

Agnieszka STEC<sup>1</sup> i Daniel SŁYŚ<sup>1</sup>

## OPTIMALIZACJA ZBIORNIKA RETENCYJNEGO NA SIECI KANALIZACJI OGÓLNOSPŁAWNEJ MIASTA PRZEMYSŁ

### OPTIMIZATION OF THE RETENTION RESERVOIR WITHIN THE COMBINED SEWAGE SYSTEM OF PRZEMYSL CITY

**Abstrakt:** W artykule przedstawiono problem optymalizacji układu hydraulicznego zbiornika retencyjnego Czuwaj, który zlokalizowany jest w systemie kanalizacji ogólnospławnej dzielnicy Zasanie miasta Przemyśl. W związku z tym, że w części lewobrzeżnej miasta występują największe przeciążenia hydrauliczne sieci kanalizacyjnej, to podjęto działania mające na celu ograniczenie występowania tych niekorzystnych zjawisk. Opracowano koncepcję rozbudowy i modernizacji systemu kanalizacyjnego uwzględniając zastosowanie w tym systemie zbiorników retencyjnych, m.in. zbiornika Czuwaj, odciążających hydraulicznie sieć kanalizacyjną. W celu dokonania wyboru optymalnego układu hydraulicznego zbiornika retencyjnego Czuwaj opracowano modele optymalizacyjne wybranych typów grawitacyjno-pompowych zbiorników retencyjnych. Kryterium wyboru układu hydraulicznego zbiornika Czuwaj stanowiły najniższe koszty Life Cycle Cost budowy i funkcjonowania zbiornika retencyjnego w rozpatrywanym systemie kanalizacyjnym.

**Słowa kluczowe:** zbiorniki retencyjne, systemy kanalizacyjne, optymalizacja

#### Wstęp

Sieci kanalizacyjne wraz z obiektami z nimi współdziałającymi należą do jednych z najbardziej kapitałochłonnych inwestycji, które realizowane są w ramach budowy i rozbudowy infrastruktury technicznej miast. W obecnych czasach zagadnienie to nabiera coraz większego znaczenia, gdyż rozwój miast ukierunkowany jest na zwiększanie zasięgu terytorialnego lub zagęszczanie istniejącej już zabudowy, co powoduje wzrost uszczelnienia powierzchni terenu [1, 2]. Wody deszczowe z terenów, z których uprzednio wsiąkały do gruntu, odprowadzane są zazwyczaj kanałami do odbiorników. Wpływa to na intensyfikację spływu wód deszczowych do systemów kanalizacyjnych, które często nie posiadają odpowiedniej przepustowości hydraulicznej do odprowadzenia nadmiaru ścieków [3].

Intensyfikacja odpływu wód opadowych wpływa również bardzo niekorzystnie na stosunki gruntowo-wodne oraz stan jakości wód powierzchniowych, które są odbiornikami ścieków deszczowych [4-10]. Problem ten dotyczy w szczególności systemów kanalizacji ogólnospławnej, które funkcjonują w większości miast na całym świecie [11-13]. Odprowadzane do wód powierzchniowych wraz ze ściekami substancje biogenne mogą powodować zmianę parametrów fizykochemicznych wód oraz zaburzać zdolność do samoregulacji i samooczyszczania ekosystemów wodnych.

Te nasilające się problemy mogą być ograniczane poprzez stosowanie nowoczesnej i racjonalnej gospodarki wodno-ściekowej, która zgodnie z wytycznymi Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej powinna się opierać przede wszystkim na filozofii rozwoju zrównoważonego [14]. W myśl tej idei powinny być głównie podjęte działania

<sup>1</sup> Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, email: stec\_aga@prz.edu.pl, daniels@prz.edu.pl

\* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnółtówek, 23-26.10.2013

zmierzające do ograniczenia wielkości spływów wód deszczowych poprzez zastosowanie w zlewniach różnych form retencji i infiltracji wód do gruntu.

Zbiorniki retencyjne stanowią nieodłączny element współczesnych systemów kanalizacyjnych. Stosowane są w procesie regulowania przepływu ścieków deszczowych i ogólnospławnych sieciami kanalizacyjnymi do oczyszczalni oraz ograniczania falowych zrzutów ścieków w celu ochrony wód odbiornika. Zbiorniki retencyjne pozwalają w okresach szczytowych przepływów na przechwycenie i czasowe przetrzymanie nadmiaru ścieków deszczowych oraz stopniowe ich odprowadzanie do sieci położonej poniżej zbiornika lub odbiorników.

