

**Daniel SŁYŚ**

Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej  
Department of Water Supply and Sewage System, Rzeszów University of Technology

## **Wykorzystanie wód opadowych w instalacji sanitarnej budynków mieszkalnych**

### **Utilization of precipitation waters in sanitary piping systems of residential housing**

**Słowa kluczowe:** woda opadowa, instalacja do zagospodarowania wód opadowych, model symulacyjny

**Key words:** precipitation water, precipitation water utilization system, simulation model

#### **Wprowadzenie**

Wysoki koszt zakupu wody wodociągowej przez odbiorców indywidualnych i instytucjonalnych wpływa na coraz większe zainteresowanie możliwościami pozyskiwania i wykorzystania wód opadowych w instalacjach sanitarnych i przemysłowych. Powstają nowe urządzenia i technologie, których celem ma być wykorzystywanie tanich źródeł wody. Ostatnio szczególnie popularna staje się teza, iż wody opadowe bez konieczności stosowania kapitałochłonnych systemów ich uzdatniania mogą z powodzeniem zaspokajać znaczną część zapotrzebowania na wodę o gorszej jakości. Artykuł ten jest próbą odpowiedzi na pytanie, czy wykorzystanie wód opadowych w budownictwie jed-

norodzinym może być uzasadnione ekonomicznie.

Ograniczenie ilości wód opadowych odprowadzanych do systemów kanalizacyjnych oraz ich okresowa retencja w indywidualnych instalacjach pośrednio prowadzi do ograniczania kosztów związanych z rozbudową i modernizacją tych systemów. Jednak z punktu widzenia działania istniejących systemów wodociągowych, obniżanie zużycia wody wodociągowej, a w konsekwencji prędkości jej przepływu jest zjawiskiem niekorzystnym i przyczynia się do pogarszania i tak niezadowolającej jakości dostarczanej wody. Zatem występują tutaj sprzeczne interesy producentów i odbiorców wody.

Jednym z najbardziej popularnych sposobów zagospodarowania wód opadowych w instalacjach sanitarnych w budownictwie mieszkaniowym jest wykorzystanie jej w celu spłukiwania misek ustępowych. W tym przypadku woda opadowa nie wymaga procesów uzdatniania, wystarczające jest jej

oczyszczanie na filtrach instalowanych na rurach spustowych, odprowadzających wodę do zbiornika retencyjnego (Słyś 2005), lub wewnątrz zbiorników retencyjnych.

Problematyka związana z zagospodarowaniem wód opadowych w instalacjach sanitarnych jest tematem badań, analiz i dyskusji w wielu krajach (m.in. Handrock 1998, Rudolph i Antoni 1998, Crettaz i in. 1998, Mikkelsen i in. 1998, Fewkes 1999a, b, Chilton i in. 1999, Zaizen i in. 1999).

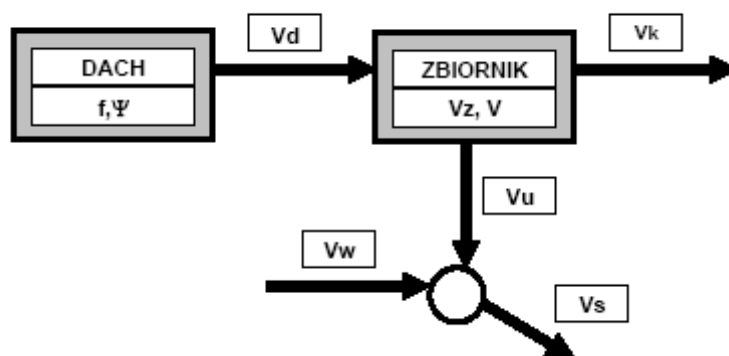
Jak wynika z danych literaturowych (Roman i in. 2000), ilościowy udział wody zużywanej w urządzeniach spłuczkowych w odniesieniu do całkowitego zużycia wody wodociągowej, przypadającego na jednego mieszkańca, wynosi około 30%. Biorąc pod uwagę średnie wartości jednostkowego zużycia wody w gospodarstwach domowych, ilość ta waha się w granicach 31,5–34,5 dm<sup>3</sup>/M dobę. Zatem jest ona istotną składową całkowitego zużycia wody w mieszkalnictwie.

