

Katarzyna RATOWSKA¹, Marek MADZIA²

¹ Graduate of the University of Bielsko-Biala

² University of Bielsko-Biala, Institute of Engineering Sciences, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland

ORCID / e-mail:

² 0000-0003-0461-4280 / mmadzia@ubb.edu.pl

Koncepcja sanitarnego wykorzystania wody deszczowej w zlewni potoku Straconka w Bielsku-Białej

Słowa kluczowe:

gospodarka wodna, retencjonowanie wody, zużycie wody, przydomowy zbiornik na wodę

The concept of sanitary use of rainwater in the Straconka stream catchment in Bielsko-Biala

Keywords:

water management, water retention, water consumption, domestic water tank

Abstract

The article presents the conceptual research on the management of rainwater in the Straconka stream catchment, most of which is located within the territory of the city Bielsko-Biala (Poland). The study was focused on the possibility of using rainwater for flushing toilets in order to reduce the consumption of treated tap water (intended for consumption).

Sanitary use of rainwater requires its collection in a tank of appropriate capacity. The selection of the tank depends on the roof area, the number of residents generating water consumption and the technical possibilities of the installation. To conduct the simulation, all buildings were inventoried, the roof area was determined. Data on the number of residents were also included. In turn, data on the amount of atmospheric precipitation in the study area enabled determining the degree of coverage of the demand for rainwater for flushing toilets.

The analyses were conducted for single-family housing, multi-family multi-level housing (blocks), terraced multi-family housing as well. In the first and third cases, it was proposed to implement individual closed tanks, while in the case of blocks of flats, open tanks were used. It was demonstrated that the use of rainwater tanks allows for a significant reduction in the consumption of treated water. In the case of single-family housing, the use of a domestic tank with a capacity of 250 dm³·person⁻¹ would reduce the consumption of treated water in the toilet by 95.8%. For multi-family multi-level housing, the construction of one open retention tank with a capacity of 300 m³ would reduce the consumption of water in toilets by 51.6%. In the case of terraced multi-family housing, the use of a domestic tank with a capacity of 350 dm³·person⁻¹ would reduce the consumption of water in toilets by 90.8%. For the purpose of selecting the individual tank capacity, a nomogram was formed that takes into account the roof area per resident.

1. WSTĘP

W warunkach zaniechania działań ochronnych dla zasobów wodnych, ich odnawianie może zostać zahamowane w wyniku różnorodnej antropopresji, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia objętości dostępnej wody na cele użytkowe i gospodarcze [Chelmiński 2012]. Problemem jest również niekorzystna jakość dużej części zasobów wodnych, co generuje ogromne koszty oczyszczania wody. Biorąc pod uwagę niewielkie zasoby wodne Polski, jednym z głównych celów środowiskowych państwa powinno być racjonalne wykorzystywanie wody, w tym wykorzystywanie wody deszczowej [Królikowska i Królikowski 2012, Wałęga i in. 2013]. W pierwszej kolejności należałoby zadbać o zniwelowanie strat wody oraz wdrażanie coraz to efektywniejszych sposobów na zmniejszenie jej zużycia [Kundzewicz 2000].

Niebagatelne objętości wody są codziennie marnowane w naszych toaletach. Każde użycie spłuczki ustępowej powoduje zanieczyszczenie kilku, a czasem nawet kilkunastu litrów czystej wody, która mogłaby zostać przeznaczona do spożycia. Ze względu na fakt, że woda w toaletach nie musi charakteryzować się najwyższą jakością, rozwiązaniem najbardziej ekologicznym i ekonomicznie zasadnym wydaje się wykorzystanie do tego celu wody pochodzącej z opadów atmosferycznych [Kundzewicz 2000].

Celem pracy było określenie możliwości zmniejszenia zużycia wody uzdatnionej poprzez zastosowanie przydomowych zbiorników na wodę deszczową przeznaczoną jako woda do sanitariatów. Analizę przeprowadzono dla obszaru zlewni potoku Straconka położonej w granicach miasta Bielsko-Biała.

