

# Zmienność maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych

Variability of maximum hourly hot water consumption in multi-family residential buildings

WŁADYSŁAW SZAFLIK, JERZY NEJRANOWSKI

DOI 10.36119/15.2023.6.4

W artykule przedstawiono sposób wyznaczania maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody o określonym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi z uwzględnieniem liczby mieszkańców, w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Przyjęto, że maksymalny godzinowy pobór wody przez pojedynczego mieszkańca budynku jest zmienną losową o rozkładzie normalnym o wartości oczekiwanej  $\bar{q}_{i,max}$  i odchyleniu standardowym  $S_{\bar{q}_{i,max}}$ . Następnie przyjmując przyjęte założenia określono parametry rozkładu maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody. W tym celu wykorzystano wyniki przeprowadzonych pomiarów zużycia wody przez mieszkańców siedmiu budynków mieszkalnych zlokalizowanych na kilku osiedlach mieszkaniowych w Szczecinie. Znajomość parametrów rozkładu umożliwia określenie zmienności wartości jednostkowego zużycia w zależności od prawdopodobieństwa. Znając je obliczono średni jednostkowy pobór wody o 90%, 95%, 99% i 99,9%, prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi wartościami w zależności od liczby mieszkańców budynku. Otrzymane wyniki przedstawiono na wykresie. *Słowa kluczowe: instalacje wodociągowe, zużycie wody, jednostkowy pobór wody*

The article presents a method for determining the maximum hourly hot water consumption with specified probability of occurrence taking into account the number of inhabitants in multi-family residential buildings. It was assumed that the maximum hourly water demand per single resident of the building is a random variable with a normal distribution with the expected value of  $\bar{q}_{i,max}$  and the standard deviation of  $S_{\bar{q}_{i,max}}$ . Then, based on these assumptions, the parameters of the distribution of the maximum hourly hot water demand were determined. For this purpose, the results of water consumption measurements by residents of seven residential buildings located in several housing estates in Szczecin were used. Knowledge of the distribution parameters allows for determining the variability of the unit consumption value depending on the probability. Using this information, the average unit water demand was calculated for probabilities of 90%, 95%, 99%, and 99.9%, along with lower values depending on the number of building inhabitants. The results obtained are presented in a graph.

*Keywords: water supply systems, water consumption, unit water intake*

## Oznaczenia:

- $f$  – funkcja gęstości prawdopodobieństwa,  
 $F$  – dystrybuanta,  
 $i$  – dotyczący lokatora „i”,  
 $k$  – dotyczący budynku „k”,  
 $m$  – liczba lokatorów,  
 $n$  – liczba dób pomiaru,  
 $q_k$  – średni pobór dobowy ciepłej wody w budynku [ $m^3/\text{dobę}$ ],  
 $q_{k,max}$  – maksymalny godzinowy pobór ciepłej wody w budynku „k” [ $dm^3/\text{godz.}$ ],  
 $\bar{q}_i$  – średni pobór dobowy ciepłej wody przez jednego mieszkańca, [ $dm^3/(\text{mieszkańca} \times \text{dobę})$ ],  
 $r$  – współczynnik korelacji [–],

- $q_{i,max}$  – pobór maksymalny godzinowy ciepłej wody przez jednego mieszkańca, [ $dm^3/(\text{mieszkańca} \times \text{godz.})$ ],  
 $S_{\bar{q}_i}$  – odchylenie standardowe średniego dobowego poboru wody przez jednego mieszkańca, [ $dm^3/(\text{osobę} \times \text{dobę})$ ],  
 $z_\alpha$  – wartość określona z tablic zastandaryzowanego rozkładu normalnego dla wartości dystrybuanty  $\alpha$ ,  
 $\alpha$  – prawdopodobieństwa występowania wraz z niższymi  
 $\pi$  – stała matematyczna,

