

# Nowe rozkłady godzinowego poboru wody w małych wodociągach

New types of hourly water consumption in small water supply systems

OLGA WOYCIECHOWSKA, TOMASZ BERGEL, BARTOSZ SZELĄG

DOI 10.36119/15.2023.12.12

W artykule [1] przedstawiono przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat obliczania pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych. Wskazano w nim między innymi na brak wiarygodnych rozkładów godzinowych poborów wody w małych wodociągach, które są podstawą prawidłowego obliczenia pojemności użytkowej zbiorników sieciowych.

Celem niniejszego artykułu jest analiza nierównomierności zapotrzebowania na wodę w małych wodociągach i opracowanie na jej podstawie nowych rozkładów godzinowych poborów wody. Przeprowadzone badania w czterech małych systemach wodociągowych potwierdziły, że pobór wody wodociągowej podlega wahaniom godzinowym. Udowodniono, że typ poboru wody w ciągu doby różni się w dniach wolnych od pracy i w dniach powszednich, a w ciągu doby występują dwa szczyty zapotrzebowania na wodę: poranny i wieczorny. Szczyt poranny w dni powszednie, w zależności od obiektu występował w godzinach 7:00-9:00, a w dni wolne od pracy w godzinach 9:00-11:00. Szczyt wieczorny natomiast, w dni powszednie charakteryzował się szerszym zakresem godzinowym (19:00-22:00), a w dni wolne od pracy był obserwowany w godzinach 19:00-21:00. Stwierdzono dodatkowo, że w każdym z analizowanych systemów wodociągowych, poranny szczyt zapotrzebowania na wodę w dni powszednie był mniejszy od wieczornego, natomiast w dni wolne od pracy – większy od wieczornego.

*Słowa kluczowe: małe wodociągi, nierównomierność zapotrzebowania na wodę, typy poboru wody*

In the article [1], a review of the current state of knowledge on calculating the operational capacity of network balancing tanks was presented. It pointed out, among other things, the lack of reliable hourly water consumption schedules in small water supply systems, which are essential for the correct calculation of the usable volume of network tanks.

The aim of this article was to analyze the irregularity of water demand in small water supply systems and to develop new hourly water consumption types based on this analysis. The research conducted in four small water supply systems confirmed that the consumption of water in the systems is subject to hourly fluctuations. It was proven that the type of water consumption during the day differs between non-working days and weekdays, and that there are two peaks of water demand within a day: morning and evening. The morning peak on weekdays, depending on the location, occurred between 7:00-9:00 AM, while on non-working days it was between 9:00-11:00 AM. The evening peak on weekdays was characterized by a broader time range (7:00-10:00 PM), while on non-working days, it was observed between 7:00-9:00 PM. Additionally, it was found that in each of the analyzed water supply systems, the morning peak of water demand on weekdays was lower than the evening peak, whereas on non-working days, it was higher than the evening peak.

*Keywords: small waterworks, irregularity of water demand, types of water consumption*

## Wstęp

Bezpieczeństwo ilościowe dostaw wody jest jednym z kluczowych elementów, o które powinno dbać każde przedsiębiorstwo wodociągowe. Oznacza to, że musi ono zmierzyć się z zaspokajaniem zmieniającego się w czasie zapotrzebowania i nie może pozwolić na przerwy w dostawie wody z powodu problemów eksploatacyjnych, czy czynników losowych. Dlatego nie tylko monitorowanie stanu technicznego sieci wodociągowej [2, 3], ale również gromadzenie wody

w zbiornikach i zabezpieczenie jej rezerwy przy nierównomiernych poborach, stało się bardzo ważnym aspektem działalności tych przedsiębiorstw.

Pobór wody przez odbiorców ma złożony, deterministyczno-losowy charakter [4]. Podlega wahaniom zarówno w krótkich, jak i długich przedziałach czasu [5, 6, 7, 8] i można zaobserwować jego zróżnicowanie w każdej godzinie, dniu, miesiącu, czy latach [9]. Na terenach wiejskich zmienność poboru wody jest większa niż w miastach, a na jego wahania mają wpływ zarówno

warunki klimatyczne, jak i lokalne [10, 11, 12], cele wykorzystania wody, przyzwyczajenia odbiorców, charakter miejscowości, czy wyposażenie mieszkań w urządzenia wodociągowe i kanalizacyjne [13, 14, 15, 16].