W artykule dokonano analizy funkcjonowania systemu kanalizacyjnego miasta Przemyśl oraz optymalizowano układ hydrauliczny zbiornika retencyjnego Czuwaj, którego budowa jest planowana w celu odciążenia hydraulicznego istniejącej sieci kanalizacyjnej.

### **Charakterystyka zlewni i systemu kanalizacyjnego miasta Przemyśl**

Przemyśl położony jest w południowo-wschodniej części Polski w dolinie rzeki San, która dzieli miasto na część prawo- i lewobrzeżną. Miasto to charakteryzuje się bardzo zróżnicowanymi warunkami topograficznymi, które w decydujący sposób wpływają na funkcjonowanie systemu kanalizacyjnego miasta.

Sieć kanalizacyjna miasta Przemyśl opiera się głównie na odprowadzaniu ścieków systemem mieszanym rozdzielczo-ogólnospławnym. Ścieki z obszaru miasta transportowane są grawitacyjnie kolektorami głównymi zlokalizowanymi po obydwu stronach rzeki San do miejskiej oczyszczalni ścieków. Ze zlewni lewobrzeżnej rzeki San z dzielnicy Zasanie ścieki odprowadzane są ciśnieniowo na drugą stronę rzeki z wykorzystaniem pompowni ścieków o wydajności maksymalnej 900 dm<sup>3</sup>/s, która współdziała hydraulicznie z przelewem burzowym. Następnie po połączeniu z prawobrzeżnym kolektorem kierowane są do oczyszczalni ścieków. Ponadto w miejskim systemie kanalizacyjnym występują lokalne miejsca zrzutu ścieków z przelewów burzowych do sąsiednich cieków i potoków.

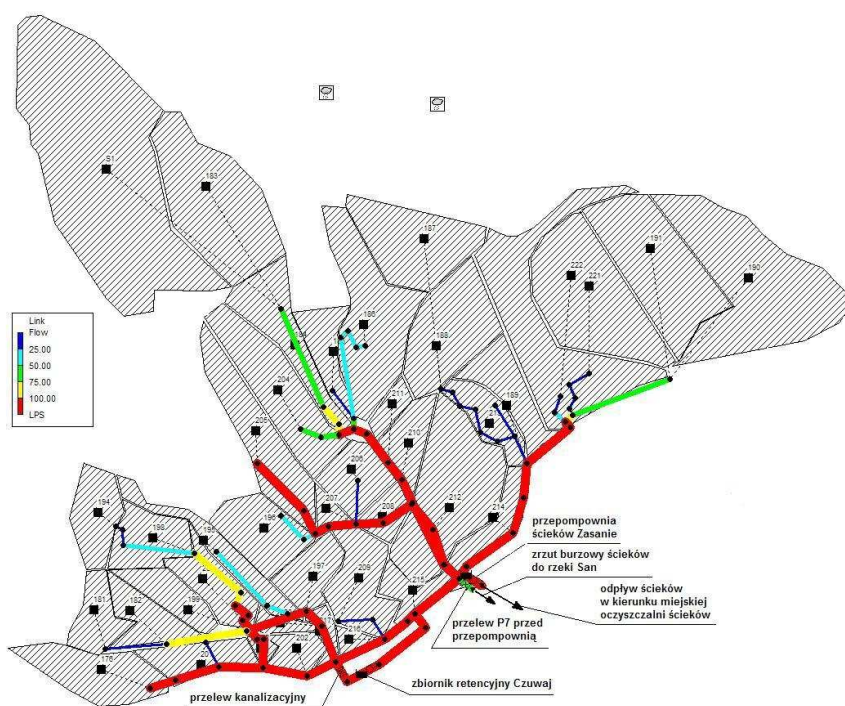
Na znacznej długości sieci kanalizacyjnej, zwłaszcza na trasie przepływu ścieków kolektorami położonymi w bliskim sąsiedztwie rzeki San, występują duże przeciążenia hydrauliczne, które przy intensywnych opadach deszczu powodują podtopienia oraz ciśnieniowe działanie sieci [15, 16].

