242	5433	5646	6281	6915	7441	8454	9603	12022	5258	
Cena jednostkowa energii elektrycznej zł/kWh	0,49	0,50	0,51	0,52	0,55	0,57	0,60	0,64	0,71	0,50	0,50	0,51	0,52	0,56	0,58	0,62	0,65	0,75	0,50	

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 90 \text{ g/m}^3$; $j_{dz} = 350 \text{ g/m}^3$

Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych: $j_d \text{ BZT}_5 = 150 \text{ g/m}^3$; $j_{dz} = 700 \text{ g/m}^3$

* / x - dopływ ścieków opadowych w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej

Tablica 8-9

Zestawienie rocznych kosztów eksploatacji miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych /zlewnia

skanalizowana F = 2000 ha, gęstość zaludnienia G = 300 M/ha /

Składniki kosztów eksploatacji	Koszty eksploatacji w tys.zł/a miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych										przy natężeniu dopływu ścieków opadowych w % średniego dobowego natężenia ścieków pogody bezdeszczowej									
	Wariant I					Wariant I					Wariant II									
	0	10	20	50	80	100	150	200	300		x ^x /	10	20	50	80	100	150	200	300	x ^x /
Koszty energii elektrycznej K _{el}	15.394	16.231	16.606	17.060	18.148	18.884	20.039	21.528	24.224		16.153	16.390	16.771	17.247	18.712	19.472	21.040	22.289	26.276	16.308
Koszty materiałów K _m	363	426	436	436	436	436	436	436	436		436	502	502	502	502	502	502	502	502	502
Prace z narzutami K _{pr}	4.290	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420		4.290	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420	4.420	4.429
Koszty ogólne K _{og}	3.561	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669		3.561	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669	3.669	3.561
Koszty remontów i konserwacji K _r	11.381	12.481	12.978	14.428	15.572	16.520	18.374	20.300	24.176		11.875	12.670	13.171	14.647	15.797	16.750	18.654	20.621	24.578	12.062
Koszty amortyzacji K _{am}	21.340	23.402	24.335	27.053	29.197	30.974	34.450	38.063	45.331		22.265	23.756	24.696	27.463	29.620	31.406	34.975	38.664	46.084	22.616
Wartość produktów ubocznych S	12.834	13.182	13.182	13.182	13.182	13.182	13.182	12.182	13.182		13.182	13.436	13.436	13.436	13.436	13.436	13.436	13.436	13.436	13.436
Koszty eksploatacji bez uwzględnienia wartości produktów ubocznych w tys.zł/a	56.329	60.639	62.444	67.066	71.442	74.903	81.388	88.416	102.256		58.580	61.407	63.229	67.948	72.720	76.219	83.260	90.165	105.529	59.478
% kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków nieprzyjmującej ścieków opadowych	100	107,6	110,9	119,1	126,8	133,0	144,5	157,0	181,5		104,0	109,0	112,2	120,6	129,1	135,3	147,8	160,1	187,3	105,6
Koszty eksploatacji z uwzględnieniem wartości produktów ubocznych w tys. zł/a	43.495	47.459	49.262	53.884	58.260	61.721	68.206	75.234	89.074		45.398	47.971	50.093	54.512	59.284	62.783	69.824	76.729	92.093	46.042
% kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków nieprzyjmującej ścieków opadowych	100	109,1	113,3	123,9	133,9	141,9	156,8	173,0	204,8		104,4	110,3	115,2	125,3	136,3	144,3	160,5	176,4	211,7	105,9

Wariant I - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych : j_{d BZT₅} = 90 g/m³; j_{dZ} = 350 g/m³

Wariant II - średnie stężenie zanieczyszczeń w ściekach opadowych : j_{d BZT₅} = 150 g/m³; j_{dZ} = 700 g/m³

x/x - dopływ ścieków opadowych w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków miejskich pogody bezdeszczowej.

Tablica 10-1

Efekt oczyszczania ścieków opadowych lub
zrzutów burzowych w urządzeniach wydzie-
lonej oczyszczalni ścieków

Urządzenia wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych	Efekt oczyszczania wyrażony redukcją	
	BZT ₅	zawiesiny
piaskownik	3%	5% /40%/*
piaskownik napowietrzany	3%	5% /52%/*
osadnik o czasie zatrzymania ścieków:		
15 minut	13%	35%
30 minut	19%	43%
60 minut	24%	60%

*/ wartości bez nawiasów dotyczą redukcji zawiesin bez
uwzględnienia zawiesin mineralnych zatrzymywanych w pias-
kownikach; wartości w nawiasach dotyczą redukcji zawiesin
łącznie z zawiesinami mineralnymi zatrzymywanymi w pias-
kownikach.

Prze- pływ ścieków opado- wych lub zrzutów burzo- wych w l/s	Kubatura urządzeń w m ³									
	K r a t y		Piaskownik napowietrzony		Osadnik o czasie zatrzymania					
	Użytko- wa	Budowla- na	Użytko- wa	Budowla- na	15 minut Użytko- wa	Budowla- na	30 minut Użytko- wa	Budowla- na	60 minut Użytko- wa	Budowla- na
100	-	300	40	80	90	180	180	360	360	720
300	-	330	110	220	270	540	540	1080	1080	2160
500	-	340	180	360	450	900	900	1800	1800	3600
700	-	360	255	510	630	1260	1260	2520	2520	5040
900	-	380	324	648	810	1620	1620	3240	3240	6480
1000	-	390	360	720	900	1800	1800	3600	3600	7200
2000	-	540	720	1440	1800	3600	3600	7200	7200	13000
3000	-	680	1080	2160	2700	5200	5200	9600	10800	17500
5000	-	900	1800	3600	4500	8000	9000	16500	18000	32000
7000	-	1500	2520	5040	6300	11500	12600	23000	25200	45000

Nakłady inwestycyjne na urządzenia do oczyszczania ścieków opadowych lub zrzutów burzowych w wydzielonej oczyszczalni o przyjętym układzie technologicznym

Przepływ ścieków opadowych lub zrzutów burzowych w dm ³ /s	N a k ł a d y i n w e s t y c y j n e w t y s . z ł															Jednostkowe nakłady inwestycyjne w tys.z/dm ³ /s. na urządzenia wydzielonej oczyszczalni			
	Kraty	Piaskowniki napowietrzane	Osadniki o czasie zatrzymania			Razem na urządzenia do oczyszczania ścieków opadowych przy czasie zatrzymania w osadniku			Sieć technologiczna (przy zastosowaniu osadników o czasie zatrzymania)			Razem - przy zastosowaniu osadników o czasie zatrzymania			przy zastosowaniu osadników o czasie zatrzymania		bez osadników		
			15 minut	30 minut	60 minut	15 minut	30 minut	60 minut	15 minut	30 minut	60 minut	15 minut	30 minut	60 minut	15 min	30 min	60 min		
100	710	218	468	819	1441	1305	1656	2278	130	166	228	1435	1822	2506	14,5	18,2	25,1	9,9	
300	772	572	1158	1966	3370	2502	3310	4714	250	331	471	2752	3641	5185	9,2	12,1	17,3	4,8	
500	796	913	1696	2925	5148	3405	4634	6857	350	463	686	3745	5097	7343	7,5	10,2	14,7	3,7	
700	828	1260	2195	3866	6683	4313	5954	8771	431	595	877	4744	6549	9648	6,8	9,4	13,8	3,0	
900	874	1600	2738	4633	8171	5212	7107	10645	521	711	1064	5733	7818	11709	6,4	8,7	13,1	2,9	
1000	887	1778	2925	5148	8892	5590	7813	11557	559	781	1156	6149	8594	12713	6,1	8,5	12,7	2,9	
2000	1190	3370	5148	8986	14196	8933	12771	17981	893	1277	1798	9826	14048	19779	3,3	7,0	9,9	2,5	
3000	1458	4774	6760	11232	18655	12992	17464	24887	1299	1746	2489	14291	19210	27376	4,8	6,4	9,1	2,3	
5000	1872	6973	9672	17589	32448	18517	26434	41293	1852	2643	4129	20369	29017	45422	4,1	5,8	9,0	1,9	
7000	3003	8190	12857	23920	44460	24050	35113	55653	2405	3511	5565	26455	38624	61218	3,8	5,5	8,7	1,8	

Przykładowe porównanie efektywności obniżenia zrztu ładunku zanieczyszczeń zawartych w ściekach opadowych przy wydzielonym ich oczyszczaniu dla różnych systemów kanalizacji /zlewnia skanalizowana F = 2000 ha, czas trwania deszczu t = 90 min, wysokość opadu h = 20 mm/

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Schemat technologiczny wydziałowej oczyszczalni ścieków		System kanalizacyjny		Ciepła woda		Ciepła woda		Ciepła woda		Ciepła woda		Ciepła woda		Ciepła woda		Ciepła woda		Ciepła woda	
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
kratki		rozdzielczy		-		3%		5%/52%/		92,5%		-		74-67%		53-38%		2%	
piaskownik napow.		ogólnospławny		-		3%		5%/52%/		92,5%		75%		72-67%		58-46%		6%	
odbiornik		półrozdzielczy		-		3%		5%/52%/		92,5%		75%		75-69%		58-46%		6%	
kratki		rozdzielczy		15		16%		38%/71%/		92,5%		-		78-73%		66-56%		38%	
piaskownik napow.		ogólnospławny		30		22%		46%/75%/		92,5%		-		79-74%		73-66%		55%	
osadnik		ogólnospławny		60		27%		62%/83%/		92,5%		-		79-74%		79-74%		87%	
odbiornik		ogólnospławny		15		16%		38%/71%/		92,5%		75%		76-72%		69-62%		42%	
osadnik		ogólnospławny		30		22%		46%/75%/		92,5%		75%		77-73%		74-70%		59%	
odbiornik		ogólnospławny		60		27%		62%/83%/		92,5%		75%		78-74%		80-77%		91%	
osadnik		ogólnospławny		16		16%		38%/71%/		92,5%		75%		77-73%		68-59%		42%	
odbiornik		ogólnospławny		30		22%		46%/75%/		92,5%		75%		78-75%		74-69%		59%	
osadnik		ogólnospławny		60		27%		62%/83%/		92,5%		75%		80-75%		80-76%		91%	

*/ Wartości wyższe odnoscą się do
opadów - BZT₅ - 90 g/m³
- zawiesiny-350 g/m³

Wartości niższe odnoszą się do średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych - BZT₅ - 150 g/m³
- zawiesiny - 700 g/m³

xx/ Wartości bez nawiasów odnoszą się do redukcji zawiesin bez uwzględnienia zawiesin mineralnych zatrzymanych w piaskowniku; wartości w nawiasach - z uwzględnieniem zawiesin mineralnych zatrzymanych w piaskowniku.

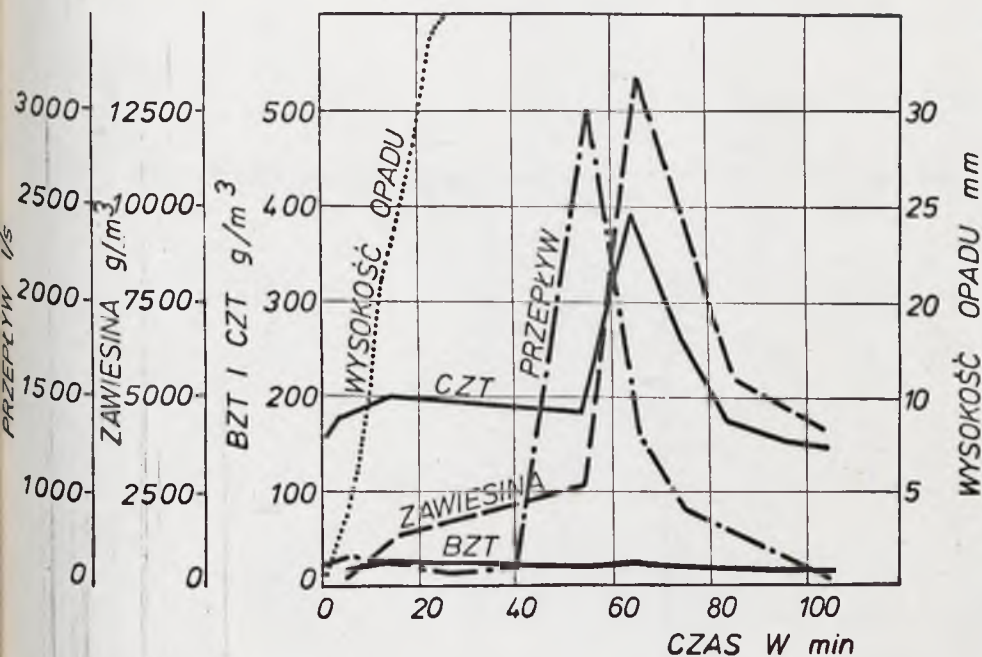
S p i s r y s u n k ó w

- Rys. 5-1. Stężenie zanieczyszczeń w ściekach deszczowych w zależności od czasu trwania deszczu.
- Rys. 5-2. Przeciętne dobowe wahania stężenia niektórych zanieczyszczeń w ściekach bytowo-gospodarczych i w ściekach mieszanych.
- Rys. 5-3. Stężenie zanieczyszczeń w ściekach mieszanych sieci ogólnospławnej w zależności od czasu trwania deszczu.
- Rys. 5-4. Przeciętne stężenia zanieczyszczeń w ściekach mieszanych.
- Rys. 5-5. Redukcja wskaźników zanieczyszczenia w wyniku sedymentacji.
- Rys. 6-1. Zależność pomiędzy wielkością ładunku zanieczyszczeń spłukiwanych z powierzchni zlewni, wysokością opadu i czasu jaki upłynął od ostatniego opadu.
- Rys. 8-1. Schemat technologiczny miejskiej oczyszczalni ścieków przystosowanej do przejęcia ścieków opadowych.
- Rys. 8-2. Przekrój przez urządzenia oczyszczalni ścieków przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych.
- Rys. 8-3. Obliczenie ilości ścieków opadowych dopływających do miejskiej oczyszczalni w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków pogody bezdeszczowej.
- Rys. 8-4. Ilość ścieków opadowych, którą może przejąć oczyszczalnia miejska w ciągu doby, w godzinach zmniejszonego dopływu ścieków pogody bezdeszczowej w zależności od współczynnika nierównomierności.

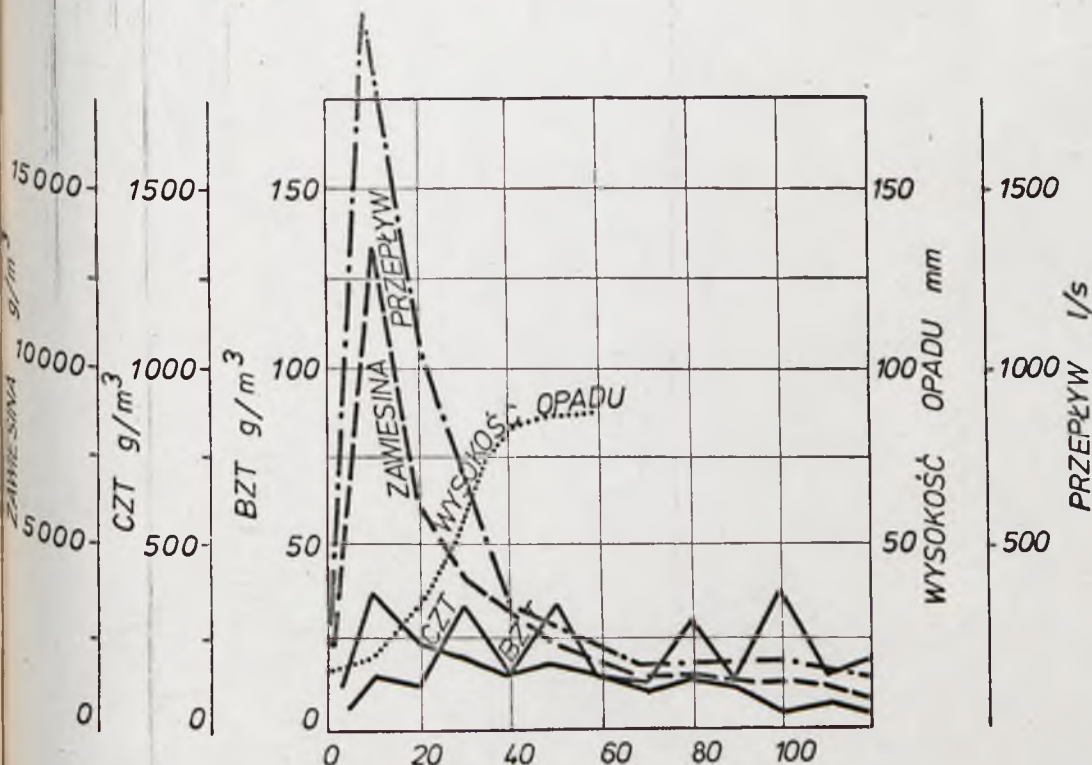
- Rys. 8-5. Wzrost nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji miejskiej oczyszczalni ścieków na skutek doprowadzenia ścieków opadowych.
- Rys. 9-1. Wpływ przeciążenia ściekami opadowymi miejskiej oczyszczalni nieprzystosowanej do ich przyjęcia na efekt oczyszczania ścieków.
- Rys. 9-12. Wzrost nakładów inwestycyjnych na miejską oczyszczalnię ścieków, efekt oczyszczania w tej oczyszczalni i średnia dobową redukcja zanieczyszczeń w sumie ścieków pogody deszczowej w zależności od ilości ścieków opadowych oczyszczanych w miejskiej oczyszczalni.
- Rys. 9-13. Wzrost nakładów inwestycyjnych na miejską oczyszczalnię ścieków, efekt oczyszczania w tej oczyszczalni i średnia dobową redukcja zanieczyszczeń w sumie ścieków pogody deszczowej w zależności od ilości ścieków opadowych oczyszczanych w miejskiej oczyszczalni.
- Rys. 10-1. Schemat technologiczny wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych.
- Rys. 10-2. Nakłady inwestycyjne na urządzenia wydzielonej oczyszczalni ścieków opadowych lub zrzutów burzowych dla przyjętego układu technologicznego.
- Rys. 10-3. Jednostkowe nakłady inwestycyjne na wydzieloną mechaniczną oczyszczalnię ścieków opadowych lub zrzutów burzowych w zależności od efektu oczyszczania.
- Rys. 10-4. Ideowy sposób wyznaczania optymalnych nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię ścieków współpracującą ze zbiornikiem retencyjnym.
- Rys. 10-5. Nakłady inwestycyjne na wydzieloną oczyszczalnię ścieków opadowych lub zrzutów burzowych współpracującą ze zbiornikiem retencyjnym.

Rys. 10-6. Stosunek sumy nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię i zbiornik retencyjny do nakładów inwestycyjnych na wydzieloną oczyszczalnię ścieków o przepustowości równej 100% natężenia dopływu ścieków opadowych w zależności od współczynnika rozdziału ścieków.

A

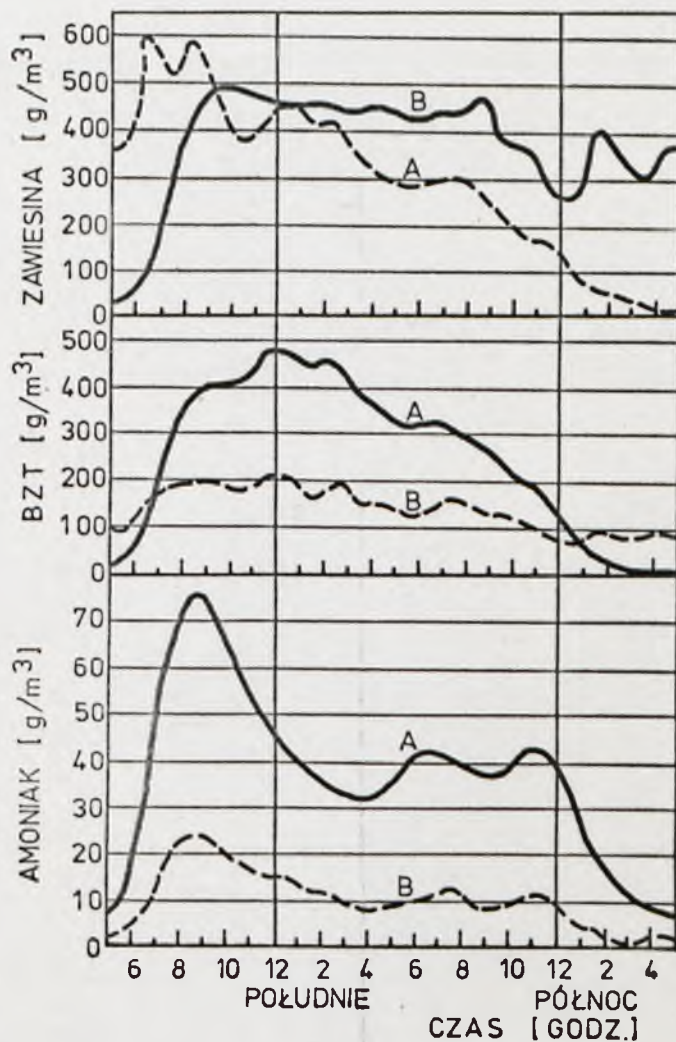


B

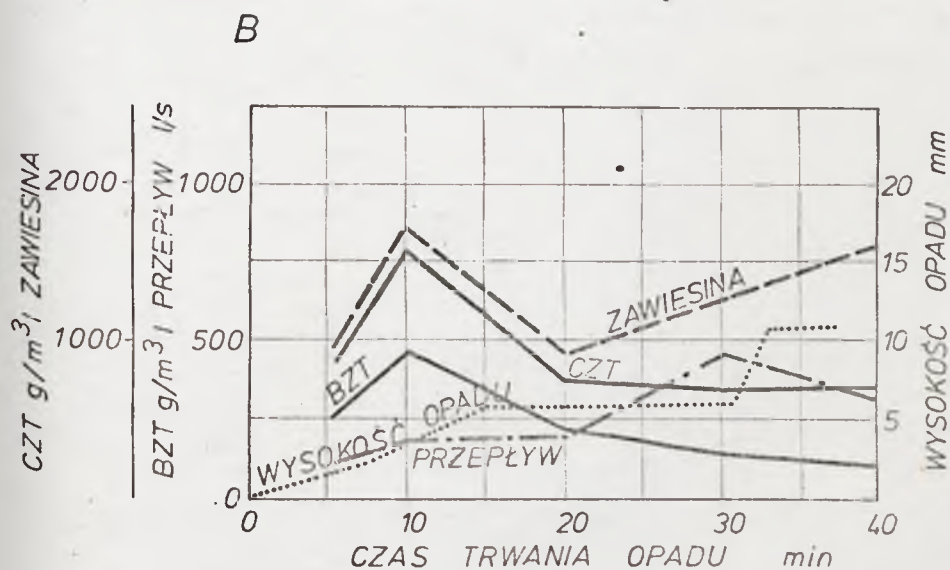
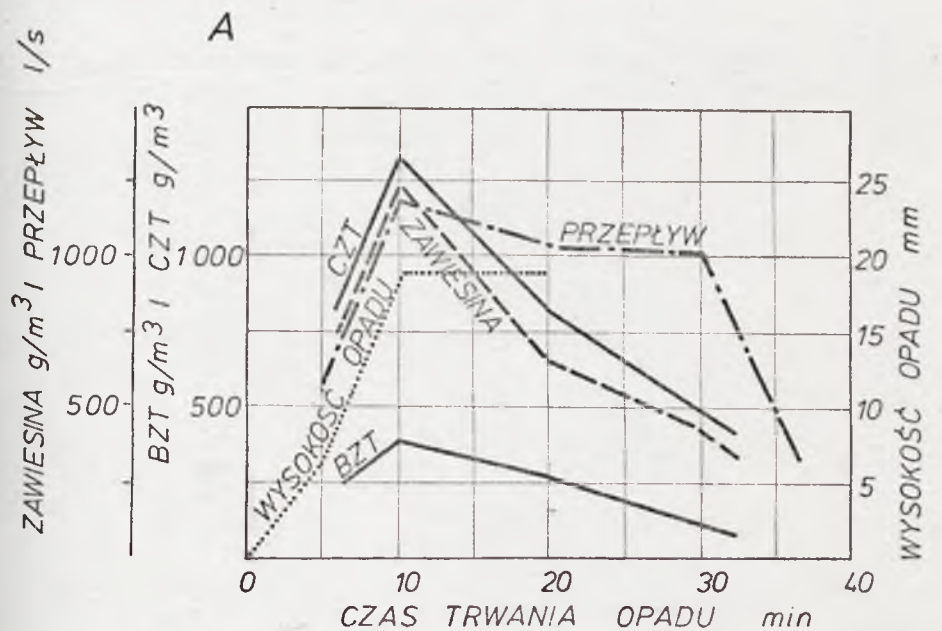


RYC. 5-1. STEŻENIE ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH DESZCZOWYCH W ZALEŻNOŚCI OD CZASU TRWANIA DESZCZU.