Zmienność dobową charakteryzuje nasilenie zapotrzebowania na wodę w środku tygodnia, natomiast najmniejsze wartości odnotowuje się w niedziele i święta [17-22]. W przypadku zmienności godzinowej, pobór w ciągu dnia jest większy niż w godzinach nocnych [23]. Dodatkowo można zaobserwować szczyty poboru wody, czyli

dr inż. Olga Woyciechowska: woyciechowska@gmail.com, dr hab. inż. Tomasz Bergel, prof. URK: tomasz.bergel@urk.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0003-0475-112X> – Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

dr hab. inż. Bartosz Szelaąg, prof. SGGW: bartosz\_szelaag@sggw.edu.pl; <https://orcid.org/0000-0002-0559-5475> – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

maksymalne zapotrzebowanie występujące w ciągu dnia. Autorzy w swoich publikacjach nie są jednak zgodni co do liczby występujących szczytów poboru wody. Pawełek i Kaczor [14] stwierdzili, że w osiedlach miejskich i podmiejskich można wyodrębnić dwa szczyty poboru wody: poranny (powodowany m.in. higieną i przygotowaniem śniadania) i popołudniowo-wieczorny (uwzględniający czynności po powrocie z pracy, tj. sprzątnięcie, higienę wieczorną, przygotowanie posiłków itp.). Autorzy ci zwracają jednak uwagę, że w osiedlach typowo wiejskich, w których mieszkańcy pracują w obrębie swojego gospodarstwa, występuje jeszcze szczyt południowy, związany z przygotowaniem obiadu. Trzy szczyty potwierdziły również badania Bergela i Kaczora [10]. Z kolei Hołtoś i in. [9] podczas badań przeprowadzonych we Wrocławiu wyróżnili dwa szczyty – przed – i popołudniowy, a Ogiółda i Kozaczek [20] otrzymali różne wyniki w zależności od badanego systemu wodociągowego.

## Rozkłady godzinowego poboru wody

Zmienność godzinowego zapotrzebowania na wodę jest zazwyczaj przedstawiana w postaci procentowych wzorców/rozkładów jej poboru w ciągu doby. W Polsce pierwsze analizy w tym zakresie rozpoczęto dopiero pod koniec XIX w. Charakteryzowały się one jednak niedokładnością pomiarów, która była spowodowana ograniczeniami w dostępności odpowiedniego sprzętu pomiarowego [24]. Jedne z pierwszych rozkładów zaprezentował Ciechanowski i in. [25], którzy zaobserwowali mniejsze wykorzystanie wody w godzinach nocnych oraz jego wzrost wraz ze szczytem porannym, przy czym największe zużycie występowało w ciągu dnia z ostatnim szczytem w godzinach wieczornych. Godzinowe rozkłady zużycia wody przedstawiono również w Zarządzeniu z 1966 r. [26]. Prezentowały one cztery typy poboru wody na obszarach wiejskich, na podstawie których obliczano pojemność użytkową zbiornika wodociągowego. Wszystkie charakteryzowały się trzema szczytami poboru wody: porannym, południowym i wieczornym. W kolejnych latach nowe wzorce pojawiły się w Branżowym Biuletynie Informacyjnym Zaopatrzenia Rolnictwa i Wsi w Wodę nr 1/1975 [27]. Również one wskazywały trzy szczyty poboru wody.

W kolejnych latach Sawicki [28] zaprezentował godzinowe rozbiory wody dla jednostek osadniczych z różną liczbą mieszkańców, gdzie również obserwowano trzy szczyty, a Gabryszewski [29] przedstawił swoje wyniki dla miast średnich, większych

i dużych, które były wykorzystywane w ZSRR przy projektowaniu systemów wodociągowych. Krzywe przebiegały bardziej płasko, z dominującym szczytem porannym i wypłaszczeniem od godzin popołudniowych, czego powodów można doszukiwać się w stratach, które w okresie wiosenno-letnim sięgały nawet 50% [24, za: 30].

Warto podkreślić, że badania prowadzone w latach 80-tych ubiegłego wieku, mimo intensywnego rozwoju metod pomia-

## Materiał i metodyka badań

Podstawą analizy były badania przeprowadzone w okresie 4 lat kalendarzowych (2016-2019) w czterech małych systemach wodociągowych. Trzy z analizowanych obiektów badań znajdują się na terenie gmin powiatu krakowskiego, a jeden na przedmieściach Krakowa w dzielnicy Zwierzyniec. Najważniejsze dane o analizowanych systemach wodociągowych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka analizowanych systemów wodociągowych  
Table 1. Characteristics of the analyzed water supply systems

Wyszczególnienie	Jednostka	Wodociąg			
		Nowa Góra	Bębło	Wola Zachariaszowska	Olszanica
liczba odbiorców	M	1460	2280	890	580
długość sieci	km	10,8	22,5	12,2	0,6
liczba przyłączy	szt.	435	902	311	155
stopień zwodociągowania	%	100	97	100	100
stopień skanalizowania	%	78	73	45	99
odbiorcy wody	-	małoobszarowe gospodarstwa rolne	małoobszarowe gospodarstwa rolne; budownictwo jednorodzinne; drobne zakłady usługowe; instytucje użyteczności publicznej	budownictwo jednorodzinne; drobne zakłady usługowe; instytucje użyteczności publicznej	budownictwo jednorodzinne
opomiarowanie poboru wody	miejsce	pompownia drugiego stopnia	pompownia drugiego stopnia	zbiornik początkowy	pompownia drugiego stopnia
	armatura pomiarowa	wodomierz Sensus MeiStream Plus	przepływomierz ABB WaterMaster	wodomierz Sensus MeiStream Plus	przepływomierz Siemens Mag

rowych, wciąż prezentowały wyniki obarczone błędami pomiarowymi urzędzeń. Rezultaty były zaburzone nie tylko przeciekami, ale także wodochłonnym przemysłem pobierającym wodę bezpośrednio z sieci miejskiej [24, za: 31]. Podwójci [32] w swojej publikacji prezentuje wzorce dla dwóch miejscowości w województwie mazowieckim z podziałem na dni robocze oraz weekendy. W dni powszednie obserwował on dwa szczyty poboru wody, natomiast w dni wolne od pracy zużycie wody miało bardziej nieregularny charakter, a szczyty pojawiały się częściej.