W związku z tym, że w części lewobrzeżnej miasta występują przeciążenia hydrauliczne sieci kanalizacyjnej, podjęto działania mające na celu ograniczenie występowania tych niekorzystnych zjawisk. Na zlecenie Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Przemyślu została opracowana koncepcja rozbudowy i modernizacji systemu kanalizacyjnego uwzględniająca zastosowanie w tym systemie zbiorników retencyjnych odciążających hydraulicznie sieć kanalizacyjną [17]. Nie został jednak wybrany optymalny układ hydrauliczny zbiornika retencyjnego, który determinowałby najniższe koszty w całym okresie jego budowy i funkcjonowania w systemie kanalizacji ogólnospławnej. W związku z tym zastosowano sformułowany przez Stec algorytm wyboru optymalnego rozwiązania zbiornika retencyjnego, który umożliwił dla rzeczywistych uwarunkowań inwestycyjnych dobór układu hydraulicznego zbiornika charakteryzującego się najniższymi kosztami Life Cycle Cost.

## Analiza warunków hydraulicznych systemu kanalizacyjnego

W celu dokonania analizy warunków hydraulicznych sieci kanalizacyjnej dzielnicy Zasanie miasta Przemyśl oraz określenia wymaganej pojemności retencyjnej zbiornika wykorzystano model hydrodynamiczny, który został opracowany za pomocą programu Storm Water Management Model (SWMM) [18].

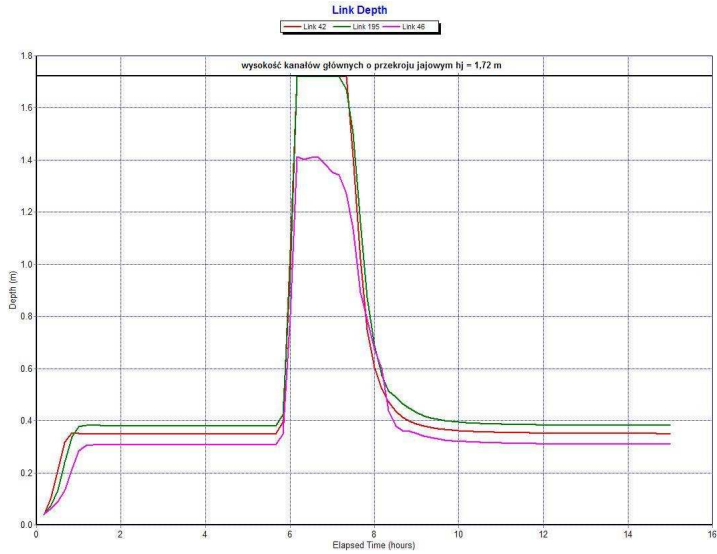
Na rysunku 1 przedstawiono opracowany w programie SWMM model analizowanej zlewni dzielnicy Zasanie, uwzględniający planowany do realizacji zbiornik retencyjny Czuwaj. Ze względu na układ wysokościowy istniejącej sieci kanalizacyjnej możliwe jest zaprojektowanie wyłącznie zbiornika retencyjnego, posiadającego grawitacyjno-pompowy układ hydrauliczny komór akumulacyjnych.



Rys. 1. Schemat modelowanej zlewni dzielnicy Zasanie wraz z zaznaczonymi głównymi elementami systemu kanalizacyjnego

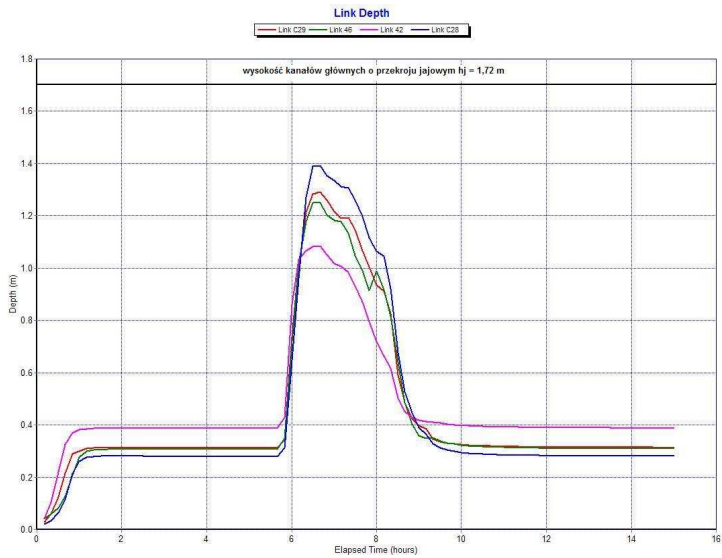
Fig. 1. Scheme of the modeled Zasanie quarter in Przemyśl with the marked main elements of the sewage system