A - OPAD KRÓTKOTRWAŁY O DUŻEJ INTENSYWNOSCI
B - OPAD DŁUGOTRWAŁY O DUŻEJ INTENSYWNOSCI

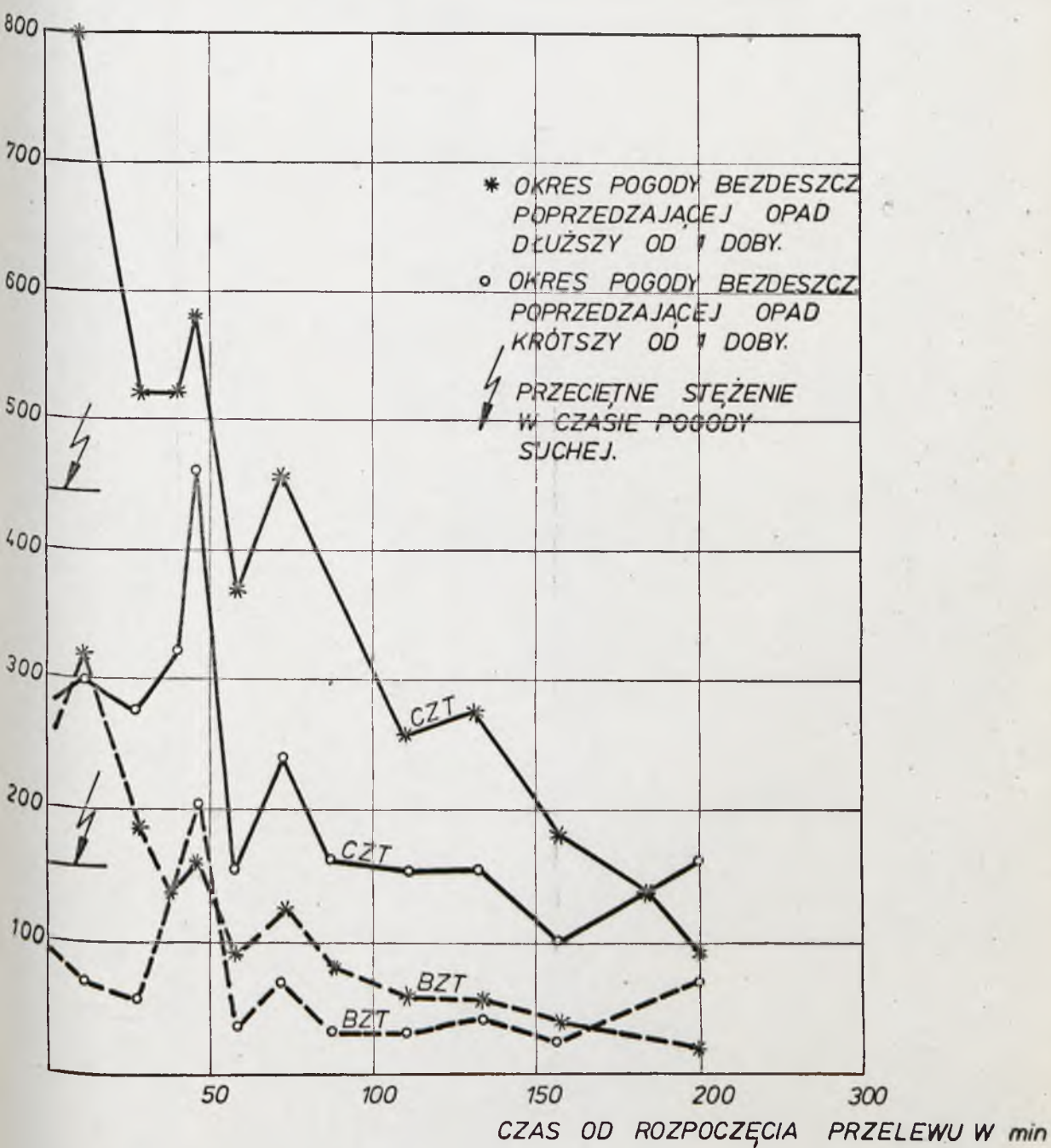


RYS.5-2 PRZECIĘTNE DOBOWE WAHANIA STĘŻENIA NIEKTÓRYCH ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH BYTOWO - GOSPODARCZYCH [A] I ŚCIEKACH MIESZANYCH [B]. [30]

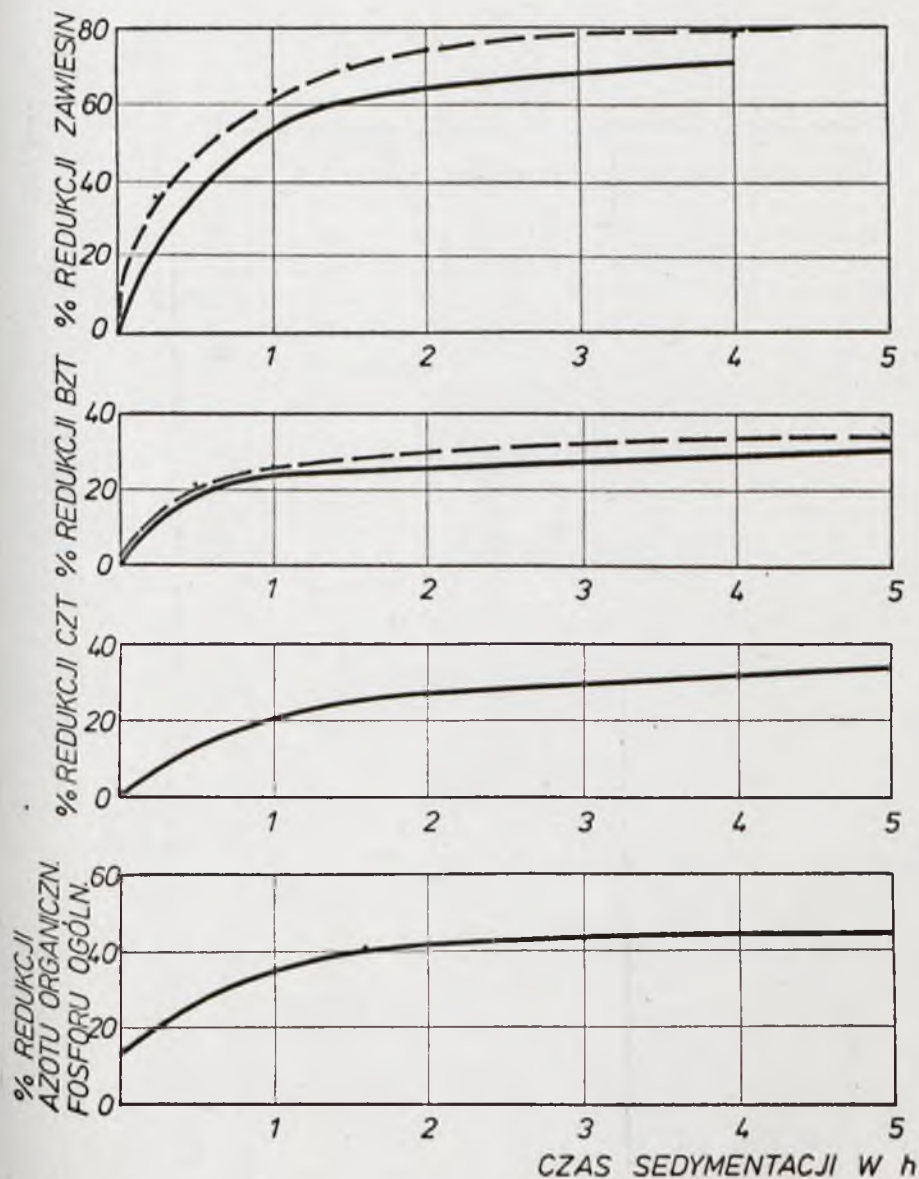


RYS.5-3 STĘŻENIE ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH MIESZANYCH SIĘCI OGÓLNOŚPŁAWNEJ W ZALEŻNOŚCI OD CZASU TRWANIA DESZCZU. [25]

A - OPAD KRÓTKOTRWAŁY O DUŻEJ INTENSYWNOŚCI
 B - OPAD O MAŁEJ INTENSYWNOŚCI



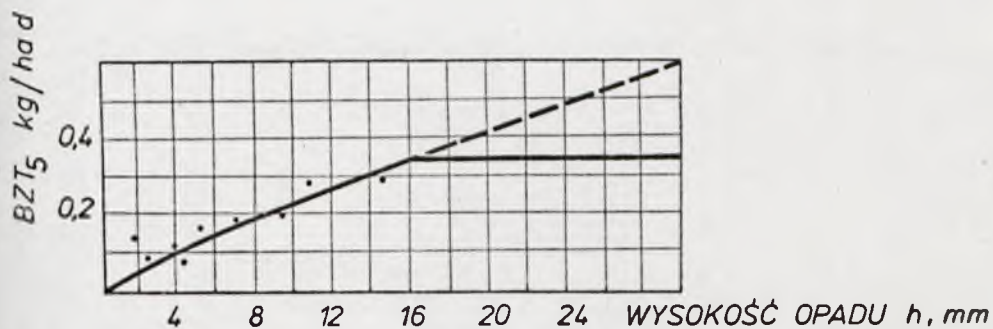
RYS. 5-4 PRZECIĘTNE STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH
 MIESZANYCH [25]



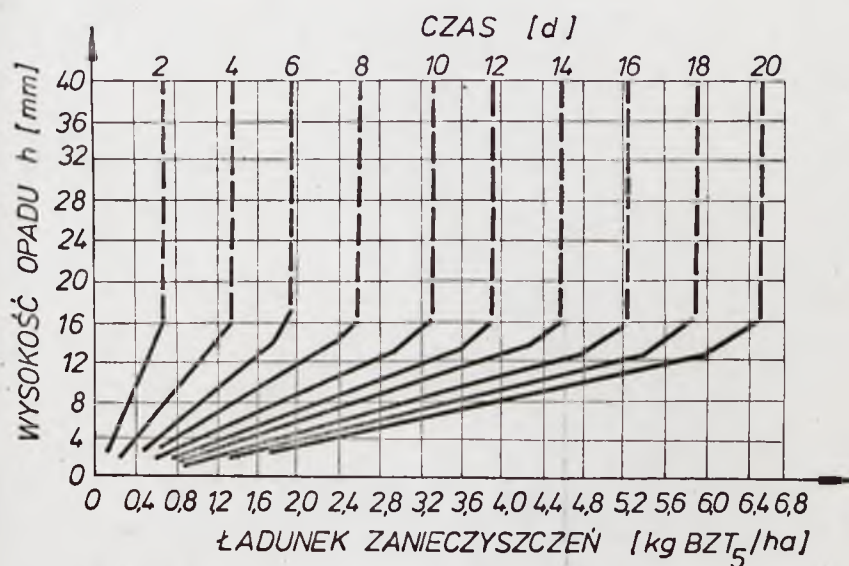
RYS. 5-5. REDUKCJA WSKAŹNIKÓW ZANIECZYSZCZENIA W WYNIKU SEDYMENTACJI.

— W ŚCIEKACH OPADOWYCH [34]

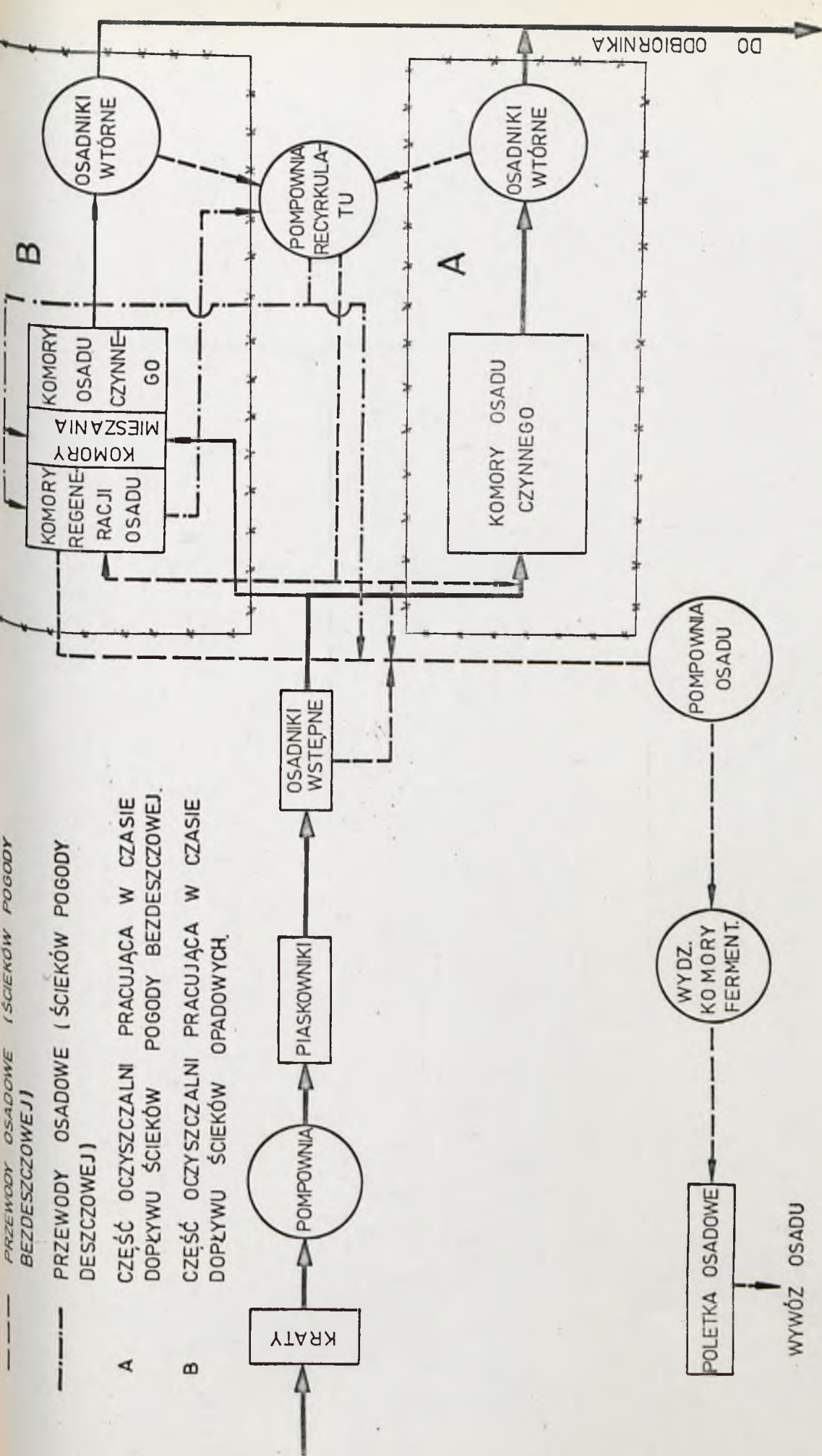
- - - W ŚCIEKACH MIEJSKICH POGODY BEZDESZCZOWEJ [20]



ŁADUNEK ZANIECZYSZCZEŃ SPŁUKANY Z POWIERZCHNI ZLEWNI W ZALEŻNOŚCI OD WYSOKOŚCI OPADU [37]



RYŚ. 6-1 ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WIELKOŚCIĄ, ŁADUNKU ZANIECZYSZCZEŃ SPŁUKIWANYCH Z POWIERZCHNI ZLEWNI, WYSOKOŚCIĄ, OPADU I CZASU JAKI UPŁYNAŁ OD OSTATNIEGO OPADU [37]



RYS. 8-1 SCHEMAT TECHNOLOGICZNY MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW PRZYSTOSOWANEJ DO PRZEJĘCIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH.

PO DRODZE ŚCIEKÓW

POMPOWNA ŚCIEKÓW

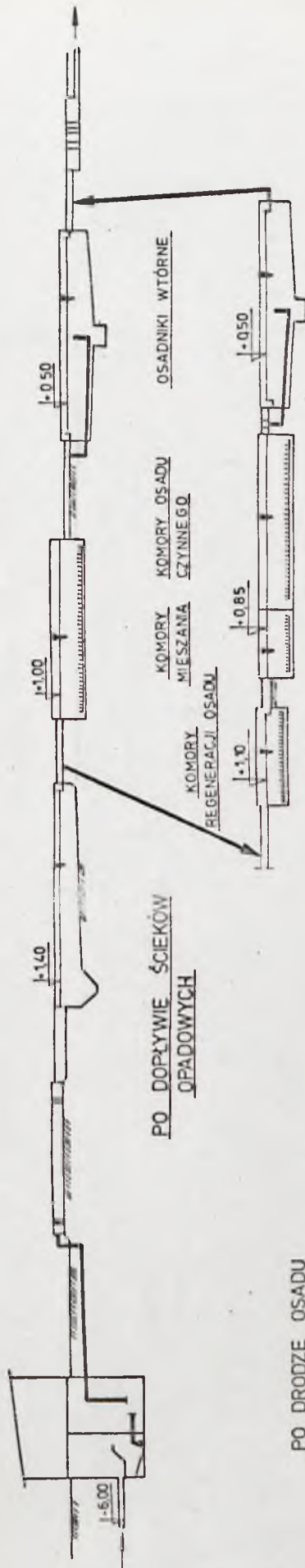
PIASKOWNIKI

OSADNIKI WSTĘPNE

KOMORY NAPIOWIETRZANIA

OSADNIKI WTORNE

KORYTO POMIAROWE



PO DOPŁYWIE ŚCIEKÓW
OPADOWYCH

KOMORY
MIESZANIA
CZYNNEGO

OSADNIKI WTORNE

PO DRODZE OSADU

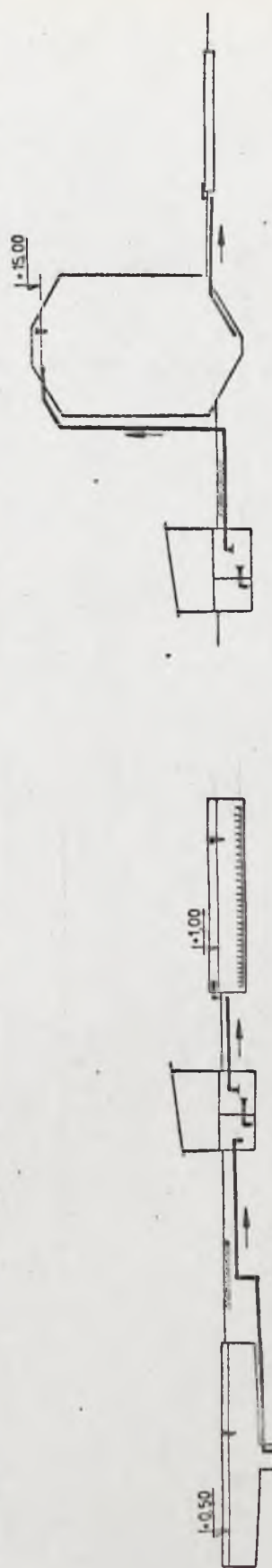
OSADNIK WTORNY

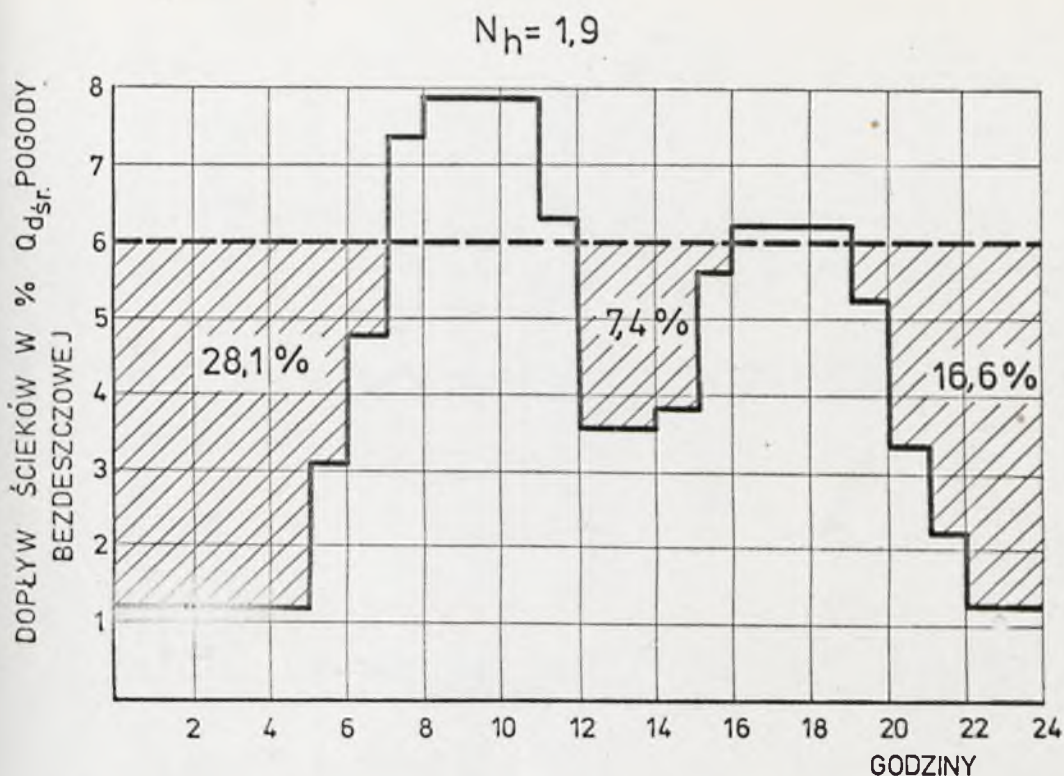
POMPOWNA RECYKULATU

POMPOWNA OSADÓW

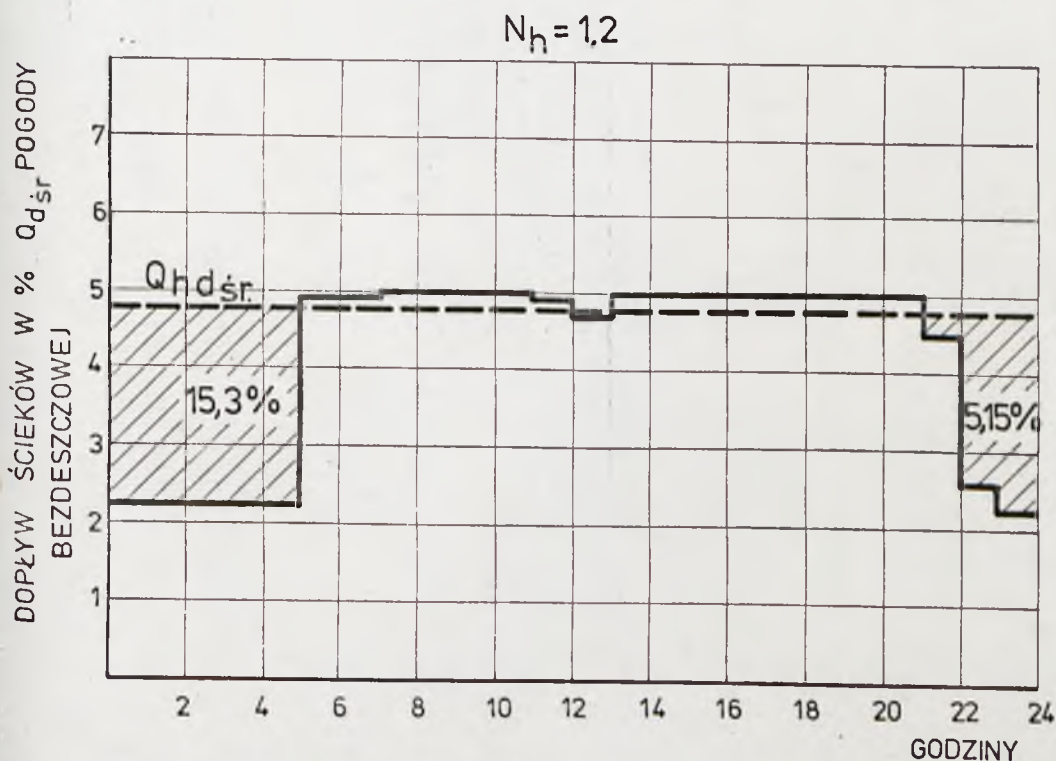
W.K.F.

POLETKO OSADOWE





- OBJĘTOŚĆ ŚCIEKÓW OPADOWYCH DOPŁYWAJĄCYCH DO OCZYSZCZALNI W CIĄGU DOBY.