Obecnie niewielu autorów podaje wzorce godzinowych rozbiórów wody, ponieważ w dalszym ciągu wiąże się to z trudnościami właściwego opomiarowania systemu wodociągowego, czy grupy odbiorców. Dlatego warto w tym miejscu powtórzyć pytanie z artykułu [1]: czy w obecnych warunkach projektanci systemów wodociągowych, szczególnie na terenach wiejskich, dysponując możliwościami ustalenia poprawnych rozkładów godzinowych poborów wody, a zaprojektowane na ich podstawie zbiorniki sieciowe będą spełniały postawione im cele?

Celem niniejszego artykułu jest analiza nierównomierności zapotrzebowania na wodę w małych wodociągach i opracowanie na jej podstawie nowych rozkładów godzinowych poborów wody.

Wykorzystane w analizie dane obejmowały godzinowe pobory wody zarejestrowane na przewodzie odpływowym z pompowni drugiego stopnia lub zbiornika sieciowego początkowego pracującego w systemie grawitacyjnym przez urządzenia pomiarowe współpracujące z kompleksowym systemem monitorującym pracę obiektów w danym systemie wodociągowym. Ciągi danych liczyły ok. 35 tys. wartości w każdym z analizowanych obiektów. Na wstępie, ciągi danych były weryfikowane i w razie konieczności usuwano z nich pojedyncze wartości lub pełne okresy 24-godzinne (pełne doby), jeśli zaobserwowano błędne zapisy, zdarzenia niepożądane, takie jak: awarie, czyszczenie zbiornika lub błędną rejestrację danych z uwagi na awarię modułu przesyłowego, wodomierza lub przepływomierza. Do wyeliminowania takich wartości wykorzystano test Grubbsa [33], a liczba wyeliminowanych wartości nie przekroczyła 5%.

W kolejnym etapie badań wyznaczono typy poboru wody osobno dla dni powszednich oraz weekendów i świąt w całym okresie badań. W tym celu dane poddano standaryzacji, dzieląc wielkość poboru w chwili t (w danej godzinie) przez całkowite dobowe zapotrzebowanie na wodę dla poszczególnych dni, co pozwoliło na otrzymanie bezwymiarowych wartości, wyrażonych ostatecznie w procentach.

W efekcie powyższych przekształceń uzyskano macierze o liczbie kolumn równej liczbie dni obserwacji i o liczbie wierszy równej 24, które odpowiadały przedziałom godzinowym w ciągu doby. Wszystkie macierze poddano analizie statystycznej w programie Statistica 12. Przeprowadzono analizy na całym zbiorze danych, jak też dla wydzielonych z macierzy podzbiorów rozkładów poborów wody zarejestrowanych w dni robocze oraz dni wolne od pracy.

W programie Statistica 12 zastosowano narzędzie analizy skupień, do podziału zbiorów zarejestrowanych procentowych rozkładów poboru wody. W analizie wykorzystano funkcję odległości euklidesowej, w związku z tym, że jest ona najczęściej wybierana przez autorów i traktowana jako najbardziej „naturalna”. Wybrano również metodę Warda [33], która opiera się na podejściu analizy wariancji do oszacowania odległości między skupieniami. W kolejnym kroku zmienne zostały pogrupowane metodą niehierarchiczną  $k$ -średnich, która tworzyła  $k$  skupień, różniących się od siebie w maksymalnym stopniu i w której żadne skupienie nie było podskupieniem innego skupienia, ponieważ metoda ta jest najczęściej wykorzystywaną w praktyce taksonomiczną metodą grupowania [33]. W prowadzonych analizach przyjęto liczbę iteracji 10, a liczba skupień wynosiła  $k=2$ , co odpowiadało podziałowi zmienności dobowego zapotrzebowania na wodę w dni powszednie oraz soboty, niedziele i święta. W ten sposób otrzymano ostatecznie nie tylko przyporządkowanie dni do odpowiednich skupień, ale również wykresy średnich rozkładów procentowych zapotrzebowania na wodę dla tych skupień.

## Wyniki badań

Najważniejszym rezultatem przeprowadzonych badań było uzyskanie typów poboru wody, tj. średnich godzinowych rozkładów poboru wody w małych wodociągach. Obserwacje wykazały, że w każdym z badanych wodociągów typ poboru wody w ciągu doby różnił się w dniach wolnych od pracy i w dniach powszednich, a w ciągu doby występowały dwa szczyty zapotrzebowania na wodę: poranny i wieczorny (tab. 2., rys. 1-4.).