W badaniach wykonano analizy wpływu zbiornika retencyjnego Czuwaj na działanie systemu kanalizacyjnego dzielnicy Zasanie. Wyniki symulacji przeprowadzonych na modelu hydrodynamicznym tej dzielnicy potwierdziły zasadność jego budowy. Na rysunku 2 zamieszczono wyniki obliczeń przedstawiające napelnienie w głównych kanałach sieci kanalizacyjnej w stanie istniejącym dla wybranego opadu z dnia 3 lipca 2006 roku. Przepływy ścieków w tych kanałach dla intensywnych opadów odbywa się pod ciśnieniem.



Rys. 2. Wysokość napęnienia ścieków w głównych kanałach biegnących wzdłuż rzeki San dla opadu z dnia 3 lipca 2006 r. - system kanalizacyjny w stanie istniejącym

Fig. 2. Level of sewage in main canals, situated along San river, estimated for the precipitation from 03/07/2006 - sewage system in current state

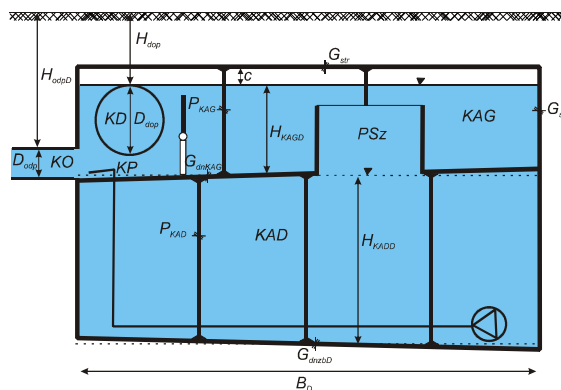


Rys. 3. Wysokość napęnienia ścieków w głównych kanałach biegnących wzdłuż rzeki San dla opadu z dnia 3 lipca 2006 r. - system kanalizacyjny ze zbiornikiem retencyjnym Czuwaj

Fig. 3. Level of sewage in main canals, situated along San river, estimated for the precipitation from 03/07/2006 - sewage system with Czuwaj storage reservoir



jednokryterialnej. Kryterium wyboru rozwiązania optymalnego stanowiło minimum kosztów Life Cycle Cost (*LCC*) budowy i funkcjonowania zbiornika retencyjnego w systemie kanalizacyjnym w całym okresie istnienia tego obiektu. Dla analizowanych zbiorników retencyjnych grawitacyjno-pompowych opracowano ogólne i szczegółowe modele kosztowe *LCC*.



Rys. 5. Charakterystyczne parametry projektowe zbiornika retencyjnego grawitacyjno-pompowego typu *GPD* (*KAD* - dolna komora akumulacyjna opróżniana pompowo,  $H_{KADD}$  - maksymalny poziom napęnienia ściekami w komorze *KAD* w zbiorniku retencyjnym typu *GPD*,  $H_{KAGD}$  - maksymalny poziom napęnienia ściekami w komorze *KAG* w zbiorniku retencyjnym typu *GPD*,  $H_{odpD}$  - zagłębienie kanału odpływowego ze zbiornika retencyjnego typu *GPD*,  $G_{dncbD}$  - grubość dna zbiornika retencyjnego typu *GPD*,  $P_{KAD}$  - przekrój poprzeczny przez słup komory *KAD*)

Fig. 5. Characteristic design parameters of gravity-pump storage reservoir type *GPD* (*KAD* - lower accumulation chamber,  $H_{KADD}$  - maximum level of sewage in *KAD* chamber in storage reservoir type *GPD*,  $H_{KAGD}$  - maximum level of sewage in *KAG* chamber in storage reservoir type *GPD*,  $H_{odpD}$  - level of the outflow channel,  $H_{dop}$  - level of the inflow channel,  $G_{dncbD}$  - thickness of the storage reservoir *GPD* type bottom,  $P_{KAD}$  - cross-section of the pole in the *KAD* chamber)