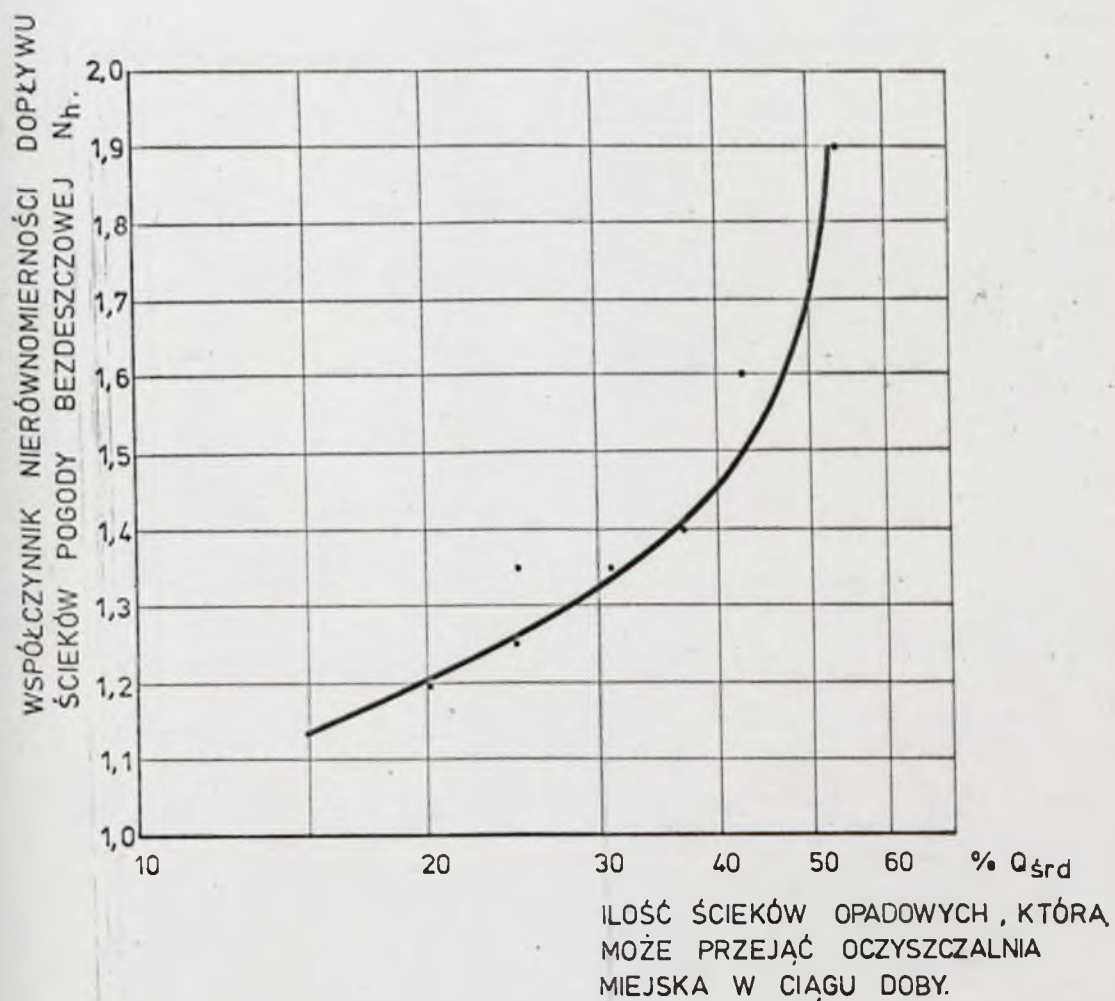


RYS. 8-3 OBLICZENIE ILOŚCI ŚCIEKÓW OPADOWYCH DOPŁYWAJĄCYCH DO MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI W GODZINACH ZMNIEJSZONEGO DOPŁYWU ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ.

N_h - WSPÓŁCZYNNIK NIERÓWNOMIERNOŚCI DOPŁYWU ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZ.

$Q_{hd_{sr}}$ - ŚREDNI Z 12-GODZIN DZIENNYCH DOPŁYW ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZ.

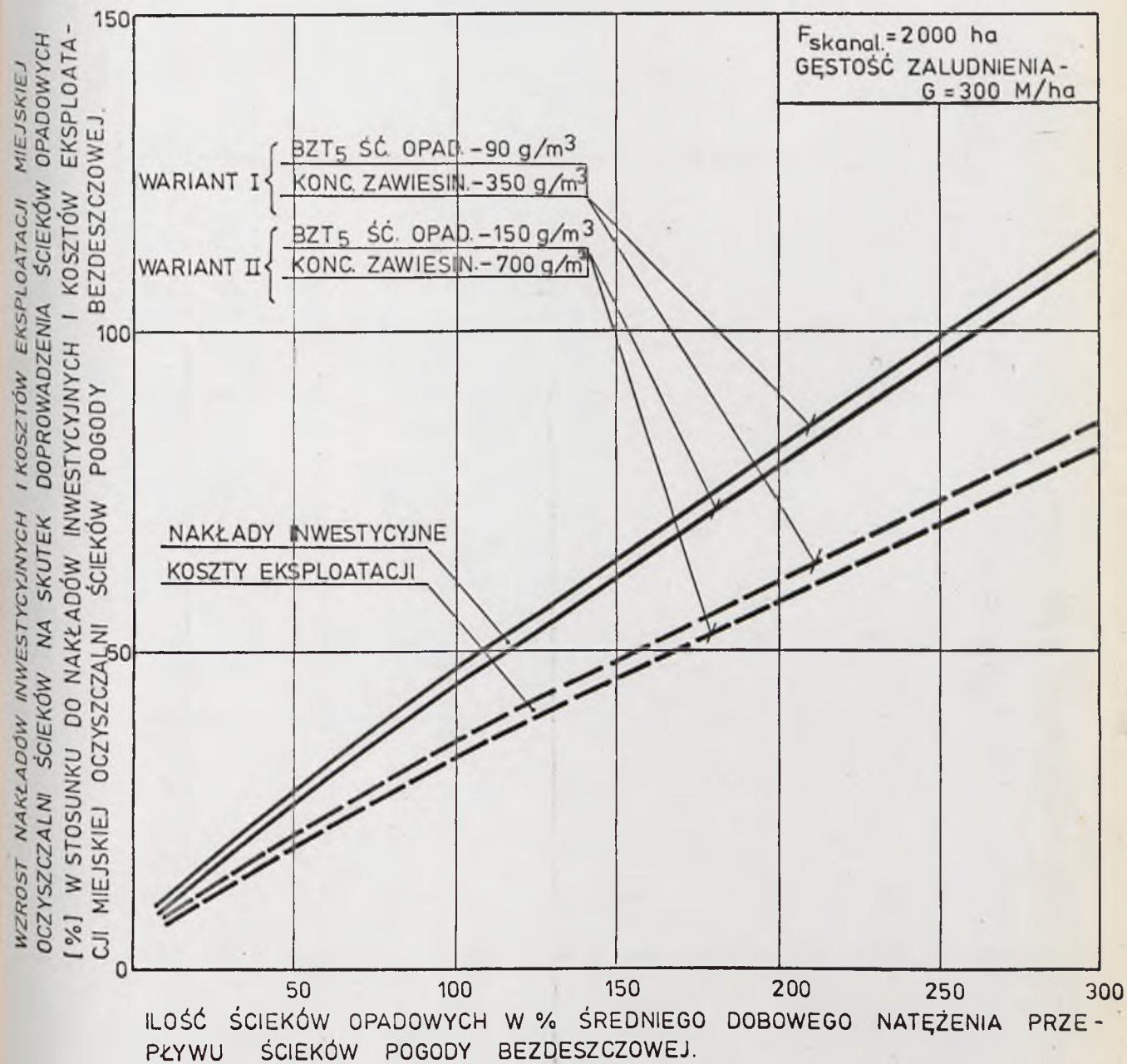
$Q_{d_{sr}}$ - ŚREDNI DOBOWY DOPŁYW ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ.



RYS. 8-4. ILOŚĆ ŚCIEKÓW OPADOWYCH, KTÓRA, MOŻE PRZEJĄĆ OCZYSZCZALNIA MIEJSKA W CIĄGU DOBY, W GODZINACH ZMNIEJSZONEGO DOPŁYWU ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ W ZALEŻNOŚCI OD WSPÓŁCZYNNIKA NIERÓWNOMIERNOŚCI.

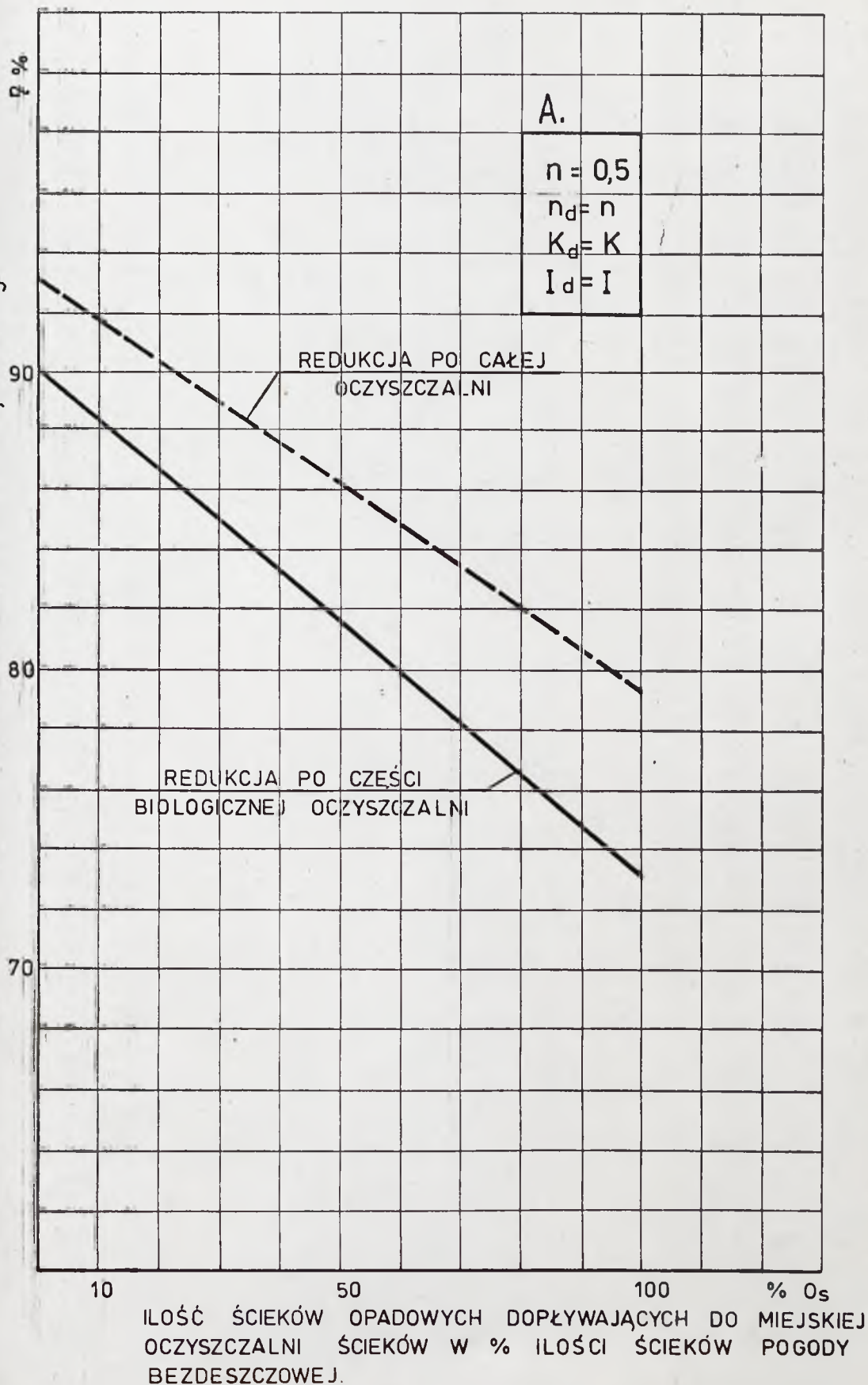
(GODZINOWY ROZKŁAD DOPŁYWU ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ PRZYJĘTO WEDŁUG FIEDOROWA [45])

Q_{srd} ŚREDNIA DOBOWA ILOŚĆ ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ.

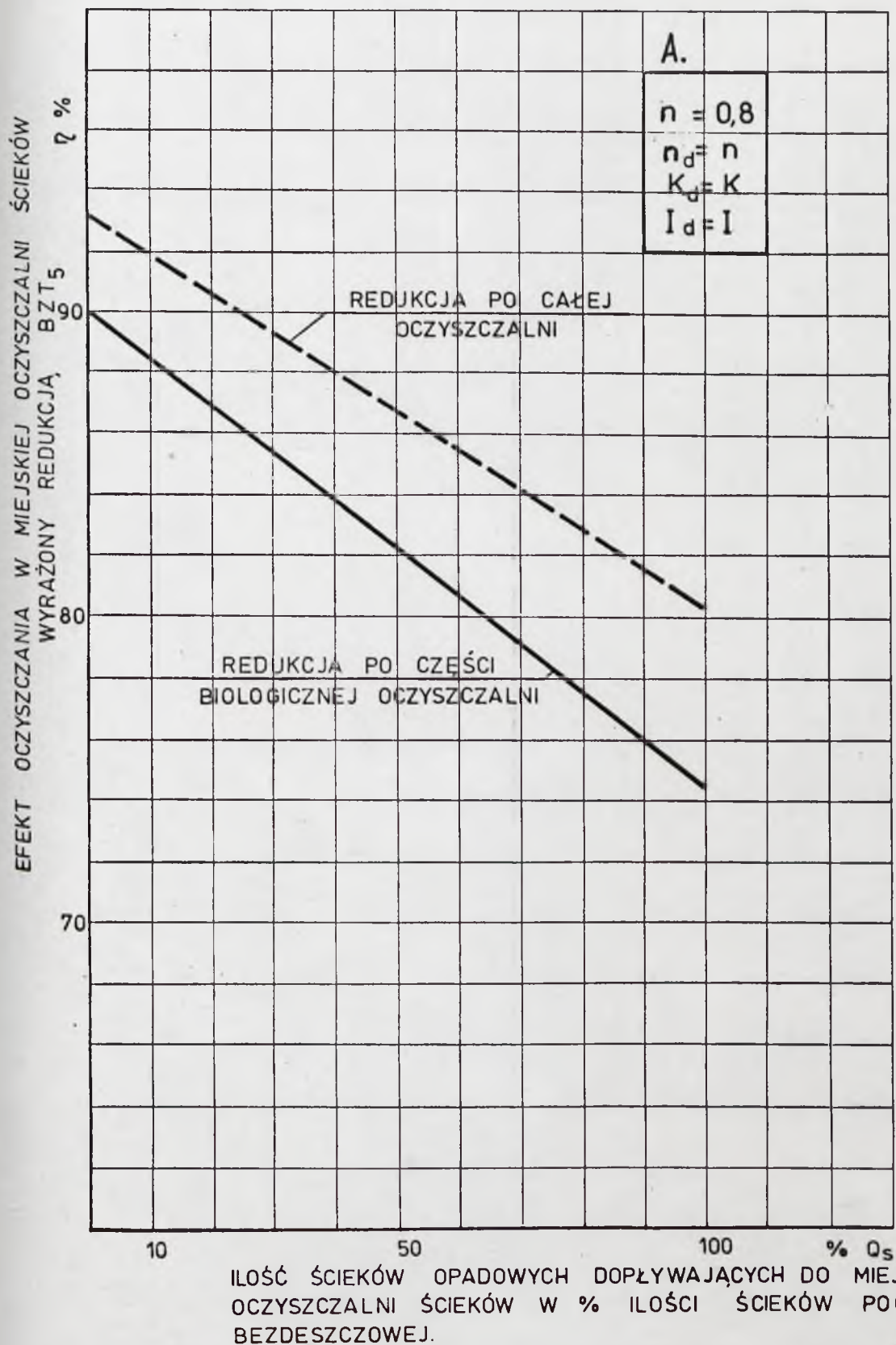


RYS 8-5 WZROST NAKŁADÓW INWESTYCYJNYCH I KOSZTÓW EKSPLOATACJI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW NA SKUTEK DOPROWADZENIA ŚCIEKÓW OPADOWYCH.

EFEKT OCZYSZCZANIA W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW
WYRAŻONY REDUKCJĄ, BZT₅

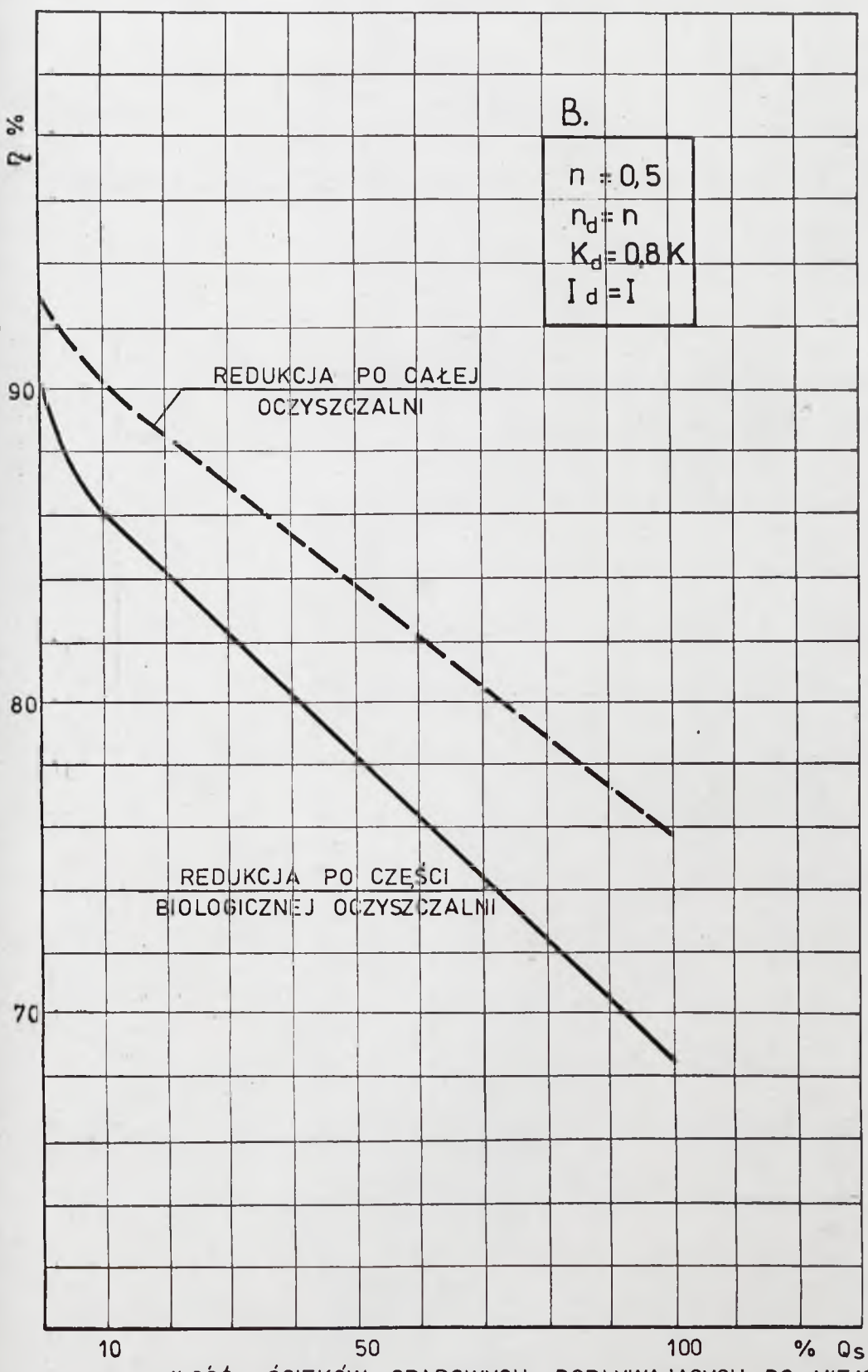


RYS. 9-1 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ
OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA,
NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.



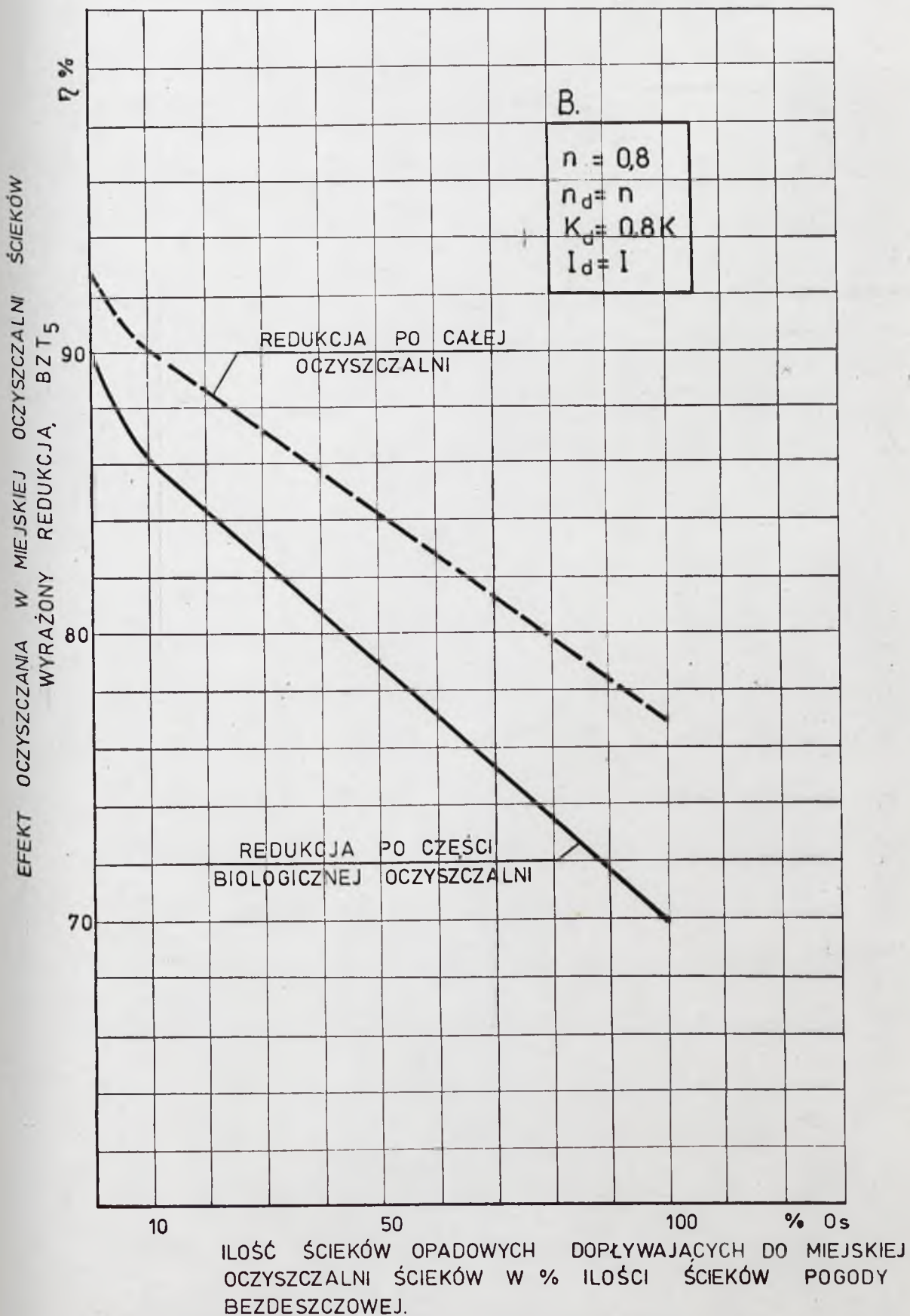
RYS. 9-2 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.

EFEKT OCZYSZCZANIA W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW
WYRAŻONY REDUKCJĄ BZT₅

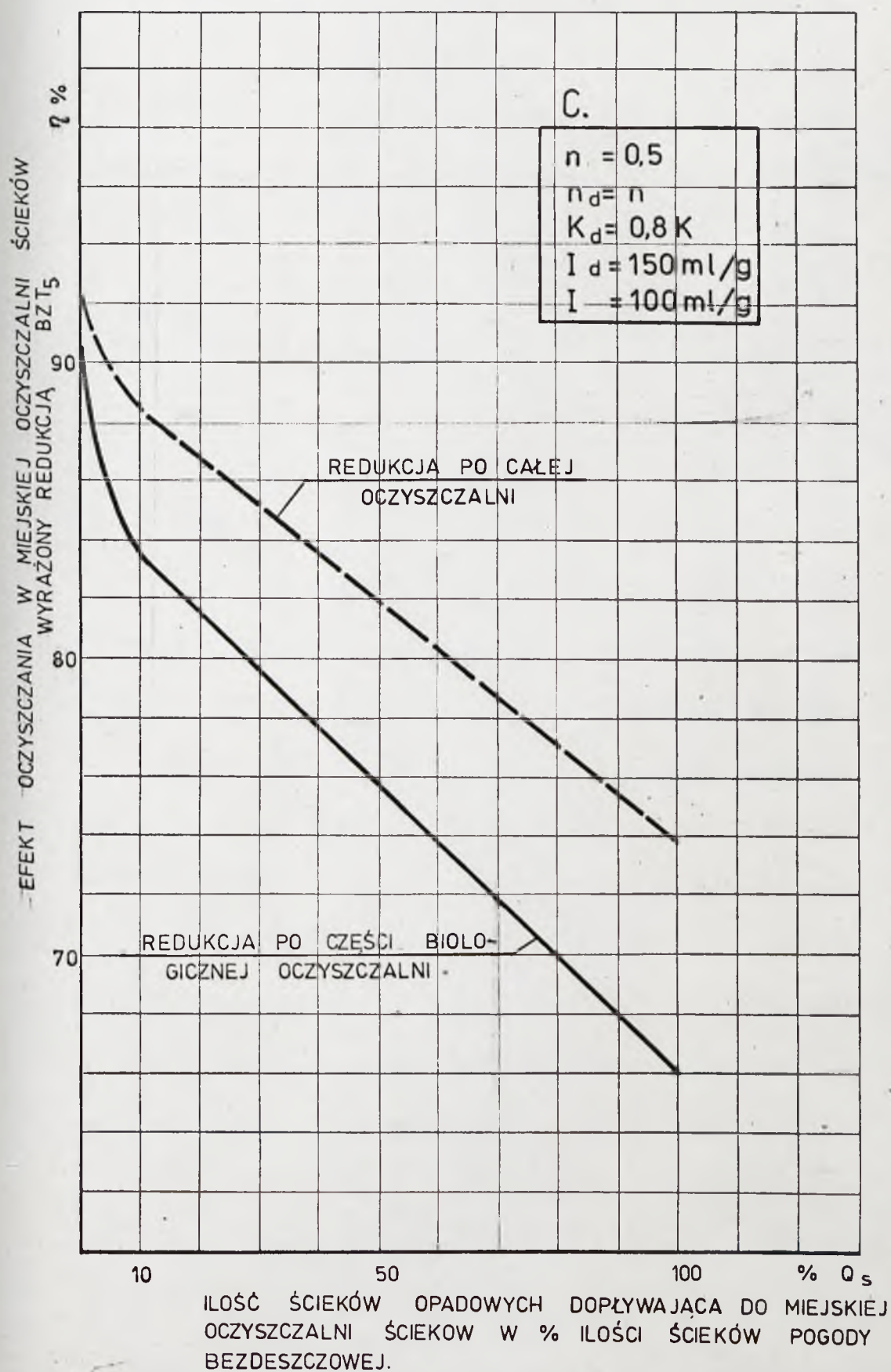


IŁOŚĆ ŚCIEKÓW OPADOWYCH DOPŁYWAJĄCYCH DO MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W % IŁOŚCI ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ.