System „Nowa Góra” na tle pozostałych wodociągów charakteryzował się najbardziej wypłaszczonymi krzywymi zapotrzebowania na wodę – szczyty poboru były najmniej widoczne (rys. 1.). Związane to było z większym charakterem wodociągu, gdzie przynajmniej część mieszkańców prowadzących gospodarstwa, nie pracuje poza miejscem zamieszkania, jak w przypadku osób z terenów miejskich i podmiejskich przebywających w pracy najczęściej między 8:00 a 16:00 i korzystających

Tabela 2. Rozkłady godzinowego poboru wody w analizowanych wodociągach, (%)  
Table 2. Hourly water consumption types in the analyzed water supply systems, (%)

Godzina	Nowa Góra		Bębło		Wola Zachariaszowska		Olszanica	
	dni powszednie	weekendy i święta	dni powszednie	weekendy i święta	dni powszednie	weekendy i święta	dni powszednie	weekendy i święta
0 – 1	1,97	1,98	1,76	1,89	2,48	2,66	1,93	2,30
1 – 2	1,91	1,78	1,55	1,53	1,69	1,93	1,21	1,36
2 – 3	1,91	1,74	1,52	1,38	1,61	1,75	1,11	1,14
3 – 4	2,17	1,81	1,73	1,42	1,58	1,60	1,07	1,00
4 – 5	2,91	2,11	2,42	1,54	1,76	1,50	1,59	1,28
5 – 6	3,83	2,77	3,63	2,00	2,71	1,59	2,47	1,29
6 – 7	4,93	3,87	4,76	3,08	4,29	2,16	5,41	2,51
7 – 8	5,17	5,06	5,15	4,45	5,19	3,33	6,24	4,12
8 – 9	5,15	5,77	5,05	5,56	5,26	4,80	5,67	5,59
9 – 10	4,97	5,91	4,92	6,20	5,09	5,93	5,20	6,40
10 – 11	4,78	5,65	4,70	6,08	4,80	6,31	4,71	6,63
11 – 12	4,73	5,66	4,49	5,73	4,55	5,98	4,39	5,95
12 – 13	4,58	5,54	4,35	5,60	4,38	5,62	4,03	5,49
13 – 14	4,44	5,31	4,28	5,39	4,38	5,34	3,85	5,23
14 – 15	4,48	5,12	4,31	5,20	4,27	5,11	3,88	4,94
15 – 16	4,56	4,91	4,45	4,99	4,24	4,91	4,05	4,61
16 – 17	4,68	4,73	4,69	4,82	4,23	4,69	4,25	4,57
17 – 18	5,05	4,84	5,09	4,90	4,39	4,56	4,42	4,60
18 – 19	5,67	5,19	5,71	5,19	4,81	4,73	4,99	4,87
19 – 20	6,08	5,44	6,35	5,58	5,65	5,29	6,00	5,66
20 – 21	5,63	5,02	6,49	5,66	6,37	5,75	6,89	6,04
21 – 22	4,68	4,26	5,77	5,15	6,51	5,66	6,75	5,78
22 – 23	3,36	3,21	4,17	3,99	5,66	5,01	5,89	5,06
23 – 24	2,37	2,35	2,66	2,67	4,10	3,79	4,00	3,58
Suma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

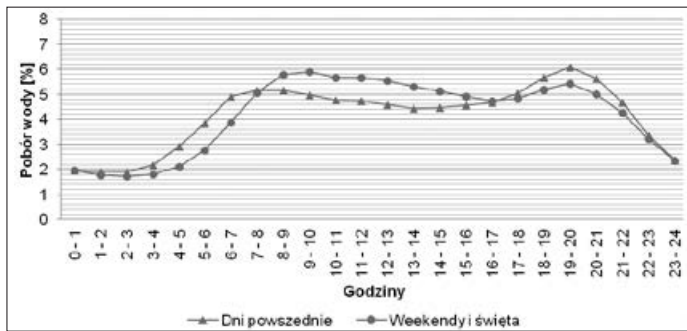
z wody w miejscu zamieszkania tylko przed, jak i po pracy. W wodociągu tym wyróżniono poranny szczyt poboru wody przypadający na godziny 7:00-8:00 w dni powszednie oraz 9:00-10:00 w dni wolne od pracy. To przesunięcie szczytu porannego o dwie godziny, a także jego wyższa wartość w dni wolne od pracy, wynikały zapewne z wykorzystania wody w większym stopniu na prace domowe, np. sobotnie sprzątanie lub prace w obejściu gospodarstwa.