## Wprowadzenie

Każdy mieszkaniec budynku i każda rodzina korzystają z instalacji wody w swój

indywidualny, właściwy dla siebie sposób. Ilość zużytej wody przez każdego lokatora, czas poboru, godzina poboru jest rzeczą indywidualną i zależy od wielu czynników – jest zagadnieniem losowym. Na zużycie wody w budynku przez jednego mieszkańca wpływa wiele czynników [4, 8, 16]. Można je podzielić na dwie grupy, pierwsza związana jest z charakterystyką instalacji wodociągowej budynku, druga natomiast zależy od osób zamieszkujących budynek. Do czynników związanych z budynkiem i instalacją można zaliczyć:  
 – istnienie w budynku instalacji ciepłej wody,  
 – zmiany klimatu i strefę klimatyczną w której znajduje się budynek [7],

prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik, <https://orcid.org/0000-0003-3767-8766>, [szaflik@zut.edu.pl](mailto:szaflik@zut.edu.pl),

dr inż. Jerzy Nejrzanowski <https://orcid.org/0000-0002-1836-2937> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ciepłownictwa, Szczecin, [jerzynej@zut.edu.pl](mailto:jerzynej@zut.edu.pl)

- wyposażenie mieszkań w urządzenia pobierające wodę,
- sposób rozliczania mieszkańców za zużyty wodę,
- ciśnienie przed punktami czerpalnymi,
- rozwiązanie i wyposażenie instalacji [1, 5, 8].

Do czynników związanych z osobami zamieszkującymi budynek zaliczyć można:

- liczbę lokatorów w poszczególnych mieszkaniach,
- przyzwyczajenia i czynności poszczególnych mieszkańców związane z korzystaniem z instalacji wodnej,
- rodzaj dnia (dzień roboczy, wolny od pracy, świąteczny),
- strukturę demograficzną mieszkańców,
- strukturę społeczną mieszkańców,
- czas przebywania w lokalu mieszkalnym (praca i zajęcia pozadomowe mieszkańców),
- stopę życiową mieszkańców,
- nawyki higieniczne mieszkańców i ich sytuację zdrowotną [10],
- zachowania mieszkańców związane z porą dnia, roku, i warunkami meteorologicznymi,
- atrakcyjność programów telewizyjnych.

Istotny wpływ na pobór wody ma cena wody [5, 15]. Średnie zużycie wody zmienia się też na przestrzeni lat [3, 4, 9, 10, 16].

Wymienione powyżej czynniki wpływają w sposób losowy na wartości poboru wody przez każdego indywidualnego lokatora w dłuższym czasie i w ten sposób na wartość maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody w budynku. Można przyjąć, że maksymalne godzinowe zużycie wody przez jednego mieszkańca jest zmienną losową.

Analizując wyniki pomiarów w poszczególnych budynkach można zauważyć, że maksymalne godzinowe zużycie wody w budynkach o mniejszej liczbie mieszkańców jest bardziej zmienne niż w budynkach o ich większej liczbie [17].

Literatura na temat zużycia wody w budynkach mieszkalnych i jego modelowania jest bogata. Niestety pozycji dotyczących przedstawionego zagadnienia jest niewiele. Poniżej przedstawiono wybrane artykuły najbliższe analizowanej tematyki. Ciekawa jest pozycja [14], przedstawiono w niej analizę ponad 20 artykułów z ostatnich lat dotyczących badania zachowań związanych z konsumpcją wody w społeczeństwie. W artykule [15] dotyczącym szacowania zużycia wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych przedstawiono wyniki zużycia wody w 30 budynkach o różnej specyfice. W latach dziewięćdziesiątych prowadzono szerokie badania zużycia wody

w budynkach mieszkalnych w Wielkiej Brytanii. W pracy [6] przedstawiono wyniki z pierwszego roku tych badań.

W pracy [3] zaproponowano symulację stochastyczną do modelowania zapotrzebowania na wodę w budynkach mieszkalnych. W pozycji [13] przedstawiono zastosowanie metody Monte-Carlo do symulacji poboru. Przedstawiony w niej model został zweryfikowany przy wykorzystaniu przeprowadzonych badań zużycia wody przez użytkowników 60 lokali mieszkalnych. W pozycji [17] przedstawiono sposób wyznaczania maksymalnego godzinowego poboru wody o określonym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Nie uwzględniono w nim wpływu liczby mieszkańców na wielkość poboru o określonym prawdopodobieństwie. W pracy [12] przedstawiono analizę zapotrzebowania na wodę w budynku mieszkalnym, biorąc pod uwagę normy zużycia wody w Polsce, Czechach, Rumunii, Słowacji i Ukrainie.