Analiza kosztów *LCC* jest metodologią określania kosztów jako tzw. kosztów całego życia lub przez całe życie. Jest ona zalecana przez światowe instytucje finansowe do stosowania w złożonym procesie decyzyjnym. W analizie tej uwzględniane są nie tylko początkowe nakłady inwestycyjne, ale również koszty eksploatacyjne ponoszone w całym cyklu istnienia obiektu. W związku z powyższym koszty *LCC* dla zbiorników retencyjnych obliczono z równania:

$$LCC = K_I + \sum_{t=1}^T K_E \left( \frac{1}{(1+r)^t} \right) \quad (1)$$

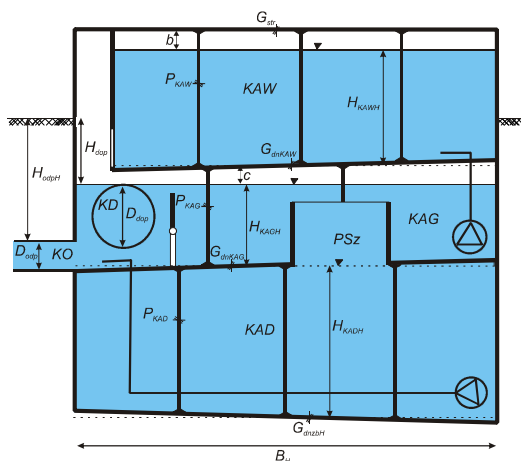
gdzie:  $K_I$  - całkowite nakłady inwestycyjne przeznaczone na budowę zbiornika retencyjnego [zł];  $K_E$  - roczne koszty eksploatacyjne związane z funkcjonowaniem zbiornika retencyjnego w systemie kanalizacyjnym [zł];  $T$  - okres eksploatacji zbiornika retencyjnego [lata];  $t$  - kolejny rok eksploatacji zbiornika [-];  $r$  - stopa dyskontowa [-].

Całkowite nakłady inwestycyjne budowy zbiornika retencyjnego uwzględniają nakłady przeznaczone na zakup terenu pod realizację inwestycji, nakłady związane z realizacją robót ziemnych, nakłady przeznaczone na wykonanie konstrukcji zbiornika

retencyjnego i nakłady wynikające z wyposażenia zbiornika w instalacje oraz nakłady inwestycyjne przeznaczone na wykonanie sieci kanalizacyjnej zlokalizowanej poniżej zbiornika. Całkowite nakłady inwestycyjne  $K_I$  można zatem opisać zależnością:

$$K_I = K_{ziem} + K_{rz} + K_k + K_w + K_{sieci} \quad (2)$$

gdzie:  $K_{ziem}$  - nakłady inwestycyjne przeznaczone na zakup terenu pod realizację inwestycji [zł];  $K_{rz}$  - nakłady inwestycyjne przeznaczone na realizację robót ziemnych związanych z budową zbiornika retencyjnego [zł];  $K_k$  - nakłady inwestycyjne przeznaczone na wykonanie konstrukcji zbiornika retencyjnego [zł];  $K_w$  - nakłady inwestycyjne przeznaczone na wyposażenie zbiornika retencyjnego w niezbędne instalacje [zł];  $K_{sieci}$  - nakłady inwestycyjne przeznaczone na budowę sieci kanalizacyjnej zlokalizowanej poniżej zbiornika retencyjnego [zł].



Rys. 6. Charakterystyczne parametry projektowe zbiornika retencyjnego grawitacyjno-pompowego typu GPH ( $H_{KAWH}$  - maksymalny poziom napętnienia ściekami w komorze KAW w zbiorniku retencyjnym typu GPH,  $H_{KADH}$  - maksymalny poziom napętnienia ściekami w komorze KAD w zbiorniku retencyjnym typu GPH,  $H_{KAGH}$  - maksymalny poziom napętnienia ściekami w komorze KAG w zbiorniku retencyjnym typu GPH,  $H_{odpH}$  - zagłębienie kanału odpływowego ze zbiornika retencyjnego typu GPH,  $G_{dnczH}$  - grubość dna zbiornika retencyjnego typu GPH)