W artykule przedstawiono wyniki analizy teoretycznej funkcjonowania instalacji do zbierania i wykorzystywania wody opadowej w urządzeniach spłuczujących na podstawie danych meteorologicznych o opadzie w wybranej miejscowości, które stanowiły podstawę do oceny efektu ekonomicznego stosowania tego typu instalacji w praktyce w warunkach polskich.

## **Model instalacji do zagospodarowania wód opadowych**

Biorąc pod uwagę różne możliwości konfiguracji układów zbierania i gromadzenia wody opadowej, których charakterystykę przedstawiono w publikacji autora (Słyś 2005), zaproponowano model instalacji zagospodarowania wód opadowych, który przedstawiono na rysunku 1. Model ten obejmuje układy 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 gorszej jakości.

Analizę funkcjonowania instalacji do wykorzystania wód opadowych przeprowadzono na podstawie sformułowanego modelu symulacyjnego, którego zadaniem jest aproksymacja działania tego typu instalacji dla danych o wysokości opadu dobowego. Parametrami wejściowymi modelu są:  $h$  – wysokość opadu dobowego [mm],  $f$  – powierzchnia dachu [m<sup>2</sup>],  $V_z$  – objętość zbiornika retencyjnego [m<sup>3</sup>],  $V_s$  – zapotrzebowanie na wodę przez spłuczki ustępowe [m<sup>3</sup>],  $\Psi$  – współczynnik spływu z powierzchni dachu [-].



RYSUNEK 1. Model analizowanej instalacji do zagospodarowania wód opadowych:  $V$  – objętość wody w zbiorniku retencyjnym,  $Vd$  – objętość dopływu wód opadowych do zbiornika retencyjnego,  $Vk$  – objętość odpływu wód opadowych do kanalizacji,  $Vs$  – objętość wody zużywanej przez spłuczki ustępowe,  $Vu$  – objętość dopływu wód opadowych ze zbiornika retencyjnego do instalacji spłuczkowych,  $Vw$  – objętość wody wodociągowej doprowadzanej do spłuczek ustępowych,  $Vz$  – objętość zbiornika retencyjnego

FIGURE 1. Model of the analyzed system for precipitation water utilization:  $V$  – water volume in storage reservoir,  $Vd$  – volume of precipitation water inflow to storage reservoir,  $Vk$  – volume of precipitation water outflow to sewage system,  $Vs$  – volume of water consumed by toilet flushing units,  $Vu$  – volume of precipitation water flow from storage reservoir to toilet flushing units,  $Vw$  – volume of tap water supplied to toilet flushing units,  $Vz$  – the capacity of storage reservoir

Przy formułowaniu modelu matematycznego działania analizowanej instalacji przyjęto następujące założenia:

1. Objętość zbiornika retencyjnego jest stała ( $Vz = \text{const}$ ).
2. Objętość akumulowanych w zbiorniku retencyjnym wód opadowych ( $V$ ) równa jest maksymalnie objętości retencyjnej zbiornika ( $Vz$ ).
3. Zapotrzebowanie na wodę w instalacji sanitarnej zaspokajane jest w pierwszej kolejności przez wodę akumulowaną w zbiorniku retencyjnym, a następnie przez doprowadzenie wody wodociągowej.
4. Nadmiar wód opadowych, których ilość przekracza objętość zbiornika retencyjnego jest odprowadzana poza układ do systemu kanalizacyjnego lub innych urządzeń do zagospodarowania wód opadowych.
5. Opad w postaci śniegu dopływa do zbiornika retencyjnego z opóźnieniem w chwili zakończenia okresu opadów śniegu.
6. Zapotrzebowanie na wodę w instalacji sanitarnej jest stałe w całym analizowanym okresie i zależy od liczby mieszkańców ( $Vs = \text{const}$ ).
7. W modelu nie uwzględniono godzinowej i dobowej nierównomierności rozbioru wody w instalacji spłuczkowej.
8. W modelu symulacyjnym nie uwzględniono wpływu kierunku i siły wiatru oraz temperatury i wilgotności powietrza.
9. Wielkości spływu wód opadowych zależy od rodzaju pokrycia dachu,