Autorzy przeglądając literaturę nie spotkali się z uwzględnieniem wpływu losowości procesu poboru wody na wartość maksymalnego jednostkowego poboru ciepłej wody. W niniejszym artykule przedstawiono probabilistyczną metodę umożliwiającą określanie parametrów rozkładu opisującego zmienność jednostkowego godzinowego zużycia wody, uwzględniającą liczbę lokatorów budynku, na podstawie wyników pomiarów zużycia wody w budynkach.

## Opis przyjętego modelu

Maksymalny godzinowy pobór zależy od wielu czynników, najważniejsze z nich wymieniono we wstępie. Można przyjąć hipotetyczne założenie, że maksymalny godzinowy pobór ciepłej wody jest sumą jednostkowych maksymalnych poborów przypadających na pojedynczego mieszkańca budynku opisanych rozkładem normalnym o wartości oczekiwanej  $\bar{q}_i$  i odchyleniu standardowym  $S_{\bar{q}_i}$ . Gęstość tego rozkładu jest określona zależnością (1) a dystrybuanta równaniem (2) [2]:

$$f(q_{i \max}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(q_{i \max} - \bar{q}_i)^2}{S_{\bar{q}_i}^2}\right) \quad (1)$$

$$F(q_{i \max}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{q_i} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(q_{i \max} - \bar{q}_i)^2}{S_{\bar{q}_i}^2}\right) dq_{i \max} \quad (2)$$

Rozkład normalny ma tę właściwość, że zmienna będąca sumą zmiennych o rozkładzie normalnym ma również rozkład normalny [2]. Przy znajomości parametrów rozkładu, na podstawie przedstawionej powyżej właściwości rozkładu normalnego, można określić parametry rozkładu opisującego zmienność sumy  $m$  pojedynczych poborów wody. Wynoszą one odpowiednio:

$$\bar{q}_{m \max} = m\bar{q}_{i \max} \quad (3)$$

$$S_{\bar{q}_{m \max}}^2 = mS_{\bar{q}_i}^2 \quad (4)$$

$$S_{\bar{q}_{m \max}} = \sqrt{m}S_{\bar{q}_i} \quad (4a)$$

Na podstawie tych zależności określono parametry rozkładu opisującego zmienność jednostkowego maksymalnego godzinowego poboru wody dla budynku zasiedlonego przez  $m$  mieszkańców:

$$\bar{q}_{i \max}(m) = \frac{m\bar{q}_{i \max}}{m} = \bar{q}_{i \max} \quad (5)$$

$$S_{\bar{q}_{i \max}}(m) = \frac{\sqrt{m}S_{\bar{q}_i}}{m} = \frac{S_{\bar{q}_i}}{\sqrt{m}} \quad (6)$$

Stosowane modele zakładają stałą wartość maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody dla przyjętej liczby mieszkańców. Zaletą proponowanego modelu w stosunku do stosowanych dotychczas jest możliwość określenia wartości tego poboru w zależności od przyjętego prawdopodobieństwa występowania i liczby lokatorów budynku. Umożliwia to dalsze analizy z uwzględnieniem ryzyka związanego z wielkością poboru.

## Charakterystyka badanych obiektów i pomiarów

Obiektami, w których przeprowadzono pomiary zużycia wody, były budynki zbudowane w technologii wielkopłytywowej, na osiedlach mieszkaniowych zlokalizowanych w Szczecinie w województwie zachodniopomorskim.

Mieszkania były wyposażone w łazienki, w których znajdują się wanny lub natryski, umywalki i pralki (najczęściej automatyczne). Natomiast wszystkie kuchnie wyposażono w zlewy kuchenne, w części kuchni zainstalowano zmywarki. Instalacja była wyposażona w wodomierze mieszkaniowe.

Badane budynki są zaopatrywane w wodę przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Szczecinie, ciepła woda jest przygotowywana w węzłach ciepłowniczych.