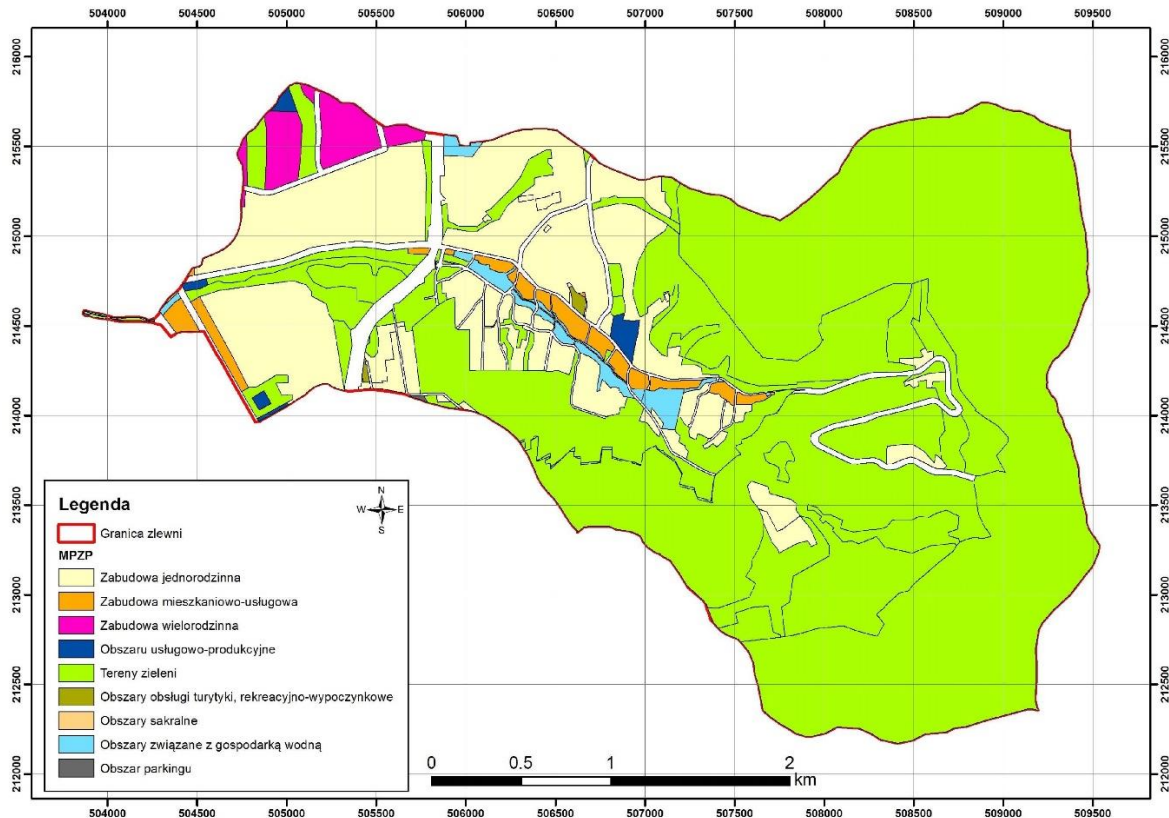
2. OBSZAR BADAŃ

Zlewnia potoku Straconka jest położona głównie w granicach administracyjnych miasta Bielsko-Biała, a tylko we wschodniej części jej obszar znajduje się na terenach gmin: Czernichów, Kozy i Wilkowice. Pod względem geograficznym cieki odwadniające zlewnię Straconki spływają z północno-wschodnich stoków Beskidu Małego na teren Pogórza Śląskiego. Straconka jest prawym dopływem rzeki Białej, uchodzącym do niej na terenie zabudowanym miasta Bielsko-Biała. Zlewnia Straconki jest zwykle postrzegana jako teren zamieszkały, ale o dużych walorach rekreacyjnych, gdyż jest w znacznej części zalesiona i objęta ochroną w granicach Parku Krajobrazowego Beskidu Małego [Truś 2008].

Zlewnia Straconki zajmuje powierzchnię 11,26 km². Przeznaczenie oraz warunki zagospodarowania i zabudowy tego terenu przedstawiono w oparciu o miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego miasta Bielska-Białej (Rys. 1). We wschodniej części zlewni rozciągają się tereny zieleni, którymi w tym przypadku są głównie tereny leśne. Część północno-zachodnia i zachodnia zlewni jest zdominowana przez tereny zabudowane, zwłaszcza w formie zabudowy jednorodzinnej. Zabudowa mieszkaniowo-usługowa zlokalizowana jest wzdłuż ulicy Górskiej w środkowej części zlewni oraz przy samym ujściu Straconki do rzeki Białej. Północno-zachodnia część zlewni, czyli tereny osiedla Złote Łany, zgodnie z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego została zaklasyfikowana jako teren zabudowy wielorodzinnej.

Potok Straconka uznaje się za największy dopływ rzeki Białej. Jest to typowy potok górski, którego spadek w górnej części dochodzi do 80–90%. Jego źródła zlokalizowane są na zboczach wzniesienia Gaiki na wysokości około 710 m n.p.m. Ze względu na górski charakter cieku rozwinęły się problemy dotyczące nadmiernego transportowania rumowiska skalnego oraz erozji. Straconka płynie obecnie głębokim wąwozem o stromych skarpach. Głównym dopływem potoku jest Mała Straconka, z którą łączy się w centralnej części dzielnicy. W ubiegłym wieku podjęto liczne działania mające na celu uregulowanie cieku. Brzegi potoku

zostały częściowo obudowane narzutem kamiennym lub betonowymi murami, a w korycie zbudowano trzy niewielkie zapory przeciwrumowiskowe. W latach 60. XX wieku zdecydowano zabudować koryto w dolnym biegu potoku w formie żłobu kamiennego na zaprawie cementowej [Polak i Tomiczek 1994]. Z czasem okazało się jednak, że potok został uregulowany w niewłaściwy sposób, w wyniku czego doszło na tym terenie do obniżenia poziomu wód gruntowych [Rechowicz 1971].



Rys. 1. Zagospodarowanie przestrzenne zlewni potoku Straconka na podstawie MPZP Bielska-Białej.
Fig. 1. The spatial development of the Straconka stream catchment on the basis of the Bielsko-Biała Local Spatial Development Plan

3. METODY BADAŃ

Podstawowym materiałem badawczym były dane dotyczące dobowych opadów atmosferycznych. Należało też wyznaczyć granice zlewni wraz z określeniem powierzchni dachów budynków jedno- i wielorodzinnych. Oprócz tego danymi niezbędnymi były liczba mieszkańców, a także średnie zużycie wody w toalecie.

Dane dotyczące dobowych opadów atmosferycznych pozyskano ze strony internetowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW-PIB) – monitor.pogodynka.pl. Pod uwagę wzięto stację opadową w Straconce, która mieści się bezpośrednio na terenie analizowanej zlewni. Dzięki temu otrzymano wyniki charakterystyczne dla tego obszaru. Analizie poddano okres trzyletni – od 2015 do 2017 roku.

Zlewnia potoku Straconka została wyznaczona w programie ArcGIS przy wykorzystaniu numerycznego modelu terenu. Został on opracowany na podstawie danych uzyskanych z obrazowania LiDAR – lotniczy skanowanie laserowe (Light Detection and Ranging) [Kurczyński 2014]. Lotniczy skanowanie laserowe polega na laserowym pomiarze odległości. Z lecącego samolotu zostają nadane silne impulsy światła. Następnie ulegają one rozproszeniu i odbiciu

od powierzchni terenu, co jest odbierane oraz rejestrowane przez układ optyczny skanera. Pozycja samolotu w trakcie pomiarów określana jest za pomocą systemu GPS. Obecnie ponad 90% powierzchni Polski zostało poddane lotniczemu skaningowi laserowemu, a pierwotnym celem pozyskiwania tych danych była realizacja projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami). Dzięki dokładności informacji na temat ukształtowania terenu znalazł on zastosowanie m.in. w tworzeniu numerycznego modelu terenu o wysokiej dokładności sięgającej nawet 0,15 m [Kurczyński 2014].

Przy wykorzystaniu programu ArcGIS wyznaczono powierzchnię dachów poszczególnych budynków mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych. Uwzględniono przy tym podział administracyjny zlewni. Następnie na podstawie liczby osób zamieszkujących konkretne osiedle obliczono średnią powierzchnię dachu przypadającą na jednego mieszkańca. W kolejnym kroku poprzez podzielenie całkowitej powierzchni wszystkich dachów przez liczbę budynków określono statystyczną powierzchnię jednego dachu.

