

Daniel SŁYŚ¹ i Agnieszka STEC¹

ANALIZA WARIANTÓW ZAOPATRZENIA W WODĘ WIELORODZINNEGO BUDYNKU MIESZKALNEGO

THE ANALYSIS OF VARIANTS OF WATER SUPPLY SYSTEMS IN MULTI-FAMILY RESIDENTIAL BUILDING

Abstrakt: Zmiany klimatu, niewłaściwe korzystanie z zasobów wodnych, zanieczyszczenie wód powierzchniowych, a także zwiększające się zapotrzebowanie na wodę, które jest wynikiem rosnącej populacji ludzi, powodują, że w większości krajów na świecie, w tym także w Polsce, występuje wodny deficyt. Ze względu na zanieczyszczenie wody do jej uzdatniania wymagane są coraz bardziej zaawansowane technologie, co w efekcie prowadzi do wzrostu cen jej zakupu. W związku z tym coraz częściej podejmowane są działania, których celem jest ograniczenie zużycia wody wodociągowej m.in. poprzez wykorzystanie wód opadowych do spłukiwania toalet, mycia samochodów, prania czy nawadniania terenów zielonych. W publikacji przedstawiono wyniki analizy Life Cycle Cost dla dwóch wariantów zaopatrzenia w wodę projektowanego budynku wielorodzinnego, który zlokalizowany jest w Rzeszowie. Zgodnie z metodologią LCC, obliczenia wykonano w pełnym cyklu istnienia obiektu budowlanego, uwzględniając zarówno początkowe nakłady inwestycyjne przeznaczone na wykonanie instalacji wodociągowej, jak i koszty związane z jej eksploatacją. W pierwszym z analizowanych wariantów założono, że instalacja ta zasilana będzie z miejskiej sieci wodociągowej. Natomiast w drugim wariantcie dodatkowo zastosowano instalację gospodarczego wykorzystania wód opadowych. Zmagazynowane w zbiorniku wody deszczowe zostaną wykorzystane w instalacji sanitarnej do spłukiwania toalet, co pozwoli obniżyć koszty zakupu wody wodociągowej, zmniejszyć opłaty za odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji, i tym samym wpłynie korzystanie na wyniki finansowe funkcjonowania rozpatrywanego obiektu mieszkalnego.

Słowa kluczowe: zaopatrzenie budynków w wodę, analiza Life Cycle Cost, systemy gospodarczego wykorzystania wody opadowej

Wprowadzenie

W dobie zmian klimatycznych i postępującej urbanizacji zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości wody pitnej staje się coraz większym problemem na całym świecie [1, 2]. Ponadto, intensywne procesy urbanizacji wpływają na zwiększenie liczby mieszkańców miast [3]. Według danych United Nations Population Division, do 2030 roku przybędzie na świecie prawie 1 750 000 000 osób zamieszkujących tereny miejskie [4], a do 2050 roku ogólna liczba ludności świata wzrośnie do 9,3 biliona [5]. Urbanizacja, w wyniku której następuje zmniejszenie powierzchni terenów zielonych, gruntów uprawnych i lasów oraz zmniejszenie bioróżnorodności gatunkowej, powoduje także znaczne pogorszenie jakości powietrza i wody nie tylko na poziomie lokalnym, ale również regionalnym i globalnym [6, 7]. Urbanizacja jest główną siłą napędową powodującą globalne zmiany i degradację środowiska naturalnego oraz wpływa na szybkie wyczerpywanie się jego zasobów [8, 9]. Dlatego też zarządzanie zasobami środowiska naturalnego, w tym zasobami wodnymi, powinno być realizowane w sposób zrównoważony.