Fig. 6. Characteristic design parameters of gravity-pump storage reservoir type GPH ( $H_{KAWH}$  - maximum level of sewage in KAW chamber in storage reservoir type GPH,  $H_{KADH}$  - maximum level of sewage in KAD chamber in storage reservoir type GPH,  $H_{KAGH}$  - maximum level of sewage in KAG chamber in storage reservoir type GPH,  $H_{odpH}$  - level of the outflow channel,  $G_{dnczH}$  - thickness of the storage reservoir GPH type bottom)

Z kolei w zmiennych kosztach eksploatacji zbiornika  $K_E$  uwzględniono koszt energii elektrycznej zużytej do pompowego transportu ścieków w trakcie procesu napełniania i opróżniania komór akumulacyjnych, koszty czyszczenia komór z osadów ściekowych, koszty awarii i wymiany pomp oraz koszt obsługi. W ujęciu całościowym koszty te opisano zależnością:

$$K_E = K_p + K_{cz} + K_a + K_{wym} + K_{ob} \quad (3)$$

gdzie:  $K_p$  - koszt transportu pompowego w trakcie procesu napełniania i opróżniania komór akumulacyjnych zbiornika [zł];  $K_{cz}$  - koszt czyszczenia komór zbiornika retencyjnego [zł];  $K_a$  - koszt awarii [zł];  $K_{wym}$  - koszt wymiany pomp ściekowych [zł];  $K_{ob}$  - koszt obsługi [zł].

Następnie ogólne modele kosztowe opisane równaniami (3) i (4) zostały rozbudowane i uszczegółowione, w wyniku czego otrzymano całościowe modele kosztowe *LCC* dla wszystkich analizowanych zbiorników retencyjnych.

W dalszym etapie badań modele kosztowe *LCC* zostały przekształcone z wykorzystaniem języka programowania matematycznego A Mathematical Programming Language (AMPL) w modele optymalizacyjne. Przyjęte narzędzie jest zaawansowanym i efektywnym soft'warem stosowanym w rozwiązywaniu złożonych zadań optymalizacyjnych.

W opracowanych modelach optymalizacyjnych zostały wyznaczone zmienne decyzyjne, którymi były poszukiwane parametry geometryczne zbiornika retencyjnego Czuwaj determinujące najniższe koszty *LCC*.

W związku z tym, iż zbiornik retencyjny Czuwaj projektowany jest w ramach modernizacji istniejącego systemu kanalizacyjnego, określona została wysokość zagłębienia kanału odpływowego ze zbiornika wynikająca z wysokości położenia sieci na odcinku, na którym włączany jest do systemu kanał odprowadzający ścieki z tego zbiornika.

Na podstawie dokumentacji projektowej istniejącej sieci kanalizacyjnej oraz danych uzyskanych z symulacji hydrodynamicznych modelu zlewni dzielnicy Zasanie uzyskano niezbędne wartości parametrów modeli optymalizacyjnych, które przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1  
Parametry stałe modeli optymalizacyjnych zbiorników retencyjnych grawitacyjno-pompowych charakteryzujące zbiornik retencyjny Czuwaj

Table 1  
Constant parameters of optimization models of the gravity-pump storage reservoirs characterized the Czuwaj storage reservoir

Parametr	Jednostka miary	Wartość
Pojemność retencyjna zbiornika Czuwaj $V_{zbCz}$	[m <sup>3</sup> ]	6100
Średnica kanału dopływowego do zbiornika retencyjnego Czuwaj $D_{dopCz}$	[m]	2
Średnica kanału odpływowego ze zbiornika retencyjnego Czuwaj $D_{odpCz}$	[m]	1,2
Zagłębienie kanału dopływowego do zbiornika retencyjnego Czuwaj $H_{dopCz}$	[m]	2,35
Zagłębienie kanału odpływowego ze zbiornika retencyjnego Czuwaj $H_{odpCz}$	[m]	3,2
Długość kanału odpływowego ze zbiornika retencyjnego Czuwaj $L_{prz1Cz}$	[m]	650

Pozostałe parametry modeli optymalizacyjnych związane były z jednostkowymi cenami poszczególnych materiałów i robót budowlanych oraz z wymiarami podstawowych elementów konstrukcyjnych zbiorników.

