

dr inż. Józef Dziopak
prof. dr hab. inż. Artur Wieczysty

Instytut Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska
Politechniki Krakowskiej

WYKORZYSTANIE MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO DO WYMIAROWANIA ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH NA SIECI KANALIZACYJNEJ

Przekroje kanałów deszczowych i ogólnospławnych oraz pracujące na sieci obiekty kanalizacyjne wykorzystywane są w pełni w bardzo niskim stopniu, często raz na kilka lat, a ich wymiary wynikają z przyjętego poziomu niezawodności pracy sieci. Nadal obserwowany znaczny przyrost osiedli mieszkaniowych i rozbudowa miast stwarzają sytuację, w której szczególnego znaczenia nabiera problem zwiększenia wskaźników wykorzystania przekrojów istniejących i projektowanych sieci kanalizacyjnych. Nawet stosunkowo niewielkie zwiększenie tych wskaźników może przynieść znaczne korzyści ekonomiczne.

Jedną z niewykorzystanych możliwości jest uwzględnianie i właściwe projektowanie zbiorników retencyjnych, szczególnie w rozbudowanych i modernizowanych systemach kanalizacji. Zbiorniki retencyjne dają możliwość regulowania spływem ścieków deszczowych w kanalizacji i wpływają na sposób decydujący na wymiarowanie i racjonalne wykorzystanie sieci. Pozwalają one w okresach szczytowych przepływów na przechwycenie i okresowe zatrzymanie znacznych objętości ścieków deszczowych z możliwością ich stopniowego odprowadzania do sieci zlokalizowanej poniżej zbiornika retencyjnego.

Uwzględniając dotychczasowe rozwiązania oraz nowe możliwości, zbiorniki retencyjne mogą znaleźć zastosowanie głównie w następujących okolicznościach [1]:

- dla odciążenia hydraulicznego istniejącej sieci kanalizacyjnej
- przy podłączaniu nowych zlewni do istniejącej sieci kanalizacyjnej
- dla zmniejszenia kosztów budowy nowej sieci kanalizacyjnej, a zwłaszcza kolektorów tranzytowych
- dla odciążenia oczyszczalni ścieków
- przed pompownią wód deszczowych
- dla ochrony wód odbiornika.

Istniejące sieci kanalizacyjne, zwłaszcza większych miast, wymagają ciągłej rozbudowy i modernizacji. Przepustowość pracujących kanałów i kolektorów nie pozwala najczęściej na włączenie nowych zlewni. Budowa sieci uzupełniającej, przy istniejącym uzbrojeniu tere-

nu, stwarza poważne problemy techniczne i wymaga dużych nakładów finansowych. Rozwiązanie tego problemu jest możliwe przy zastosowaniu zbiorników retencyjnych. Ich właściwe rozmieszczenie na sieci, prawidłowe wymiarowanie oraz trafny dobór współczynnika redukcji przepływu za zbiornikiem pozwala na racjonalne wykorzystanie przepustowości istniejących bądź projektowanych sieci.

Uwzględniając brak dostatecznie dokładnych metod wymiarowania zbiorników retencyjnych podjęto w Instytucie Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej prace studialno-badawcze [2], które pozwoliły na opracowanie racjonalnej i nowoczesnej metody wyznaczania obliczeniowego czasu trwania deszczu, podczas wystąpienia którego zbiornik osiągnie niezbędną pojemność.

Podstawy teoretyczne obliczania zbiorników retencyjnych

Opracowano podstawy teoretyczne wymiarowania zbiorników retencyjnych kanalizacji deszczowej w oparciu o sformułowany model matematyczny, uwzględniający warunki dopływu, możliwości retencyjne zbiornika i zdolność hydrauliczną sieci kanalizacyjnej położonej poniżej zbiornika. Model opracowano bazując na ogólnym równaniu bilansu (rys. 1) dopływu i odpływu ścieków deszczowych ze zbiornika:

$$dV = A \, dh = QA \, dt - QO \, dt \quad (1)$$

gdzie:

dV — zmiana objętości ścieków deszczowych w zbiorniku w m^3

A — powierzchnia pozioma zbiornika w m^2

dh — zmiana poziomu napełnienia zbiornika dla rozpatrywanego przyrostu czasu dt w m