- wielkości powierzchni dachu oraz charakteru opadu.
10. Objętość retencyjna zbiornika jest większa od dziennego zapotrzebowania na wodę przez instalację sanitarną ( $V_z > V_s$ ).
  11. Założono brak występowania zjawiska sublimacji śniegu.
  12. Ze względu na niewielkie rozmiary układu nie uwzględniono przesunięcia czasowego między wystąpieniem opadu a jego dopływem do zbiornika retencyjnego.
  13. Opad ma charakter losowy, a parametrem, który go charakteryzuje w opracowanym modelu, jest wysokość opadu dobowego.
- Sposób funkcjonowania instalacji według opracowanego jej modelu opisany jest szeregiem warunków, 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 określone są następującymi warunkami:

- jeżeli  $Vrk_i + Vd_{i+1} > V_z$ , to  $V_{i+1} = V_z$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$
- jeżeli  $Vrk_i + Vd_{i+1} \leq V_z$ , to  $V_{i+1} = Vrk_i + Vd_{i+1}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

Pobór wody opadowej ze zbiornika retencyjnego przez instalację sanitarną charakteryzują dwa warunki:

- jeżeli  $Vrp_i - V_s < 0$ , to  $Vrk_i = 0$  oraz  $Vu_i = Vrp_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$
- jeżeli  $Vrp_i - V_s \geq 0$ , to  $Vrk_i = Vrp_i + - V_s$  oraz  $Vu_i = V_s$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

Pobór wody wodociągowej przez instalację sanitarną opisują warunki:

- jeżeli  $Vrp_i > V_s$ , to  $Vw_i = 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

- jeżeli  $Vrp_i \leq V_s$ , to  $Vw_i = V_s - Vrp_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

Odpływ wód opadowych ze zbiornika retencyjnego do kanalizacji określają następujące warunki:

- jeżeli  $Vrp_i + Vd_i \leq V_z$ , to  $Vk_i = 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$
- jeżeli  $Vrp_i + Vd_i > V_z$ , to  $Vk_i = Vrk_i + Vd_i - V_z$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

gdzie:

$V_i$  – objętość wody opadowej retencjonowanej w zbiorniku na koniec dnia  $i$ -tego [ $m^3$ ],

$Vd_i$  – objętość wody opadowej dopływającej w dniu  $i$ -tym [ $m^3$ ],

$Vrk_i$  – 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 [ $m^3$ ],

$Vw_i$  – objętość wody wodociągowej doprowadzanej do instalacji sanitarnej w  $i$ -tym dniu [ $m^3$ ].

## Charakterystyka opadów

Na podstawie opracowanego modelu symulacyjnego działania instalacji do wykorzystania wód opadowych dokonano analizy jej funkcjonowania dla miejscowości Rzeszów. Dane o dobowych wysokościach opadów pochodzą ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Jasionce koło Rzeszowa. Ze względu na bardzo wysoki koszt zakupu danych meteorologicznych z ostatnich lat od IMGW posłużono się posiadanymi danymi z lat 1968–1977 (*Opady Atmosferyczne 1969–1977*).

W celu weryfikacji miarodajności przyjętych do badań danych o opadach

dokonano analizy średnich roczny sum opadów z innych okresów wieloletnich. I tak dla wielolecia 1890–1931 średnia roczna suma opadów wynosiła dla Rzeszowa 642 mm, natomiast dla lat 1971–2000, 629 mm. W przypadku przyjętego do analizy okresu lat 1968–1977 (tab. 1) wysokość ta wynosiła 612 mm. Zatem średni roczny opad z okresu 10 lat, który przyjęto do badań działania instalacji, nie odbiegał w sposób znaczący od średnich rocznych opadów w porównywanych okresach wieloletnich. Można zatem przyjąć, iż wykorzystanie tych danych umożliwi miarodajną ocenę funkcjonowania instalacji do wykorzystania wód opadowych w dłuższym przedziale czasowym.

$\text{m}^3/\text{dobę}$ , co odpowiada średniemu zapotrzebowaniu dobowemu dla 2, 4 i 6 osób.

Analizę działania instalacji do wykorzystania wód opadowych przeprowadzono dla danych o opadzie dobowym dla okresu 10 kolejnych lat, począwszy od roku 1968 do roku 1977. Ze względu na ograniczony charakter publikacji przedstawiono wybrane wyniki (dla jednego roku) przeprowadzonych badań instalacji o następujących parametrach:

- wielkość powierzchni dachu  $f = 100 \text{ m}^2$ ,
- objętość zbiornika retencyjnego  $V_z = 15,0 \text{ m}^3$ ,
- zapotrzebowanie na wodę o gorszej jakości  $V_s = 0,14 \text{ m}^3/\text{dobę}$ .