Analiza została przeprowadzona na podstawie pomiarów własnych z pierwszej dekady XXI wieku w siedmiu budynkach mieszkalnych. Analizowane wyniki dotyczyły od 32 do 39 (średnio 36) kolejnych dni i obejmowały obiekty, w których zamieszkiwało łącznie 1001 mieszkańców. Liczba mieszkańców określona została przez Spółdzielnię na podstawie liczby osób zgłoszonych przez lokatorów administracji danej nieruchomości i zmieniała się w przedziale od 35 do 254 osób. Rzeczywista liczba osób zamieszkujących w poszczególnych budynkach i korzystających z wody jest praktycznie niemożliwa do ustalenia.

Podstawowe dane budynków przedstawiono w tabeli 1.

Podczas pomiarów instalacje oraz węzły podlegały standardowemu dozоровi i obsłudze pracowników Administracji SM oraz Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej.

Pobór ciepłej wody określano na podstawie pomiaru ilości wody zimnej dopływającej do węzłów c.w. za pomocą przenośnego przepływomierza ultradźwiękowego z rejestratorem do pomiarów przepływów szybkozmiennych cieczy typu UNIFLOW 1010EP3 firmy Controlotron. Oszacowany błąd względny pomiarów wynikający z właściwości przepływomierza i zastosowanego sposobu pomiaru nie przekraczał 2,5%.

Pomiary prowadzono we wszystkie dni tygodnia (robocze, wolne i świąteczne) przez co najmniej 30 dób. Rejestracja wyników odbywała się co pięć sekund z zapisem w formie cyfrowej.

**Tabela 1. Podstawowe dane budynków, w których prowadzono pomiary poborów**  
**Table 1. Basic data of the buildings where the demand measurements were carried out**

Lp.	Obiekt	Liczba mieszkań m	Liczba mieszkańców M	M/m
1	Budynek 1	12	35	2,9
2	Budynek 2	28	93	3,3
3	Budynek 3	32	114	3,6
4	Budynek 4	36	109	3,0
5	Budynek 5	50	186	3,7
6	Budynek 6	80	254	3,2
7	Budynek 7	97	210	2,2
Suma		323	1001	Średnia = 3,1

## Metodyka opracowania wyników pomiarów

Na początku dla każdego badanego obiektu, z klasycznych równań, określono wartość średnią zużycia i odchylenie standardowe. Następnie, korzystając z podanej przez Administrację Spółdzielni liczby mieszkańców w analizowanych budynkach, obliczono średnie zużycie wody w ciągu doby przez jedną osobę dla każdego budynku „k”:

$$\bar{q}_{i,k} = \frac{Q_k}{m_k} \quad (7)$$

Podobnie dla każdego budynku „k” obliczono pobór maksymalny godzinowy przypadający na jednego mieszkańca wykorzystując zależność (3).

$$\bar{q}_{i, \max h_k} = \frac{q_{i, \max h_k}}{m_k} \quad (8)$$

Odchylenie standardowe jednostkowe maksymalnego godzinowego poboru wody dla budynku obliczono ze wzoru (6).

Następnie określono średnie ważone jednostkowe maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody i odchylenia standardowego.

Dla określenia poborów maksymalnych godzinowych w dobie, od jej początku, sumowano 720 kolejnych wartości poborów pięciosekundowych. Tak otrzymane wartości porządkowano i wybrano dla każdej doby wartość największą.

Na początku przeprowadzono analizę w jakich dniach najczęściej występują największe pobory godzinowe. Z każdego obiektu wybrano po pięć największych wartości w badanych dobach z określeniem dnia tygodnia ich występowania.

Następnie, dla poszczególnych obiektów, przeanalizowano związki pomiędzy rozbiórami maksymalnymi godzinowymi a rozbiórami dobowymi i obliczono współczynniki korelacji.

Znajomość średniej wartości jednostkowego maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody  $\bar{q}_{i, \max}$  oraz jego odchylenia standardowego  $S_{\bar{q}_{i, \max}}$  pozwala na określenie wartości średniej jednostko-

wego odchylenia standardowego dla populacji o dowolnej liczebności osób  $S_{q_i}(m)$  i umożliwia obliczenie maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody o dowolnym prawdopodobieństwie zużycia wraz z mniejszymi przez jedną osobę z tej populacji z przedstawionej powyżej zależności (6).