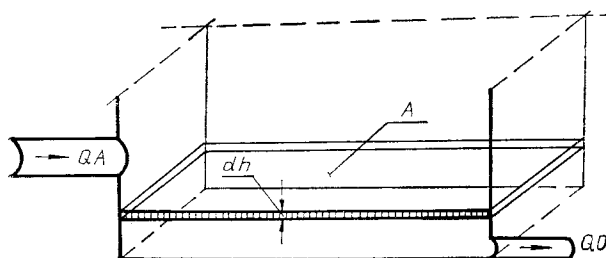
QA — natężenie dopływu ścieków deszczowych do zbiornika w m^3/s

QO — natężenie odpływu ścieków deszczowych ze zbiornika w m^3/s .

Podjęte prace studialno-badawcze pozwoliły na przeprowadzenie rozważań teoretycznych w omawianej kwestii dla warunków polskich [3]. Otrzymane wyniki rozwiązań symulowanej pra-

cy zbiornika oraz podjęta szeroka analiza wpływu szeregu istotnych czynników na przebieg i wielkość akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku stanowiły podstawę do opracowania praktycznych wniosków i wytycznych, zalecanych do stosowania na etapie projektowania zbiorników retencyjnych.

Wyznaczono równania różniczkowe dla trzech charakterystycznych czasów trwania deszczu i trzech odmiennych obszarów zmienności krzywej dopływu ścieków deszczowych do zbiornika, które stanowią oryginalny sposób opisu zdolności retencyjnej zbiornika współpracującego z siecią.



Rys. 1 Schemat działania przepływowego zbiornika retencyjnego

Przebieg akumulacji ścieków deszczowych w zbiorniku opisują trzy podstawowe równania, odrębne dla trzech odmiennych obszarów zmienności dopływu (rys. 2):

$$\frac{dz}{dt} = C \frac{t}{Z} - D \quad (2)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{E}{Z} - D \quad (3)$$

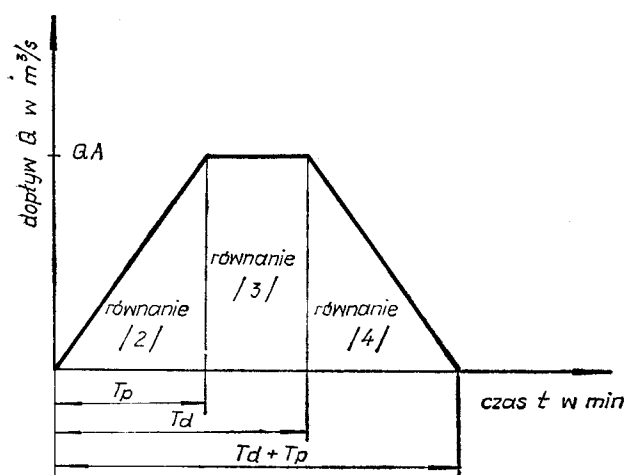
$$\frac{dz}{dt} = \frac{K}{Z} - C \frac{t}{Z} - D \quad (4)$$

gdzie:

t — zmienna niezależna

z — zmienna zależna

C, D, E, K — stałe charakteryzujące opad, zlewnię, sieć kanalizacyjną powyżej zbiornika, zbiornik i przepustowość kanału odpływowego.



Rys. 2 Obszary zmienności dopływu wód deszczowych do zbiornika

Równania te rozwiązano analitycznie i numerycznie, a uzyskane relacje pozwalają określać dynamikę zmian stanu napełnienia zbiornika w czasie.

Rozwiązanie zadania sprowadza się do jednoznacznego określenia deszczu miarodajnego, podczas którego zbiornik o założonej wysokości napełnienia i znanych wartościach parametrów wyjściowych osiągnie największą powierzchnię poziomą lub dla założonej powierzchni poziomej zbiornik osiągnie największe napełnienie.

Wpływ zbiornika na pracę sieci

Kwestia zastosowania zbiorników retencyjnych i ich rozmieszczenia na sieci kanalizacyjnej powinna być w każdym przypadku rozwiązywana drogą techniczno-ekonomicznego porównania wariantów możliwych do zastosowania.