TABELA 1. Wysokość opadu rocznego w latach 1968–1977 [mm] (*Opady Atmosferyczne 1969–1977*)  
TABLE 1. Level of annual precipitation during the period of 1968–1977 [mm] (*Opady Atmosferyczne 1969–1977*)

Rok / Year	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Wysokość opadu rocznego [mm] Level of annual precipitation	719	462	732	440	581	594	784	607	487	717

### Przebieg obliczeń i analiza wyników

Do obliczeń prowadzonych na podstawie sformułowanego modelu symulacyjnego przyjęto następujący zakres parametrów obliczeniowych:

- powierzchnia dachu  $f = 50, 100, 150 \text{ m}^2$ ,
- objętość zbiornika retencyjnego  $V_z = 0,5, 0,7, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 7,0, 10,0, 12,0, 15,0, 20,0, 25,0 \text{ m}^3$ ,
- zapotrzebowanie na wodę o gorszej jakości  $V_s = 0,07, 0,14, 0,21$

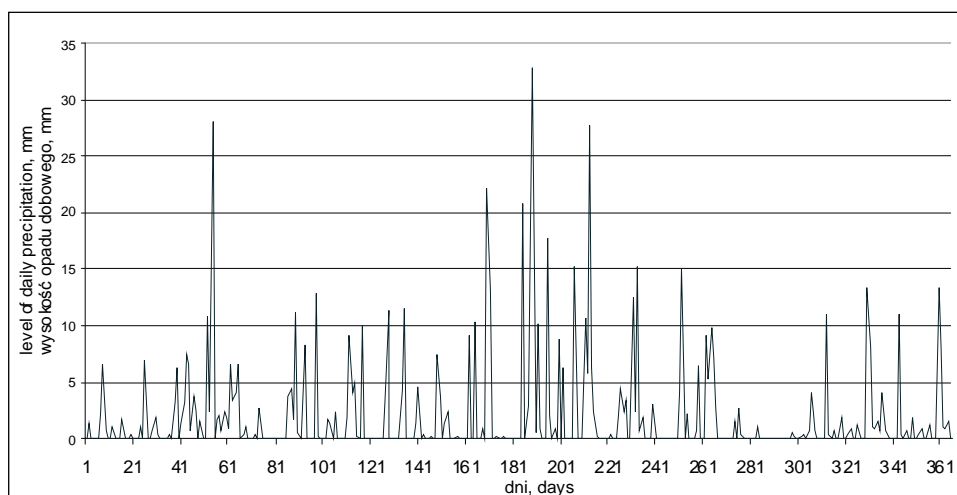
Zjawisko opadu atmosferycznego wywołuje spływ wód opadowych z powierzchni dachu do zbiornika retencyjnego oraz jego napełnianie. Dopływ wód opadowych przy całkowitej wypełnionej kubaturze retencyjnej zbiornika powoduje zrzut nadmiaru wód opadowych poza układ do systemu kanalizacyjnego (Słyś 2005) lub urządzeń infiltrujących (Geiger i Dreiseitl 1999). Równocześnie dokonywany jest pobór wody opadowej przez instalację sanitarną ze zbiornika retencyjnego. W zależ-

ności od ilości retencjonowanej wody opadowej w zbiorniku zapotrzebowanie to jest pokrywane w całości przez wodę opadową, opadową i wodociągową lub w przypadku pustego zbiornika retencyjnego – wyłącznie wodą wodociągową. Na rysunku 2 przedstawiono pluwiogram opadów w roku 1977, który służył do analizy działania instalacji.