W celu obliczenia wartości jednostkowej maksymalnego godzinowego zużycia wody o określonym prawdopodobieństwie wraz z niższymi w zależności od liczby

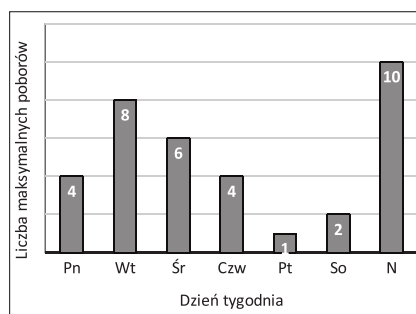
mieszkańców budynku, wykorzystano zależność dotyczącą standaryzowania rozkładu normalnego:

$$q_{i, \max h, \alpha}(m) = \bar{q}_{i, \max h} + z_{\alpha} S_{\bar{q}_{i, \max h}}(m) \quad (9)$$

W dalszej kolejności na podstawie przedstawionego modelu dla budynków o danej liczbie mieszkańców określono jednostkowe maksymalne godzinowe zużycie ciepłej wody.

## Wyniki badań

Na początku przeprowadzono analizę w jakich dniach najczęściej występują największe pobory godzinowe. Z każdego obiektu wybrano po pięć największych wartości w badanych dobach z określeniem dnia tygodnia ich występowania. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 1.



**Rys. 1. Dni występowania największych poborów godzinowych w badanych budynkach**  
**Fig. 1. Days of occurrence of the highest hourly consumption in the examined buildings**

Otrzymano łącznie 35 wartości i okazało się, że najczęściej pobory maksymalne godzinowe występowały w niedzielę (ponad 28% wartości), następnie we wtorek (niemal 23%). Natomiast najrzadziej pobory te występowały w piątek (niecałe 3%) oraz soboty (niecałe 6%).

Następnie, dla poszczególnych obiektów, przeanalizowano związki pomiędzy rozbiórami maksymalnymi godzinowymi a rozbiórami dobowymi dla budynków.

**Tabela 2. Korelacja pomiędzy poborami przypadającymi na jednego mieszkańca: maksymalnym godzinowym i średnim dobowym**  
**Table 2. Correlation between consumption per resident: maximum hourly and average daily**

Lp.	Obiekt	Średnie pobory jednostkowe		Współczynnik korelacji
		dobowy [dm <sup>3</sup> /(Mxd)]	maks. godzinowy [dm <sup>3</sup> /(Mxh)]	
1	Budynek 1	52,8	8,5	0,51
2	Budynek 2	55,3	7,3	0,28
3	Budynek 3	32,7	4,0	0,55
4	Budynek 4	45,0	5,1	0,18
5	Budynek 5	50,5	5,0	0,64
6	Budynek 6	65,3	5,8	0,51
7	Budynek 7	49,0	5,4	0,38

Dla poszczególnych budynków obliczono wartości współczynników korelacji pomiędzy tymi wartościami. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Większość współczynników korelacji (5 wartości) mieści się w przedziale od 0,18 do 0,51, dwie wartości są trochę wyższe (0,55 i 0,64) od 0,5 można więc stwierdzić, że korelacja pomiędzy przypadającymi na jednego mieszkańca poborem maksymalnym godzinowym i średnim dobowym jest słaba.

Na rysunku 2 pokazano dla dwóch budynków (o najmniejszej i największej liczbie mieszkańców) otrzymane z pomiarów jednostkowe maksymalne godzinowe

mieszkańców w budynku na tle wartości maksymalnych godzinowych poborów zarejestrowanych w badanych obiektach (kolumny czarnych kropek). Na wykresach widać wyraźną tendencję zmniejszania się rozrzutu maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody wraz liczbą mieszkańców. Natomiast dla średniej z wartości zarejestrowanych podczas pomiarów zauważono tendencję do zmniejszania się jednostkowego poboru maksymalnego godzinowego wraz ze wzrostem liczby mieszkańców w budynku. Najbardziej odstają w dół średnie z pomierzonych wartości dla budynków o liczbie mieszkańców 109 (średnia jest najniżej) 114 i 186.