W przypadku budownictwa wielorodzinnego osobnej analizie poddano osiedle Złote Łany oraz osiedla Straconka i Leszczyny. Wynika to z faktu, że jedynie na terenie Złotych Łanów budynki wielopiętrowe występują w jednym większym skupisku, co umożliwia zaprojektowanie wspólnego zbiornika do magazynowania wody deszczowej. Na pozostałym obszarze zabudowa wielorodzinna przyjmuje formę budownictwa szeregowego. W przypadku budownictwa jednorodzinnego racjonalniej jest zaprojektować mniejszy zbiornik dla każdego domu, a jego pojemność uzależnić od liczby mieszkańców.

W celu rozpoznania dziennego zużycia wody w toalecie zapoznano się z normami [Rozporządzenie 2002], a także przeprowadzono własne pomiary zainstalowanym przy spłuczce wodomierzem (Rys. 2).



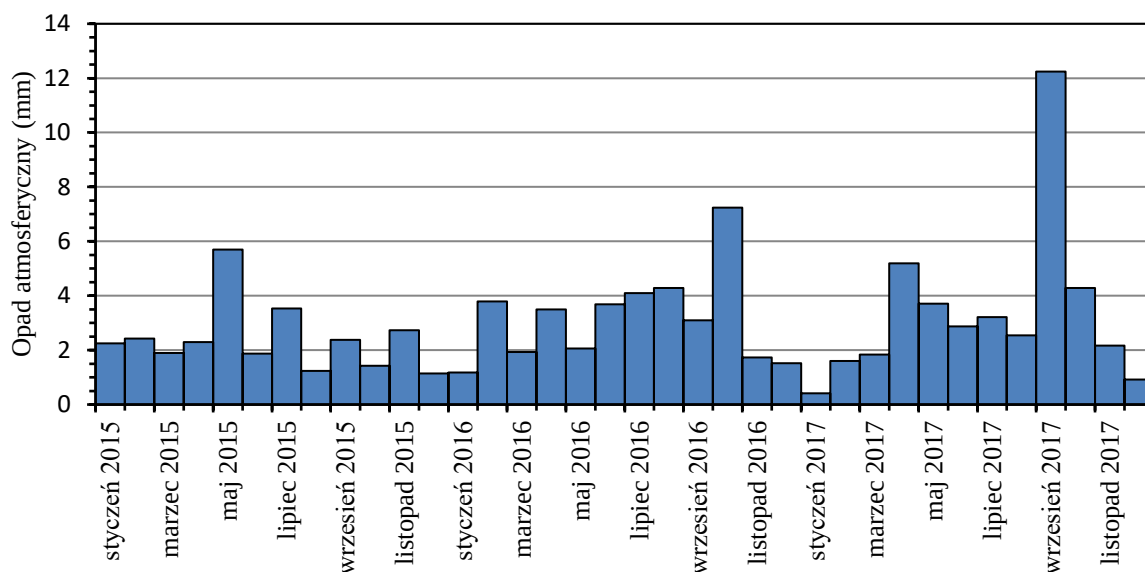
Rys. 2. Pomiar zużycia wody w toalecie (fot. K. Ratowska).
Fig. 2. The measurement of water use in the toilet
(photo by K. Ratowska).

4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

4.1. Opady atmosferyczne

Według danych IMGW-PIB najwyższą roczną sumę opadów odnotowano w roku 2017 (1259,3 mm), a najniższą w roku 2015 (875,5 mm) – wartość średnia dla okresu pomiarowego równała się 1099 mm. Średni opad dobowy w okresie pomiarowym wyniósł 3 mm. Wartości najmniejsze przypadły na miesiące zimowe, kiedy to dzienny opad kształtował się na poziomie ok. 1,6 mm. Największe opady notowano w miesiącach letnich oraz jesienią. W okresie

pomiarowym miesiącem najbardziej deszczowym był wrzesień 2017, kiedy na każdy dzień przypadało średnio 12,2 mm opadu (Rys. 3).



Rys. 3. Średni dobowy opad atmosferyczny w poszczególnych miesiącach w latach 2015-2017 dla stacji meteorologicznej w Straconce wg danych IMGW-PIB.

Fig. 3. The average daily precipitation in individual months in 2015-2017 for the meteorological station in Straconka according to IMWM-PIB data.