Z kolei szczyt wieczorny w dni powszednie w godzinach 19:00-20:00 był większy od porannego, czego powodem mógł być fakt, iż mieszkańcy w większej ilości wykorzystywali wodę na różne cele, np. przygotowanie kolacji czy obiadu na dzień następny, higienę osobistą, pranie czy drobne porządki. Szczyt wieczorny w weekendy i święta również przypadł na godzinę 19:00-20:00, był natomiast nieco mniejszy od porannego. Na taki stan rzeczy miały wpływ z pewnością przyzwyczajenia mieszkańców, którzy wieczory weekendowe przeznaczają na odpoczynek po całym tygodniu pracy. Potwierdza to również fakt, że szczyt wieczorny wystąpił wcześniej niż w innych wodociągach, co wynika z tego, że mieszkańcy wsi kładą się wcześniej spać.

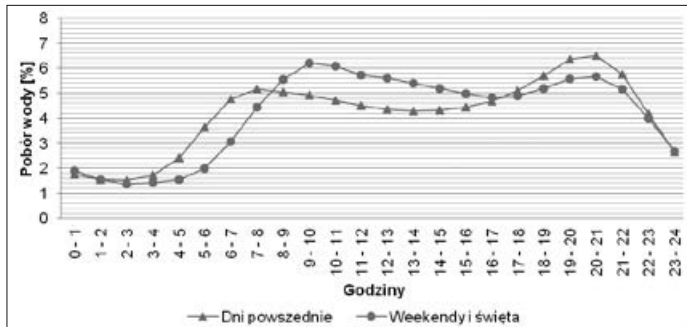
W wodociągu „Bębło” zarówno wielkości jak i godziny wystąpienia porannych szczytów poboru wody w dniach powszednich i wolnych od pracy były bardzo zbliżo-

ne do zaobserwowanych w wodociągu „Nowa Góra” (rys. 2). Wynika to zapewne z wiejskiego charakteru obu wodociągów i przyzwyczajenia mieszkańców. Szczyt wieczorny zapotrzebowania na wodę, zarówno w przypadku dni powszednich jak i weekendów oraz świąt, przypadł w godzinach 20:00-21:00. Rozbiory w tym wodociągu były bardziej nierównomierne, a szczyty bardziej różniące się od siebie niż w przypadku „Nowej Góry”. Jednak w dniach powszednich wartość maksymalnego poboru w czasie szczytu porannego była podobnie jak w „Nowej Górze” mniejsza niż w czasie szczytu wieczornego. Wskazuje to na większą wieczorną aktywność mieszkańców w zakresie potrzeb, do zaspokojenia których wymagany jest pobór wody. Podobna sytuacja jak w „Nowej Górze” miała również miejsce w odniesieniu do dni wolnych od pracy. Maksymalny pobór wody w czasie szczytu porannego był większy niż w czasie szczytu wieczornego, co pokazuje na mniejszą aktywność mieszkańców w weekendowe wieczory, w przeciwieństwie do zwiększonego wykorzystania wody przed południem na prace porządkowe w domu i poza nim.

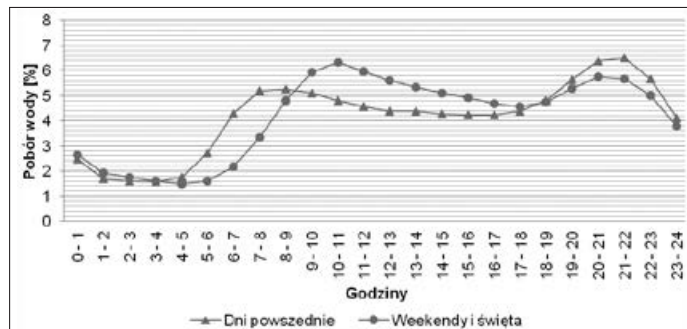
W systemie wodociągowym „Wola Zachariaszowska” szczyt poranny przypadł na godziny 8:00-9:00 w dni powszednie, przy czym w godzinach 7:00-8:00 odnotowano bardzo zbliżoną wartość poboru wody (rys. 3). Pokazuje to, że poranne obowiązki



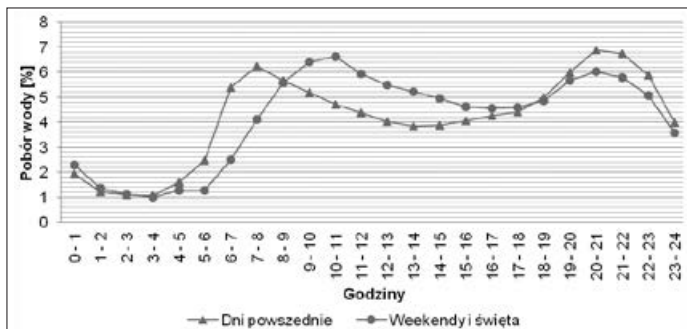
Rys. 1. Godzinowy pobór wody w wodociągu „Nowa Góra”  
Fig. 1. Hourly water consumption in the “Nowa Góra” water supply system



Rys. 2. Godzinowy pobór wody w wodociągu „Bębło”  
Fig. 2. Hourly water consumption in the “Bębło” water supply system



Rys. 3. Godzinowy pobór wody w wodociągu „Wola Zachariaszowska”  
Fig. 3. Hourly water consumption in the “Wola Zachariaszowska” water supply system