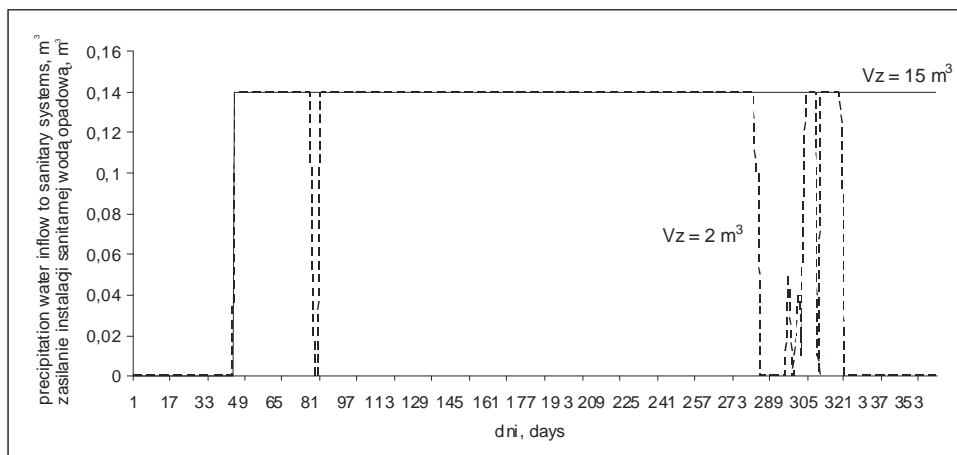
Na rysunku 3 pokazano przebieg procesu poboru wody opadowej ze zbiornika retencyjnego o objętości 15 m<sup>3</sup> (linia ciągła) oraz zbiornika o objętości 2 m<sup>3</sup> (linia kreskowa) w poszczególnych dniach analizowanego roku. Pobór wody w ilości 0,14 m<sup>3</sup>/dobę oznacza, iż całe zapotrzebowanie na wodę o obniżonych parametrach zaspokajane jest przez wodę zgromadzoną w zbiorniku retencyjnym. Mniejszy pobór wody ze zbiornika oznacza, iż ilość zgromadzonej w zbiorniku wody nie wystarcza do pokrycia zapotrzebowania i konieczne jest doprowadzenie wody wodociągowej.

Jak wynika z przeprowadzonych symulacji, których fragment obrazuje rysunek 3, możliwość zaspokojenia zapotrzebowania na wodę opadową zależy bezpośrednio od objętości retencyjnej zbiornika. Związane jest to ze znaczną nierównomiernością występowania opadów i ich intensywności w poszczególnych dobach.

Pomimo znacznej objętości retencyjnej zbiornika, która gwarantuje mu wysoką efektywność przechwytywania wody opadowej, obserwowano przypadki zrzutu wód opadowych poza instalację. Sytuacja ta miała miejsce w okresach charakteryzujących się znaczną wysokością opadu i jego częstotliwością, głównie w okresach letnich. Równocześnie zasadniczą część objętości retencyjnej zbiornika została wykorzystana w okresie wczesnowiosennym, podczas topnienia śniegu znajdującego się na powierzchni dachu. Przebieg zrzutów wód opadowych do kanalizacji



RYSUNEK 2. Wysokość opadu dobowego w roku 1977 (*Opady Atmosferyczne 1969–1977*)  
 FIGURE 2. Level of daily precipitation in 1977 (*Opady Atmosferyczne 1969–1977*)



RYSUNEK 3. Zasilanie instalacji sanitarnej wodą opadową na podstawie danych o opadzie dobowym z 1977 roku (dobowe zapotrzebowanie na wodę przez instalację sanitarną =  $0,14 \text{ m}^3/\text{d}$ , powierzchnia dachu =  $100 \text{ m}^2$ , objętość zbiornika retencyjnego =  $2$  i  $15 \text{ m}^3$ )

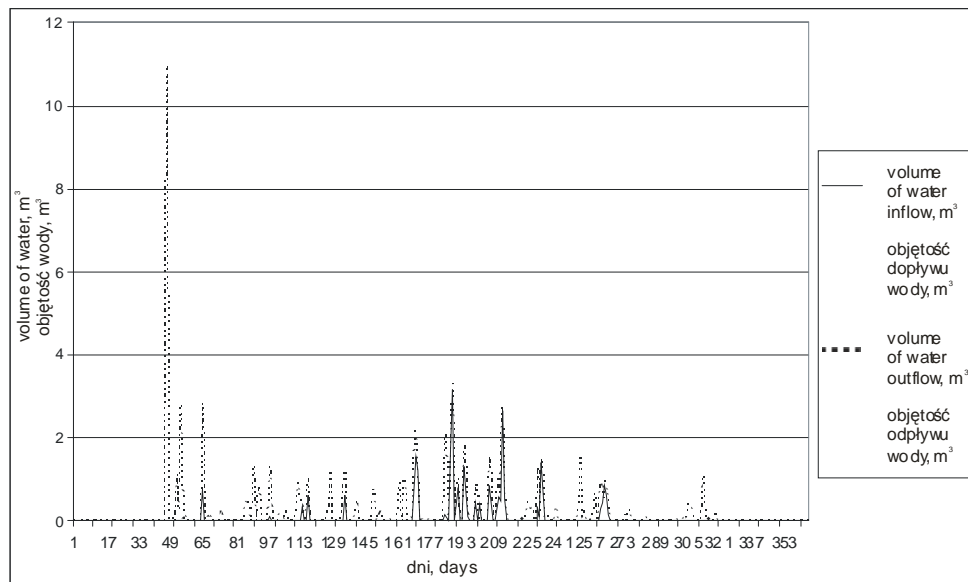
FIGURE 3. Precipitation water inflow to sanitary systems on the basis of data on daily precipitation level in 1977 (daily water requirements by sanitary system(s) =  $0,14 \text{ m}^3/\text{d}$ , roof surface area =  $100 \text{ m}^2$ , the capacity of storage reservoir =  $2$  and  $15 \text{ m}^3$ )