Rola zbiornika retencyjnego sprowadza się do obniżenia wielkości przepływu w sieci położonej poniżej zbiornika. Zmniejszenie przepływu charakteryzuje współczynnik redukcji β , który określa stosunek natężenia dopływu do natężenia odpływu. Dla maksymalnych przepływów $\beta = QA/QO$.

Należy na tym etapie rozważyć wyodrębnić dwa oddzielne przypadki obliczeniowe sieci zlokalizowanej poniżej zbiornika:

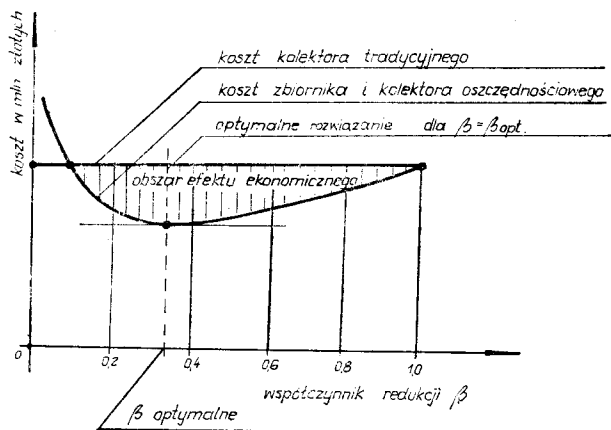
Pierwszy przypadek dotyczy sytuacji, w której zbiornik umiejscowiony jest na granicy zlewni przed kolektorem tranzytowym, transportującym ścieki deszczowe lub inne z sieci kanalizacyjnej położonej powyżej zbiornika. Wymiar kolektora tranzytowego uzależniony jest od maksymalnego dopływu do zbiornika i przyjętego współczynnika redukcji β .

Trudniejszy do rozwiązania jest przypadek, gdy zbiornik retencyjny znajduje się w obszarze zlewni. Kolektor odprowadzający ścieki deszczowe ze zbiornika zasilany jest dodatkowo na długości zlewni. Wymiarowanie tego kolektora jest możliwe jedynie po przeanalizowaniu przebiegu zmian przepływu w czasie trwania i po zakończeniu opadu za zbiornikiem i na końcu kolektora. Przy składaniu charakterystyk przepływu należy uwzględnić przesunięcie czasowe wynikające z czasu potrzebnego na przepłynięcie ścieków deszczowych od zbiornika, do dolnej części kolektora. Zbiornik odciąża hydraulicznie kanał zlokalizowany poniżej oraz pośrednio sieć położoną za tym kanałem. Bardzo istotne znaczenie ma ustalenie rzeczywistej charakterystyki zmienności odpływu ścieków deszczowych ze zbiornika. Problem ten jest już możliwy do rozwiązania przy wykorzystaniu modelowania matematycznego [3]. Pozwala on na wyznaczenie deszczu miarodajnego, krzywej zmian stanu napełnienia i odpływu w czasie napełniania i opróżniania zbiornika.

Wielkość efektu ekonomicznego z zastosowania zbiornika retencyjnego uzależniona jest głównie od:

- długości kolektora tranzytowego lub kanału odpływowego
- wartości współczynnika redukcji przepływu β
- systemu kanalizacji i głębokości posadowienia kanałów oraz stopnia nawodnienia gruntu
- użytego materiału do budowy kanałów
- roli jaką spełnia kolektor położony poniżej zbiornika.

Wraz z przyrostem długości kolektora za zbiornikiem, wzrostem głębokości posadowienia kolektora i stopnia nawodnienia gruntu oraz zwiększeniem się ceny jednostkowej kanału osiąga się wyższy efekt ekonomiczny. Na efekt ekonomiczny ma wpływ różnica między kosztami poniesionymi na budowę kolektora wymiarowanego na maksymalne sekundowe przepływy a sumą kosztów związanych z budową zbiornika retencyjnego i kolektora wymiarowanego na obniżone przepływy.