4.2. Zużycie wody

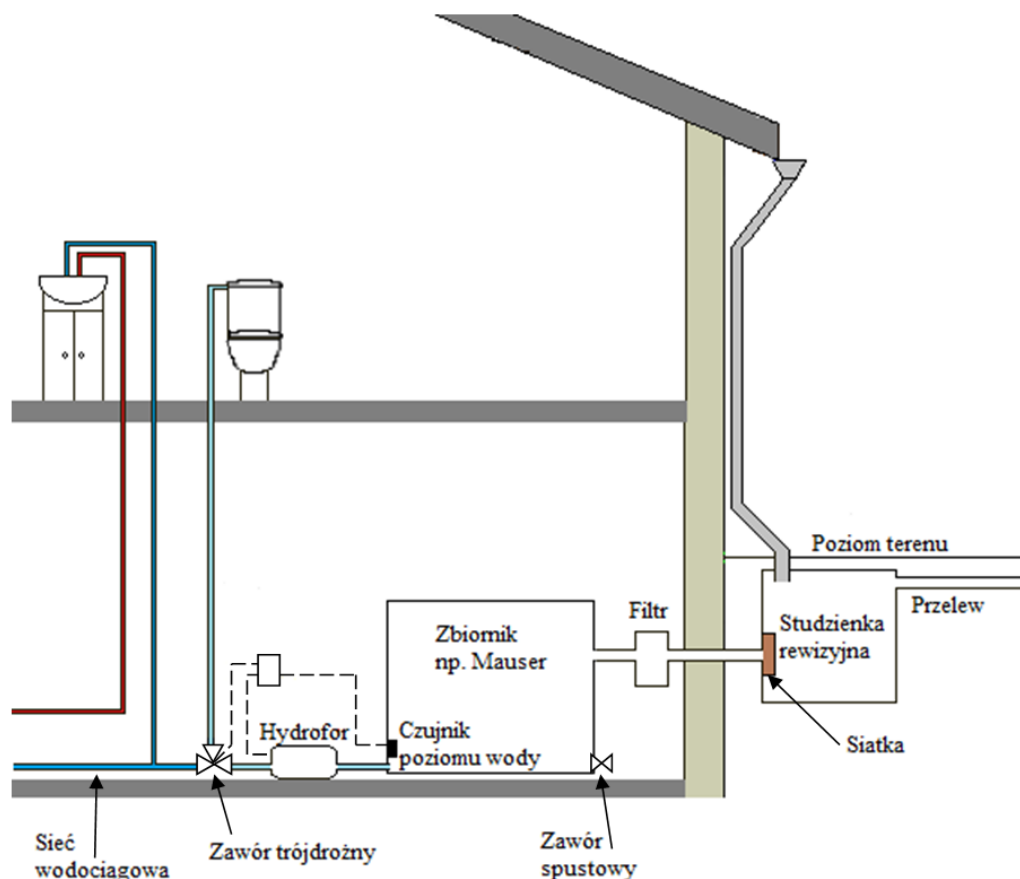
W Polsce przyjmuje się, że średnie dzienne zużycie wody w toalecie na jednego mieszkańca wynosi 35–50 dm³ na dobę [Rozporządzenie 2002]. W badaniach własnych przez okres dwóch tygodni prowadzono pomiary w mieszkaniu, w którym z jednej toalety korzystały cztery osoby dorosłe i trójka dzieci. Średnie dzienne zużycie wody przez jedną osobę wyniosło 17 dm³. Następnie wodomierz na okres trzech tygodni został zamontowany w łazience używanej przez jedną osobę. W tym przypadku średnie dobowe zużycie wyniosło 28 dm³ (wartości od 19 do 41 dm³·doba⁻¹). Otrzymane różnice wynikają z faktu, że objętość jednorazowo splukiwanej wody jest parametrem zmiennym w zależności od modelu i ustawienia zaworu pływakowego spluczki. Dla pierwszego mieszkania wartość ta wynosiła zaledwie 2,5 dm³, podczas gdy w drugim przypadku kształtowała się w okolicach 4 dm³. Do dalszej analizy przyjęto, że średnie dobowe zużycie wody na jedną osobę wynosi 28 dm³ na dobę. Wynik 17 dm³·os⁻¹·doba⁻¹ uznano za niereprezentatywny, gdyż jego niska wartość wynikała z oszczędnego wyregulowania spluczki.

4.3. Koncepcja wykorzystania wody opadowej

W przypadku budynków jednorodzinnych za rozwiązanie najkorzystniejsze uważa się podziemne zbiorniki na wodę opadową. Deszcz odprowadzany jest z powierzchni dachu za pomocą systemu rynnowego, a następnie kierowany do zbiornika, z którego to przy pomocy pompy może zostać doprowadzony do spluczki w toalecie. Elementem koniecznym w omawianym rozwiązaniu jest automatyczny system przełączania instalacji z wodą deszczową na instalację wodociągową – instalacja dualna [Wojciechowska i in. 2015]. Pojemność takiego zbiornika jest indywidualnie dopasowywana do przewidywanej objętości opadów, a także za-

potrzebowania na wodę. Przewymiarowanie zbiornika niepotrzebnie zwiększa koszty inwestycyjne, a także wydłuża czas przetrzymywania wody, co znacznie pogarsza jej jakość. Wybór zbyt małej pojemności skutkuje z kolei koniecznością częstszego sięgania po zasoby wodociągowe [Wojciechowska i in. 2015].

Istnieje również możliwość zastosowania uproszczonej wersji przedstawionego rozwiązania, w której zbiornik na wodę deszczową nie znajduje się pod ziemią, a np. w piwnicy budynku. W takim przypadku w gruncie umieszcza się jedynie studzienkę rewizyjną z osadnikiem, z której to po oczyszczeniu woda trafia do zbiornika, np. zbiornika „Mauser” o pojemności 1000 dm³ (Rys. 4).



Rys. 4. Schemat instalacji dualnej wykorzystującej wody opadowe.

Fig. 4. The schematic diagram of a dual installation using rainwater.

W przypadku zabudowy wielorodzinnej znacznie korzystniejszym rozwiązaniem jest wykonanie otwartego zbiornika retencyjnego o większej pojemności. Oprócz zaopatrzenia mieszkańców w wodę może on spełniać również funkcję przeciwpowodziową oraz rekreacyjną, a także poprawiać walory estetyczne okolicy [Wojciechowska i in. 2015].

4.4. Budownictwo jednorodzinne

W badaniach analizie zostały poddane wszystkie budynki jednorodzinne mieszczące się w granicach zlewni potoku Straconka. Ze względu na fakt, że zapotrzebowanie na wodę dla poszczególnych domów zależy od liczby osób je zamieszkujących, niemożliwe było zaproponowanie jednej pojemności zbiornika dla wszystkich budynków. Ponadto poszczególne domy różnią się między sobą powierzchnią dachu, z której można odprowadzać wody opadowe. Biorąc pod uwagę wszystkie parametry zdecydowano, że wielkość zbiornika powinna

odnosić się do jednego mieszkańca. W związku z tym niezbędne okazało się obliczenie średniej powierzchni dachu przypadającej na jedną osobę, by następnie na tej podstawie zaproponować optymalną pojemność zbiornika. W celu obliczenia jego objętości dla poszczególnych domów należy przemnożyć otrzymaną wartość przez liczbę mieszkańców.