¹ Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, email: daniels@prz.edu.pl, stec_aga@prz.edu.pl

^{*}Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

Rosnące zapotrzebowanie na wodę pitną, będące wynikiem wzrostu liczby ludności świata, oraz wyczerpywanie się zasobów wody słodkiej powoduje, że w większości krajów, w tym także w Polsce, występuje wodny deficyt. Według Światowej Organizacji Zdrowia, 884 miliony ludzi na świecie nie ma dostępu do bezpiecznego źródła wody pitnej [10], a każdego roku z powodu jej braku lub chorób wywołanych spożywaniem wody złej jakości umiera ponad 5 milionów ludzi [11]. W związku z tym stale podejmowane są działania, których celem jest ograniczenie zużycia zasobów wodnych świata, m.in. poprzez ponowne wykorzystanie wód zużytych [12-15], montaż oszczędnych urządzeń [16] oraz wykorzystanie wód opadowych do spłukiwania toalet, mycia samochodów, prania czy nawadniania terenów zielonych [17-20].

Systemy gromadzące i wykorzystujące wody stosowane są od wielu lat na całym świecie. W zależności od kraju, warunków klimatycznych, rodzaju budynku w którym zainstalowany jest system wykorzystujący wody opadowe, oszczędność w zapotrzebowaniu na wodę wodociągową może sięgać nawet 60% [17]. Systemy tego typu zalecane są również przez Komisję Europejską do stosowania w instalacjach sanitarnych obiektów budowlanych [21]. Dzięki temu, że mogą ograniczać odpływ wód deszczowych do sieci kanalizacyjnych, a tym samym wpływać na ich hydrauliczne obciążenie, stały się integralną częścią zrównoważonego zarządzania wodami opadowymi [22].

W publikacji przedstawiono wyniki analizy Life Cycle Cost (LCC) dla dwóch wariantów zaopatrzenia w wodę projektowanego budynku wielorodzinnego, który zlokalizowany jest w Rzeszowie. W pierwszym z analizowanych wariantów założono, że instalacja ta zasilana będzie z miejskiej sieci wodociągowej. Natomiast w drugim wariantcie dodatkowo zastosowano instalację gospodarczego wykorzystania wód opadowych. Zmagazynowane w zbiorniku wody deszczowe zostaną wykorzystane w instalacji sanitarnej do spłukiwania toalet, co pozwoli obniżyć koszty zakupu wody wodociągowej, zmniejszyć opłaty za odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji, i tym samym wpłynie korzystanie na wyniki finansowe funkcjonowania rozpatrywanego obiektu mieszkalnego.

Jak pokazują liczne badania, woda deszczowa może być wykorzystywana do spłukiwania toalet nie tylko w budynkach mieszkalnych [23-25], ale również w dużych obiektach sportowych [26], w obiektach uniwersyteckich [27], w supermarketach [28] czy w budynkach biurowych [29].

Problem badawczy

Badany wielorodzinny budynek mieszkalny zlokalizowany jest w Rzeszowie. Jest to obiekt 4-piętrowy podpiwniczony, który składa się z dwóch segmentów. Na każdym piętrze zlokalizowane są mieszkania: po 3 na parterze, pierwszym i drugim piętrze dla każdego segmentu oraz 2 na trzecim piętrze dla segmentu I i trzy dla segmentu II.

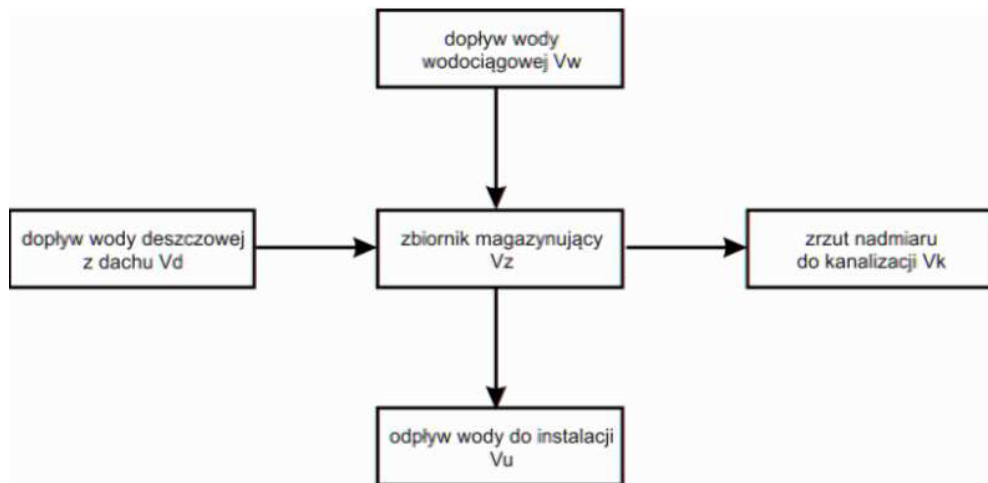
Analizę finansową dla przyjętych wariantów zaopatrzenia w wodę powyższego budynku wykonano na podstawie następujących podstawowych danych:

- liczby mieszkańców: 81,
- powierzchni dachu: 455 m²,
- zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalet w budynku: 2,835 m³/d.

W obliczeniach wykorzystano archiwalne dane opadowe z 10 lat dla miasta Rzeszów. Średni opad roczny w tym okresie wynosił 612 mm.

Model symulacyjny

Model obliczeniowy systemu obejmuje układ zbierania, gromadzenia i zużywania wody opadowej. Sposób jego funkcjonowania determinowany jest m.in. przez występowanie opadów atmosferycznych, wielkość zbiornika retencyjnego, objętość wody zgromadzonej w zbiorniku, wielkość powierzchni dachowej i współczynnik spływu oraz zapotrzebowanie na wodę o niższej jakości. W sposób schematyczny model ten przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Model instalacji do zagospodarowania wód opadowych, V_d - objętość dopływu wód opadowych do zbiornika retencyjnego, V_k - objętość odpływu wód opadowych do kanalizacji, V_u - objętość dopływu wód opadowych ze zbiornika retencyjnego do instalacji, V_w - objętość wody wodociągowej doprowadzanej do spłuczek ustępowych, V_z - objętość zbiornika retencyjnego

Fig. 1. Model of the system for utilization of rainwater, V_d - volume of precipitation water inflow to storage reservoir, V_k - volume of precipitation water outflow to sewage system, V_u - volume of precipitation water flow from storage reservoir to toilet flushing units, V_w - volume of tap water supplied to toilet flushing units, V_z - the capacity of storage reservoir

Sposób funkcjonowania systemu opisany jest następującymi warunkami, które określają przebieg procesów dopływu wód opadowych, ich akumulacji i odpływu tych wód do instalacji sanitarnej oraz do kanalizacji:

- Napełnianie i akumulacja wód opadowych w zbiorniku retencyjnym:
Jeżeli $V_{rk_i} + V_{d_{i+1}} > V_z$, to $V_{i+1} = V_z$, $i = 1, 2, \dots, n$
Jeżeli $V_{rk_i} + V_{d_{i+1}} \leq V_z$, to $V_{i+1} = V_{rk_i} + V_{d_{i+1}}$, $i = 1, 2, \dots, n$
- Pobór wody opadowej ze zbiornika retencyjnego przez instalację:
Jeżeli $V_{rp_i} - V_s < 0$, to $V_{rk_i} = 0$ oraz $V_{u_i} = V_{rp_i}$, $i = 1, 2, \dots, n$
Jeżeli $V_{rp_i} - V_s \geq 0$, to $V_{rk_i} = V_{rp_i} - V_s$ oraz $V_{u_i} = V_s$, $i = 1, 2, \dots, n$
- Dopływ wody wodociągowej do zbiornika:
Jeżeli $V_{rp_i} > V_s$, to $V_{w_i} = 0$, $i = 1, 2, \dots, n$
Jeżeli $V_{rp_i} \leq V_s$, to $V_{w_i} = V_s - V_{rp_i}$, $i = 1, 2, \dots, n$

- Odpływ wód opadowych ze zbiornika retencyjnego do kanalizacji:

Jeżeli $Vrp_i + Vd_i \leq Vz$, to $Vk_i = 0$, $i = 1, 2, \dots, n$

Jeżeli $Vrp_i + Vd_i > Vz$, to $Vk_i = Vrp_i + Vd_i - Vz$, $i = 1, 2, \dots, n$

gdzie: V_i - objętość wody opadowej retencjonowanej w zbiorniku na koniec dnia i -tego [m^3], Vd_i - objętość wody opadowej dopływającej w i -tym dniu [m^3], Vrk_i - objętość retencjonowanej wody opadowej w zbiorniku po poborze przez instalację w i -tym dniu [m^3], Vrp_i - objętość retencjonowanej wody opadowej w zbiorniku przed poborem przez instalację w i -tym dniu [m^3], Vs - objętość wody zużywanej przez instalację [m^3], Vu - objętość dopływu wód opadowych ze zbiornika retencyjnego do instalacji [m^3], Vw_i - objętość wody wodociągowej doprowadzanej do instalacji w i -tym dniu [m^3].

Model finansowy

Analiza finansowa wariantów zaopatrzenia w wodę budynku wielorodzinnego została przeprowadzona z zastosowaniem metodologii Life Cycle Cost. Zgodnie z tą metodologią, obliczenia wykonano w pełnym cyklu istnienia obiektu budowlanego, uwzględniając zarówno początkowe nakłady inwestycyjne przeznaczone na wykonanie instalacji wodociągowej, jak i koszty związane z jej eksploatacją. Obecnie analiza kosztów LCC stosowana jest w różnych dziedzinach gospodarki, m.in. w energetyce, przemyśle, transporcie, budownictwie, infrastrukturze czy też technice pompowej. Wykorzystywana jest głównie jako narzędzie w procesie podejmowania decyzji i zarządzania [30, 31]. Wyniki analizy LCC mogą dostarczyć cennych informacji i ułatwić podjęcie decyzji w trakcie oceny i porównania alternatywnych rozwiązań. W wielu krajach metodologia Life Cycle Cost jest prawnie wymagana przy realizacji nowych inwestycji, zwłaszcza tych, które charakteryzują się wysokimi nakładami początkowymi i długim okresem eksploatacji.

Dla każdej z przyjętych w badaniach koncepcji zaopatrzenia w wodę budynku wielorodzinnego oraz dla założonego okresu istnienia badanego obiektu koszty LCC wyznaczono z zależności:

$$LCC = N_{INW} + \left[\sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \right] \cdot K_E \quad (1)$$

gdzie: N_{INW} - nakłady inwestycyjne [zł], K_E - koszty eksploatacyjne [zł], T - czas trwania analizy LCC, $T = 30$ lat, r - stała stopa dyskontowa, $r = 0,05$, t - kolejny rok użytkowania obiektu [-].

Analizę LCC przeprowadzono dla następujących koncepcji doprowadzenia wody do instalacji służącej spłukiwaniu toalet w badanym obiekcie mieszkalnym:

- koncepcja I - zasilanie wewnętrznej instalacji wodą doprowadzoną tylko z sieci wodociągowej,
- koncepcja II - zasilanie wewnętrznej instalacji dodatkowo wodą opadową zebraną z połąci dachu budynku i zgromadzoną w zbiorniku zlokalizowanym w piwnicy.

Na podstawie zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalet obliczono objętość zbiornika magazynującego wody opadowe, która wynosi $Vz = 22 m^3$.

W kosztach eksploatacyjnych K_{EI} dla pierwszej z analizowanych koncepcji uwzględniono koszty zakupu wody z sieci wodociągowej oraz koszty wynikające

z odprowadzania całości wód opadowych z dachu do systemu kanalizacyjnego. Koszty te obliczono zgodnie z zależnością:

$$K_{EI} = K_{ZWW} + K_{OWD} \quad (2)$$

gdzie: K_{EI} - koszty eksploatacyjne dla I koncepcji zaopatrzenia w wodę analizowanego budynku [zł], K_{ZWW} - koszty zakupu wody wodociągowej do spłukiwania toalet [zł], K_{OWD} - koszty odprowadzania wód opadowych do sieci kanalizacyjnej [zł].