RYS. 9 - 3 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.



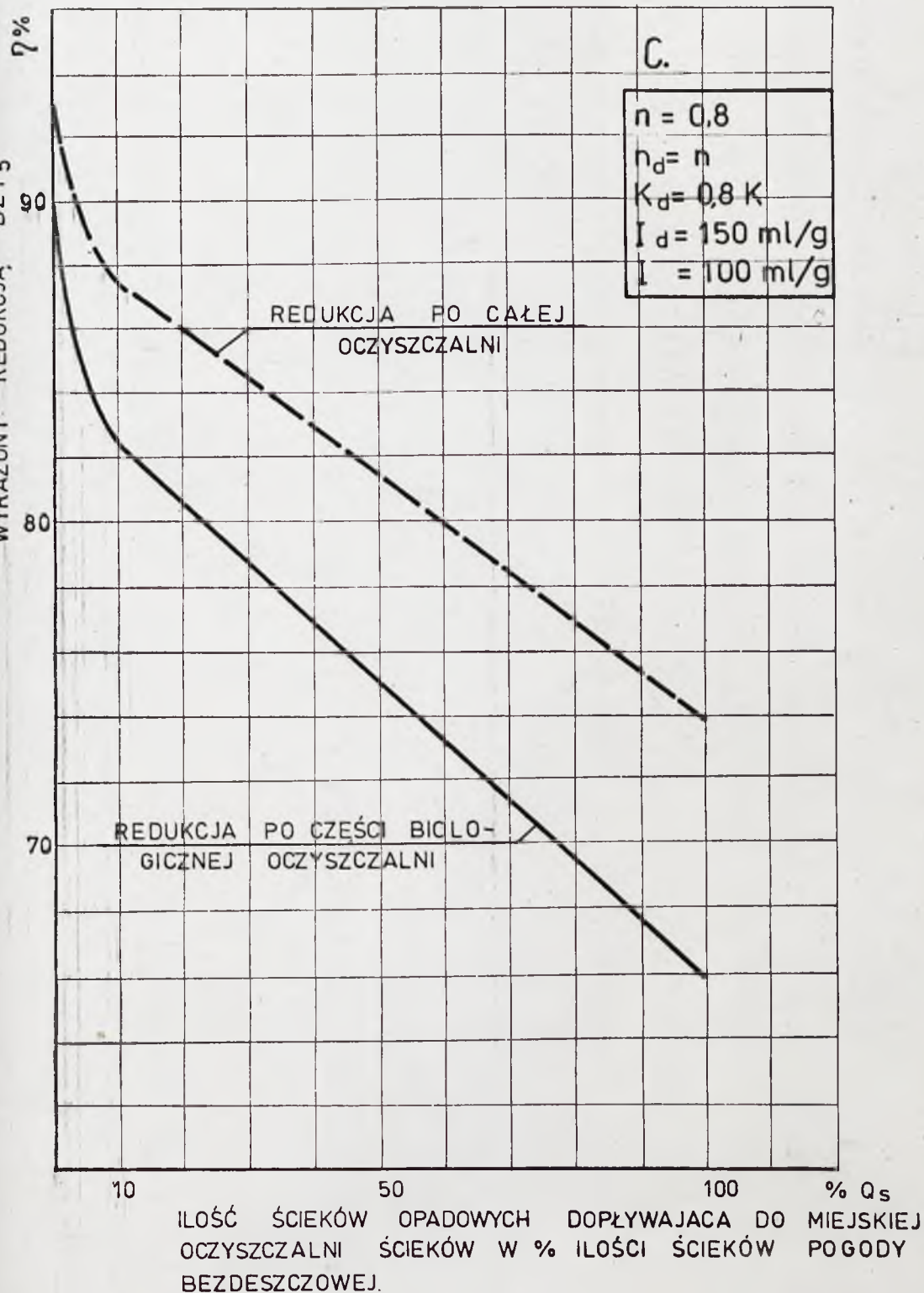
RYS. 9-4 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.



RYS. 9-5. WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ
 OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA,
 NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.

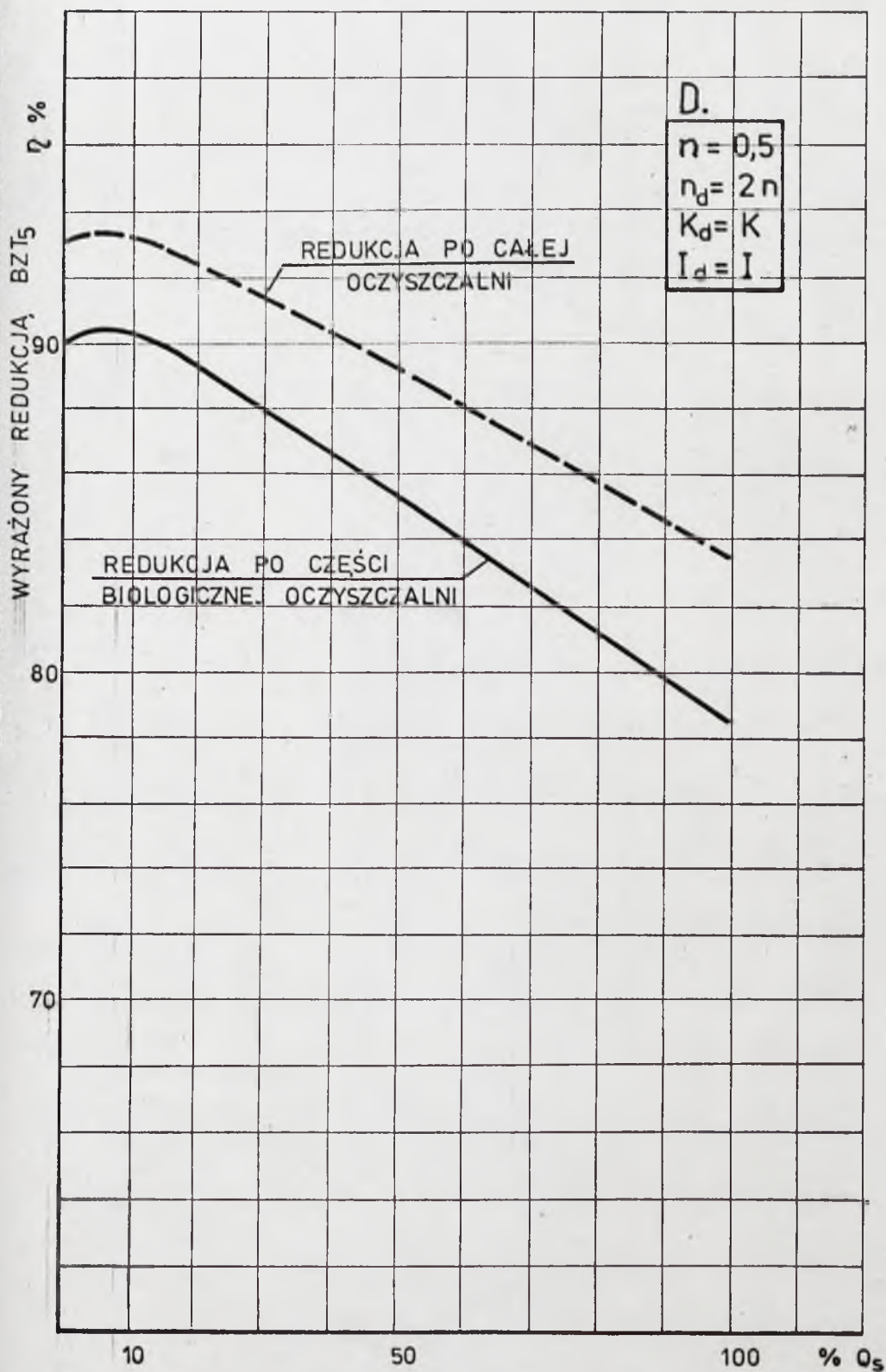
EFEKT OCZYSZCZANIA W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

WYRAŻONY REDUKCJĄ BZT5



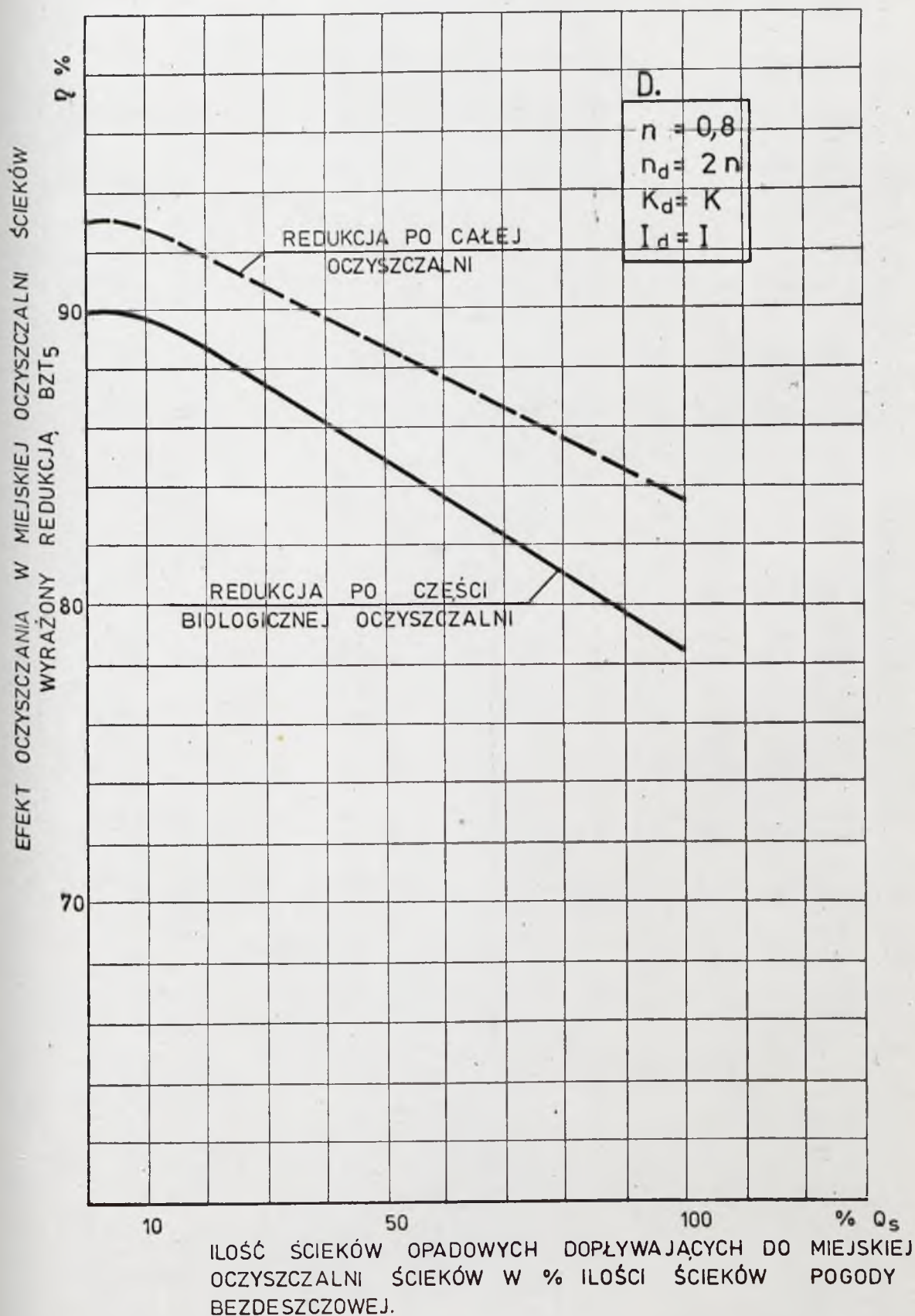
RY. 9-6 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.

EFEKT OCZYSZCZANIA W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

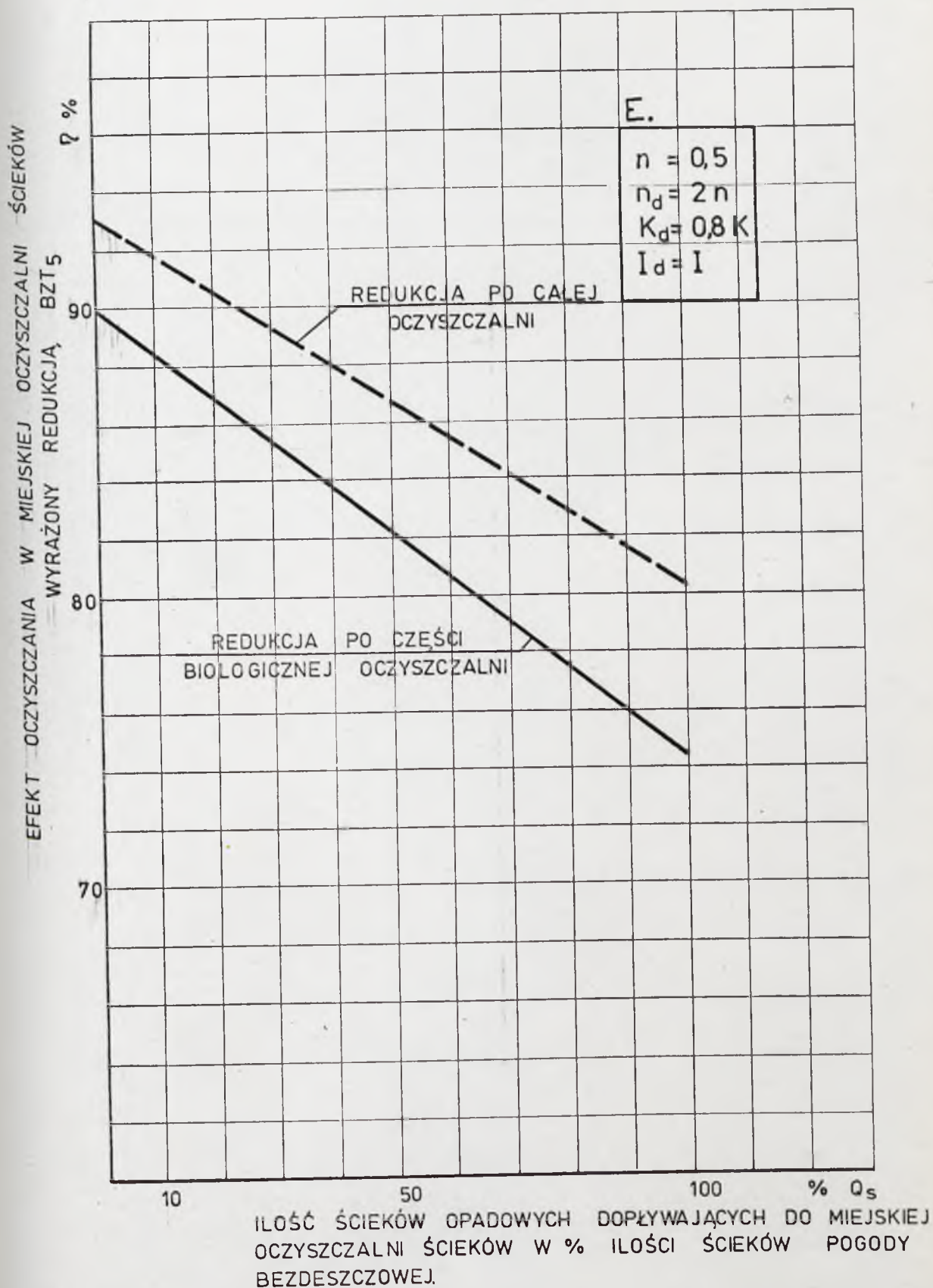


ILOŚĆ ŚCIEKÓW OPADOWYCH DOPŁYWAJĄCA DO
 MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W % ILOŚCI
 ŚCIEKÓW POGODY BEZDESZCZOWEJ.

RYS.9-7 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.

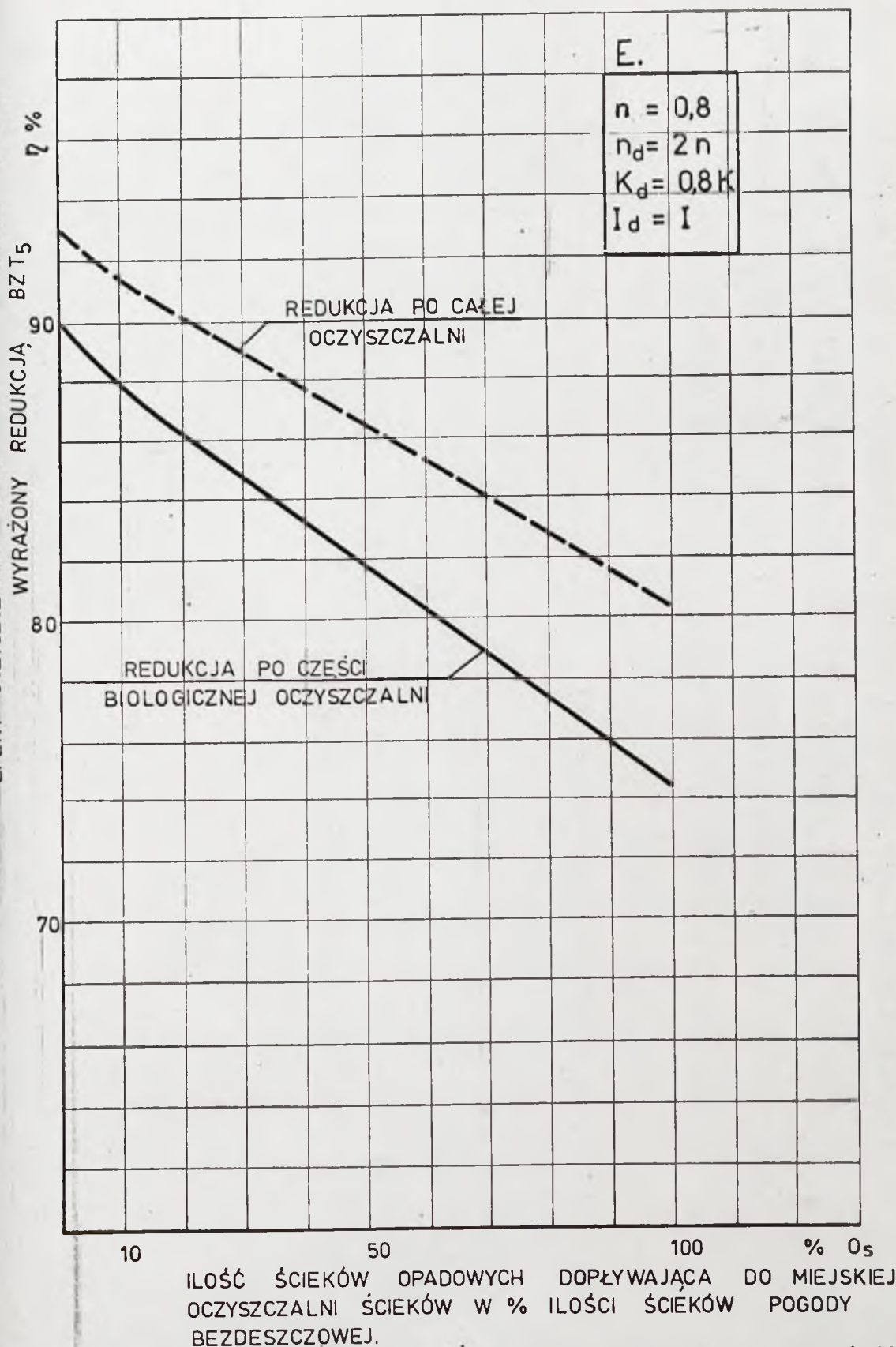


RY. 9-8 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.

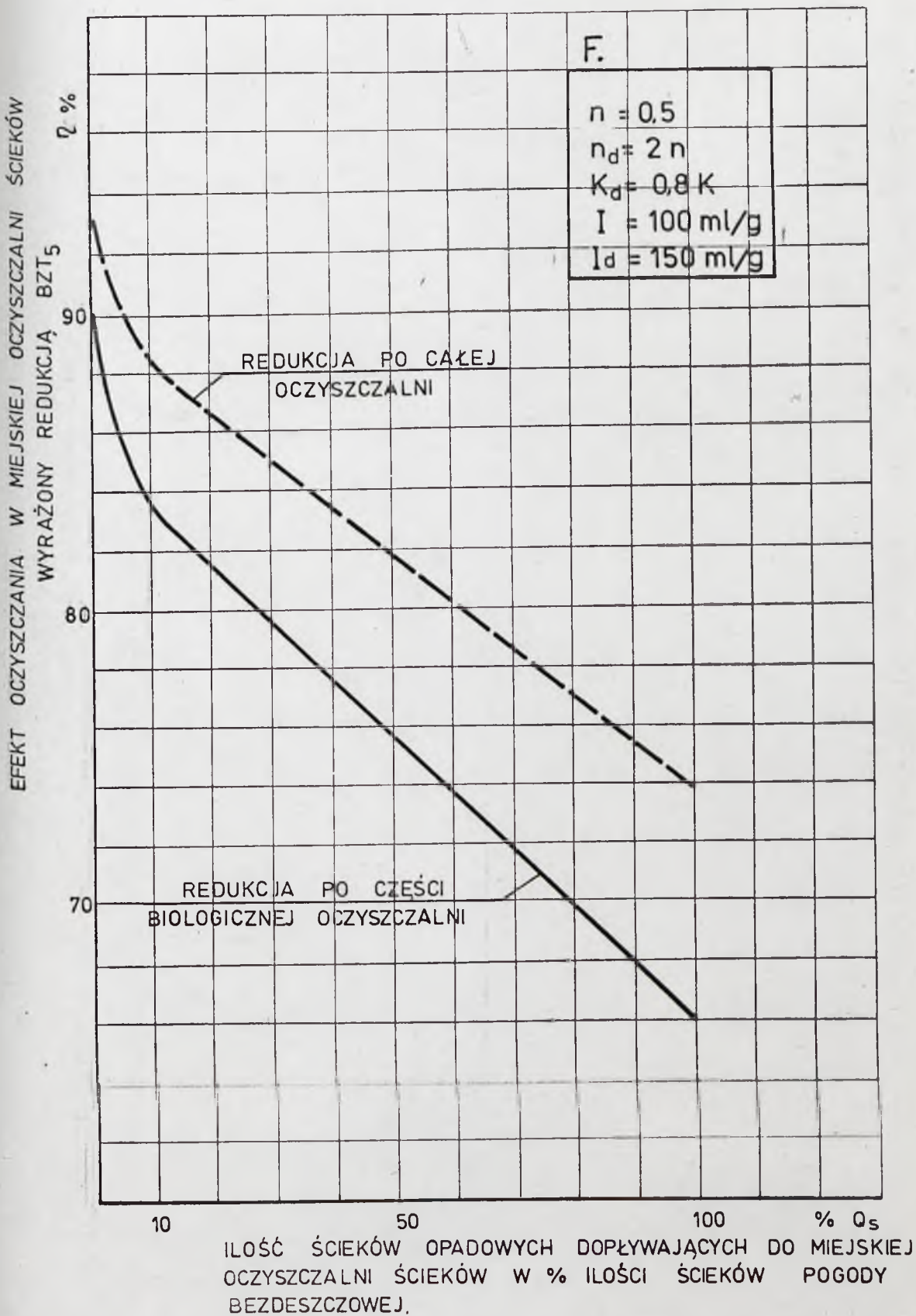


RYS.9-9 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.