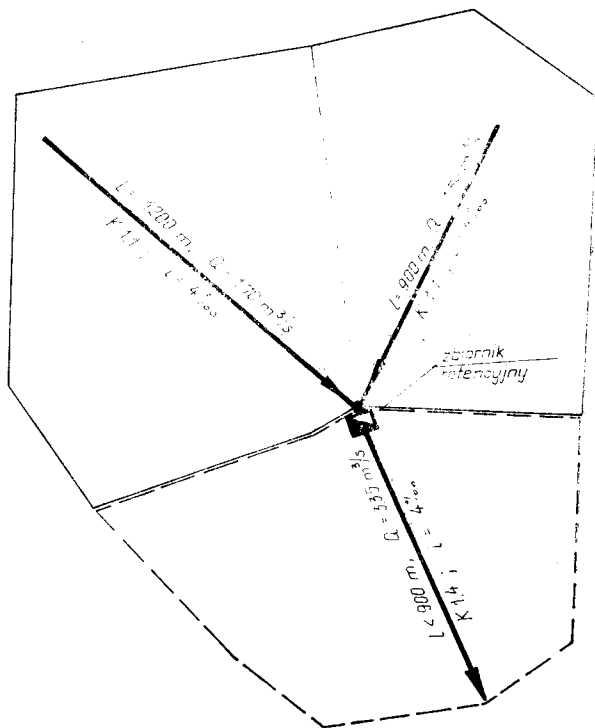
Rys. 3 Przykład schematu wyznaczania obszaru efektu ekonomicznego

Najistotniejszą kwestią do rozważenia przy poszukiwaniu optymalnego rozwiązania jest ustalenie wartości współczynnika redukcji β . Jego wartość wpływa bezpośrednio na poszukiwaną maksymalną objętość zbiornika i wymiar kolektora za zbiornikiem. Rozwiązanie tego zadania sprowadza się do ustalenia ekstremum-minimum funkcji (rys. 3), określającej zależność kosztu zbiornika i kanału za zbiornikiem od współczynnika redukcji przepływu β . Należy na tym etapie rozważań podkreślić, że efekt ekonomiczny zawiera się w zakresie między wartością $\beta=1,0$ a wartością współczynnika, dla którego koszt budowy zbiornika retencyjnego wraz z kolektorem za zbiornikiem jest równy kosztowi wykonania kolektora bez zbiornika.

Uwzględnienie oddziaływania zbiorników retencyjnych na pracę sieci kanalizacyjnej poprzez retencjonowanie ścieków deszczowych daje możliwość swobodnego etapowania rozbudowy i modernizacji sieci przy ograniczeniu do minimum nakładów inwestycyjnych, zapewniając jednocześnie założony poziom niezawodności pracy sieci.

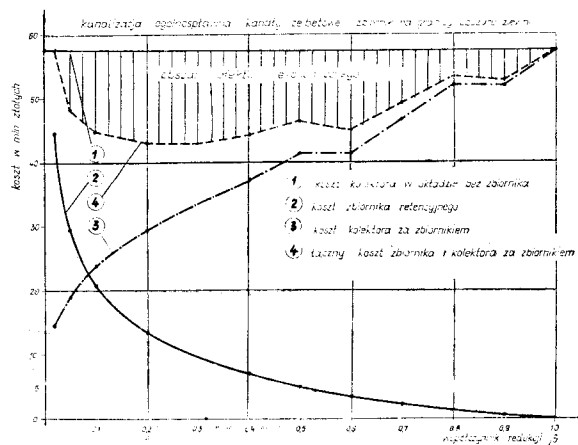
Przykłady obliczeniowe

Przeprowadzono analizę wpływu współczynnika redukcji β na efekt ekonomiczny zastosowania zbiornika dla wybranego fragmentu sieci kanalizacyjnej (rys. 4), korzystając z aktualnych cen jednostkowych budowy kanałów w zależności od średnicy i użytego materiału do budowy kanału, głębokości posadowienia i warunków gruntowo-wodnych oraz systemu kanalizacji, a także zależności kosztu jednostkowego zbiornika od jego całkowitej pojemności.