na tle wielkości dopływu wód opadowych do zbiornika retencyjnego przedstawia rysunek 4.

W trakcie badań analizowano również wpływ wielkości zbiornika retencyjnego na efektywność działania układu zagospodarowania wód opadowych oraz efekt ograniczania zużycia wody wodociągowej do celów sanitarnych. Potwierdzono decydujący wpływ wielkości zbiornika retencyjnego na oszczędność wody wodociągowej. Na podstawie przeprowadzonych badań określono wartość graniczną objętości zbiornika retencyjnego. Jej wartość zależy od wielkości zapotrzebowania na wodę oraz powierzchni dachu. Wartość ta określa objętość retencyjną zbiornika, przy której instalacja posiada największą efektywność w procesie oszczędzania wody wodociągowej. Zwiększanie objętości zbiornika powyżej wartości granicznej nie powoduje przyrostu efek-

tywności instalacji do wykorzystania wód opadowych, przyczynia się jednak do wzrostu kosztów jej budowy. Na rysunku 5 przedstawiono ilość wody wodociągowej doprowadzanej do analizowanej instalacji sanitarnej w zależności od wielkości zbiornika retencyjnego na podstawie danych o opadzie dobowym z okresu 10 lat.

Na efekt ekonomiczny zastosowania układu do wykorzystywania wody opadowej decydujący wpływ mają: możliwości oszczędzania wody wodociągowej przy zastosowaniu tej instalacji oraz nakłady poniesione na jej budowę i eksploatację. Dla przykładu w tabeli 2 przedstawiono efekt oszczędności wody wodociągowej dla instalacji odwadniającej powierzchnię  $100 \text{ m}^2$  o zapotrzebowaniu na wodę  $0,07$ ,  $0,14$  i  $0,21 \text{ m}^3/\text{d}$  oraz różnych objętości zbiornika retencyjnego. Wielkość ta została określona na podstawie formuły:



RYSUNEK 4. Objętość dopływu do zbiornika retencyjnego i wielkości zrzutu wód opadowych ze zbiornika do kanalizacji na podstawie danych o opadzie dobowym z 1977 roku (dobowe zapotrzebowanie na wodę przez instalację sanitarną = 0,14 m<sup>3</sup>/d, powierzchnia dachu = 100 m<sup>2</sup>, objętość zbiornika retencyjnego = 15 m<sup>3</sup>)

FIGURE 4. Volume of precipitation water inflow to storage reservoir and the quantity of precipitation water discharge from the reservoir to sewerage system on the basis of data on daily precipitation in 1977 (daily water requirements by sanitary system(s) = 0,14 m<sup>3</sup>/d, roof surface area = 100 m<sup>2</sup>, the capacity of storage reservoir = 15 m<sup>3</sup>)

$$O_w = \left( \left( \sum_{i=1}^n (V_{S_i} - V_{W_i}) \right) / \sum_{i=1}^n V_{S_i} \right) \cdot 100\% = \left( \sum_{i=1}^n (V_{U_i}) / \sum_{i=1}^n (V_{S_i}) \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$V_{S_i}$  – całkowite zużycie wody w instalacji spłuczkowej w  $i$ -tej dobie [dm<sup>3</sup>/d],