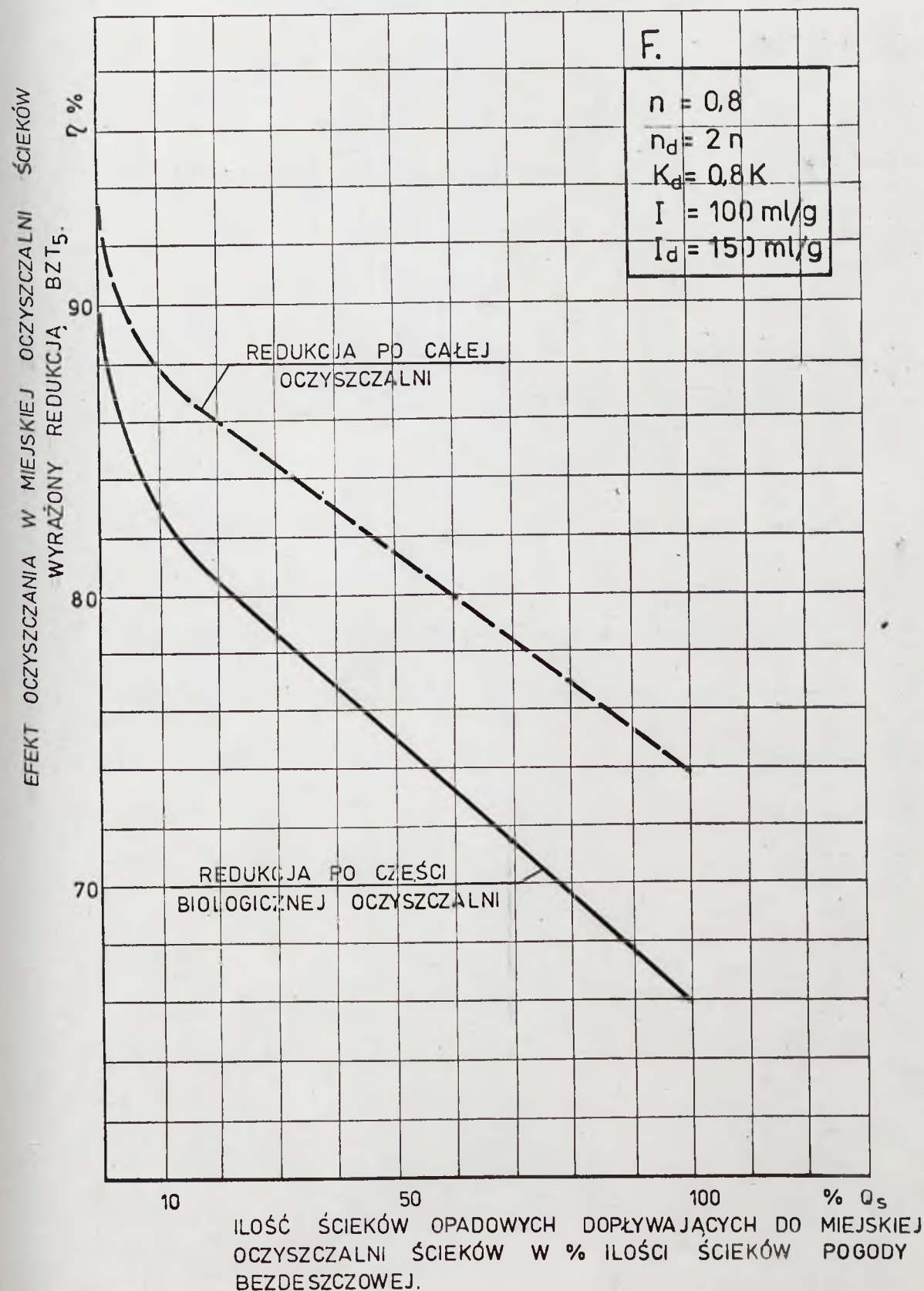
EFEKT OCZYSZCZANIA W MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW



RY. 9-10 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.



RYS. 9-11 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.



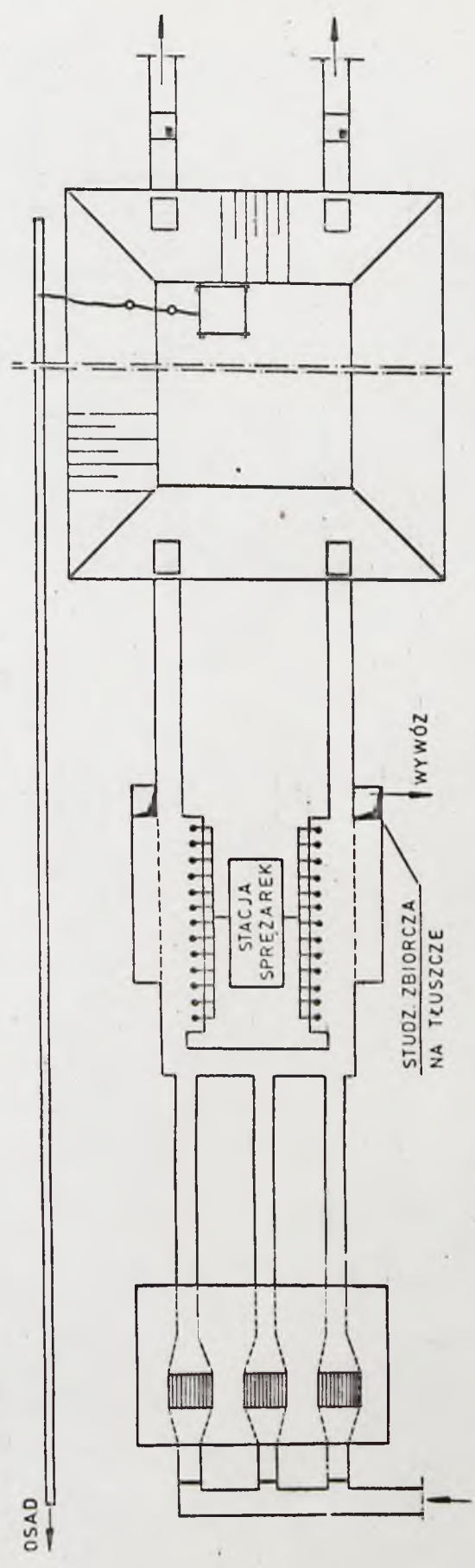
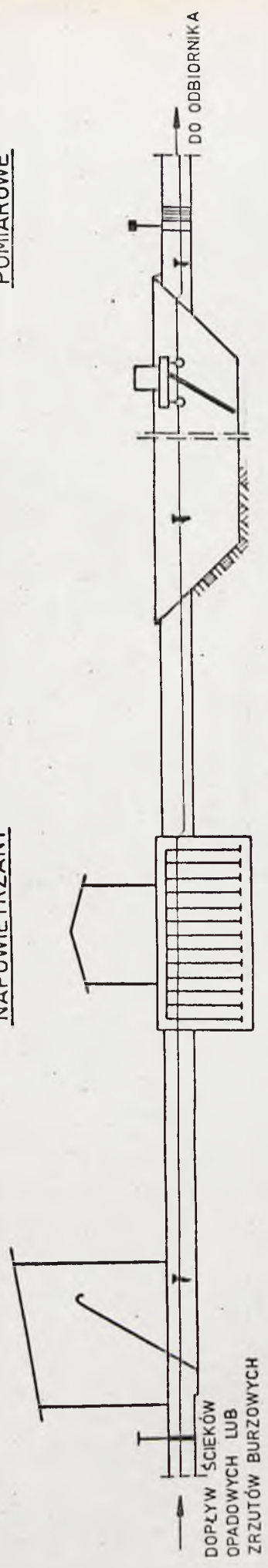
RYS. 9-12 WPŁYW PRZECIĄŻENIA ŚCIEKAMI OPADOWYMI MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI NIEPRZYSTOSOWANEJ DO ICH PRZYJĘCIA, NA EFEKT OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW.

KRATA MECHANICZNA

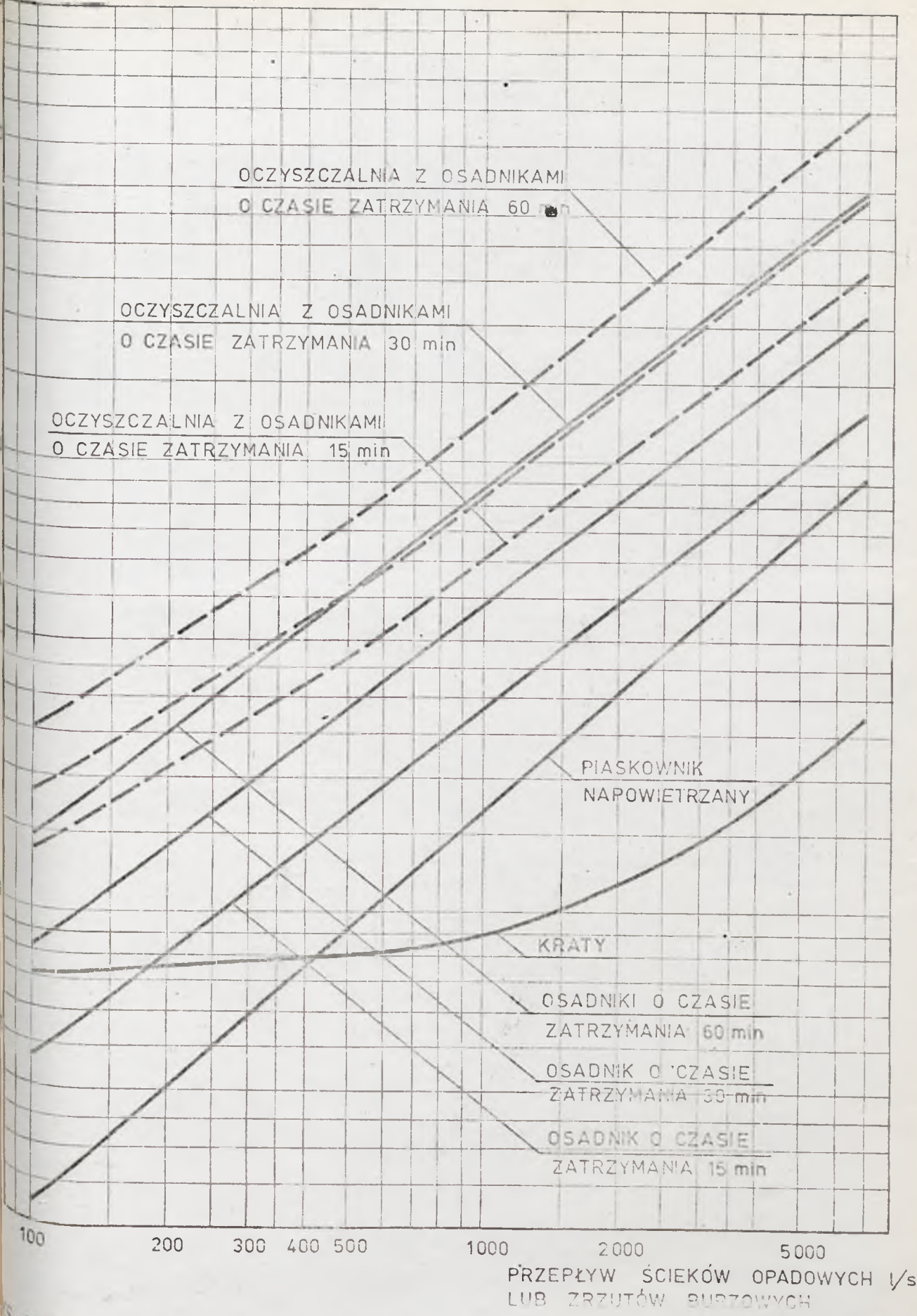
PIASKOWNIK
NAPOWIETRZANY

OSADNIK

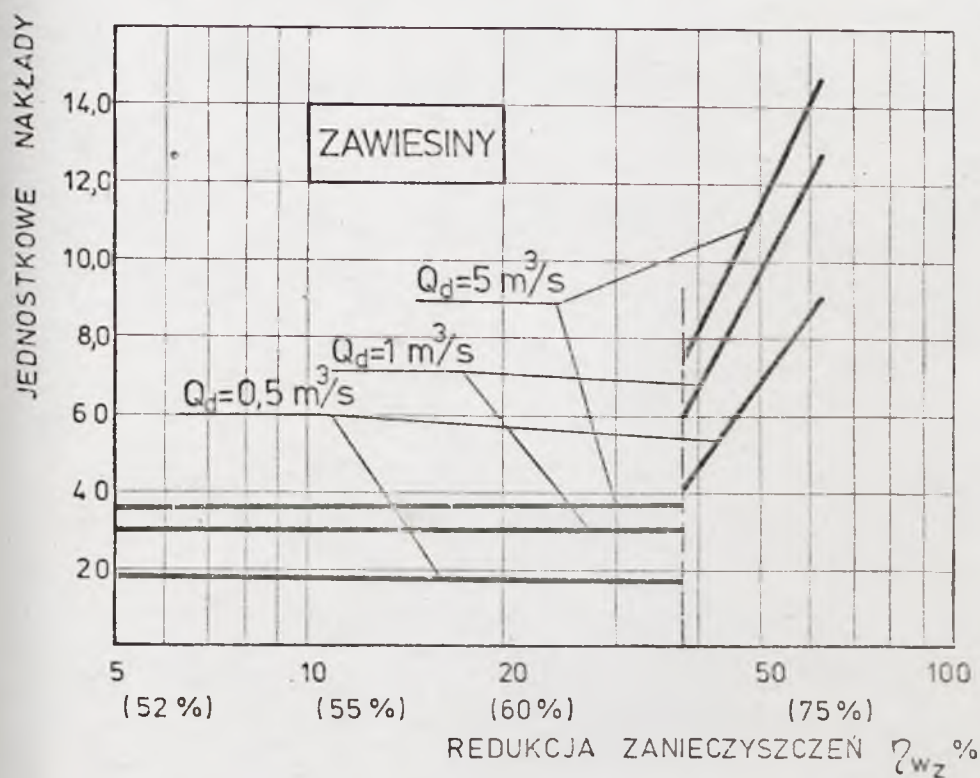
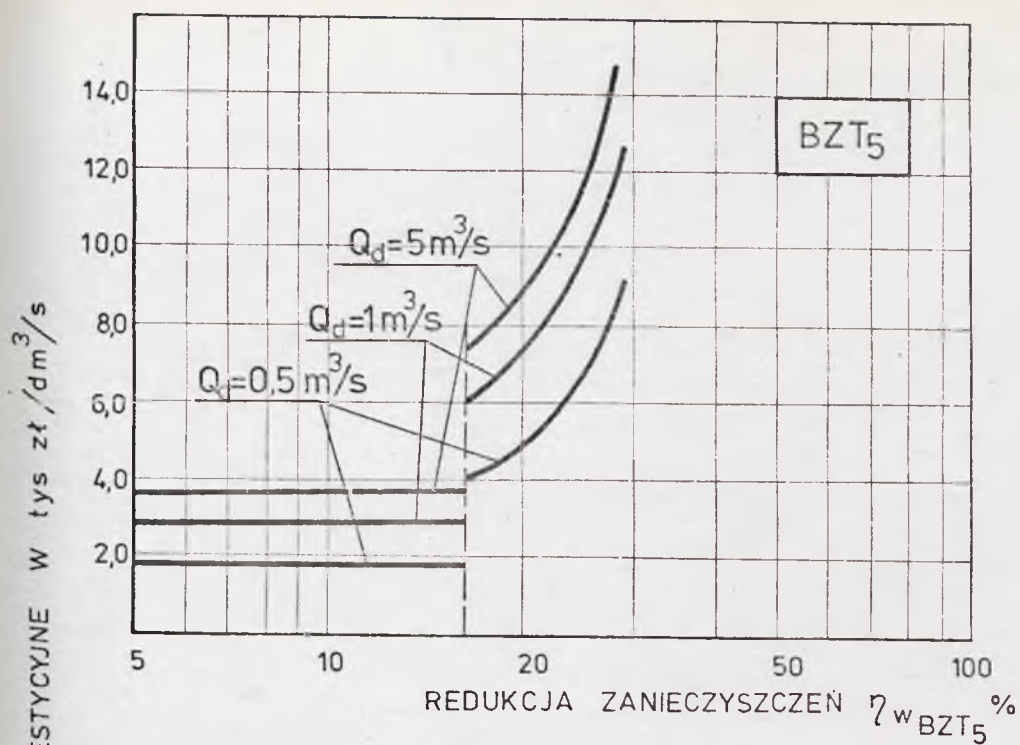
KORYTO
POMIAROWE



RYŚ. 10-1. SCHEMAT TECHNOLOGICZNY WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH.



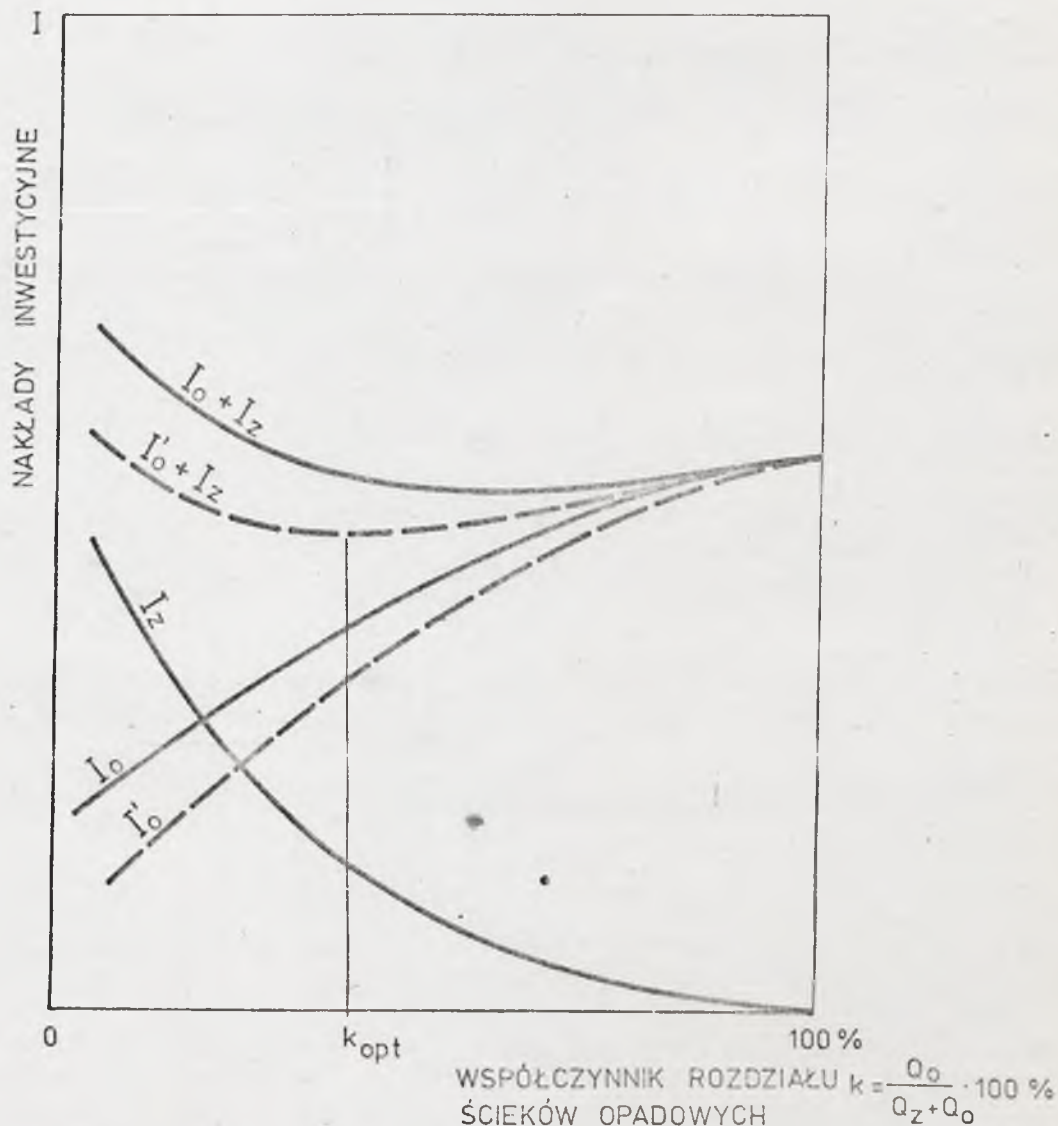
rys 10-2. NAKŁADY INWESTYCYJNE NA URZĄDZENIA WYDZIELONEJ
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BU-
RZOWYCH DLA PRZYJĘTEGO UKŁADU TECHNOLOGICZNE-
GO.



RYC. 10-3 JEDNOSTKOWE NAKŁADY INWESTYCYJNE NA WYDZIELONĄ, MECHANICZNĄ, OCZYSZCZALNIĘ, ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH W ZALEŻNOŚCI OD EFEKTU OCZYSZCZANIA.

Q_d - NATĘŻENIE PRZEPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH

(52%) WARTOŚCI W NAWIASACH DOTYCZĄ, REDUKCJI ZAWARTOŚCI ZAWIESIN ŁĄCZNIE Z ZAWIESINAMI MINERALNYMI ZATRZYMANymi W PIASKOWNIKU.



RYS. 10-4. IDEOWY SPOSÓB WYZNACZANIA OPTYMALNYCH NAKŁADÓW INWESTYCYJNYCH NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ ŚCIEKÓW WSPÓŁPRACUJĄCĄ, ZE ZBIORNIKIEM RETENCYJNYM.

I_0 – NAKŁADY INWESTYCYJNE NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ ŚCIEKÓW O WYMAGANYM STOPNIU OCZYSZCZANIA.

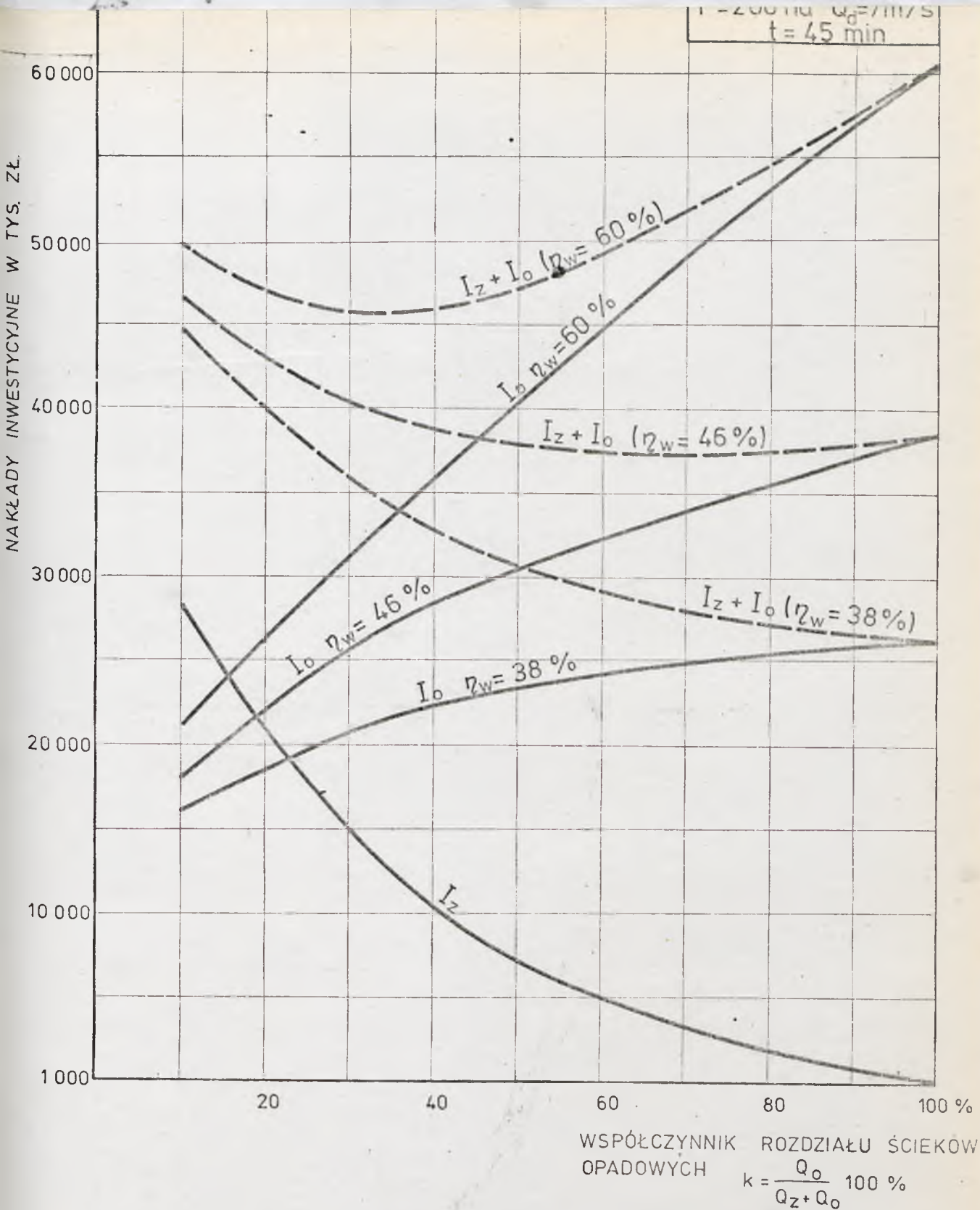
I'_0 – NAKŁADY INWESTYCYJNE NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ ŚCIEKÓW O ZMNIJSZONYM EFEKCIE OCZYSZCZANIA ZE WZGLĘDU NA WSPÓŁPRACĘ ZE ZBIORNIKIEM RETENCYJNYM.

I_z – NAKŁADY INWESTYCYJNE NA ZBIORNIK RETENCYJNY

Q_0 – NATĘŻENIE DOPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH DO WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI.

Q_z – NATĘŻENIE DOPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH DO ZBIORNIKA RETENCYJNEGO.

k_{opt} – OPTYMALNA WARTOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA ROZDZIAŁU ŚCIEKÓW PRZY KTÓREJ UZYSKUJE SIĘ NAJMNIEJSZĄ SUMĘ NAKŁADÓW $I'_0 + I_z$.