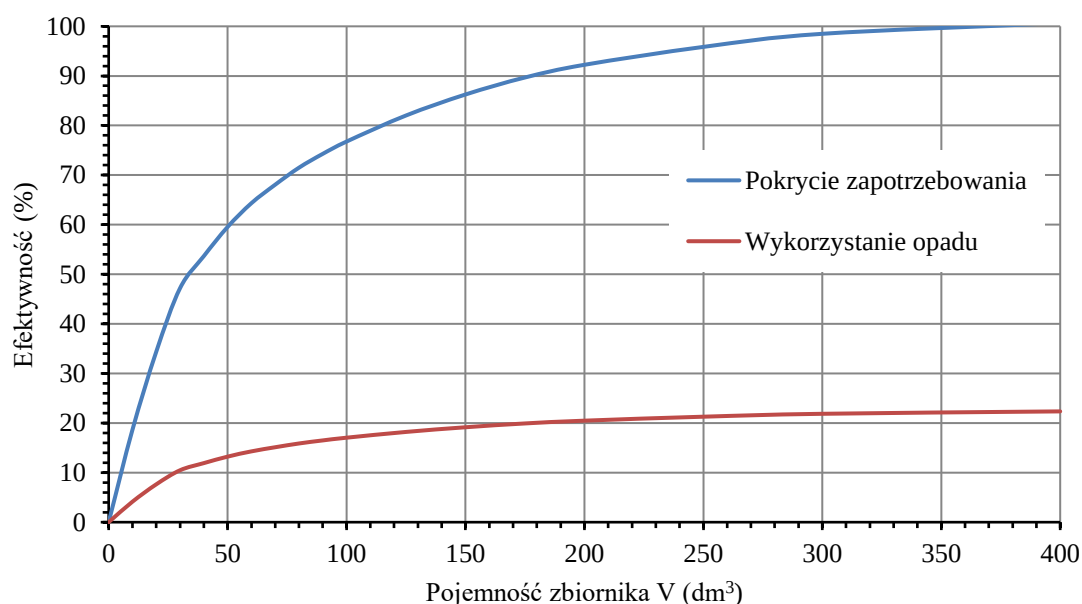
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określono, że dzienne zużycie wody w toalecie mieściło się w granicach od 19 do 41 $\text{dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$. Na potrzeby analiz przyjęto wartość średnią, która wynosiła 28 $\text{dm}^3 \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{dobę}^{-1}$. W celu określenia dobowego zapotrzebowania na wodę należało pomnożyć uzyskaną wartość przez liczbę osób zamieszkujących dany obszar. Dane dotyczące liczby mieszkańców pozyskano z strony Urzędu Miejskiego w Bielsku-Białej. Wyniki analiz pokazano w Tabeli 1.

Tab. 1. Parametry budynków jednorodzinnych w zlewni Straconki.

Tab. 1. Parameters of single-family buildings in the Straconka stream catchment.

Osiedle	Suma powierzchni dachów (m^2)	Liczba budynków	Liczba mieszkańców	Średnia powierzchnia dachu (m^2)	Średnia powierzchnia dachu na 1 osobę (m^2)	Dobowe zapotrzebowanie na wodę ($\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$)
Leszczyny	78 192,70	610	2065	128,18	37,87	57,8
Mikuszowice	3492,62	24	67	145,53	52,13	1,9
Straconka	90 256,60	619	2080	145,81	43,69	58,2
Złote Łany	4060,64	25	75	162,43	54,14	2,1

W celu dobrania optymalnej wielkości zbiornika należało przeanalizować, jak zmiana jego wielkości wpływa na pokrycie zapotrzebowania na wodę oraz wykorzystania opadu (Rys. 5). Ze względu na efektywność pracy zbiornika oraz aspekt ekonomiczny jego pojemność powinna wynosić od 150 do 250 $\text{dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$. Zastosowanie zbiornika o objętości 250 $\text{dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$ pozwala na pokrycie zapotrzebowania w 95,85% (Rys. 5), w związku z czym jedynie przez 15 dni w roku (4,15% roku) konieczne jest korzystanie z zasobów wodociągowych. Woda dostarczana do zbiornika w większości zostaje odprowadzona do środowiska, gdyż jedynie 21,27% opadu podlega wykorzystywaniu. Wykorzystanie zbiornika o pojemności 250 $\text{dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$ jest również korzystne ze względów praktycznych. Przy założeniu, że w domu mieszkają 4 osoby całkowita pojemność zbiornika wynosi 1000 dm^3 , co jest równe objętości zbiornika „Mauser”.



Rys. 5. Dobór optymalnej pojemności zbiornika dla zabudowy jednorodzinnej.

Fig. 5. The selection of the optimal tank capacity for single-family housing.

Zastosowanie przydomowego zbiornika na wodę deszczową jest korzystne nie tylko pod względem środowiskowym, ale także ekonomicznym. Każda osoba zużywa dziennie około 28 dm^3 wody do splukiwania toalety, co w skali roku daje $10,22 \text{ m}^3$ zmarnowanej wody uzdatnionej, która mogłaby zostać przeznaczona np. na cele spożywcze. W przypadku zastosowania przydomowych zbiorników na wodę deszczową o pojemności $250 \text{ dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$, średnie roczne oszczędności wyniosłyby aż $9,8 \text{ m}^3 \cdot \text{os}^{-1}$ (95% pokrycia zapotrzebowania). Opłacalność tego typu rozwiązania zależy w głównej mierze od powierzchni dachu oraz liczby mieszkańców, więc każdy przypadek powinien być rozpatrywany indywidualnie.

4.5. Budownictwo wielorodzinne wielopoziomowe

Zabudowa wielorodzinna charakteryzuje się znacznie mniejszą powierzchnią dachu przypadającą na jednego mieszkańca niż w przypadku budownictwa jednorodzinnego. Ponadto cechuje się ona odmienną sytuacją prawną, gdyż zazwyczaj większą grupą budynków położoną w swoim sąsiedztwie zarządza jedna spółdzielnia mieszkaniowa. W niniejszym podrozdziale analizie została poddana zabudowa wielorodzinna mieszcząca się w obrębie osiedla Złote Łany. Ze względu na fakt, że w granicach zlewni znalazł się jedynie niewielki fragment tego osiedla, obliczenia przeprowadzono na podstawie 16 budynków mieszczących się na tym terenie. Występują one w jednym większym skupisku, a każdy z nich jest zamieszkały średnio przez 120 osób. Jest to jedyny teren w obrębie całego analizowanego obszaru z wystarczającą koncentracją budownictwa wielorodzinnego dla zaprojektowania wspólnego zbiornika na wodę deszczową.