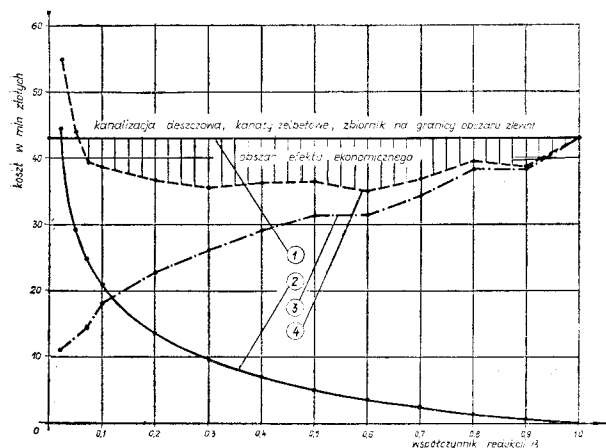


Rys. 4 Fragment sieci kanalizacyjnej przyjętej do obliczeń

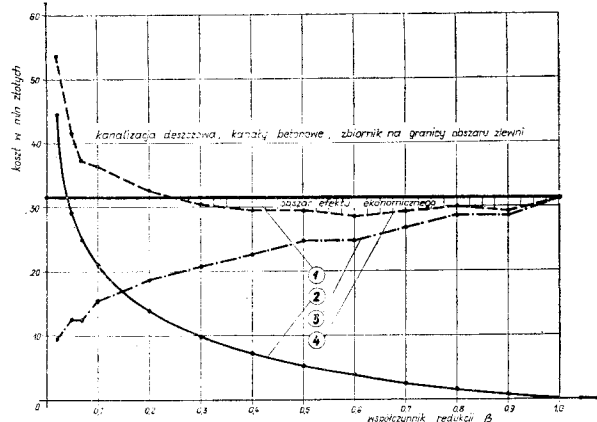
Rozpatrzono kilka charakterystycznych sytuacji biorąc pod uwagę system kanalizacji deszczowej (rys. 6, 7, 9, 10) i ogólnospławnej (rys. 5 i 8), kanały betonowe (rys. 7 i 10) i żelbetowe (rys. 5, 6, 8, 9) oraz lokalizację zbiornika na granicy (rys. 5, 6, 7) i na obszarze zlewni (rys. 8, 9, 10).