RYS. 10-5 NAKŁADY INWESTYCYJNE NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ ŚCIEKÓW OPADOWYCH LUB ZRZUTÓW BURZOWYCH WSPÓŁPRACUJĄCĄ ZE ZBIORNIKIEM RETENCYJNYM.

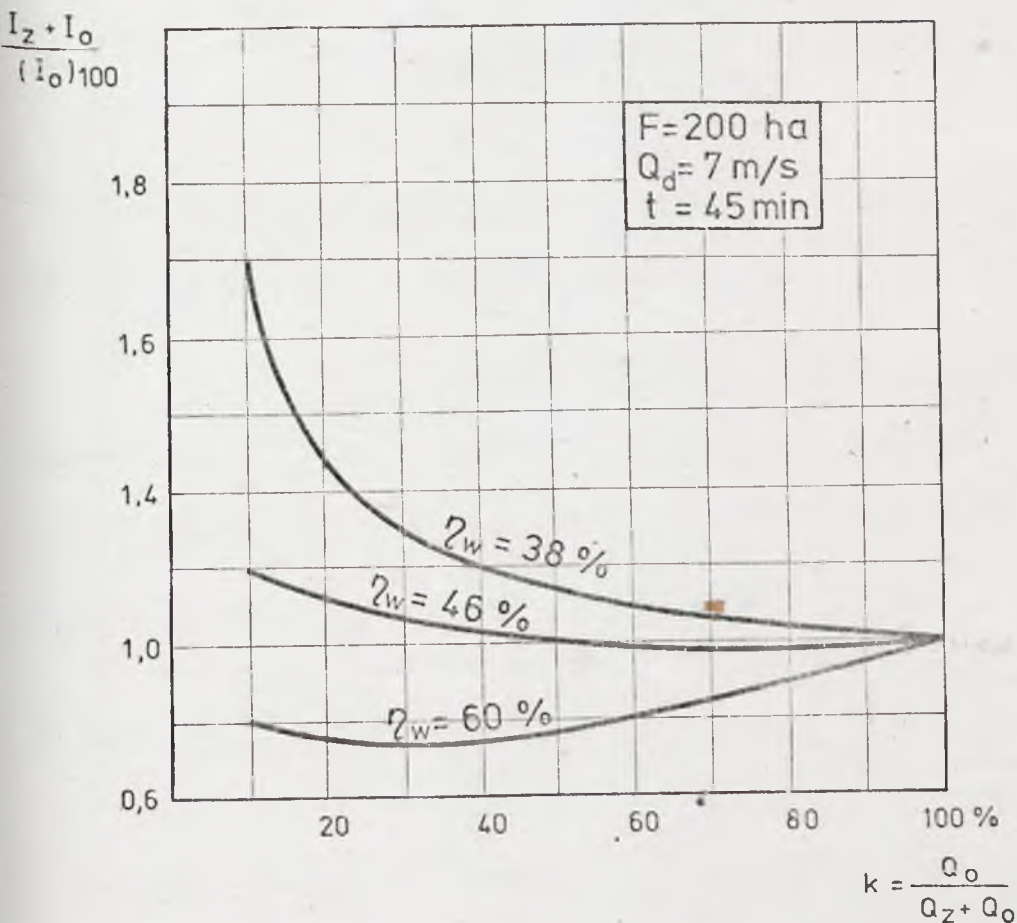
I_z - NAKŁADY INWESTYCYJNE NA ZBIORNIK RETENCYJNY

I_o - NAKŁADY INWESTYCYJNE NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ ŚCIEKÓW.

η_w - EFEKT OCZYSZCZANIA WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI WYRAŻONY REDUKCJĄ, ZAWARTOŚCI ZAWIESIN.

Q_o - NATĘŻENIE DOPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH DO WYDZ. OCZYSZCZ.

Q_w - NATĘŻENIE DOPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH DO ZB. RETENCYJN.



RYS. 10-6. STOSUNEK SUMY NAKŁADÓW NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ I ZBIORNIK RETENCYJNY ($I_z + I_o$) DO NAKŁADÓW INWESTYCYJNYCH NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ ŚCIEKÓW (I_o) O PRZEPUSTOWOŚCI RÓWNEJ 100% NATĘŻENIA DOPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH W ZALEŻNOŚCI OD WSPÓŁCZYNNIKA ROZDZIAŁU ŚCIEKÓW (k).

I_z - NAKŁADY INWESTYCYJNE NA ZBIORNIK RETENCYJNY.

I_o - NAKŁADY INWESTYCYJNE NA WYDZIELONĄ, OCZYSZCZALNIĘ, ŚCIEKÓW.

η_w - EFEKT OCZYSZCZANIA WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI WYRAŻONY REDUKCJĄ ZAWARTOŚCI ZAWIESIN.

Q_o - NATĘŻENIE DOPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH DO WYDZIELONEJ OCZYSZCZALNI.

Q_w - NATĘŻENIE DOPŁYWU ŚCIEKÓW OPADOWYCH DO ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Z A Ł A C Z N I K N r 1

Przykładowe badania ilości i jakości opadu pyłu

1. Cel i zakres badań.

Celem badań było przykładowe określenie parametrów takich jak: opad pyłu i wartości współczynników przeliczeniowych suchej masy pyłu na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia, niezbędnych dla obliczenia średniego stężenia zanieczyszczeń w ściekach opadowych.

Badania prowadzone były w ramach pracy p.t. Analiza jakości ścieków opadowych odprowadzanych z terenów Zakładów Przemysłu Włókienniczego oraz określenie warunków ich odprowadzania do odbiornika [47] na terenie Białostockich Zakładów Przemysłu Bawełnianego "Fasty", Zakładów Przemysłu Bawełnianego im. Modzelewskiego w Częstochowie i Zakładów Przemysłu Wełnianego "Elanex" im. Koszutkiej w Częstochowie.

2. Metoda badań.

W celu określenia ilości pyłu opadającego na teren Zakładów Przemysłu Włókienniczego zbierano w pewnym okresie czasu pył opadający do naczyń osadowych i określono jego ilość metodą wagową.

Metodę badania opadu pyłu oparto na "Metodyce sanitarnego badania powietrza atmosferycznego" opracowanej przez Zespół Pracowni Sanitarnej Ochrony Powietrza Atmosferycznego" [50].

Do zbierania opadającego pyłu zastosowano słoje szklane typu "Weck" o pojemności 1 l. Słoje w ilości 12 sztuk ustawiono w różnych punktach na terenie Zakładów, na wysokości 3 m nad ziemią.

Przy wyborze punktów pomiarowych kierowano się następującymi zasadami:

- możliwie dokładne uchwycenie ilości opadającego pyłu na terenie całego Zakładu,
- wyeliminowanie przypadków wtórnego zanieczyszczenia słoii,
- warunkami technicznymi danego Zakładu.

Czas ekspozycji naczyń wynosił 30 dni i po tym okresie zawartość poddawano badaniom laboratoryjnym.

Badania prowadzono w okresie bez opadów śnieżnych - od miesiąca kwietnia do października, przez okres 1 roku. Co miesiąc określano ilość zebranego pyłu oraz jego skład chemiczny.

W zebranym pyłe określano następujące wskaźniki zanieczyszczeń:

- pięciodniowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT₅),
- chemiczne zapotrzebowanie tlenu (CZT),
- utlenialność,
- węgiel organiczny,
- straty przy prażeniu,
- chlorki,
- siarczany,
- węgiel całkowity.

Oznaczenia wykonywano w odważonej próbie pyłu, rozcieńczonej wodą destylowaną. Każde z oznaczeń wykonywano co najmniej dwukrotnie dla danej partii pyłu i wynik średni z badań przeliczano na gram suchej masy pyłu.

3. Wyniki badań.

Uzyskane wyniki opadu pyłu z poszczególnych punktów pomiarowych posłużyły do obliczenia średnich wartości opadu pyłu na teren Zakładów w poszczególnych miesiącach oraz średnich wartości wskaźników zanieczyszczenia zawartych w pyłe.

Obliczone średnie wartości usystematyzowano i przedstawiono w tablicach: Z 1-1, Z 1-2, Z 1-3.

Ilość opadającego pyłu na teren jest różna dla poszczególnych miejscowości i Zakładów. Znacznie większe ilości pyłu opadającego na teren otrzymano w Częstochowie niż w Białymstoku. Także duże różnice występują w obu Zakładach zlokalizowanych na terenie Częstochowy. Średni opad pyłu w miesiącach bez opadów śnieżnych (kwiecień do października) wynosił:

Z.P.B. "Fasty" w Białymstoku	- 13,5 g/m ² mies.
Z.P.B. im. Modzelewskiego w Częstochowie	- 23,9 g/m ² mies.
Z.P.W. im. Koszutkiej w Częstochowie	- 118,0 g/m ² mies.

Różnice te wynikać mogą z lokalizacji, jak również z charakteru zagospodarowania terenu Zakładów. Z.P.B. "Fasty" zlokalizowane są poza miastem, na znacznym obszarze (32 ha) i w porównaniu do pozostałych Zakładów posiadają dużo zieleni. Zakłady Przemysłu Włókienniczego w Częstochowie - zlokalizowane są w mieście. Powierzchnia tych zakładów wynosi: Z.P.B. im. Modzelewskiego - 16, 84 ha, Z.P.W. im. Koszutkiej - 9,17 ha. Te ostatnie charakteryzuje dość zwarta zabudowa i mała ilość terenów zielonych.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych można ogólnie stwierdzić, że we wszystkich Zakładach badany pył charakteryzuje się małą zawartością substancji organicznych i stosunkowo dużą ilością substancji chemicznych. Wskaźniki przeliczeniowe suchej masy pyłu na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia średnio wynosiły:

sucha pozostałość	$\alpha = 1$
BZT ₅	$\alpha = 0,009 - 0,01$

CZT $\alpha_2 = 0,25 - 0,50$

utlenialność $\alpha_2 = 0,03 - 0,10$

Stosunkowo małe wartości współczynników przeliczeniowych BZT₅ mogą być wywołane zawartością związków organicznych nie ulegających rozkładowi na drodze biochemicznej lub zawartością związków toksycznych hamujących procesy i w tym przypadku wielkość BZT₅ nie jest miarodajnym wskaźnikiem zawartości związków organicznych.

4. Badania redukcji wskaźników zanieczyszczenia podczas sedimentacji pyłu spłukanego przez opad z powierzchni zlewni.

Jak wykazały badania, ścieki opadowe charakteryzują się znaczną zawartością zawiesiny, suchej pozostałości i CZT.

W celu przekonania się o celowości zastosowania osadników do oczyszczania wód opadowych przeprowadzono próbę opadalności zawiesin w cylindrach Spillnera oraz określono procent redukcji zanieczyszczeń.

Zawartość słoików z pyłami oraz z wodą opadową potraktowano jak ścieki i do badań fizyko-chemicznych zastosowano metodykę stosowaną przy badaniu ścieków.

Powyższe badania przeprowadzono w sposób następujący. Zawartość słoików z wszystkich 12 stanowisk badawczych zlano razem i dalszym badaniom technologicznym poddano próby średnie.

Jako cylindry Spillnera zastosowano rurki szklane o średnicy 2,4 cm i wysokości poziomu wody badanej 60 cm. Ustawiono 4 cylindry i badano procent redukcji zanieczyszczeń w wodzie nadosadowej po czasie opadania 5', 10', 20', 60'.

W ściekach surowych oznaczono BZT_5 , CZT, utlenialność, zawiesiny i suchą pozostałość. W czterech próbach, po każdym czasie opadania oznaczono BZT_5 , CZT, utlenialność, suchą pozostałość oraz straty po prażeniu i obliczono procent redukcji wskaźników zanieczyszczenia w stosunku do ich zawartości przed sedymentacją. Średnie wartości redukcji wskaźników zanieczyszczenia podano w tablicy Z 1-4.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że największy procent zanieczyszczeń usuwa się już po 5-minutowym czasie opadania. Nie obserwuje się dużych różnic pomiędzy czasami opadania 5, 10 i 20 minut. Następny wzrost redukcji otrzymano po 1 godzinie osadzania.

Zestawienie wyników badań opadu pyłu na terenie B.Z.P.B. "Fasty"

Miesiąc	Opad pyłu g/m ² miesiąc		Wartość współczynników przeliczeniowych suchoj masy pyłu na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia							siarczany	
	wartości graniczne	średnio	BZT ₅	CZT	węgiel organiczny	węgiel całkowity	straty przy prażeniu	chlorki			
kwiecień	5,58-19,45	11,0	0,0089	0,3051	-	0,2888	0,0506	-	-	-	-
maj	7,91-22,21	13,9	0,0090	0,4251	-	-	-	0,0448	0,1054		
czerwiec	8,28-23,27	15,6	0,0090	0,2863	-	-	-	0,0498	0,1247		
lipiec	6,28-17,51	11,6	0,0078	-	-	-	-	0,0303	0,1015		
sierpień	13,50-45,00	22,2	-	0,8000	0,0590	-	0,0500	0,0102	0,0234		
wrzesień	4,65-12,24	7,7	0,0170	0,3770	0,0391	-	0,0280	nie wy- kryto	nie wy- kryto		
październik	-	13,5	0,0103	0,4387	0,0490	0,2888	0,0614	0,0270	0,0710		
średnio w mie- siącach bez opadów śnież- nych	-	13,5	0,0103	0,4387	0,0490	0,2888	0,0614	0,0270	0,0710		

Zestawienie wyników badań opadu pyłu na terenie Z.P.B. im. Modzelewskiego

[illegible]

M i e s i ą c		Opad pyłu g/m ² miesiąc		Wartości współczynników przeliczeniowych suchej masy pyłu na wskaźnik danego rodzaju zanieczyszczenia							
		wartości graniczne	średnio	BZT ₅	CZT	węgiel organiczny	Węgiel całkowity	utlenialność KMnO ₄	straty przy prażeniu	chlorki	siarczany
	Kwiecień	61,2-426,9	216,5	0,0214	0,1162	-	0,3290	-	0,0494	-	-
	maj	29,2-132,6	72,2	0,0019	0,2341	-	-	-	-	0,0167	0,0191
	czerwiec	21,8- 91,6	54,0	0,0057	0,2134	-	-	-	-	0,0132	0,0495
	lipiec	37,2-566,5	154,0	-	0,2550	nie wykryto	-	-	-	0,0010	0,0202
	sierpień	33,0- 63,0	43,5	-	0,2068	0,0254	-	-	-	0,0031	0,0354
	wrzesień	21,0-416,0	168,0	0,0020	0,4975	0,0652	-	0,0277	0,0423	0,0058	0,1067
	październik										
	Średnio w miesiącach bez opadów śniegów	-	118,0	0,0094	0,2538	0,0453	0,3290	0,0277	0,0459	0,0079	0,0461

Tablica Z 1-4

Średnie wartości wyników badań redukcji podstawowych wskaźników zanieczyszczenia w ściekach opadowych zanieczyszczonych spłukającym z powierzchni zlewni pyłem przy różnych czasach sedimentacji.

Pochodzenie ścieków	czas sedimentacji	% redukcji podstawowych wskaźników zanieczyszczenia				
		sucha pozostałość	zawiesina	BZT ₅	ChZT	utlenialność
Z.P.B. "Fasty" w Białymstoku	5	18,0	81	43,4	72,7	39,2
	10	18,0	81	45,0	72,7	51,4
	20	20,0	90	49,5	76,5	58,9
	60	20,0	90	58,4	76,5	60,8
Z.P.B. im. Modzelewskiego w Częstochowie	5	44,6	79	70,0	84,0	60,2
	10	46,2	82	70,0	86,6	62,1
	20	46,9	83	70,0	87,4	64,3
	60	48,0	85	83,5	89,3	71,1
Z.P.B. im. Koszutskiej w Częstochowie	5	60,2	72,5	-	66,6	14,4
	10	60,2	72,5	-	69,6	17,5
	20	60,2	72,5	-	71,0	23,7
	60	65,5	80	-	75,3	31,2

Z A Ł A C Z N I K N r 2

Przykładowe określenie prawdopodobieństwa wystąpienia
ciągów dni bezopadowych i z opadem nie powodującym spły-
wu do kanalizacji dla miast: Białegostoku i Częstochowy

Zagadnienia długo trwałości okresów bezopadowych dla celów hydrotechniki, a przede wszystkim dla celów projektowania sieci i urządzeń kanalizacyjnych nie były dotychczas przedmiotem żadnych publikacji krajowych i zagranicznych. Potrzeba określenia długo trwałości okresów bezopadowych i prawdopodobieństwa ich występowania wyłoniła się w trakcie analizy czynników wpływających na jakość ścieków opadowych i przykładowo została określona dla miast: Białegostoku i Częstochowy [47] .

Rozważając zagadnienie okresów bezopadowych należy przede wszystkim podać samą definicję omawianych okresów. W praktyce okresy bezopadowe definiuje się w zależności od dobowych sum opadów. Za okres bezopadowy przyjmuje się takie ciągi dni, w których opad nie wystąpił lub wystąpił, lecz dobowe sumy opadów nie przewyższały pewnej progowej wartości. Ponieważ dla celów projektowania sieci i urządzeń kanalizacyjnych istotny jest opad, który spowoduje spływ do sieci, w dalszych rozważaniach za okres bezopadowy przyjęto ciąg dni, w których opad nie wystąpił, lub w których dobową sumą opadów nie spowodowała spływu do sieci kanalizacyjnej. Jako wartość progową przyjęto wysokość opadu równą 2,0 mm.

W celu określenia długości ciągów bezopadowych i z opadem nie powodującym spływu do kanalizacji oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia wykonano zestawienie danych dotyczących liczby i długości tych okresów w poszczególnych miesiącach dziesięciolecia 1961 - 1970 dla stacji meteorologicznych w Białymstoku i Częstochowie (tablica Z 2-1 i Z 2-2). Rozkładu okresów bezopadowych na poszczególne miesiące dokonano przy założeniu, że je-

żeli okres bezopadowy zaczął się w jednym miesiącu i trwał jeszcze w następnym, to obliczoną liczbę dni bez opadu odnoszono do miesiąca, w którym liczba dni bez opadu była większa.

Długości okresów bezopadowych i z opadem $\leq 2,0$ mm uszeregowano w ciągi malejące dla obu stacji oddzielnie, biorąc pod uwagę raz okres całego dziesięciolecia, drugi raz okresy bez opadów śnieżnych w dziesięcioleciu (kwiecień - październik). Kolejnym pozycjom tego szeregu odpowiada procent wystąpienia danych lub większych wartości wyrażony wzorem [51] :

$$p = \frac{m}{\sum n + 1} 100\% \quad (Z 2-1)$$

gdzie:

- p - procent wystąpienia danych lub większych wartości,
- m - kolejna pozycja szeregu wartości uporządkowanych od największej do najmniejszej ,
- n - liczba przypadków wystąpienia danej wartości.

Obliczone prawdopodobieństwa elementów zestawionych w ciągi malejące zestawiono w tablicy Z 2-3 i Z 2-4 oraz naniesiono na wykresy (rysunek Z 2-1, Z 2-2, Z 2-3, Z 2-4). Oś pionową wykresów, opisaną wartościami długości ciągów dni z opadem $\leq 2,0$ mm T, stanowi podziałka logarytmiczna, oś poziomą opisaną wartościami prawdopodobieństwa p - skala prawdopodobieństwa.

Wiarygodną funkcyjną zależność $T(p)$ dla przyjętego zbioru danych (T, p) można znaleźć przedstawiając linię regresji zmiennej T względem zmiennej p jako prostą, jeśli osiągnięta korelacja będzie odpowiednio wysoka. Żądanie to oznacza, że bezwzględna wartość współczynnika korelacji r powinna być w isto-

tny sposób większa od wartości gwarancyjnej r_{gw} , zapewniającej o istnieniu różnej od zera korelacji ^{1/}.

Przedstawienie linii regresji jako prostej wymaga doboru odpowiedniego układu współrzędnych (x, y) . Skala zmiennej p powinna być przy tym właściwa dla danego rozkładu podziałką prawdopodobieństwa $x = f(p)$. Na osiągniętą korelację ma wpływ zarówno rodzaj rozkładu prawdopodobieństwa, jak i równanie skali zmiennej T , czyli równanie $y = y(T)$. W przyjętym tu zapisie funkcje $f(p)$ oraz $y(T)$ są funkcjami skal, zaś równania $x = f(p)$ oraz $y = y(T)$ są równaniami transformacyjnymi, które przekształcają płaszczyznę (p, T) na płaszczyznę (x, y) .

Dla zebranych danych osiągnięto bardzo dobrą korelację stosując logarytmiczną skalę dla zmiennej T , tzn. $y = \ln T$, oraz normalną podziałkę prawdopodobieństwa (rozkład normalny) dla zmiennej p .

Stopień trudności obliczeniowych, a przede wszystkim forma zapisu funkcji $T(p)$ zależą od sposobu przekształcenia zadane-go równaniem $x = f(p)$. Najwygodniej jest zażądać, aby (uwaga: p - w procentach):

$$(a) \quad f(50) = 0$$

$$(b) \quad f(p_1) > f(p_2) \quad \text{przy} \quad p_1 < p_2$$

Postulat (a) pozwala konstruować skalę prawdopodobieństwa jako symetryczną względem punktu $p = 50$, zaś postulat (b) pozwala

^{1/} Gwarancyjne współczynniki korelacji wg Kollera, uzależnione od liczebności zbioru danych, przytoczono za Hänselem [52] w tabl. Z2-5

uniknąć ujemnych znaków w zapisie funkcji $T(p)$, która jest tu funkcją malejącą.

Równanie transformacyjne $x = f(p)$ może być podana jedynie w trudnej obliczeniowo postaci parametrycznej; przy spełnieniu postulatów (a) i (b) ma ono postać:

$$\begin{aligned} x &= f(p) \operatorname{sgn} (1 - p/50) \\ \Phi \{f(p)\} &= |1 - p/50| \end{aligned} \quad (\text{Z } 2-2)$$

gdzie parametr $f(p)$ jest argumentem całki prawdopodobieństwa $\Phi \{f(p)\}$. W przypadku rozkładu normalnego jej wartości daje wzór

$$\Phi \{f(p)\} = \sqrt{2/\pi} \int_0^{f(p)} \exp (-t^2/2) dt$$

Dla ułatwienia obliczeń sporządzono tablicę (tabl. Z2-6) funkcji $f(p)$ posługuje się tablicą całki prawdopodobieństwa wg Bronsztejna i Siemiendiajewa [53] .

Przy powyższych ustaleniach funkcja $T(p)$ może być przedstawiona równaniem

$$T(p) = T(50) \exp \frac{f(p)}{k}$$

gdzie k , $T(50)$ - współczynniki stałe charakteryzujące analizowany zbiór danych.

Przyjmując oznaczenie $T_{50} \equiv T(50)$ można napisać następujący ostateczny wzór do obliczania wiarygodnej wartości T przy zadanej wartości p :

$$T = T_{50} \exp \frac{f(p)}{k} \quad (\text{Z } 2-3)$$

Zgodnie z wyprowadzeniem - wykres tej zależności jest linią prostą, jeśli wartości p odkłada się na normalnej podziałce

prawdopodobieństwa, a wartości T - na skali logarytmicznej.

Współczynniki a , T_{50} oraz współczynnik korelacji r , obliczone metodą najmniejszych kwadratów, mają wartości:

$$a = \frac{\sum (x - x_{\bar{r}})^2}{\sum (x - x_{\bar{r}}) y}$$

$$T_{50} = \exp \left(y_{\bar{r}} - \frac{x_{\bar{r}}}{a} \right)$$

$$r = \frac{\sum (x - x_{\bar{r}}) (y - y_{\bar{r}})}{\sqrt{\sum (x - x_{\bar{r}})^2 \cdot \sum (y - y_{\bar{r}})^2}}$$

gdzie: $x_{\bar{r}} = \frac{1}{m} \sum x$, $y_{\bar{r}} = \frac{1}{m} \sum y$

$$x = x(p) , \quad y = \ln(T)$$

(w powyższych wzorach sumowanie rozciąga się na wszystkie m punktów).

Korzystając ze wzoru (Z 2-3) można ustalić długość ciągów dni bezopadowych i z opadem nie powodującym spływu do kanalizacji T o przyjętym prawdopodobieństwie p .

$$T = T_{50} \exp \frac{f(p)}{k}$$

gdzie:

- T - długość ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie wystąpienia p ,
- T_{50} - długość ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 50\%$,

$f(p)$ - funkcja określona całką prawdopodobieństwa

$$f(p) = \pm \Phi_{-1} \left(\left| 1 - \frac{p}{50} \right| \right)$$

(wartości $f(p)$ zawiera tablica Z 2-6)

k - współczynnik aproksymacyjny zależny od ilości i długości ciągów dni bezopadowych.

Na podstawie określonego prawdopodobieństwa wystąpienia i przewyższenia długości ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm dla Białegostoku i Częstochowy (tablica Z 2-3 i Z 2-4), obliczono metodą najmniejszej sumy kwadratów wartości współczynników aproksymacyjnych T_{50} i k występujących we wzorze (Z 2-3) i przedstawiono w tablicy Z 2-7. Wyznaczone wartości współczynnika aproksymacyjnego T_{50} określającego długość ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie $p = 50\%$ i współczynnika k charakteryzującego długość i ilość ciągów dni bezopadowych wahają się w niedużych granicach i wynoszą odpowiednio - $T_{50} = 3,59 - 3,75$, $k = 1,07 - 1,14$. Liniową zależność $T(p)$ określoną na podstawie danych dla Białegostoku i Częstochowy przedstawia rysunek Z 2-1 do Z 2-4.