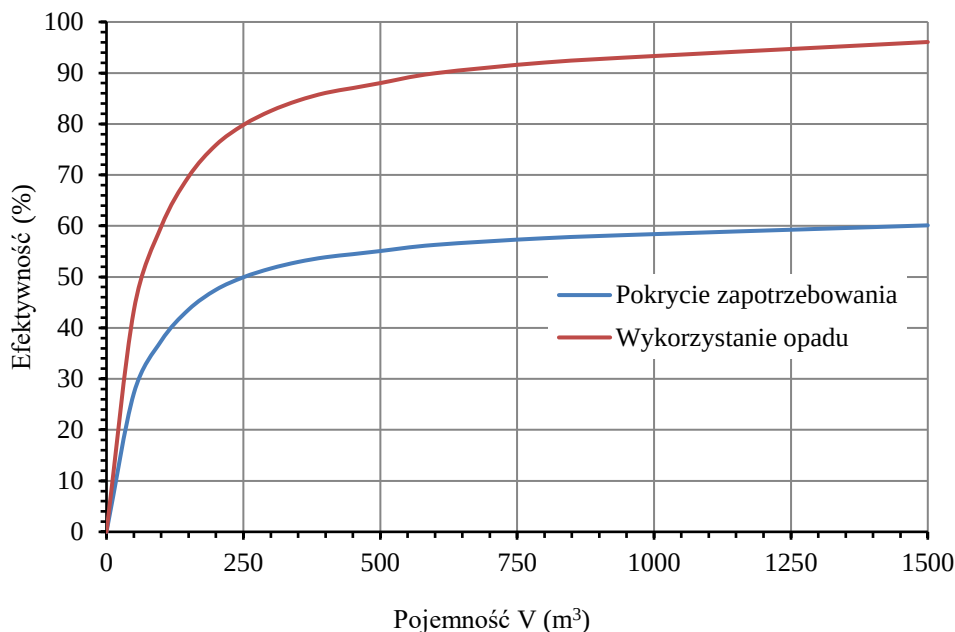
W przypadku budownictwa wielopoziomowego najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie otwartego zbiornika retencyjnego o większej pojemności. Jego wielkość, jak i inne parametry projektowe powinny być dobrane indywidualnie, biorąc pod uwagę liczbę mieszkańców, powierzchnię dachu oraz przewidywane zapotrzebowanie na wodę (Tab. 2).

Tab. 2. Parametry budynków wielorodzinnych w obrębie osiedla Złote Łany.

Tab. 2. The parameters of multi-family buildings within the “Złote Łany” housing estate.

Suma powierzchni dachów (m^2)	Liczba budynków	Liczba mieszkańców	Średnia powierzchnia dachu (m^2)	Średnia powierzchnia dachu na 1 osobę (m^2)	Dobowe zapotrzebowanie na wodę ($\text{m}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$)
11 007,22	16	1927	685,95	5,71	54,0

W celu dobrania optymalnej wielkości zbiornika, należało przeanalizować, jak zmiana jego wielkości wpływa na pokrycie zapotrzebowania na wodę oraz wykorzystanie opadu (Rys. 6). Ze względu na efektywność pracy zbiornika oraz aspekt ekonomiczny jego pojemność powinna wynosić od 250 do 500 m^3 . Dla pojemności 300 m^3 zbiornik pozwala na pokrycie zapotrzebowania w 51,65%, co jest równoznaczne z koniecznością sięgania po zasoby wodociągowe przez 176 dni w roku (48,35% roku). Funkcjonowanie zbiornika w przypadku zabudowy wielorodzinnej charakteryzuje się bardzo wysokim wykorzystywaniem opadów. Dla wybranej pojemności zbiornika było to aż 82,55%. W przypadku zabudowy jednorodzinnej większość wody była niewykorzystywana i ulegała odprowadzeniu. Zwiększenie pojemności zbiornika pozwoliłoby na poprawę parametrów użytkowania, jednak zabieg taki wymagałby wygospodarowania bardzo dużej powierzchni oraz znacznie zwiększyłby koszty inwestycyjne. Biorąc pod uwagę, że podwojenie proponowanej wielkości spowodowałoby wzrost wykorzystania opadu oraz pokrycia zapotrzebowania o zaledwie 5%, to rozwiązanie takie należy uznać za nieefektywne.



Rys. 6. Dobór optymalnej pojemności zbiornika dla zabudowy wielorodzinnej wielopiętrowej.
Fig. 6. The selection of the optimal tank capacity for multi-family, multi-storey buildings.

Zbiornik o pojemności 300 m³, mimo pokrycia zapotrzebowania na poziomie niewiele ponad 50%, pozwala na osiągnięcie dużych oszczędności wody uzdatnionej. Dla 16 bloków oszczędności wyniosłyby w skali roku aż 10 171,92 m³ wody. Oznacza to, że każdy mieszkaniec byłby w stanie zaoszczędzić 5,28 m³ wody w ciągu roku.

Wykonanie instalacji dualnej, umożliwiającej przełączanie instalacji z wodą deszczową na instalację wodociągową we wszystkich budynkach, wiąże się z bardzo wysokimi kosztami. W celu zwiększenia efektywności oraz obniżenia kosztów inwestycyjnych wodę ze zbiornika retencyjnego można byłoby doprowadzić jedynie do części budynków, zwiększając tym samym procent pokrycia zapotrzebowania na wodę uzdatnioną. W takim przypadku nie ma potrzeby modernizacji instalacji wodno-kanalizacyjnej w pozostałych blokach.

Zaletą omawianego rozwiązania jest odciążenie kanalizacji oraz oczyszczalni ścieków. Jest to szczególnie ważne podczas długich i intensywnych opadów deszczu. W takich sytuacjach systemy kanalizacyjne często nie odprowadzają całej wody, co skutkuje zalewaniem ulic, a czasem nawet lokalnymi podtopieniami. Otwarte zbiorniki retencyjne mogą również spełniać funkcję przeciwpowodziową.

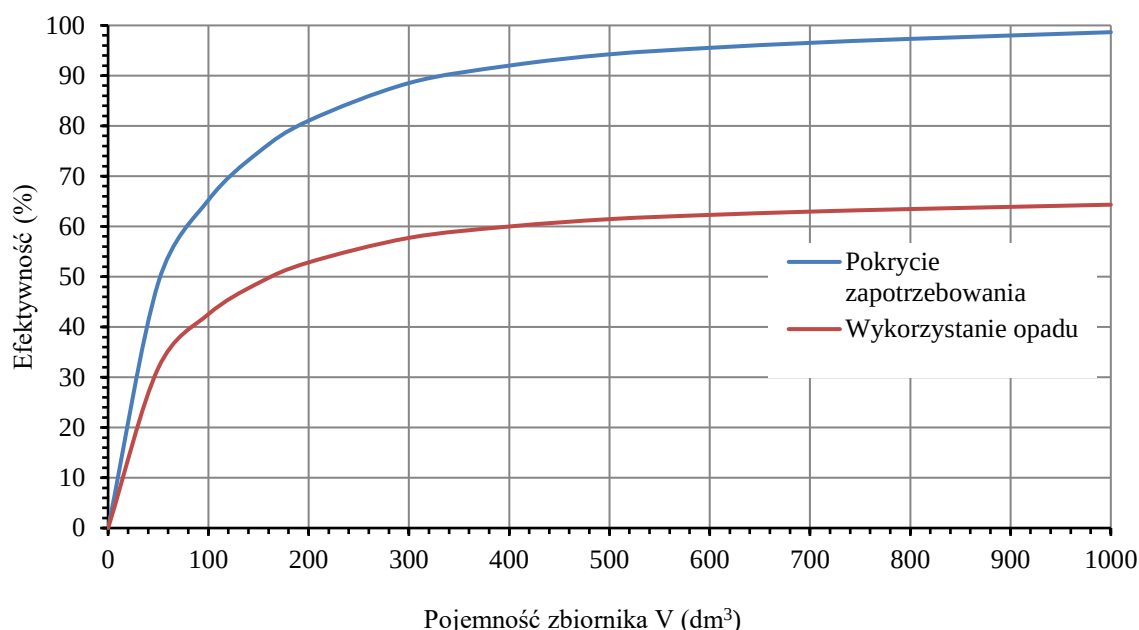
4.6. Budownictwo wielorodzinne szeregowe