Rys. 4. Godzinowy pobór wody w wodociągu „Olszanica”  
Fig. 4. Hourly water consumption in the “Olszanica” water supply system

w podmiejskim wodociągu rozkładają się w dłuższym czasie niż w typowo wiejskich wodociągach. Może to być związane z różnymi godzinami rozpoczęcia pracy poza miejscem zamieszkania lub przyspieszania wyjazdu z domu do pracy w związku z chęcią uniknięcia korków. W dni wolne od pracy poranny szczyt zapotrzebowania na wodę odnotowano między 10:00 a 11:00, czyli później niż w podkrakowskich wodociągach wiejskich. Wynikać to mogło z późniejszego wstawania mieszkańców z powodu braku porannych obowiązków typowych dla mieszkańców wsi (związanych np. z chowem zwierząt), a w następnej kolejności przygotowania śniadania, sprzątnięcia domu i obejścia.

Należy również zauważyć, że w dniach powszednich mieszkańcy korzystający z tego

wodociągu w stosunku do pozostałych obiektów badań później kończą swoją aktywność. Świadczy o tym fakt, że wieczorny szczyt poboru wody przypadł na godziny 21:00-22:00. Z kolei szczyt wieczorny w weekendy i święta, podobnie jak w innych wodociągach przypadł na godziny 20:00-21:00 i był mniejszy od porannego.

W wodociągu „Olszanica” szczyt poranny przypadł w dni powszednie na godziny 7:00-8:00 (rys. 4). Był wyższy niż w podmiejskiej „Woli Zachariaszowskiej” oraz skumulował się w jednogodzinnym przedziale czasowym, co można tłumaczyć wcześniejszym wyjazdem mieszkańców do pracy. W weekendy i święta szczyt poranny odnotowano podobnie jak w „Woli Zachariaszowskiej” w godzinach 10:00-11:00, co

świadczy o jego podmiejskim charakterze. Dodatkowo zauważyć należy, że szczyt wieczorny we wszystkich dniach wystąpił w godzinach 20:00-21:00 i charakteryzował się najwyższą spośród analizowanych obiektów wartością.

Literatura przedmiotu jest bardzo uboga w przykłady godzinowych rozkładów poboru wody w systemach wodociągowych wiejskich i podmiejskich miejscowości, co jest przede wszystkim związane z ograniczoną dostępnością danych dotyczących tych systemów, wynikającą między innymi z braku szczegółowego ich opomiarowania.

Ogińda i Kozacek [20] w analizowanych systemach wodociągowych zaobserwowali 3 szczyty poboru wody: poranny o godzinie 8:00, popołudniowy o 14:00 w jednym systemie i o 17:00 w drugim oraz wieczorny, odpowiednio o godzinie 20:00 w systemie pierwszym i o 22:00 w systemie drugim. Na występowanie szczytów miały wpływ nie tylko potrzeby ludzi, ale również pojenie i karmienie zwierząt czy czynności porządkowe w obejściu gospodarstw. W analizowanych w niniejszej pracy obiektach, nawet tych o charakterze wiejskim, nie wystąpił szczyt popołudniowy, co związane było ze zmianą charakteru gospodarstw z wiejskiego na podmiejski.

Płoskonka i Beńko [34] w wydzielonym fragmencie systemu wodociągowego dla dzielnicy Mistrzejowice w Krakowie, zauważyli tymczasem 2 szczyty: poranny między godziną 8:00 a 10:00 oraz wieczorny między 20:00 a 22:00, co odpowiadało obserwacjom prowadzonym w wodociągu „Olszanica”.

Z kolei Wierzbicki [35] w badaniach prowadzonych w gminie Zator w roku 2014 wykazał występowanie trzech szczytów poboru wody w ciągu dnia (zarówno w dobie o średnim, jak i maksymalnym poborze wody) z tym, że szczyty poranny i popołudniowy nie były wyraźnie od siebie oddzielone. Żaden ze szczytów nie przekraczał 5,5% dobowego poboru wody, co było wartością mniejszą od wartości obserwowanych w niniejszej publikacji.

Tymczasem Kępa i in. [36] rozpatrując dobę o najwyższym zapotrzebowaniu w ciągu roku odnotowali dwa szczyty: poranny w godzinach 7:00-8:00 w roku 2010 oraz 8:00-9:00 w 2011, a także wieczorny w godzinach 20:00-22:00 w 2010 r. i 18:00-19:00 w 2011 r. Godziny porannych szczytów odpowiadały tym zaobserwowanym w wodociągach analizowanych w niniejszej pracy. Z kolei szczyt wieczorny w roku 2010 był zbliżony do analizowanych wodociągów podkrakowskich, natomiast w 2011 roku wystąpił dużo wcześniej. Należy jednak zauważyć, że autorzy publikacji przedstawili wyniki swoich badań jedynie dla dwóch dób,



co nie jest miarodajnym przedziałem czasu dla całego systemu wodociągowego.