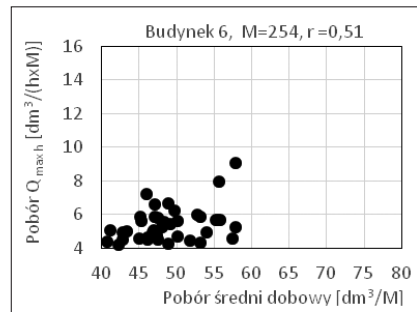
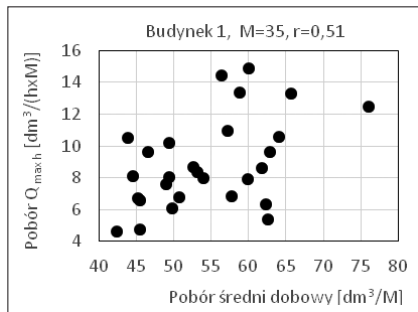
wynoszący 18 godzin w ciągu doby jak w PN-92/B-01706 [19]:

$$K_h = \frac{q_{max,h}}{q_{sr,h}} \quad (8)$$

Otrzymane wartości współczynników przedstawiono na rysunku 4. Na rysunku tym pokazano również wartości współczynnika  $K_h$  określonego na podstawie wytycznych projektowania zawartych w Zarządzeniu Nr 47 Ministra Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 10 sierpnia 1974 roku [18] oraz współczynnika  $N_h$  polskiej normy dotyczącej projektowania instalacji wodociągowych PN-92/B-01706 [19].

Można zauważyć, że dla prawdopodobieństwa większego od 50% w miarę zwiększania liczby mieszkańców wartość współczynnika nierównomierności godzinowej maleje. Wartości współczynnika zawarte w wytycznych projektowania dla każdej liczby mieszkańców są wyższe niż w polskiej normie PN-92/B-01706, zawierają się one pomiędzy krzywymi określonymi w pracy o prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi wynoszącymi odpowiednio 90% i 99,9%.

Dla danej liczby mieszkańców pobór maksymalny godzinowy i wartości współczynnika nierównomierności godzinowej o wyższym prawdopodobieństwie występowania są większe niż o niższym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi.



**Rys. 2.** Zależność pomiędzy poborami przypadającymi na jednego mieszkańca: maksymalnego godzinowego i średniego dobowego w budynku o najmniejszej i największej liczbie mieszkańców  
**Fig. 2.** The relationship between consumption per resident: maximum hourly and average daily in the building with the smallest and largest number of residents

pobory ciepłej wody w zależności od jednostkowych dobowych poborów. Można zauważyć, że występują różnice, dla większej liczby mieszkańców jest mniejszy rozrzut wyników, są one bardziej skupione.

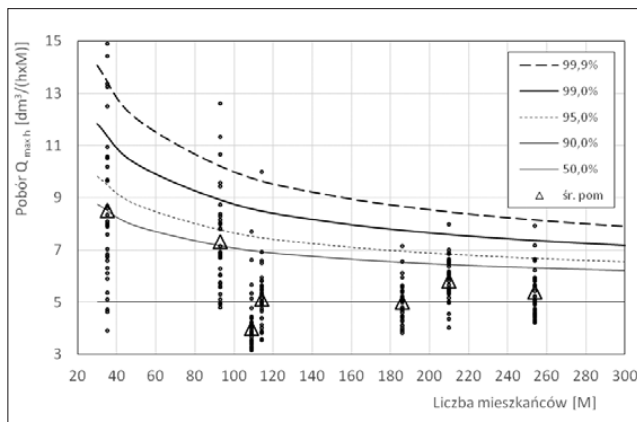
Na rysunku 3 pokazano jednostkowe pobory maksymalne godzinowe o różnym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi w zależności od liczby

Związane to jest z różnicami pomiędzy populacjami zamieszkującymi poszczególne budynki.