Czas trwania ciągu /dni/	Miesiące kalendarzowe												Ogółem w 10-leciu
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	8	14	13	13	11	8	8	9	6	10	16	11	127
2	7	5	10	8	5	6	7	9	5	5	13	6	86
3	5	7	1	3	7	2	2	5	3	4	4	4	52
4	2	6	2	1	4	2	2	4	5	2	4	2	36
5	4	1	3	6	6	4	8	3	2	3	2	1	43
6	1	1	5	1	6	2	3	2	4	1	2	4	32
7	1	1	1	3	1	1	2	1	3	1	3	1	14
8	5	2	1	2	1	2	5	1	1	1	3	2	28
9	1	1	2	1	2	3	4	2	1	1	3	1	15
10	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	12
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
15	2	3	1	3	1	2	2	2	1	2	1	2	10
16										2			2
17										1			7
18										1			3
19										1			3
20										1			3
21										2			4
22										1			2
23													1
24													1
25													1
26													1
27													1
28													1
29													1
30													1
31	1												1
32	1												1
33													1
34													1
35													1
36													1
37													1
38													1
39													1
40	1												1
41													1
42													1
43													1
44													1
45													1
46													1
47													1
Suma przypadków	40	46	44	45	44	40	48	43	36	38	52	39	520

Liczba przypadków ciężów dni z opadem dobowym $\leq 2,0$ mm dla Częstochowy dla okresu 1961-1970

Czas trwania ciągu /dni/	Miesiące kalendarzowe												Ogółem w 10-leciu
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	8	10	11	7	26	10	13	14	4	4	13	10	130
2	5	6	4	4	13	9	8	4	3	8	6	6	76
3	4	3	6	5	6	6	6	2	2	4	8	4	55
4	4	3	4	1	6	5	4	7	3	2	6	6	50
5	1	4	4	3	5	5	6	4	4	1	2	2	43
6	3	1	5	1	2	1	2	2	1	1	6	1	31
7	2	1	2	2	1	1	4	4	2	2	1	2	20
8	6	1	4	1	3	1	2	1	3	2	1	1	25
9	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
10	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	7
11	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	11
12	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	10
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Suma przypadków	42	37	46	35	64	46	51	48	34	31	48	43	525

B i a ż y s t o k				C z ę s t o c h o w a			
Czas trwania ciągu dni z opadem ≤ 2,0 mm w dobach	Liczba przypadków w dziesięcioleciu	Kolejna pozycja w szeregu wartości uporządkowanych	$p = \frac{m}{\sum n+1} \%$	Czas trwania ciągu dni z opadem ≥ 2,0 mm w dobach	Liczba przypadków w dziesięcioleciu	Kolejna pozycja w szeregu wartości uporządkowanych	$p = \frac{m}{\sum n+1} \%$
1	2	3	4	5	6	7	8
47	1	1	0,2	38	1	1	0,2
39	1	2	0,4	36	1	2	0,4
32	1	3	0,6	34	2	4	0,8
31	1	4	0,8	31	1	5	1,0
30	1	5	1,0	29	1	6	1,2
27	1	6	1,2	28	2	8	1,5
23	1	7	1,3	26	1	9	1,5
22	1	9	1,3	25	1	10	1,7
21	2	13	1,5	24	1	11	1,9
20	4	16	1,6	23	1	12	2,1
19	3	19	1,6	22	2	14	2,3
18	3	22	1,6	20	6	20	2,7
17	3	29	1,6	19	4	24	2,8
16	7	31	1,9	18	2	26	3,0
15	2	41	1,9	17	1	27	3,2
14	3	47	2,0	16	6	33	3,7
13	6	54	2,0	15	8	41	4,1
12	7	60	2,1	14	5	46	4,5
11	6	75	2,1	13	8	54	5,1
10	15	87	2,4	12	8	64	5,6
9	12	102	2,4	11	10	75	6,1
8	15	150	2,6	10	11	82	6,7
7	28	144	2,7	9	17	95	7,3
6	14	176	2,7	8	13	120	8,1
5	32	219	2,8	7	25	140	8,6
4	43	255	3,0	6	20	171	9,1
3	36	307	3,2	5	31	214	9,6
2	52	393	3,4	4	43	264	10,2
1	86	520	3,8	3	50	319	11,6
	127		4,8	2	55	395	15,1
			9,8	1	76	525	75,8
					130		99,8

Obliczanie prawdopodobieństwa wystąpienia i przewyższenia długości
ciągów dni z opadem $\leq 2,0$ mm w okresie bez opadów śnieżnych
/kwiecień - październik/

Dla Białegostoku					Dla Częstochowy				
Czas trwania ciągu dni z opadem $\leq 2,0$ mmT w dobach	Liczba przypadków w dziesięcioleciu n	Kolejna pozycja w szeregu wartości uporządkowanych m	Prawdopodobieństwo $p = \frac{m}{\sum n+1} \%$	Czas trwania ciągu dni z opadem $\geq 2,0$ mmT w dobach	Liczba przypadków w dziesięcioleciu n	Kolejna pozycja w szeregu wartości uporządkowanych m	Prawdopodobieństwo $p = \frac{m}{\sum n+1} \%$		
1	2	3	4	5	6	7	8		
39	1	1	0,3	38	1	1	0,3		
22	2	3	1,0	34	2	3	1,0		
21	5	8	2,6	28	1	4	1,3		
20	2	10	3,3	25	1	5	1,7		
19	2	12	4,0	22	2	7	2,3		
18	2	14	4,6	20	4	11	3,7		
17	2	16	5,3	19	2	13	4,3		
16	2	17	5,6	18	2	15	5,0		
15	1	24	8,0	17	1	16	5,3		
14	7	28	9,3	16	4	20	6,7		
13	4	33	11,0	15	4	24	8,0		
12	5	34	11,3	14	4	28	9,3		
11	1	44	14,6	13	4	33	11,0		
10	10	54	17,9	12	5	39	12,7		
9	10	62	20,6	11	6	46	15,3		
8	8	77	25,6	10	7	51	17,0		
7	15	88	29,3	9	5	59	19,7		
6	11	107	35,5	8	8	69	23,0		
5	19	139	46,2	7	10	80	26,7		
4	32	159	52,8	6	11	93	31,0		
3	20	190	63,1	5	13	121	40,3		
2	31	235	78,1	4	28	151	50,3		
1	45	300	99,7	3	30	182	60,7		
	65			2	31	231	77,0		
				1	49	299	99,7		

Tablica Z 2-5

Gwarancyjne współczynniki korelacji
wg Kollera [52]

Liczebność zbioru danych m	Gwarancyjny współ- czynnik korelacji r_{gw}
5	0,99
10	0,84
20	0,64
30	0,53
40	0,47
50	0,42
75	0,35
100	0,30

Tablica Z 2-6

Tablica wartości funkcji $f/p/$ określonej całką
prawdopodobieństwa

$$f/p/ = \pm \Phi_{-1} \left(\left| 1 - \frac{p}{50} \right| \right)$$

p %	f/p/	p %	f/p/	p %	f/p/
1,0	2,33	5	1,64	20	0,84
1,2	2,26	6	1,55	22	0,77
1,4	2,20	7	1,48	24	0,70
1,6	2,15	8	1,41	26	0,64
1,8	2,10	9	1,34	28	0,58
2,0	2,05	10	1,28	30	0,52
2,5	1,96	12	1,18	35	0,39
3,0	1,88	14	1,08	40	0,26
3,5	1,81	16	0,99	45	0,13
4,0	1,75	18	0,91	50	0,00
4,5	1,69				

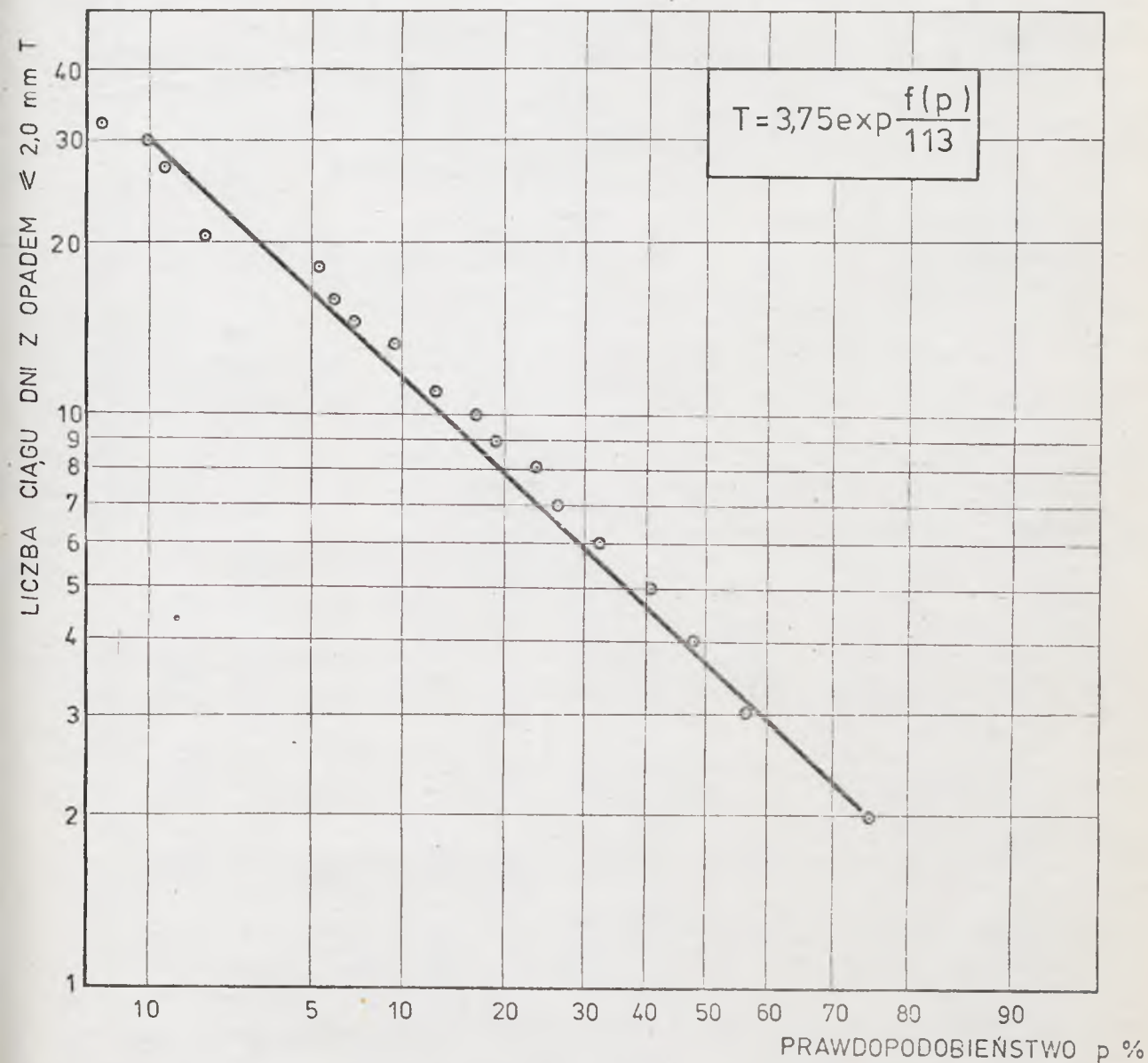
U w a g i : 1/ nie powiększając dokładności /dwie cyfry po przecinku/ można pomiędzy wartościami tablicowymi interpolować liniowo;

2/ przy $p > 50$ stosować wzór $f/p/ = -f/100-p/$

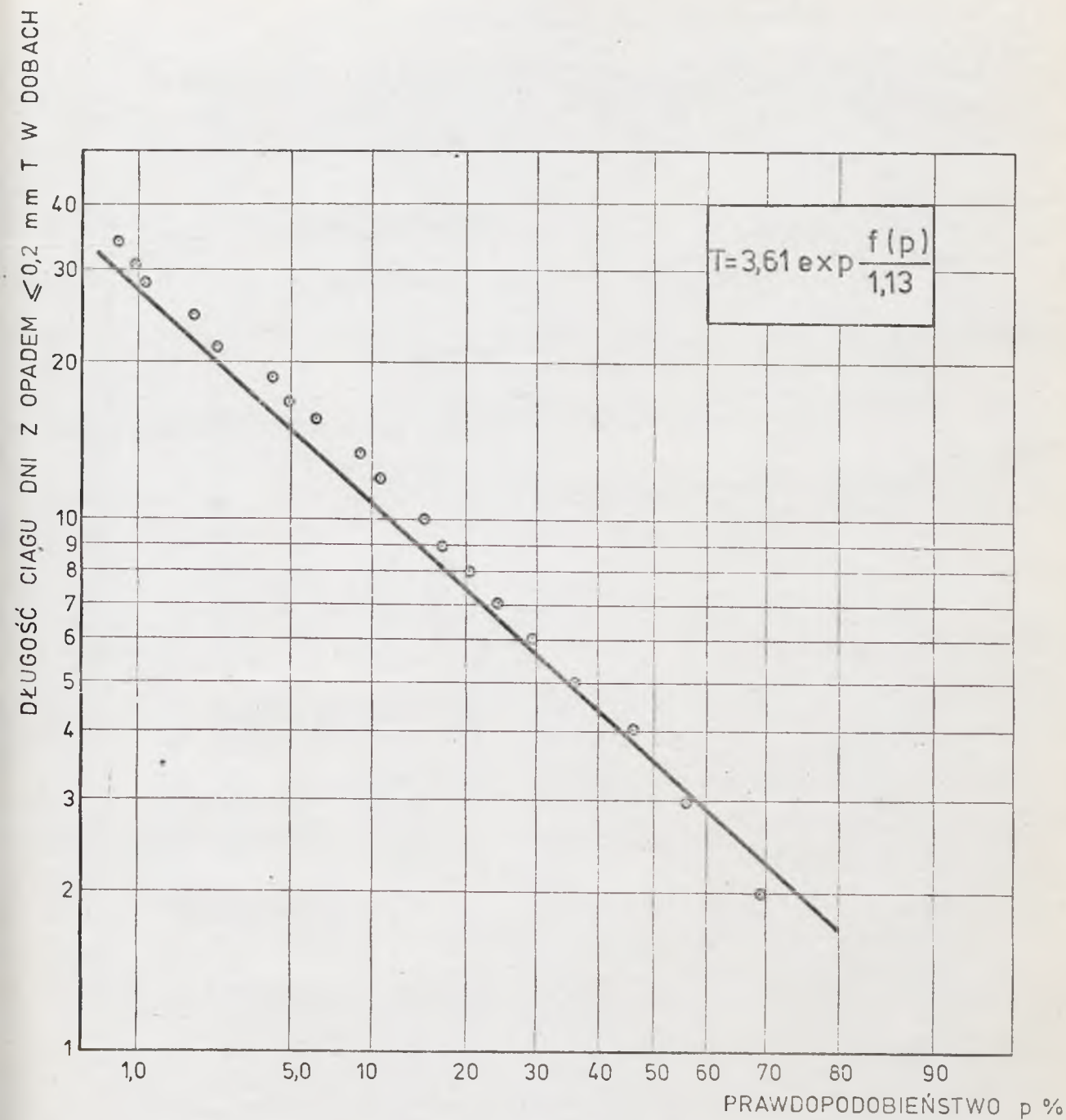
Tablica Z 2-7

Długości ciągów dni bezopadowych lub z opadem $\leq 2,0$ mm o prawdopodobieństwie $p = 50\%$ / T_{50} / i wartości współczynnika k charakteryzujące go długość i ilość ciągów dni z opadem $\leq 2,0$ mm określone według danych dla Białegostoku i Częstochowy

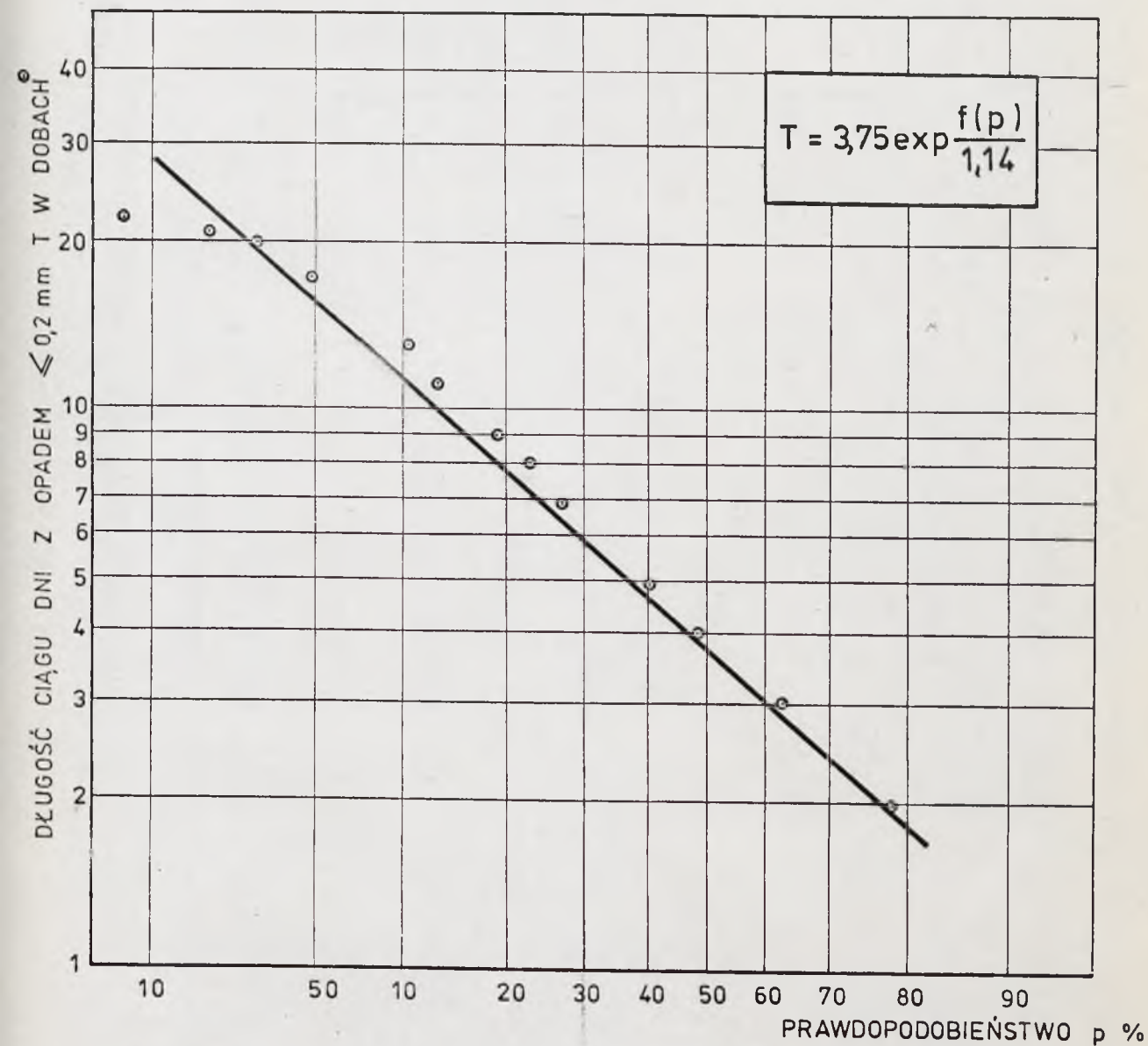
dla danych	Białystok		Częstochowa	
	T_{50}	k	T_{50}	k
z dziesięciolecia	3,75	1,13	3,61	1,13
z okresu bez opadów śnieżnych w dziesięcioleciu	3,75	1,14	3,59	1,07



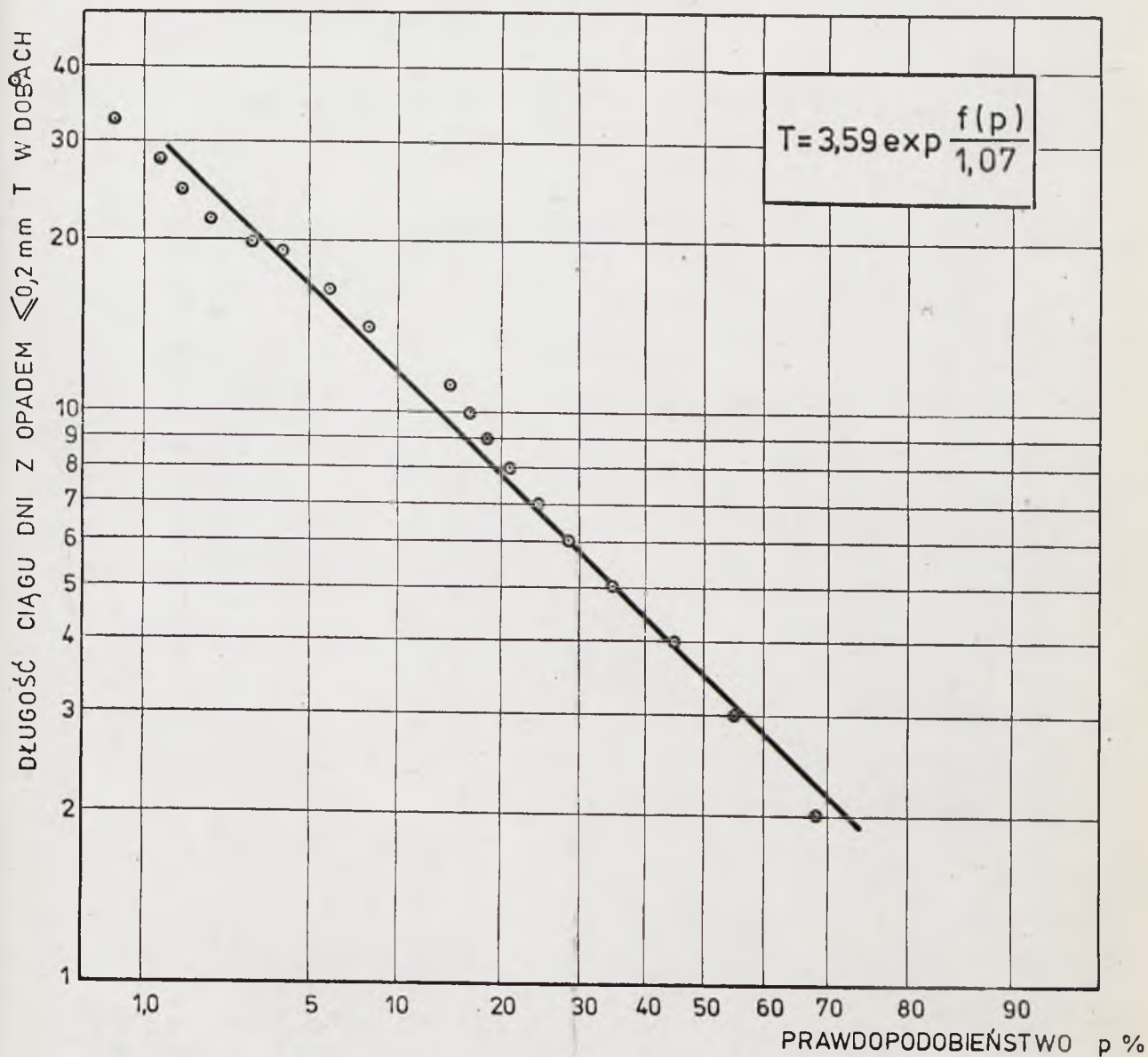
RYS. Z2-1 PRAWDOPODOBIENSTWO WYSTĄPIENIA I PRZEWYŻSZENIA
CIĄGU DNI Z OPADEM $\leq 2,0$ mm DLA STACJI
BIAŁYSTOK.



RYS. Z2-2 PRAWDOPODOBIENSTWO WYSTĄPIENIA I PRZEWYŻSZE-
NIA CIĄGU DNI Z OPADEM $\leq 2,0$ mm DLA CZĘSTO-
CHOWY.



RYS. Z2-3 PRAWDOPODOBIENSTWO WYSTĄPIENIA I PRZEWYŻSZENIA CIĄGU DNI Z OPADEM $\leq 0,2$ mm W OKRESIE BEZ OPADÓW ŚNIEŻNYCH DLA BIAŁEGOSTOKU.



RYS. Z2-4. PRAWDOPODOBIENSTWO WYSTĄPIENIA I PRZEWYŻSZENIA CIĄGU DNI Z OPADEM $\leq 0,2$ mm W OKRESIE BEZ OPADÓW ŚNIEŻNYCH DLA STACJI CZĘSTOCHOWA.

Z A Ł A C Z N I K Nr 3

Przyjęte założenia i zasady obliczeń
kubatury urządzeń miejskiej oczyszczalni
przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych

Celem przeprowadzenia analizy porównawczej wielkości urządzeń miejskiej oczyszczalni ścieków pogody bezdeszczowej z oczyszczalnią przystosowaną do przyjęcia także ścieków opadowych przy zachowaniu stałego efektu oczyszczania, wykonano obliczenia, na podstawie których przyjęto odpowiednią kubaturę urządzeń. Obliczenia wykonano na podstawie Wytocznych Technicznych Projektowania Oczyszczalni Ścieków [58] dla przyjętego w rozdziale 8 niniejszej pracy schematu technologicznego miejskiej oczyszczalni z osadem czynnym, w skład którego wchodzi następujące obiekty:

- kraty,
- piaskowniki,
- osadniki wstępne,
- komory napowietrzania z osadem czynnym (A) dla ścieków pogody bezdeszczowej,
- komory regeneracji osadu, spełniające rolę zbiorników magazynujących osad,
- komory mieszania,
- komory napowietrzania z osadem czynnym (B) dla ścieków mieszanych w czasie dopływu ścieków opadowych,
- osadniki wtórne,
- urządzenia do przeróbki osadów.