W przypadku budownictwa szeregowego analizie zostały poddane dwa osiedla: Straconka oraz Leszczyny. Obszar ten charakteryzuje się brakiem typowych bloków, a występujące budynki wielorodzinne są niewielkie i zamieszkiwane jedynie przez kilka rodzin. Ponadto nie występują one w większych skupiskach, dlatego nie jest możliwe zaprojektowanie dla nich wspólnego zbiornika retencyjnego. Najkorzystniejszym rozwiązaniem dla zabudowy szeregowej, jest zastosowanie przydomowych zbiorników na wodę deszczową. Podobnie jak w przypadku budownictwa jednorodzinnej pojemność zbiornika odniesiono do jednego mieszkańca. W związku z tym najważniejszym parametrem przy doborze jego optymalnej pojemności była średnia powierzchnia dachu przypadająca na jednego mieszkańca (Tab. 3).

Tab. 3. Parametry budynków wielorodzinnych szeregowych w zlewni Straconki.**Tab. 3.** The parameters of terraced multi-family buildings in the Straconka stream catchment.

Osiedle	Suma powierzchni dachów (m ²)	Liczba budynków	Liczba mieszkańców	Średnia powierzchnia dachu (m ²)	Średnia powierzchnia dachu na 1 osobę (m ²)	Dobowe zapotrzebowanie na wodę (m ³ ·doba ⁻¹)
Leszczyny	10 239,93	91	803	112,53	12,75	22,5
Straconka	14 011,43	104	929	134,73	15,08	26,0

Dysponując dokładnymi informacjami o budynku oraz przewidywanym zapotrzebowaniu można na podstawie szeregu analiz i symulacji dobrać optymalną pojemność zbiornika tak, by nadmiernie nie zwiększać kosztów inwestycyjnych. W celu dobrania optymalnej wielkości zbiornika, należało przeanalizować jak zmiana jego wielkości wpływa na pokrycie zapotrzebowania na wodę (Rys. 7).

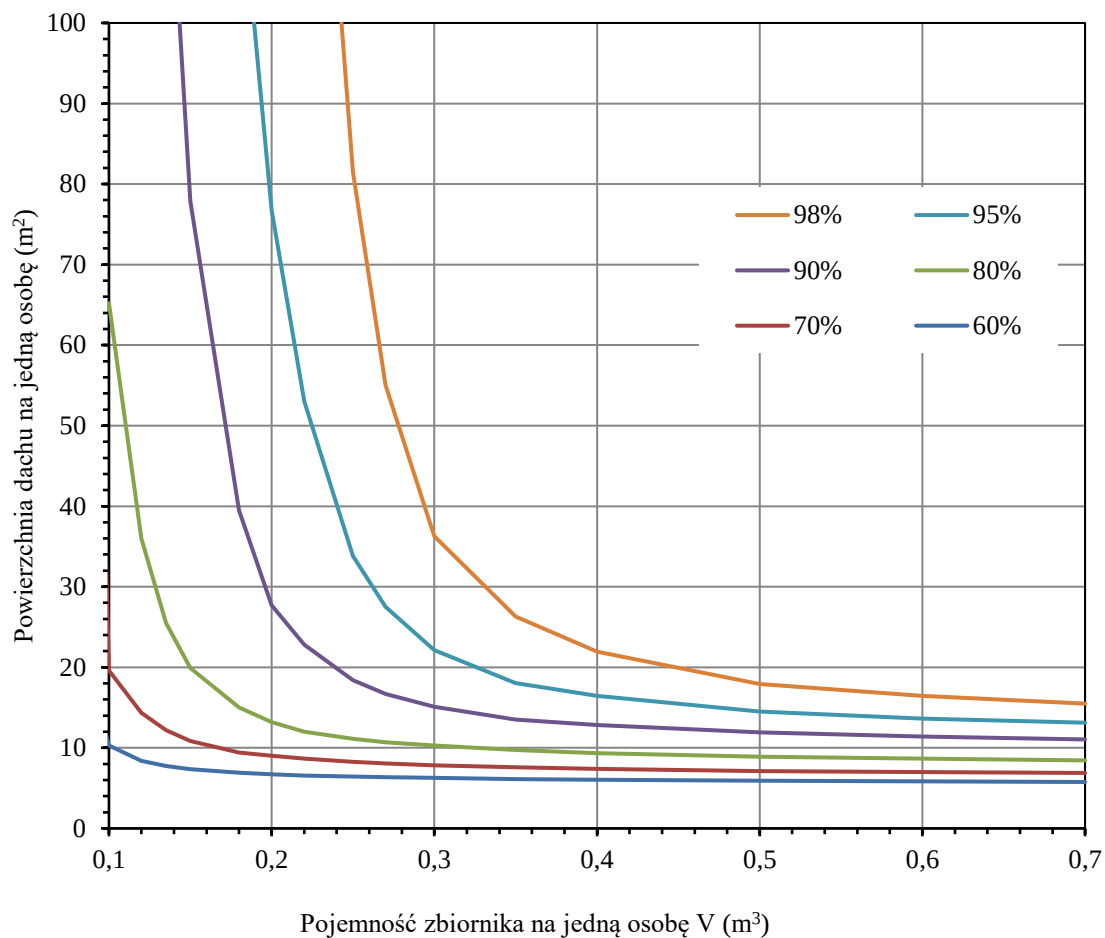
**Rys. 7.** Dobór optymalnej pojemności zbiornika dla zabudowy wielorodzinnej szeregowej.**Fig. 7.** Selection of the optimal tank capacity for terraced multi-family buildings.