### Analiza uzyskanych wyników badań

Uwzględniając dane wejściowe do modeli optymalizacyjnych zbiorników retencyjnych oraz wyznaczone ograniczenia i zakresy dopuszczalnych wartości zmiennych decyzyjnych, wykonano obliczenia mające na celu wybór optymalnego układu hydraulicznego zbiornika



retencyjnego Czuwaj. Badania przeprowadzono na modelach optymalizacyjnych zbiorników retencyjnych typu *GPW*, *GPD* oraz *GPH*.

Otrzymane wyniki badań w zakresie optymalnych parametrów projektowych zbiornika Czuwaj w zależności od układu hydraulicznego zbiornika przedstawiono w tabeli 2. Zamieszczono również w niej wartość kosztów *LCC*, na podstawie których dokonano wyboru optymalnego rozwiązania układu hydraulicznego zbiornika retencyjnego Czuwaj.

Tabela 2

Poszukiwane parametry geometryczne zbiornika retencyjnego Czuwaj oraz jego koszty *LCC* w zależności od układu hydraulicznego zbiornika

Table 2

Geometric parameters of the Czuwaj storage reservoir and the *LCC* costs depending on the hydraulic system of the tank

Rodzaj układu hydraulicznego zbiornika retencyjnego	Parametry projektowe zbiornika retencyjnego Czuwaj				Koszty <i>LCC</i> [zł]
	Wewnętrzna długość zbiornika retencyjnego Czuwaj - $L_{Cz}$ [m]	Wewnętrzna szerokość zbiornika retencyjnego Czuwaj - $B_{Cz}$ [m]	Maksymalne napełnienie ściekami w komorze $KAW - H_{KAWCz}$ [m]	Maksymalne napełnienie ściekami w komorze $KAD - H_{KADCz}$ [m]	
Zbiornik retencyjny typu <i>GPW</i>	29,42	29,42	5	-	8 751 047
Zbiornik retencyjny typu <i>GPD</i>	29,42	29,42	-	5	6 436 117
Zbiornik retencyjny typu <i>GPH</i>	22,49	22,49	5	5	10 422 378

Jednoznacznie można stwierdzić, iż dla analizowanego okresu  $T = 30$  lat i dla lokalnych uwarunkowań inwestycyjnych układem optymalnym jest układ hydrauliczny zbiornika grawitacyjno-pompowego typu *GPD*.

### Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania na rzeczywistej zlewni dzielnicy Zasanie potwierdziły zasadność wykonywania analizy *LCC* dla obiektów retencyjnych, które współdziałają z systemami kanalizacyjnymi przez dziesiątki lat.

Podejmując decyzję inwestycyjną popartą jedynie kalkulacjami początkowych nakładów inwestycyjnych  $K_I$ , tak jak często ma to miejsce w procedurach przetargowych, można dokonać błędnego wyboru, który będzie skutkował przez kilkadziesiąt następnych lat wysokimi kosztami eksploatacyjnymi  $K_E$ .

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na sformułowanie podstawowego wniosku o znaczeniu praktycznym, a mianowicie, że zbiornik retencyjny grawitacyjno-pompowy typu *GPD* stanowi optymalne rozwiązanie dla analizowanego problemu decyzyjnego, gdyż charakteryzuje się najniższymi kosztami *LCC* spośród rozpatrywanych wariantów układów hydraulicznych zbiorników retencyjnych.

W przypadku modernizacji systemu kanalizacyjnego, która, jak wykazały to symulacje hydrodynamiczne, jest konieczna w celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania tego

systemu, powyższy wniosek może stanowić cenną wskazówkę dla Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Przemyślu.