W drugim przypadku natomiast wzięto pod uwagę koszty eksploatacyjne K_{EII} związane z zakupem wody wodociągowej przeznaczonej do uzupełniania zbiornika w sytuacji, gdy dopływ wód opadowych z dachu nie pokryje zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalet, oraz koszty odprowadzania nadmiaru wód deszczowych do sieci kanalizacyjnej. Uwzględniono także koszty wynikające z transportu pompowego wody ze zbiornika do misek ustępowych. Koszty eksploatacyjne K_{EII} obliczono z formuły:

$$K_{EII} = K_{ZWW} + K_{OWD} + K_{PW} \quad (3)$$

gdzie: K_{EII} - koszty eksploatacyjne dla II koncepcji zaopatrzenia w wodę analizowanego budynku [zł], K_{PW} - koszty transportu pompowego wody ze zbiornika do misek ustępowych [zł].

Koszty eksploatacyjne K_{PW} wynikające z doprowadzania przez układ pompowy wody do spłukiwania toalet wyznaczono z zależności:

$$K_{PW} = c_{en} \frac{V_w \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta_p \cdot 3,6 \cdot 10^6} \quad (4)$$

gdzie: c_{en} - cena jednostkowa energii elektrycznej [zł/kWh], V_w - roczna objętość wody transportowanej przez układ pompowy ze zbiornika do misek ustępowych [m^3/rok], ρ - gęstość ścieków [kg/m^3], g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2], H - wysokość podnoszenia układu pompowego [m], η_p - sprawność układu pompowego [-].

W obliczeniach kosztów eksploatacyjnych dla każdej z przyjętych koncepcji zaopatrzenia w wodę budynku uwzględniono także coroczny wzrost cen zakupu wody wodociągowej i energii elektrycznej oraz cen za odprowadzanie wód opadowych do systemu kanalizacyjnego. Na podstawie prognoz ustalono następujące wartości:

- wzrost cen zakupu wody z sieci wodociągowej, $r_w = 0,08$;
- wzrost cen zakupu energii elektrycznej, $r_e = 0,07$;
- wzrost cen za odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji, $r_d = 0,04$.

W obliczeniach całkowitych kosztów budowy i użytkowania instalacji doprowadzających wodę do spłukiwania toalet wykorzystano ponadto następujące dane:

- cena zakupu 1 m^3 wody wodociągowej, $c_w = 4,17 \text{ zł}$;
- cena odprowadzenia 1 m^3 wód opadowych do sieci kanalizacyjnej, $c_{wd} = 3 \text{ zł}$;
- roczna ilość wody doprowadzanej do toalet: $1034,78 \text{ m}^3$;
- roczna ilość wody deszczowej transportowana przez układ pompowy do misek ustępowych: $245,8 \text{ m}^3$;
- cena zakupu energii elektrycznej, $c_{en} = 0,60 \text{ zł}/\text{kWh}$.

Wyniki analizy Life Cycle Cost

Sformułowany model symulacyjny instalacji gospodarczego wykorzystania wód opadowych do spłukiwania toalet w analizowanym budynku oraz przeprowadzona analiza kosztów LCC dla dwóch koncepcji zaopatrzenia w wodę tego budynku wykazała, że dla przyjętych do obliczeń danych tradycyjne zasilanie budynku w wodę tylko z sieci wodociągowej jest rozwiązaniem tańszym. Otrzymane wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Zestawienie kosztów analizowanych koncepcji zaopatrzenia w wodę wielorodzinnego budynku mieszkalnego

Summary of the cost the analyzed concepts of water supply in multi-family building

Koncepcja zaopatrzenia budynku w wodę	Nakłady inwestycyjne N_{INW} [zł]	Koszty eksploatacyjne K_E [zł]			Koszty LCC [zł]
		K_{ZWW} [zł]	K_{OWD} [zł]	K_{PW} [zł]	
Koncepcja I	203 629	206 301,58	20 898,83	-	430 829,41
Koncepcja II	278 383	157 327,80	1 764,08	1441,84	438 916,72

Analizując uzyskane wyniki badań, można zauważyć, że koncepcja I charakteryzuje się niższymi o 27% początkowymi nakładami inwestycyjnymi w stosunku do koncepcji II, natomiast koszty eksploatacyjne przewyższają o 30% koszty eksploatacyjne rozwiązania, w którym zastosowano instalację gospodarczego wykorzystania wód opadowych. Większa wartość nakładów inwestycyjnych dla koncepcji II spowodowana jest koniecznością zastosowania dodatkowych elementów, takich jak: zbiornik magazynujący, układ pompowy, armatura i przewody, które w standardowej instalacji nie występują. Najbardziej kapitałochłonnym elementem instalacji gospodarczego wykorzystania wód opadowych jest zbiornik.