W amerykańskim podręczniku dotyczącym tematyki zaopatrzenia w wodę AWWA [37] również jest mowa o dwóch szczytach poboru wody z tym, że szczyt poranny jest znacznie niższy od wieczornego, podobnie jak w przypadku dni powszednich w analizowanych wodociągach. Występuje on około godziny 9:00 – później niż w dniach powszednich w większości obiektów, natomiast wieczorny w okolicach godziny 20:00, co również zaobserwowano w dniach powszednich podczas prowadzenia badań.

Podsumowując należy stwierdzić, iż z uwagi na bardzo ograniczoną liczbę informacji na temat rozkładów godzinowego poboru wody w małych systemach wodociągowych w Polsce, konieczne jest prowadzenie dalszych, szeroko zakrojonych badań, których wyniki pozwolą na optymalizację procesu projektowania, m. in. zbiorników sieciowych.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformulowano następujące wnioski:

1. W małych wodociągach typ poboru wody w ciągu doby różni się w dniach powszednich i dniach wolnych od pracy.
2. W każdym z analizowanych wodociągów występowały dwa szczyty godzinowego poboru wody – poranny i wieczorny.
3. Poranny szczyt zapotrzebowania na wodę w dni powszednie był mniejszy od wieczornego, natomiast w dni wolne od pracy odwrotnie – większy od wieczornego.
4. Szczyt poranny w dni powszednie, w zależności od obiektu występował w godzinach 7:00-9:00, a w dni wolne od pracy w godzinach 9:00-11:00. Szczyt wieczorny natomiast, w dni powszednie charakteryzował się szerszym zakresem godzinowym (19:00-22:00), a w dni wolne od pracy był obserwowany w godzinach 19:00-21:00.
5. Z uwagi na rozbieżności pomiędzy uzyskanymi wynikami badań a licznymi doniesieniami innych autorów, dotyczącymi zarówno liczby szczytów godzinowego poboru wody w małych wodociągach jak i godziny ich występowania, należy prowadzić w tym zakresie dalsze badania, obejmujące cały kraj.

## LITERATURA

[1] Woyciechowska O., Bergel T., Szeląg B. 2023. Obliczanie pojemności użytkowej sieciowych zbiorników wyrównawczych w świetle aktualnego stanu wiedzy. Instal, nr 5 [451], s. 37-41. DOI 10.36119/15.2023.5.6.

[2] Bergel T., Pawełek J. 2008. Awaryjność miejskich sieci wodociągowych. Instal, nr 10 (288), str. 92-94.

[3] Bergel T. 2011. Sytuacja eksploatacyjna małych grupowych wodociągów w woj. śląskim. Instal, nr 12 [324], str. 53-55.

[4] Cieżak W., Siwoń Z., Cieżak J. 2008. Modelowanie poboru wody w osiedlach mieszkaniowych. Ochrona Środowiska, vol 30, nr 2, s. 23-28.

[5] Masoudi R., Kettab A., Brémond B. 2008. Evaluation des paramètres de fonctionnement et de performance des systèmes de distribution d'eau potable en Algérie. Cas de la région de Biskra (Evaluation of technical and performance parameters of drinking water distribution systems in Algeria. Case study Biskra region). [In:] Proceedings of the 13th IWRA World Water Congress 2008, 1-4 September, Montpellier, France, International Water Resources Association.

[6] Gargano R., Tricarico C., Giudice G., Granata F. 2016. A stochastic model for daily residential water demand. Water Science and Technology: Water Supply, vol. 16 [6], s. 1753-1767.

[7] Masoudi R., Kettab A., Brémond B. 2016. Drinking water consumption and loss in Algeria. The case of networks with low level counting. Journal of Urban and Environmental Engineering, v.10, n.2, s. 162-168.

[8] Piasecki A., Jurasz J., Marszelewski W. 2016. Wykorzystanie wielowarstwowych sztucznych sieci neuronowych do średnioterminowego prognozowania poboru wody – studium przypadku. Ochrona Środowiska, nr 2, vol. 38, s. 17-22.

[9] Hołłoś H., Głowacka J., Kołodziej A. 2012. Zmienność poboru wody w systemie wodociągowym Wrocławia. Ochrona Środowiska, vol. 34, nr 4, s. 23-28.

[10] Bergel T., Kaczor G. 2007. Wielkość i nierówność poboru wody przez pojedyncze gospodarstwa wiejskie. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich nr 1/2007, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, s. 125-136.

[11] Chang H., Praskiewicz S., Parandvash, H. 2014. Sensitivity of Urban Water Consumption to Weather and Climate Variability at Multiple Temporal Scales: The Case of Portland, Oregon. International Journal of Geospatial and Environmental Research, vol. 1, article 7.

[12] Cabral M., Mamade A., Loureiro D., Amado C., Covas D. 2016. Modeling the effect of weather conditions on urban water demand in multiple network areas: a practical approach to improve monthly and seasonal operation. Journal of Water Supply Research And Technology-Aqua, vol. 65 [8], s. 612-625.