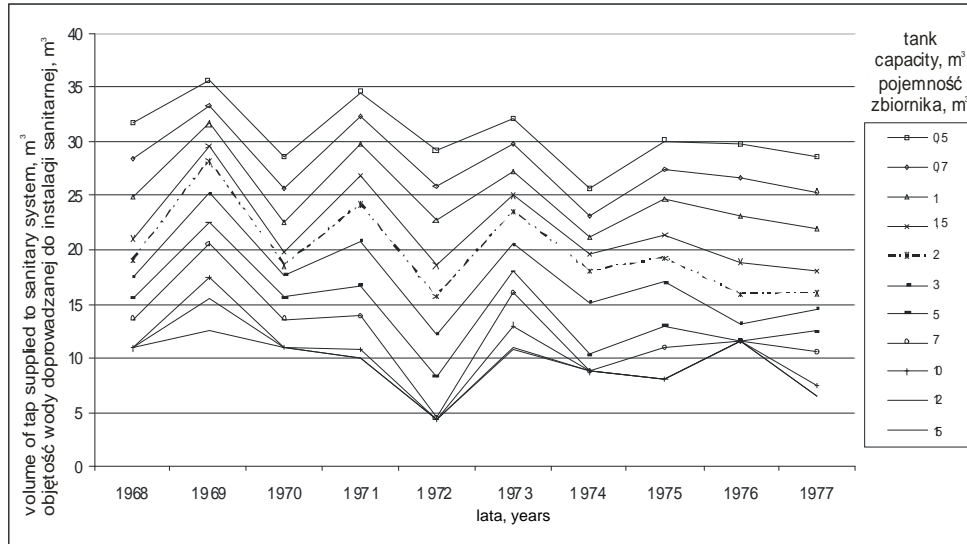
$V_{W_i}$  – zużycie wody wodociągowej w instalacji spłuczkowej w  $i$ -tej dobie [dm<sup>3</sup>/d].

Biorąc pod uwagę przywołane wcześniej dane o średnim dobowym zużyciu wody wodociągowej przez jednego mieszkańca w urządzeniach spłuczkowych (Roman i in. 2000), wynoszącym około 35 dm<sup>3</sup>, oraz średni koszt jed-

nostkowy wody wodociągowej około 5 zł/m<sup>3</sup>, można w łatwy sposób określić efekt ekonomiczny zastosowania takiej instalacji w skali roku. Dla 2 mieszkańców w zależności od wielkości zbiornika retencyjnego oszczędność ta waha się w granicach od 36 do 53 zł, dla 4 mieszkańców od 51 do 104 zł, a dla 6 mieszkańców w zakresie od 59 do 137 zł.

Najbardziej istotną składową kosztów budowy instalacji jest zakup zbiornika retencyjnego. Ceny takich urządzeń wahają się w szerokim zakresie – od 2000 zł za zbiornik o objętości 2 m<sup>3</sup> do 7600 zł za zbiornik o objętości 10 m<sup>3</sup>. Dodatkowo układ taki musi posiadać pompę i instalację wewnątrz budynku. Biorąc pod uwagę wyłącznie koszt





RYSUNEK 5. Objętość wody wodociągowej doprowadzanej w ciągu kolejnych lat do instalacji sanitarnej dla różnych wielkości zbiornika retencyjnego na podstawie danych o opadzie dobowym z okresu 1968–1977 (dobowe zapotrzebowanie na wodę przez instalację sanitarną =  $0,14 \text{ m}^3/\text{d}$ , powierzchnia dachu =  $100 \text{ m}^2$ )

FIGURE 5. Volume of tap water supplied to sanitary system over consecutive years for various sizes of storage reservoir, on the basis of data on daily precipitation in period 1968–1977 (daily water requirements by sanitary system(s) =  $0,14 \text{ m}^3/\text{d}$ , roof surface area =  $100 \text{ m}^2$ )

TABELA 2. Oszczędność wody wodociągowej dla różnych objętości zbiornika retencyjnego na podstawie danych o opadzie dobowym z okresu 1968–1977 (powierzchnia dachu  $100 \text{ m}^2$ )

TABLE 2. Economy of tap water for various sizes of storage reservoir, on the basis of data on daily precipitation in period 1968–1977 (roof surface area =  $100 \text{ m}^2$ )