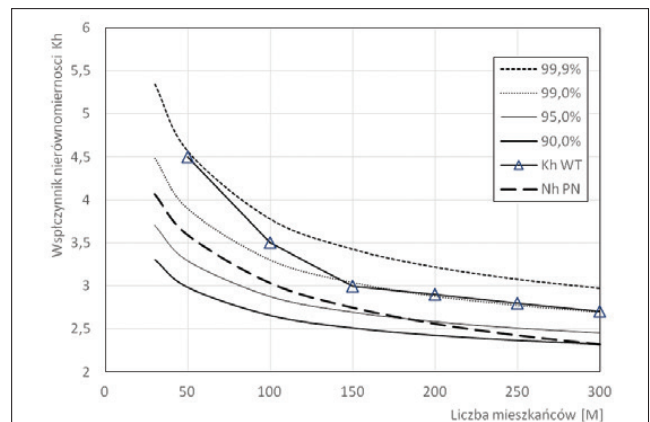
Następnie określono wartości współczynników nierównomierności godzinowej o różnej wartości prawdopodobieństwa występowania wraz z niższymi. Obliczono je na podstawie zależności definicyjnej, gdzie  $q_{sr,h}$  przyjmując czas poboru wody

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki i sposób wyznaczania jednostkowego maksymalnego godzinowego poboru ciepłej



**Rys. 3.** Jednostkowe pobory maksymalne godzinowe o różnym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi, w zależności od liczby mieszkańców w budynku na tle wartości poborów maksymalnych godzinowych pomierzonych w badanych obiektach (kolumny czarnych kropek)  
**Fig. 3** Unit maximum hourly demands with different probabilities of occurrence with lower values, depending on the number of residents in the building, compared to the value of maximum hourly intakes measured in the examined buildings (black dots columns)



**Rys. 4.** Wartości współczynnika nierównomierności godzinowej dla różnych prawdopodobieństw występowania wraz z niższymi, określone przez autorów oraz zawarte w wytycznych projektowania (WT) [18] i w normie PN-92/B-01706 [19] w funkcji liczby mieszkańców  
**Fig. 4.** The values of the hourly unevenness coefficient for different coefficient with lower values, as determined by authors and included in design guidelines (WT) [18] and in Polish standard (PN-92/B-01706 [19] as a function of the number of residents

wody o określonym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi na podstawie badań zużycia wody. Założono, że maksymalny godzinowy pobór ciepłej wody przez pojedynczego mieszkańca budynku jest zmienną losową o rozkładzie normalnym o wartości oczekiwanej  $\bar{q}_{j, max}$  i odchyleniu standardowym  $S_{q_{j, max}}$  i przyjęto założenia umożliwiające określenie tych parametrów. Następnie wykorzystując wyniki przeprowadzonych badań zużycia wody w siedmiu budynkach wyznaczono parametry tego rozkładu. W tym celu wykorzystano wyniki pomiarów zużycia ciepłej wody w okresach pięciosekundowych w okresach ponad miesięcznych, przez mieszkańców siedmiu budynków mieszkalnych zlokalizowanych na kilku osiedlach mieszkaniowych w Szczecinie zamieszkałych przez 1001 osoby.

Znając parametry obliczono średni jednostkowy maksymalny godzinowy pobór ciepłej wody wraz z niższymi o określonym prawdopodobieństwie występowania w zależności od liczby mieszkańców budynku. Wyniki obliczeń przedstawiono na wykresach.

Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki można stwierdzić:

- najczęściej pobory maksymalne godzinowe występowały w niedzielę (ponad 28% wartości), następnie we wtorki (niemal 23%). Natomiast najrzadziej pobory te występowały w piątki (niecałe 3%) oraz soboty (niecałe 6%),
- wraz ze wzrostem liczby mieszkańców w budynku maleje rozrzut wartości jednostkowego maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody,
- również wraz ze wzrostem liczby mieszkańców następuje zmniejszanie się jednostkowego poboru maksymalnego godzinowego,
- zaproponowany probabilistyczny

model jednostkowego maksymalnego godzinowego poboru ciepłej wody uwzględnia zmienność jednostkowego maksymalnego godzinowego poboru i umożliwia jego obliczenie dla budynków o różnej liczbie mieszkańców i określonym prawdopodobieństwie występowania,

- im większa liczba mieszkańców budynku tym, dla danego prawdopodobieństwa występowania wraz z niższymi, wartości poboru maksymalnego godzinowego i wartości współczynnika nierównomierności godzinowej są mniejsze.