[13] Baltas E. A., Mimikou M. A. 2005. Climate Change Impacts on the Water Supply of Thessaloniki. International Journal Of Water Resources Development, nr 2, vol. 21, s. 341-353.

[14] Pawełek J., Kaczor G. 2006. Jednostkowe zużycie wody w gospodarstwie domowym w 8-letnim okresie obserwacji. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich nr 2/1/2006, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, s. 159-170.

[15] Agudelo-Vera C. M., Blokker E. J. M., Büscher C. H., Vreeburg J. H. G. 2014. Analysing the dynamics of transitions in residential water consumption in the Netherlands. Water Science and Technology: Water Supply, vol. 14(5), s. 717-727.

[16] Koral W. 2019. Badania jednostkowego zużycia wody w budownictwie wielorodzinnym. Instal, nr 6, s. 37-40.

[17] Kotlarczyk M., Zawada B. 2007. Analiza rozbiórów ciepłej wody użytkowej. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 5, s. 18-24.

[18] Cholewa T., Siuta-Olcha A., Krukowski I. 2009. Rzeczywiste zużycie wody a wartości przyjmowane przy projektowaniu. [w:] Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej, tom 2, pod redakcją: Janusza Ozonka, Artura Pawłowskiego, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska vol. 59, s. 9-16.

[19] Wałęga A., Bergel T. 2009. Zastosowanie metod data mining w prognozowaniu zużycia wody na cele bytowe w gospodarstwach wiejskich. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 5, s.183-195.

[20] Ogiółda E., Kozaczek M. 2013. Charakterystyka zużycia wody w systemach wodociągowych „Wilków” i „Borek” w gminie Głogów. Inżynieria Środowiska nr 32, s. 69-77.

[21] Piasecki A., Jurasz J. 2015. Urbanizacja a stan gospodarki wodno-ściekowej na przykładzie obszaru podmiejskiego Torunia. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 15, z. 4 [52], s. 19-28.

[22] Bergel T., Kotowski T., Woyciechowska O. 2016. Daily water consumption for household purposes and its variability in a rural household. Journal of Ecological Engineering, vol. 17, s. 47-52.

[23] Bergel T., Szeląg B., Woyciechowska O. 2017. Influence of a season on hourly and daily variations in water demand patterns in a rural water supply line – case study. Journal of Water and Land Development, no. 34 (VII-IX), s. 59-64.

[24] Ramm-Szatkiwicz K. 2014. Analiza baz danych zapisów wodomierzy dla potrzeb dynamicznego modelowania rozbiórów w Warszawie. Rozprawa doktorska. Politechnika Świętokrzyska, Kielce.

[25] Ciechanowski Z., Matakiewicz M., Pomianowski K. 1914. Zasady budowy wodociągów. Podręcznik do użytku inżynierów i słuchaczy Inżynierii Łądowej i Wodnej Politechniki Lwowskiej. Wyd. Lwów Czcionkami Drukarni Udziatowej, Lwów.

[26] Zarządzenie nr 1 Ministra Rolnictwa z dnia 05.01.1966 w sprawie wytycznych do obliczenia zapotrzebowania wody w wiejskich jednostkach osadniczych, Dz. Bud. 1967 nr 3 poz. 13.

[27] Szpindor A. 1992. Zaopatrzenie w wodę i kanalizacja wsi. Wyd. Arkady. ISBN 83-213-3968-9.

[28] Sawicki W. 1982. Wodociągi i kanalizacje. Wyd. PWRiL, Warszawa.

[29] Gabryszewski T. 1983. Wodociągi. Wyd. Arkady, Warszawa.

[30] Siwoń Z., Bogaczewicz S., Cieżak J. (1984). Analiza zużycia wody w reprezentatywnym osiedlu mieszkaniowym we Wrocławiu. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 10 LVIII.

[31] Ginsbert-Gebert A. 1984. Polityka Komunalna. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne.

[32] Podwójci P. 2011. Nierównomierność zużycia oraz rozbiórów wody w budownictwie wielorodzinnym. Inżynieria Ekologiczna, nr 26, s. 281-289.

[33] Stanisław A. 2007. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. StatSoft.

[34] Płoskonka R., Beńko P. 2014. Daily changes of water demand in the single water system zone in Kraków. Czasopismo Techniczne Środowisko, 1-Ś/2014, s. 35-43.

[35] Wierzbicki R. 2015. Zastosowanie modelowania matematycznego w projektowaniu modernizacji systemów zaopatrzenia w wodę na przykładzie systemu wodociągowego gminy Zator (część II). Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury, t. XXXII, z. 62 (3/1/15), lipiec-wrzesień 2015, s. 511-522.

[36] Kępa U., Stępiński L., Stańczyk-Mazanek E. (2013). Analiza zużycia wody i zmienności rozbiórów dla obszaru zasilania Kawie Góry na terenie miasta Częstochowy. Rocznik Ochrony Środowiska, t. 15, s. 2546-2562.

[37] AWWA (American Water Works Association) 2008. Distribution System Requirements for Fire Protection – Manual of Water Supply Practices. 4th Ed. AWWA, USA.