$V_s$ $\text{m}^3/\text{d}$	$O_w$ [%]							
	$V_z = 0,5$ $\text{m}^3$	$V_z = 1$ $\text{m}^3$	$V_z = 2$ $\text{m}^3$	$V_z = 3$ $\text{m}^3$	$V_z = 5$ $\text{m}^3$	$V_z = 7$ $\text{m}^3$	$V_z = 10$ $\text{m}^3$	$V_z = 15$ $\text{m}^3$
0,07	56,6 %	63,7 %	74,0 %	77,7 %	82,5 %	83,1 %	83,1 %	83,1 %
0,14	40,2 %	51,1 %	61,2 %	66,0 %	71,7 %	75,7 %	79,7 %	81,5 %
0,21	30,7 %	40,1 %	49,2 %	54,4 %	59,9 %	64,1 %	68,2 %	71,4 %

zbiornika retencyjnego w zależności od jego wielkości, okres zwrotu kosztów jego zakupu, wynikający z oszczędności wody wodociągowej, wynosi dla analizowanej instalacji od 42 do 143 lat.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania symulacyjne na podstawie danych meteorologicznych z okresu 10 lat wykazały, że

dla Rzeszowa w zależności od przyjętych wielkości parametrów obliczeniowych, których zakres podano w artykule, oszczędność wody zużywanej w instalacjach spłuczkowych wynosiła od 23,79% dla  $V_z = 0,5 \text{ m}^3$ ,  $V_s = 0,21 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $f = 50 \text{ m}^2$  do 83,06% dla instalacji o parametrach  $V_z = 6 \text{ m}^3$ ,  $V_s = 0,07 \text{ m}^3/\text{d}$  i  $f = 150 \text{ m}^2$ .

Biorąc pod uwagę koszt zakupu wody wodociągowej oraz koszty wykonania układu do wykorzystania wód opadowych w instalacjach spłuczkowych, można stwierdzić, iż w przypadku jednorodzinnego budownictwa mieszkaniowego jest to inwestycja o małej opłacalności. Oszczędności finansowe wynikające z zastąpienia części wody wodociągowej przez wodę opadową są na tyle małe, iż okres zwrotu poniesionych kosztów wynosi kilkadziesiąt lat.

## Literatura

- CHILTON J.C., MAIDMENT G.G., MARRIOTT D., FRANCIS A., TOBIAS G. 1999: Case study of rainwater recovery system in a commercial building with a large roof. *Urban Water* 1.
- CRETTAZ P., JOLLIET O., CUANILLON J.M. ORLANDO S. 1998: Life cycle assessment of drinking water and rain water for toilets flushing. *Journal of Water Services Research and Technology – AQUA* 48, 3.
- FEWKES A. 1999a: The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment* 34.
- FEWKES A. 1999b: Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water* 1.
- GEIGER W. DREISSEITL 1999: Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych, *Projprzem – EKO*, Bydgoszcz 1999.
- HANDROCK W. 1998: Grenzen des Wassersprens. *Wasser Special GWF* 139 (13).
- MIKKELSEN P.S., ALBRECHTSEN H.J., ADLER O.F. 1998: Regenwassernutzung für die Wasserversorgung einzelner Haushalte? Beispiel Danemark. *Wasser Abwasser GWF* 139 (11).
- Opady Atmosferyczne*, z lat 1969–1977. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 1969–1977.
- ROMAN M., KŁOSS-TRĘBACZKIEWICZ H., OSUCH-PAJDZIŃSKA E. 2000: Oszczędzanie wody – możliwości i granice. IX Krajowa, II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona jakości i zasobów wód”, „Kultura społeczeństwa a życiodajna woda”, Zakopane – Kościelisko.
- RUDOLPH K.U., ANTONI M. 1998: Regenwassernutzung – ein Baustein der Regenwasserbewirtschaftung. *Wasserwirtschaft* 87 (9).
- SŁYŚ D. 2005: Wykorzystanie wód opadowych w małych instalacjach sanitarnych. *Ekotechnika* 1 (33).
- ZAIZEN M., URAKAWA T., MATSUMOTO Y., TAKAI H. 1999: The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban Water* 1.

## Summary

**Utilization of precipitation waters in sanitary piping systems of residential housing.** High cost of water purchase from municipal water providers favors a steadily growing interest in possibilities of precipitation water catching and utilizing. Results of the analysis of operation of a system of precipitation water use for toilet flushing, based on specially developed simulation model and meteorological data, is presented. Critical assessment of economic effects attainable due to such systems being applied in single family housing. Such poor rating results from high cost of their building and long period of return of the outlays.

### Author's address:

Daniel Słyś  
Politechnika Rzeszowska  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
al. Powstańców Warszawy 6, 35-082 Rzeszów  
Poland