Ze względu na efektywność pracy zbiornika oraz aspekt ekonomiczny jego pojemność powinna wynosić od 250 do 400 dm³·os⁻¹. Zastosowanie zbiornika o pojemności 350 dm³·os⁻¹ pozwala na pokrycie zapotrzebowania w 90,76%. W związku z tym konieczność sięgania po zasoby wodociągowe została ograniczona do zaledwie 34 dni w roku (9,24% roku). Przedstawione rozwiązanie charakteryzuje się stosunkowo wysokim poziomem wykorzystania opadów, który dla założonej pojemności wyniósł 59,18%.

Wysokie pokrycie zapotrzebowania na wodę w toaletach pozwala na duże oszczędności wody uzdatnionej. Biorąc pod uwagę średnie zużycie wody wynoszące 10,22 m³·os⁻¹·rok⁻¹, oszczędności wody uzdatnionej w skali roku wyniosłyby aż 9,28 m³·os⁻¹, co w przypadku analizowanych osiedli daje łącznie 16 065 m³ wody. Zaletą ekonomiczną omawianego rozwiązania są więc niższe rachunki za wodę i ścieki oraz brak opłat za odprowadzanie wód opadowych i roztopowych do kanalizacji.

4.7. Nomogram doboru optymalnej pojemności zbiornika

Optymalną pojemność zbiornika na wodę deszczową należy dobierać indywidualnie dla każdego domu, biorąc pod uwagę powierzchnię dachu oraz liczbę mieszkańców. W przypadku budynku zamieszkałego przez większą liczbę osób konieczne jest zastosowanie dużych zbiorników lub obniżenie wymagań co do uzyskiwanego procentowego pokrycia zapotrzebowania. Na podstawie szeregu analiz i symulacji pracy zbiornika opracowano nomogram doboru pojemności zbiornika w odniesieniu do jednego mieszkańca oraz przypadającej na niego powierzchni dachu (Rys. 8). Uwzględniono w nim procentowe pokrycie zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalet przy założeniu średniego zużycia na poziomie $28 \text{ dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$ na dobę. Nomogram może być wykorzystywany do określenia optymalnej pojemności zbiornika w przypadku domów jednorodzinnych lub budynków szeregowych. W tym celu konieczne jest obliczenie powierzchni dachu przypadającej na jednego mieszkańca, którą to następnie porównuje się z wymaganym pokryciem zapotrzebowania. Określoną w ten sposób optymalną pojemność zbiornika należy pomnożyć przez liczbę osób mieszkających w danym budynku. Opłacalność tego rozwiązania w głównej mierze zależy od powierzchni dachu przypadającej na jednego mieszkańca, w związku z czym każdy przypadek powinien być rozpatrywany indywidualnie.



Rys. 8. Nomogram doboru zbiornika wg procentowego pokrycia zapotrzebowania na wodę w warunkach zlewni potoku Straconka.

Fig. 8. The nomogram of the reservoir selection according to the percentage of water demand coverage in the conditions of the Straconka stream catchment.

5. WNIOSKI

1. Zastosowanie przydomowych zbiorników na wodę deszczową pozwala na znaczące zmniejszenie zużycia wody uzdatnionej.
2. W przypadku zabudowy jednorodzinnej zastosowanie przydomowego zbiornika o pojemności $250 \text{ dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$ pozwoliłoby na zmniejszenie zużycia wody uzdatnionej w toalecie o 95,8%. Oznacza to, że średnio jedna osoba w skali roku zaoszczędzi $9,8 \text{ m}^3$ wody, co w skali wszystkich domów jednorodzinnych w obrębie badanej zlewni daje objętość $41\,995 \text{ m}^3$.
3. Dla zabudowy wielorodzinnej w obrębie osiedla Złote Łany wybór jednego otwartego zbiornika retencyjnego o pojemności 300 m^3 pozwoliłby na zmniejszenie zużycia wody w toaletach o 51,6%. Odpowiada to zaoszczędzeniu $5,3 \text{ m}^3$ wody rocznie w przeliczeniu na każdego mieszkańca. Biorąc pod uwagę, że na osiedlu mieszka 1927 osób, to całkowite roczne oszczędności wody uzdatnionej mogłyby wynieść $10\,171 \text{ m}^3$.
4. W przypadku zabudowy wielorodzinnej szeregowej w obrębie osiedli Straconka i Leszczyzny zastosowanie przydomowego zbiornika o pojemności $350 \text{ dm}^3 \cdot \text{os}^{-1}$, pozwoli na zmniejszenie zużycia wody w toaletach o 90,8%. Odpowiada to zaoszczędzeniu $9,3 \text{ m}^3$ wody rocznie przez każdego mieszkańca, co w skali obu osiedli daje objętość $16\,065 \text{ m}^3$.
5. Doboru indywidualnej pojemności zbiornika można dokonać w oparciu o opracowany nomogram względem powierzchni dachu przypadającej na jednego mieszkańca.

LITERATURA

- Chelmiński W. 2012. Woda. Zasoby, degradacja, ochrona. Wyd. PWN, Warszawa.
- Królikowska J., Królikowski A. 2012. Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie. Wyd. Seidel-Przywecki, Piaseczno.
- Kundzewicz Z. 2000. Gdyby mała wody miarka... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju. Wyd. PWN, Warszawa.
- Kurczyński Z. 2014. Fotogrametria. Wyd. PWN, Warszawa.
- Polak J., Tomiczek M. 1994. Bielsko-Biała. Straconka. Wyd. Emilia Klaja-Furka pod patronatem Urzędu Miejskiego, Bielsko-Biała.
- Rechowicz H. 1971. Bielsko-Biała. Zarys rozwoju miasta i powiatu. Wyd. Śląsk, Katowice.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody. Dz.U. Nr 8, poz. 70.
- Truś R. 2008. Beskid Mały. Przewodnik. Wyd. Rewasz, Pruszków.
- Wałęga A., Radecki-Pawlik A., Kaczor G. 2013. Naturalne sposoby zagospodarowania wód opadowych. Wyd. UR w Krakowie, Kraków.
- Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H. 2015. Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.