K r a t y .

Zgodnie z WTP dla tego typu oczyszczalni przyjęto kraty z mechanicznym usuwaniem skratek. Obliczenia krat dokonano dla maksymalnego godzinowego przepływu ścieków. Szerokość

komory krat ustalono uwzględniając zalecane typowe wymiary.

P i a s k o w n i k i .

Do obliczenia piaskowników przyjęto prędkość przepływu $v = 0,3 \text{ m/s}$, co umożliwia opadanie cząstek ziarnistych o wielkości rzędu $0,1 - 0,2 \text{ mm}$.

O s a d n i k i w s t ę p n e .

Obliczenie objętości osadników wykonano przy założeniu czasu zatrzymania w nich ścieków $t = 2 \text{ h}$. Uzyskany procent redukcji zawiesin wyniesie $\eta_z = 73\%$, a $BZT_5 - \eta_{BZT_5} = 30\%$ dla ścieków pogody bezdeszczowej [42]. Dla ścieków opadowych i mieszanych, ze względu na brak danych, przyjęto stopień redukcji zanieczyszczeń w osadnikach wstępnych jak dla ścieków pogody bezdeszczowej.

K o m o r y n a p o w i e t r z a n i a A

Objętość komór napowietrzania obliczono w zależności od natężenia przepływu i czasu aeracji ścieków według wzoru

$$V_A = Q_s \cdot T_A \quad (2 \ 3-1)$$

gdzie:

- V_A - użyteczna objętość komór aeracji A w m^3 ,
- Q_s - natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej poddawanych oczyszczaniu w m^3/h ,
- T_A - wymagany obliczeniowy czas napowietrzania ścieków w komorach aeracji w h.

Czas napowietrzania ścieków ustalono przy założeniu obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń i koncentracji

osadu w komorze napowietrzania - $A' = 0,5 \text{ kg BZT}_5/\text{kg d}$;
 $Z = 3 \text{ kg/m}^3$, co odpowiada pełnemu biologicznemu oczyszczaniu ścieków i obniżce BZT_5 - $\eta > 90\%$ [42] .

$$T_A = \frac{j_{sb} \cdot 24}{A' Z_A} \quad (Z \ 3-2)$$

gdzie: j_{sb} - stężenie zanieczyszczeń w ściekach pogody bezdeszczowej dopływających do komór aeracji A w kg/m^3 ,

A - obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń w $\text{kg BZT}_5/\text{kg d}$,

Z_A - koncentracja osadu czynnego w komorze aeracji A kg/m^3 .

K o m o r y n a p o w i e t r z a n i a B

Obliczenie komór aeracji B wykonano przy założeniu czasu napowietrzania w nich ścieków $T_B = 3 \text{ h}$ według wzoru:

$$V_B = Q_d \cdot T_B \quad (Z \ 3-3)$$

gdzie: V_B - użyteczna objętość komór aeracji B w m^3 ,

Q_d - natężenie przepływu ścieków opadowych w m^3/h ,

T_B - czas napowietrzania ścieków w komorach aeracji B w h .

Niezbędną koncentrację osadu czynnego w komorze aeracji dla uzyskania obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń jak w czasie dopływu ścieków pogody bezdeszczowej można obliczyć w zależności :

$$A'_A = A'_B$$

$$\frac{j_{sb} Q_s}{Z_A V_A} = \frac{j_{mb} Q_d}{Z_B V_B}$$

$$Z_B = \frac{j_{mb}}{j_{sb}} \cdot \frac{Z_A T_A}{T_B}$$

$$Z_B = T_A \frac{j_{mb}}{j_{sb}} \quad (Z \ 3-4)$$

gdzie:

- A_A - obciążenie osadu czynnego w komorze aeracji A ładunkiem zanieczyszczeń w czasie pogody bezdeszczowej w $\text{kg BZT}_5/\text{kg} \cdot \text{d}$,
- A_B - obciążenie osadu czynnego w komrach aeracji B ładunkiem zanieczyszczeń w czasie dopływu mieszaniny ścieków w $\text{kg BZT}_5/\text{kg} \cdot \text{d}$,
- j_{sb} - stężenie zanieczyszczeń w ściekach pogody bezdeszczowej dopływających do komór aeracji A w kg/m^3 ,
- Q_s - natężenie przepływu ścieków pogody bezdeszczowej w m^3/d ,
- Z_A - koncentracja osadu w komorach aeracji A w kg/m^3 ,
- V_A - objętość komór aeracji A w m^3 ,
- j_{mb} - stężenie zanieczyszczeń mieszaniny ścieków pogody bezdeszczowej i opadowych, dopływającej do komór aeracji B w kg/m^3 ,
- Q_d - natężenie przepływu ścieków opadowych w m^3/d ,
- Z_B - koncentracja osadu czynnego w komorach aeracji B w kg/m^3 ,
- V_B - objętość komór aeracji B w m^3 .

Powyższy wzór pozwala na obliczenie niezbędnej koncentracji osadu czynnego w komorach napowietrzania B, pracujących w czasie dopływu do oczyszczalni ścieków opadowych przy czasie napowietrzania w nich ścieków $T_B = 1 \text{ h}$ i obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń $A_B = 0,5 \text{ kg BZT}_5/\text{kg} \cdot \text{d}$.

K o m o r y r e g e n e r a c j i o s a d u .

Masa osadu czynnego zawarta w komorze regeneracji powinna być równa masie osadu jaką należy doprowadzić do komór napowietrzania B.

$$V_r Z_r = V_B Z_B \quad (Z \ 3-5)$$

gdzie:

- V_r - objętość komór regeneracji osadu w m^3 ,
- Z_r - koncentracja osadu w komorach regeneracji
(przyjęto $Z_r = 10 \text{ kg/m}^3$),
- Z_B - koncentracja osadu czynnego w komorze aeracji B w kg/m^3 ,
- V_B - objętość komór aeracji B.

Podstawiając do wzoru (Z 3-5) zależność (Z 3-4) i $Z_r = 10 \text{ kg/m}^3$ otrzymamy:

$$V_r = 0,1 T_A \frac{j_{mb}}{j_{sb}} V_B \quad (Z \ 3-6)$$

gdzie:

- V_r - jak wyżej,
- T_A - czas napowietrzania ścieków w komorach aeracji A w h,
- j_{mb} - stężenie mieszaniny ścieków pogody deszczowej dopływających do części biologicznej oczyszczalni ścieków w kg/m^3 ,

j_{sb} - stężenie zanieczyszczeń w ściekach pogody bezdeszczowej dopływających do części biologicznej miejskiej oczyszczalni w kg/m^3 ,

V_B - objętość komór aeracji B w m^3 .

K o m o r y m i e s z a n i a .

Kubaturę komór, w których następuje wymieszanie ścieków z osadem czynnym przed odprowadzeniem ich do komór B, obliczono przy założeniu 15-minutowego zatrzymania w nich ścieków.

O s a d n i k i w t ó r n e .

Do obliczenia osadników wtórnych przyjęto czas zatrzymania ścieków $t = 2,5 \text{ h}$.

I l o ś ć o s a d ó w ś c i e k o w y c h :

W procesie oczyszczania ścieków otrzymuje się osady z osadników wstępnych oraz osady nadmierne z osadników wtórnych.

Ilość osadów ze ścieków otrzymaną w procesie oczyszczania w osadniku wstępnym obliczono na podstawie doprowadzanego ładunku zanieczyszczeń i efektu sedymentacji. Ilość osadu nadmiernego odprowadzanego z osadników wtórnych obliczono przyjmując przyrost osadu w procesie biologicznego oczyszczania

$$\Delta_m = 0,8 \text{ kg/kg BZT}_5 \text{ usuniętego [42]}.$$

K o m o r y f e r m e n t a c j i .

Przeróbkę osadów ściekowych założono w wydzielonych komorach fermentacji. Objętość komór obliczono dla 30-dniowego czasu fermentacji. Objętość osadów miarodajną do wymiarowania komór ustalono dla ilości ścieków dopływających do oczyszczalni w ciągu 30 dni.

P o l e t k a d o s u s z e n i a o s a d u .

Powierzchnię poletek do suszenia osadu określono przyjmując roczną wysokość warstwy zalewowej 2,0 m. Ilość osadów doprowadzanych na poletka do suszenia osadów ustalono przyjmując do obliczeń roczną sumę opadów $H = 800 \text{ mm}$.

P o m p w n i e .

Kubaturę pompowni ścieków i osadów określono na podstawie wskaźników [59] w zależności od maksymalnej ich wydajności.

Do obliczenia pompowni recyrkulatu dla części oczyszczalni A pracującej w czasie pogody bezdeszczowej i B - pracującej w czasie dopływu ścieków opadowych przyjęto stopień recyrkulacji $n = 1$.

Kubaturę pompowni obliczono zakładając lokalizację agregatów pompowych dla recyrkulatu do komór napowietrzania A i B oraz osadów ściekowych w jednym budynku.

Z A Ł A C Z N I K Nr 4

Przyjęte założenia i zasady obliczania
kosztów eksploatacji miejskiej oczyszczalni ścieków
przystosowanej do przyjęcia ścieków opadowych

Na koszty eksploatacji oczyszczalni ścieków składają się: koszty energii elektrycznej, koszty paliwa, koszty materiałów, wydatki na płace, koszty remontów kapitalnych i bieżących, koszty ogólne oraz koszty amortyzacji na odtworzenie. Koszty należy zmniejszyć o wartość produktów powstających w danej oczyszczalni wskutek oczyszczania ścieków, o ile produkty te są wykorzystywane do celów nie związanych z eksploatacją oczyszczalni.

Ogólnie koszty eksploatacji oczyszczalni ścieków można wyrazić wzorem:

$$K = K_{el} + K_p + K_m + K_{pł} + K_r + K_{og} + K_{am} - S \quad \text{zł/a}$$

gdzie:

- K_{el} - koszty energii elektrycznej w zł/a ,
- K_p - koszty paliwa w zł/a ,
- K_m - koszty materiałów w zł/a ,
- $K_{pł}$ - płace z narzutami w zł/a ,
- K_r - koszty remontów kapitalnych i bieżących w zł/a ,
- K_{og} - koszty ogólne w zł/a ,
- K_{am} - koszty amortyzacji na odtworzenie w zł/a ,
- S - wartość produktów ubocznych w zł/a .

Koszty energii elektrycznej

W przyjętym w rozdziale 8 niniejszej pracy układzie technologicznym oczyszczalni ścieków energia elektryczna zużywana będzie na:

- pompowanie ścieków dopływających do oczyszczalni,
- napowietrzanie i mieszanie ścieków w procesie osadu czynnego,
- pompowanie osadu czynnego z komór regeneracji osadu do komór aeracji B pracujących w czasie dopływu ścieków opadowych,

- napowietrzanie osadu czynnego w komorach regeneracji,
- mieszanie ścieków z osadem czynnym w komorach mieszania,
- recyrkulację osadu czynnego,
- pompowanie osadu,
- mieszanie osadów w komorach fermentacji,
- inne cele jak: oświetlenie terenu i budynków, działanie aparatury w laboratoriach itp.

1. Zużycie energii na pompowanie ścieków ustalono za pomocą wzoru:

$$e_1 = Q_r \cdot H \cdot E_n \quad \text{kWh/a}$$

gdzie:

Q_r - roczna ilość pompowanych ścieków w 1000 m³/a ,

H - całkowita manometryczna wysokość podnoszenia ścieków w m H₂O ,

E_n - ilość energii elektrycznej niezbędna do podniesienia 1000m³ ścieków na wysokość 1 m w kWh.

Ilość energii elektrycznej potrzebna na podniesienie 1000 m³ ścieków na wysokość 1 metra:

$$E_n = \frac{1000 \cdot 1000 \cdot 1}{60 \cdot 60 \cdot 10^2 \eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{2,72}{\eta_1 \cdot \eta_2} \quad \text{kWh}$$

gdzie:

η_1 - współczynnik sprawności pompy

η_2 - współczynnik sprawności silnika elektrycznego;
orientacyjnie $\eta_1 \cdot \eta_2$ przyjęto 0,5.

Roczną ilość pompowanych ścieków określono jako sumę ilości pompowanych ścieków miejskich pogody bezdeszczowej w ciągu roku oraz ścieków opadowych.

$$Q_r = Q_s + Q_d$$

gdzie:

Q_s - roczna ilość ścieków miejskich pogody bezdeszczowej w m^3/a ,

Q_d - roczna ilość ścieków opadowych w m^3/a .

Roczną ilość ścieków miejskich pogody bezdeszczowej określono w oparciu o średni dobowy przepływ ścieków

$$Q_s = 365 \cdot Q_{\text{śrd}}$$

gdzie:

$Q_{\text{śrd}}$ - średni dobowy przepływ ścieków miejskich pogody bezdeszczowej w m^3/d .

Roczną ilość pompowanych ścieków opadowych określono na podstawie średniej wysokości opadów w ciągu roku $H = 600 \text{ mm}$

$$Q_d = 10 \cdot H \cdot \psi \cdot F \quad m^3$$

gdzie:

H - średnia wysokość opadów w ciągu roku w mm

ψ - współczynnik spływu ,

F - powierzchnia zlewni, w ha .

Manometryczne wysokości podnoszenia ustalono według schematu wysokościowego oczyszczalni ścieków przy założeniu grawitacyjnego przepływu ścieków przez urządzenia.

Maksymalne zagłębienie kolektora doprowadzającego ścieki do oczyszczalni przyjęto 6 m. Ścieki opadowe ze zbiornika retencyjnego doprowadzane są do zbiornika czerpального pompowni ścieków.

2. Zużycie energii na napowietrzanie ścieków w procesie osadu czynnego obliczono według wzoru:

$$e_2 = \frac{Q_r \cdot k \cdot 0,7 \cdot j}{E_k \cdot \eta_3} \quad \text{kWh/a}$$

gdzie:

- Q_r - roczna ilość oczyszczonych ścieków w m^3/a ,
 k - współczynnik intensywności napowietrzania zależny od efektu zmniejszenia BZT_5 ścieków w oczyszczalni (dla efektu 90% - $k = 1,5$)
 E_k - ekonomiczność procesu napowietrzania ,
 ($E_k = 3000 \text{ g } \text{O}_2 / \text{kWh}$)
 η_3 - ogólna sprawność urządzenia napowietrzającego
 $\eta_3 = 0,6$
 j - średnie stężenia zanieczyszczeń w ściekach wpływających do oczyszczalni wyrażone przez BZT_5 w g/m^3 .

3. Zużycie energii elektrycznej na pompowanie osadu z komór regeneracji do komór osadu czynnego B ustalono jako 10% energii elektrycznej zużywanej na recyrkulację osadu do komór osadu czynnego B dla I wariantu i 15% dla II wariantu.

4. Zużycie energii na napowietrzanie osadu czynnego w komorze regeneracji osadu obliczono według wzoru:

$$e_3 = \frac{G_r \cdot k \cdot 365 \cdot 24}{E_k \cdot \eta_3} \quad \text{kWh/a}$$

gdzie:

- G_r - sucha masa osadu czynnego w komorze regeneracji w kg ,
 k - wskaźnik poboru tlenu przez osad w komorze w $\text{g } \text{O}_2/\text{kg} \cdot \text{d}$; $k = 2 \text{ g } \text{O}_2/\text{kg} \cdot \text{d}$,

E_k - ekonomiczność procesu napowietrzania

$$E_k = 3000 \text{ g O}_2/\text{kWh}$$

η_3 - ogólna sprawność urządzenia napowietrzającego

$$\eta_3 = 0,6 .$$

5. Zużycie energii na mieszanie ścieków z osadem czynnym w komorze mieszania przyjęto równe 10% energii zużywanej na pompowanie ścieków opadowych.

6. Zużycie energii na pompowanie osadów ściekowych określono tak jak dla ścieków, ustalając roczną ilość pompowanych osadów jako sumę ilości osadów z osadników wstępnych i osadów nadmiernych z osadników wtórnych wytrąconych w procesie oczyszczania w ciągu roku.

Manometryczną wysokość podnoszenia osadów określono przy założeniu średniej wysokości komór fermentacji 15 m.

7. Zużycie energii na pompowanie osadu recyrkulowanego ustalono w zależności od przyjętego stopnia recyrkulacji.

8. Zużycie energii elektrycznej na mieszanie osadów w komorze fermentacji ustalono przy założeniu wydajności urządzeń mieszających odpowiadającej wymianie całkowitej pojemności komory w ciągu 3 godzin.

Cenę za 1 kWh energii elektrycznej ze względu na znaczne różnice w wykorzystaniu mocy zainstalowanej przy różnych wartościach godzinowego dopływu ścieków opadowych w ciągu roku ustalono na podstawie obliczeń średniej opłaty w oparciu o wzór

$$C = C_z + \frac{C_s}{h} \quad \text{zł/kWh}$$

gdzie:

C_z - opłata zmienna zł/kWh

C_s - opłata stała zł/kWh

h - roczne wykorzystanie mocy zainstalowanej w h .

Opłaty stałe i zmienne ustalono na podstawie obowiązujących taryf [54] i wynoszą dla odbiorców zaliczonych do grupy A_1 (przemysł zasilany na wysokim napięciu) $C_z = 0,26$ zł/kWh, $C_s = 1440$ zł/kWh.

Roczne wykorzystanie mocy zainstalowanej można obliczyć ze stosunku:

$$h = \frac{E}{P}$$

gdzie:

P - maksymalne zapotrzebowanie mocy kW,

E - roczne zużycie energii kWh.

Koszty paliwa

Ze względu na wykorzystanie gazu powstającego w procesie fermentacji osadów jako czynnika grzejnego koszty paliwa pominięto.

Koszty materiałów

Materiałami zużywanymi w trakcie przeprowadzania procesów technologicznych będą koagulanty do odwodnienia osadów ściekowych. Przyjęto najczęściej stosowane koagulanty - siarczan żelazowy techniczny ($FeSO_4 \cdot 7 H_2O$) i wapno hydratyzowane - (Ca /OH_2).

Zużycie koagulantów określono w zależności od efektu redukcji BZT_5 i ilości suchej masy osadu przefermentowanego [21] . Zużycie siarczanu żelazowego przyjęto - $0,05$ g $FeSO_4 \cdot 7 H_2O/g$, a wapna hydratyzowanego - $0,09$ g $Ca/OH_2/g$.

Koszt koagulantów obliczono według wzoru:

$$K_m = (c_1 b_1 + c_2 b_2) G_{os} \quad \text{zł/s}$$

gdzie:

c_1 - cena koagulantu siarczanu żelazowego w zł/kg,

c_2 - cena koagulantu wapna hydratyzowanego w zł/kg

b_1 i b_2 - jednostkowe zużycie koagulantów w g/g

G_{os} - roczna ilość osadów w kg/a

Ceny koagulantów przyjęto [21] :

dla siarczanu żelaza - 0,8 zł/kg

dla wapna hydratyzowanego - 0,5 zł/kg

Płace robotników

W skład płac jako elementu eksploatacji wchodzi płace i narzuty na płace robotników bezpośrednio obsługujących urządzenia oczyszczalni.

Koszty płac i narzutów obliczono przy pomocy wzoru:

$$K_{pł} = X_s \cdot l \cdot s$$

gdzie:

X_s - ilość stanowisko - zmian niezbędnych dla obsługi urządzeń

l - wskaźnik charakteryzujący stosunek ilości robotników efektywnie zatrudnionych do ilości stanowisko - zmian $l = 1,3$,

s - średnia roczna płaca robotnika wraz z narzutami w zł/a.

Ilość stanowisko - zmian w oczyszczalni ścieków bez dopływu ścieków opadowych przyjęto jak dla oczyszczalni obsługujących 500 000 do 1 000 000 mieszkańców - 66 [55] .

Dla oczyszczalni przejmującej ścieki opadowe ilość stanowisko zmian ze względu na większe ilości osadów zwiększono do 68.

Roczną płacę przypadającą na 1 etat przyjęto w wysokości 50 tys. zł. Wartość ta uwzględnia zarówno narzuty na płace, jak i rezerwę urlopową i zastępstwa [56] .

Koszty remontów

Roczne koszty remontów obliczono proporcjonalnie do poniesionych nakładów przyjmując stawkę na remonty kapitalne i bieżące w oparciu o Projekt Wytycznych Branżowych [57] - 1,6%.

Koszty ogólne

Koszty ogólne ustalono przyjmując wskaźnik charakteryzujący stosunek kosztów ogólnych do płac robotników - 0,83 [56] .

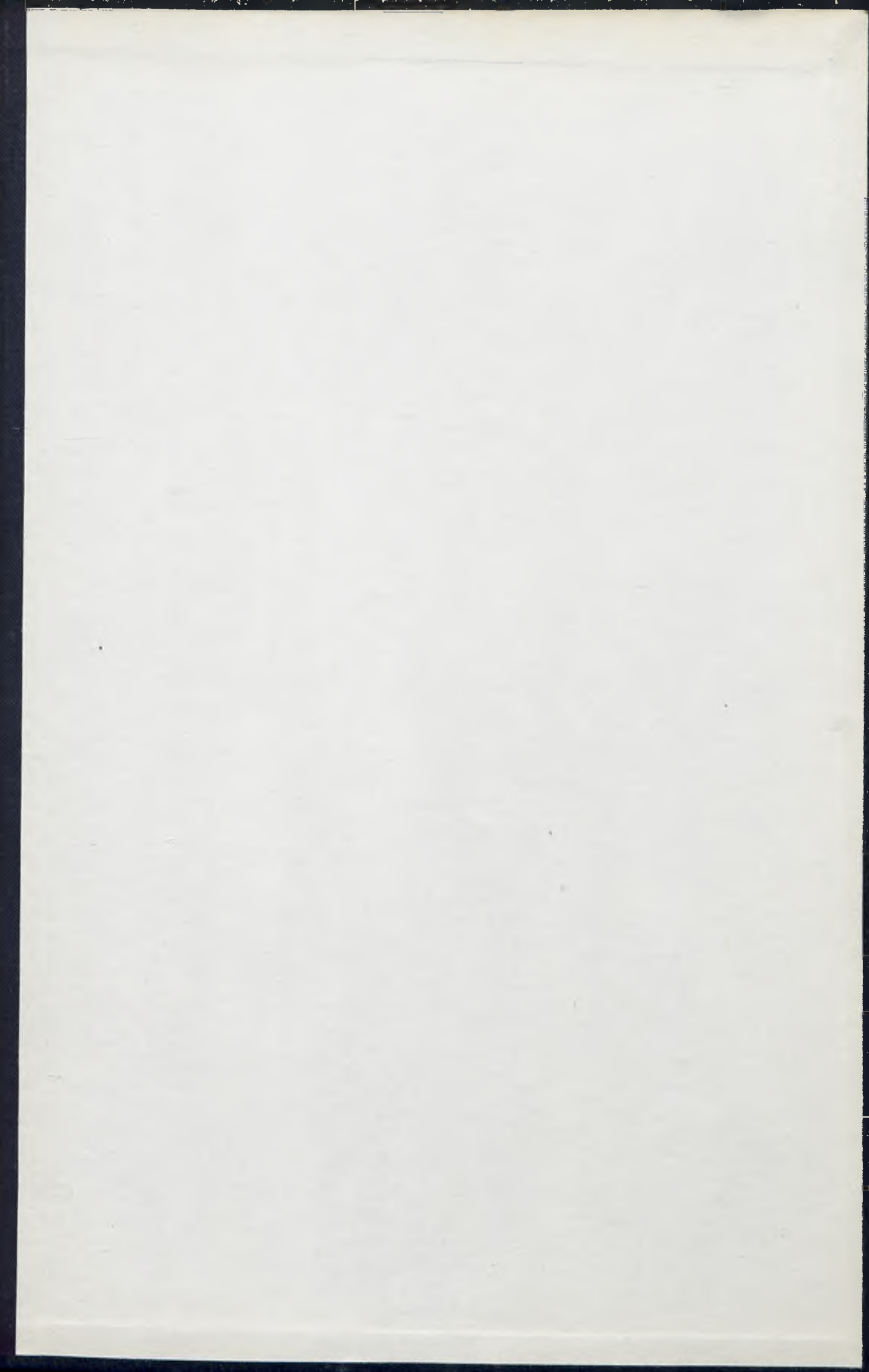
Koszty amortyzacji na odtworzenie

Stawki odpisów amortyzacyjnych na odtworzenie przyjęto w wysokości podanej w urzędowej tabeli stawek [57] - 3% całkowitych nakładów inwestycyjnych na oczyszczalnię ścieków.

Wartość produktów ubocznych

Koszty eksploatacji oczyszczalni zmniejszono o wartość produktów ubocznych powstających w oczyszczalni ścieków, którymi będą przefermentowane osady ściekowe. Cenę wysuszonego osadu przyjęto w oparciu o orientacyjne dane [55] w wysokości 90 zł/m³.







R

2 264



400000000112061