Biorąc natomiast pod uwagę całkowite koszty LCC, okazało się, iż koncepcja II jest tylko o niecałe 2% droższa w stosunku do koncepcji I. Z punktu widzenia inwestora zastosowanie koncepcji II dla przedmiotowego budynku nie jest obecnie opłacalne, więc za jej wdrożeniem muszą przemawiać inne aspekty, np. wynikające z konieczności ograniczenia ilości wód opadowych odprowadzanych do przeciążonej sieci kanalizacyjnej lub względy środowiskowe.

Podsumowanie i wnioski

Gromadzenie i wykorzystanie wody deszczowej przynosi wiele korzyści dla zrównoważonego rozwoju miast i wyłania się jako kluczowy punkt strategii stosowanych w celu ograniczenia niedoborów wody w warunkach miejskich.

Przeprowadzona analiza LCC dwóch koncepcji zaopatrzenia w wodę wielorodzinnego budynku mieszkalnego wykazała, iż zastosowanie systemu gospodarczego wykorzystania wód opadowych w tym budynku pomimo bardziej złożonej instalacji, wymagającej ponoszenia większych nakładów inwestycyjnych, może być cenną alternatywą dla systemów konwencjonalnych zaopatrujących budynki wyłącznie w wodę dostarczaną z systemów miejskich. Uzyskane efekty finansowe pozwalają stwierdzić, że w dłuższej

perspektywie czasowej koszty całkowite tych wariantów instalacji są podobne. Oprócz tego zastosowanie systemów zbierania, gromadzenia i użytkowania wody deszczowej przynosi istotne efekty dla środowiska. Przede wszystkim ogranicza wielkości chwilowych odpływów wód opadowych ze zlewni i stanowi dodatkowych rezerwuar wody. Dodatkowo wpływa korzystanie na działanie ogólnospławnych systemów kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków, a także poprawia efektywność finansową funkcjonowania systemów odwadniających miast.