#### LITERATURA

- [1] Behling P. J., Bartilucci N. J.: Potential Impact of Water Efficient Plumbing Fixtures on Office Water Consumption. Journal – American Water Works Association. Vol. 84, 01 October 1992
- [2] Beniamin J. R., Cornell C. A.: Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers. Mc Graw-Hill, 1970.
- [3] Ferreira T. D. V. G., Goncalves. O. M. Stochastic simulation model of water demand in residential buildings. Building Services Engineering Research and Technology Volume 41, 2020, Pages 544-560.
- [4] Ghavidelfar S., Shamseldin A. Y., Melville B. W.: A Multi-Scale Analysis of Low-Rise Apartment Water Demand through Integration of Water Consumption, Land Use, and Demographic Data. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 52, 15 July, 2016.
- [5] Grafton R. Q., Ward M. B., Hang T., Kompas T.: Determinants of residential water consumption: Evidence and analysis from a 10-country household survey. Water Resources Research. Volume 47, Issue 8, August 2011.
- [6] Edwards A., Martin L.: A Methodology for Surveying Domestic Water Consumption. Water and Environment Journal Volume 9, Issue 5, 1995.
- [7] House-Peters L., Pratt B., Chang H.: Effects of Urban Spatial Structure, Sociodemographics, and Climate on Residential Water Consumption in Hillsboro, Oregon. Journal of the American Water Resources Association. Vol 46, 07 June, 2010.
- [8] Englart S., Jedlikowski A.: the influence of dife-

rent water efficiency ratings of taps and mixers on energy and water consumption in buildings. SN Applied Sciences. 1(6); Springer International Publishing, 2019.

- [9] Jaszewska M., Szafflik W.: Zużycie ciepłej i zimnej wody w gospodarstwach domowych w Szczecinie w latach 2006 – 2019. INSTAL 4/2020, str. 22-25.
- [10] Kalbusch A., Henning E., Brikalski M. P., de Luca F. V. (Konrath A. C.): Impact of coronavirus (COVID-19) spread-prevention actions on urban water consumption. Resources Conservation and Recycling. Volume: 163, 2020.
- [11] Kowalski D., Kowalska B., Skwarek M., Czuryło D.: Zmiany wielkości zużycia wody w wybranych krajach europejskich, w latach 1990-2016. INSTAL 6/2019 str. 42-44
- [12] Matsiyevska O., Kapalo P., Vrana J., Jacob C.: Analysis of the Water Consumption in the Apartment House – Case Study. International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2020: Proceedings of EcoComfort 2020 pp 294-302.
- [13] Mui K. W., Wong L. T., Law L. Y.: Domestic water consumption benchmark development for Hong Kong. Building Serv. Eng. Res. Technol. 28,4 (2007) pp. 329-335.
- [14] Shamin M. A., Cheema F. A., Omer M.: The Study of Water Consumption Behavior Under the Societal, Industrial and Environmental Dynamics: A Confirmatory Analysis from the Metropolitan City of Karachi. South Asian Journal of Management Sciences Vol: 14(2)/2020: 159-186.
- [15] de Souza C. Kalbusch A. Estimation of water consumption in multifamily residential buildings. Acta Scientiarum Technology. vol 39/2017 str. 161.168.
- [16] Stec A.: Demand for Water in the Building. Sustainable Water Management in Buildings. Water Science and Technology Library, volume 90, 2019, pp 21-32.
- [17] Szafflik W.: Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych. Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”. Warszawa 2011.
- [18] Zarządzenia Nr 47 Ministra Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 10 sierpnia 1974 roku w sprawie wytycznych projektowania instalacji centralnej ciepłej wody w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym. Dziennik Budownictwa Nr 6 z dnia 12.10.1974.
- [19] PKN: PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe Wymagania w projektowaniu