## Literatura

- [1] Carlson TN, Arthur ST. The impact of land use - land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change*. 2000;25:49-65. DOI: 10.1016/S0921-8181(00)00021-7.
- [2] Pauleit S, Ennos R, Golding Y. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change - a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*. 2005;71:295-310. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2004.03.009.
- [3] Dallman S, Piechota T. Stormwater: Asset Not Liability. The Los Angeles and San Gabriel Rivers Watershed Council, Los Angeles: 1999. <http://www.amazon.com/Stormwater-Liability-Suzanne-Dallman-Ph-D/dp/1453872329>.
- [4] Chralowicz D, Dominguez A, Goff T, Mascali M, Taylor E. Infiltration of Urban Stormwater Runoff to Recharge Groundwater Used for Drinking Water: A Study of the San Fernando Valley. California: Project Report. University of California; 2001. [http://www.esm.ucsb.edu/research/2001Group\\_Projects/Final\\_Docs/stormwater\\_final.pdf](http://www.esm.ucsb.edu/research/2001Group_Projects/Final_Docs/stormwater_final.pdf).
- [5] Walsh CJ. Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration. *Hydrobiology*. 2000;431:107-114. DOI: 10.1023/A:1004029715627.
- [6] Wong THF, Breen PF, Lloyd SD. Water sensitive road design-Design options for improving stormwater quality or road runoff. Technical report 00/01. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne: 2000. <http://www.clearwater.asn.au/user-data/resource-files/technical200001.pdf>.
- [7] Roesner LA, Bledsoe BP, Brasher RW. Are best-management practice criteria really environmentally friendly? *J Water Resources Plan Manage*. 2001;May/June:150-154. <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282001%29127%3A3%28150%29>.
- [8] Paul M, Meyer J. Streams in the urban landscape. *Annu Rev Ecol Syst*. 2001;32:333-365. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040.
- [9] Rauch W, Bertrand-Krajewski J, Krebs P, Mark O, Schilling W, Schütze M, et al. Mathematical modelling of integrated urban drainage systems. *Wat Sci Tech*. 2002;45:81-94. <http://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/pvr289.pdf>.
- [10] Hatt BE, Fletcher TD, Walsh CJ, Taylor SL. The influence of urban density and drainage infrastructure on the concentrations and loads of pollutants in small streams. *Environ Manage*. 2004;34:112-124. DOI: 10.1007/s00267-004-0221-8.
- [11] Semadeni-Davies A, Hernebring C, Svensson G, Gustafsson L. The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *J Hydrology*. 2008;350:100-113. DOI: 10.1016/j.jhydro.2007.05.028.
- [12] Daniel MH, Montebelo AA, Bernardes MC, Ometto JP, de Camargo PB, Krusche AV, et al. Effects of urban sewage on dissolved oxygen, dissolved inorganic and organic carbon, and electrical conductivity of small streams along a gradient of urbanization in the Piracicaba River Basin. *Water Air and Soil Pollut*. 2002;136:189-206. DOI: 10.1023/A:1015287708170.
- [13] Durchschlag A, Härtel L, Hartwig P, Kaselow M, Kollatsch D, Schwentner G. Total emissions from combined sewer overflow and wastewater treatment plants. *European Water Pollut Control*. 1991;6:13-23.
- [14] Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy in 2000.
- [15] Stec A, Słyś D. Effect of development of the town of Przemyśl on operation of its sewerage system. *Ecol Chem Eng S*. 2013;2:381-396. DOI: 10.2478/eces-2013-0028.
- [16] Słyś D, Dziopak J. Development of mathematical model for sewage pumping-station in the modernized combined sewage system for the town of Przemyśl. *Polish J Environ Stud*. 2011;3:743-753.
- [17] Dziopak J, Słyś D. The importance of planned reservoirs for the operation of the sewage system of the Zasanie district of the city of Przemyśl and their impact on the status of the San River. *Rzeszów*: 2008.
- [18] Słyś D, Stec A. Hydrodynamic modeling of the combined sewage system for the city of Przemyśl. *Environ Protect Eng*. 2012;4:99-112. DOI: 10.5277/EPE120409.

## **OPTIMIZATION OF THE RETENTION RESERVOIR WITHIN THE COMBINED SEWAGE NETWORK OF PRZEMYSŁ CITY**

Department of Infrastructure and Sustainable Development  
Faculty of Civil and Environmental Engineering, Rzeszow University of Technology

**Abstract:** In the article the problem of optimization of storage reservoir Czuwaj located within combined sewage network of Zasanie quarter in Przemysl city was solved. Due to the fact that left-bank part of the city experiences higher hydraulic overloads of sewage network some actions were taken in order to decrease frequency of these negative phenomena. Concept of sewage system extension and modernization was worked out. It includes the use of storage reservoirs within the network (such as Czuwaj reservoir), which relieve hydraulically the sewage network. In order to choose the optimal hydraulic system of Czuwaj storage reservoir optimization models of chosen gravity-pump reservoirs were developed. The lowest costs (Life Cycle Cost) of storage reservoir construction and functioning constituted the criterion for choosing the hydraulic system of Czuwaj reservoir.

**Keywords:** storage reservoirs, sewage systems, optimization