Literatura

- [1] Jenerette D, Larsen L. A global perspective on changing sustainable Urban water supplies. *Global Planet Change*. 2006;50:202-211. DOI:10.1016/j.gloplacha.2006.01.004.
- [2] Oki T, Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*. 2006;313:1068-1072. DOI: 10.1126/science.1128845.
- [3] McDonald I. Global urbanization: Can ecologists identify a sustainable way forward? *Front Ecol Environ*. 2008;6(2):99-104. DOI: 10.1890/070038.
- [4] United Nations Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2005 Revision*. New York: 2005.
- [5] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects: The 2010 Revision, Volume II: Demographic Profiles*. New York: 2011.
- [6] Duh D, Shandas V, Chang H, George A. Rates of urbanisation and the resiliency of air and water quality. *Sci Total Environ*. 2008;400(1-3):238-256. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.05.002.
- [7] Kennedy C, Cuddihy J, Engel-Yan J. The changing metabolism of cities. *J Ind Ecol*. 2007;11(2):43-59. DOI: 10.1162/jie.2007.1107.
- [8] Huang L, Yeh C, Chang F. The transition to an urbanizing world and the demand for natural resources. *Curr Opin Environ Sustain*. 2010;2:136-143. DOI: 10.1016/j.cosust.2010.06.004.
- [9] Yao M, Wang C, Zhang C, Chen K, Song P. The influencing factors of resources and environments in the process of urbanization of China. *Prog Geogr*. 2008;27(3):94-100.
- [10] WHO/UNICEF. *Drinking Water Equity, Safety and Sustainability: Thematic Report on Drinking Water 2011. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (JMP)*. Geneva, New York: 2011.
- [11] http://www.unic.un.org.pl/projekt_milenijny/oblicza_ubostwa.php
- [12] Hurlimann A, Dolnicar S, Meyer P. Understanding behaviour to inform water supply management In developer nations - A review of literature, conceptual model and research agenda. *J Environ Manage*. 2009;91:47-56. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.07.014.
- [13] Miller G. Integrated concepts in water reuse: managing global water Leeds. *Desalination*. 2006;187:65-75. DOI: 10.1016/j.desal.2005.04.068.
- [14] Miller E, Buys L. Water-recycling in South East Queensland, Australia: what do men and women think. *Rural Society*. 2008;18(3):220-229.
- [15] Zhang Y, Grant A, Sharma A, Chen D, Chen L. Alternative water resources for rural residential development in Western Australia. *Water Resour Manage*. 2010;24:25-36. DOI: 10.1007/s11269-009-9435-0.
- [16] Lee M, Tansel B, Balbin M. Influence of residential water use efficiency measures on household water demand: A four year longitudinal study. *Resour Conserv Recycl*. 2011;56:1-6. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.08.006.
- [17] Furumai H. Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use. *Phys Chem Earth*. 2008;33:340-346. DOI: 10.1016/j.pce.2008.02.029.
- [18] Jones M, Hunt W. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resour Conserv Recycl*. 2010;54:623-629. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.03.030.
- [19] Coombes P. *Rainwater Tanks Revisited: New Opportunities for Urban Water Cycle Management*. The University of Newcastle, Australia; 2003.
- [20] Ghisi E, Tavares D, Rocha V. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasilia: Potential for notable water savings and investment feasibility analysis. *Resour Conserv Recycl*. 2009;54:79-85.
- [21] European Commission: Study on water performance of buildings. Reference Report 070307/2008/520703/ETU/D2, 2009.
- [22] Butler D, Memon A, Makropoulos C, Southall A, Clarke L. *Guidance on Water Cycle Management for New Developments*. CIRIA Report C690. London: CIRIA.

- [23] Ghisi E, Oliveira S. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Build Environ.* 2007;42:1731-1742. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.02.001.
- [24] Ghisi E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Build Environ.* 2006;41:1544-1550. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.01.014.
- [25] Fewkes A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Build Environ.* 1999;34:765-772.
- [26] Zaizen M, Urakawa T, Matsumoto Y, Takai H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban Water.* 1999;1:355-359.
- [27] Appan A. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. *Urban Water.* 1999;1:317-321.
- [28] Chilton J, Maidment G, Marriott D, Francis A, Tobias G. Case study of rainwater recovery system in a commercial building with a large roof. *Urban Water.* 1999;1:345-354.
- [29] Ward S, Memon FA, Butler D. Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water Res.* 2012;46:5127-5134. DOI: 10.1016/j.watres.2012.06.043.
- [30] Bakis N, Kagioglou M, Aouad G, Amaratunga D, Kishk M, Al-Hajj A. An Integrated Environment for Life Cycle Costing in Construction. 2003. http://usir.salford.ac.uk/9970/1/300_Bakis_N_AN_INTEGRATED_ENVIRONMENT_FOR.pdf.
- [31] Gluch P, Baumann H. The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Build Environ.* 2004;39:571-580. DOI: 10.1016/j.buildenv.2003.10.008.

THE ANALYSIS OF VARIANTS OF WATER SUPPLY SYSTEMS IN MULTI-FAMILY RESIDENTIAL BUILDING

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

Abstract: This publication presents results of Life Cycle Cost analysis of two variants of water supply systems designed for multi-family residential building situated in Rzeszów. In line with LCC methodology the calculations were made throughout the whole life-cycle of the building considering initial investment outlays intended for construction of water supply system as well as operation and maintenance costs. In the first of analyzed variants it was assumed that the system would be fed by municipal water supply network. In the second variant rainwater harvesting system for domestic use was additionally applied. Rainwater stored in the tank would be used in sanitary installation to flush toilets, what leads to lowering the costs of municipal water purchase, reducing fees for rainwater discharge to sewage system and consequently is beneficial for financial standing of the examined building.

Keywords: water supply in buildings, Life Cycle Cost analysis, rainwater harvesting systems