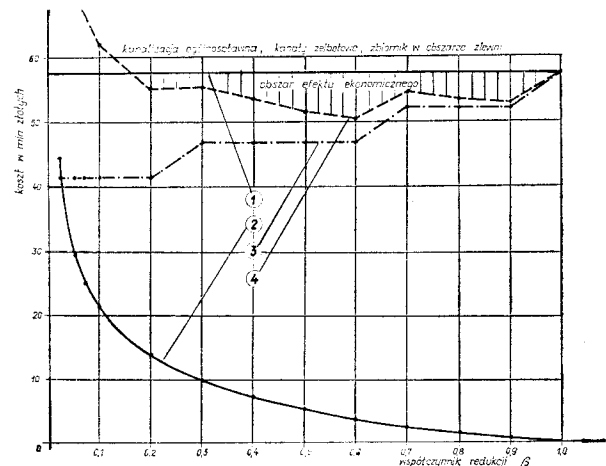
Rys. 5



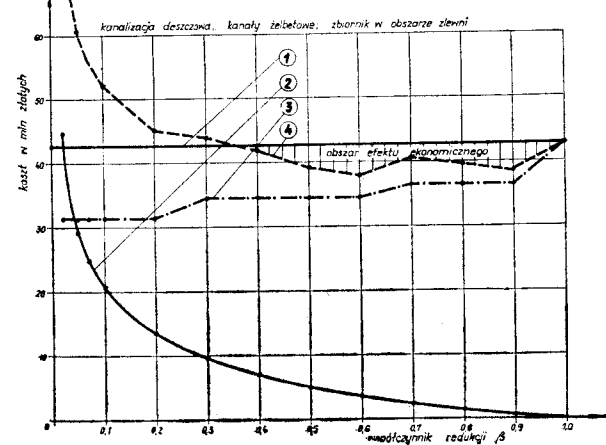
Rys. 5



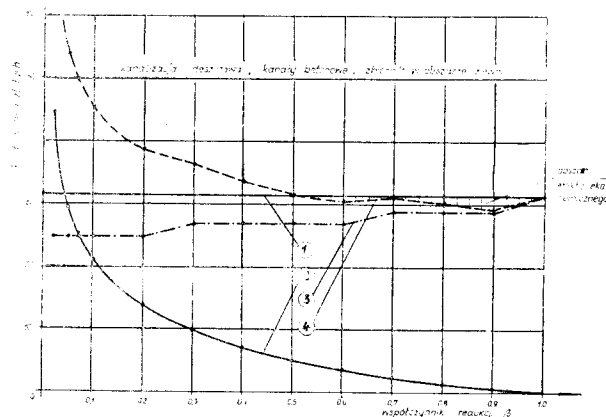
Rys. 6



Rys. 7



Rys. 8



Rys. 9

Rys. 5—10 Zależność kosztu wykonania zbiornika i kolektora za zbiornikiem od wartości współczynnika redukcji β

Dla szeregu wartości współczynnika β określono kolejno dla założonego spadku terenu i spływu jednostkowego ścieków deszczowych zależnego od czasu trwania deszczu:

- przepływ za zbiornikiem
- wymiar kanału położonego za zbiornikiem
- czas miarodajny deszczu do wymiarowania zbiornika
- pojemność zbiornika retencyjnego
- koszt kolektora przy rozwiązaniu tradycyjnym
- koszt zbiornika retencyjnego
- koszt kanału za zbiornikiem
- łączny koszt kolektora za zbiornikiem i zbiornika.

Przedstawione przykłady obliczeniowe potwierdzają potrzebę analizowania wpływu współczynnika redukcji β na efekt ekonomiczny zastosowania zbiornika retencyjnego dla poszukiwania optymalnego rozwiązania w zakresie przyjętych założeń.

Wnioski

1. Regulowanie spływem ścieków deszczowych poprzez czasowe przetrzymywanie szczytowych przepływów w zbiorniku retencyjnym w szeregu przypadkach prowadzi do znacznego obniżenia kosztów kanalizacji.
2. Szczególnie korzystne jest przyjęcie zbiorników retencyjnych na początku długich kolektorów tranzytowych, przed stacjami pomp i w przypadku możliwości wykorzystania jako zbiorników stawów naturalnych
3. Stopień redukcji przepływu za zbiornikiem określony współczynnikiem β należy dobierać w oparciu o warunki miejscowe i na podstawie analizy techniczno-ekonomicznej, pozwalającej określić obszar efektu ekonomicznego.
4. Każdy przypadek obliczeniowy należy traktować oddzielnie, a zastosowanie zbiornika powinno potwierdzić względy ekonomiczne.

5. Sformułowany model matematyczny zbiornika retencyjnego pozwala na rozwiązanie dowolnego zadania i sprowadza się do określenia deszczu obliczeniowego, pojemności zbiornika i przebiegu odpływu ścieków deszczowych ze zbiornika w czasie.

6. Na wielkość efektu ekonomicznego ma wpływ wiele czynników, a do najistotniejszych należy zaliczyć: długość i głębokość posadowienia kanału położonego poniżej zbiornika, rodzaj użytego materiału do budowy kanału, a zwłaszcza współczynnika redukcji przepływu β .

7. Uwzględnienie współpracy zbiorników retencyjnych z siecią daje możliwość swobodnego etapowania jej rozbudowy przy najniższych nakładach finansowych.

8. Aktualnie prowadzone są prace studialne zmierzające do uogólnienia przedstawionych tu przypadków szczególnych. Ich wyniki zostaną udostępnione po zakończeniu tych prac.

LITERATURA

1. J. TABERNACKI: Deszczowe zbiorniki retencyjne w kanalizacji. Nowa technika w Inżynierii Sanitarnej. Wodociągi i Kanalizacja. Zeszyt Nr 11. Arkady, Warszawa 1980.
2. J. DZIOPAK: Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych. Opracowanie zasad rozwoju sieci kanalizacyjnej oraz technicznej ochrony wód KZM. Zadanie 02.03 w ramach programu rządowego PR-7. Etapy od I do IV w latach 1980—83. Kraków.
3. J. DZIOPAK: Model matematyczny zbiornika retencyjnego kanalizacji deszczowej. Rozprawa doktorska. Politechnika Krakowska 1983.