

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie



Jerzy Nejranowski

Pobory chwilowe wody z instalacji w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych

Szczecin 2021

Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

Jerzy Nejranowski

**Pobory chwilowe wody
z instalacji w budynkach
mieszkalnych wielorodzinnych**

Szczecin 2021

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Halina Koczyk

dr hab. inż. Dariusz Kowalski, prof. uczelni

Opracowanie redakcyjne

Alicja Berner

Skład komputerowy

Marek Szukało

Monografia została napisana na podstawie rozprawy doktorskiej autora z 2018 roku (J. Nejranowski, Określenie poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych dla potrzeb wymiarowania układów jej przygotowania. Rozprawa doktorska. WBIA ZUT, Szczecin 2018, niepublikowana).

Wydano za zgodą Rektora Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

ISBN 978-83-7663-318-3

Wydawnictwo Uczelniane

Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, al. Piastów 48,
70-311 Szczecin, tel. 91 449-47-60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	5
1. Wstęp	7
2. Przegląd stosowanych metod określania obliczeniowego poboru wody, ze szczególnym uwzględnieniem metod probabilistycznych	13
2.1. Wprowadzenie	13
2.2. Metody stosowane w Niemczech	14
2.3. Metody stosowane w USA	19
2.4. Metody stosowane w Związku Radzieckim	26
2.5. Metody stosowane w Polsce	39
2.6. Podsumowanie	42
3. Uogólniony model poboru chwilowego wody	45
3.1. Założenia ogólne	45
3.2. Sformułowanie modelu	45
3.3. Obliczanie parametrów modelu na podstawie momentów z próby	48
3.4. Prawdopodobieństwo poboru chwilowego dla warunków granicznych	49
3.5. Czas korzystania z instalacji wodociągowej	51
3.6. Podsumowanie	51
4. Estymacja parametrów modelu dla chwilowych poborów ciepłej wody	53
4.1. Pomiary poborów chwilowych ciepłej wody	53
4.1.1. Charakterystyka badanych obiektów	53
4.1.2. Charakterystyka układu pomiarowego	54
4.1.3. Analiza niepewności pomiarów	57
4.2. Wyniki pomiarów	59
4.2.1. Zmienność poborów w ciągu doby	59
4.2.2. Pobory chwilowe a pobory w dłuższych okresach	64
4.2.3. Rzeczywisty czas trwania poboru	72
4.2.4. Wpływ rodzaju dnia tygodnia na pobory maksymalne chwilowe	74
4.3. Określanie parametrów modelu na podstawie próby	77
4.3.1. Wybór analizowanej próby	77
4.3.2. Sprawdzenie zgodności rozkładu teoretycznego z danymi pomiarowymi z doby i z całego okresu pomiarów	78
4.4. Podsumowanie	88

5. Prognozowanie poborów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych	89
5.1. Wartości parametrów modelu uzyskane z pomiarów	89
5.2. Określanie poborów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i ich analiza ...	92
5.3. Określanie parametru λ na podstawie pomiarów eksploatacyjnych zużycia wody	98
5.4. Podsumowanie	100
6. Wnioski	101
Bibliografia	103
Streszczenie	113
Summary	114
Zusammenfassung	115

Wykaz ważniejszych oznaczeń

a	—	współczynnik
b	—	współczynnik
c	—	współczynnik
C	—	liczba kombinacji
d	—	dobowy
D	—	średnica [mm]
D_{max}	—	maksymalna różnica [%]
E	—	wartość oczekiwana
h	—	gęstość rozkładu
H	—	dystrybuanta
i	—	liczba porządkowa
j	—	wartość jednostkowa
K	—	liczba punktów, współczynnik nierównomierności poboru
k	—	chropowatość bezwzględna przewodu [mm]
LU	—	równoważnik wypływu
M	—	liczba mieszkańców
m	—	liczba mieszkań
N	—	liczba punktów czerpalnych
n	—	liczba zaworów
p	—	prawdopodobieństwo
q	—	przepływ [dm^3/s]
S	—	odchylenie od wartości średniej
T	—	czas pomiędzy kolejnymi otwarciem zaworu [s]
t	—	czas poboru z zaworu [s]
u	—	liczba użytkowników
$\dot{v}$	—	strumień pobieranej wody [dm^3/s]
Z	—	równoważnik wypływu
Q	—	dobowe zużycie wody [dm^3/doba]
V	—	wypływ [dm^3/d]
$\dot{V}$	—	strumień objętości [dm^3/s]
Var	—	wariancja
α	—	współczynnik
ϕ	—	współczynnik jednoczesności działania
λ	—	parametr rozkładu wykładniczego

τ	—	czas [s]
ζ	—	współczynnik oporów miejscowych
Θ	—	wartość zmiennej losowej standaryzowanej
Δ	—	różnica, różniczka
Σ	—	suma
δ	—	różniczka
f	—	gęstość rozkładu

1. Wstęp

Dobierając średnice projektowanych przewodów instalacji ciepłej i zimnej wody w budynkach mieszkalnych, należy określić obliczeniowy przepływ wody w chwili o największym zapotrzebowaniu. Średnice przewodów instalacji wodociągowych dobiera się na podstawie przepływu obliczeniowego, przyjmując za kryterium dopuszczalną prędkość lub spadek ciśnienia w przewodzie. Zastosowanie zbyt małych średnic przewodów instalacji może skutkować brakiem komfortu użytkowania związanego z niedostatecznym wypływem wody lub zanikiem wypływu w szczycie poboru oraz hałasem powstającym podczas przepływu wody w przewodach. Przewymiarowanie średnic instalacji prowadzi do niepotrzebnego podwyższenia kosztów inwestycyjnych.

Obecnie w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych projektuje się bezzasobnikowe układy podgrzewania ciepłej wody. Wydajność podgrzewacza przepływowego w takim przypadku powinna zapewnić dostateczne podgrzanie strumienia wody pobieranej przez lokatorów. Również w tym przypadku istotne jest określenie strumienia ciepłej wody w chwili o największym zapotrzebowaniu. Znajomość maksymalnych poborów chwilowych i ich zmienności i korelacji z poborami maksymalnymi z nieco dłuższych okresów mogą być pomocne w doborze układów pompowych i określaniu algorytmu sterowania nimi.

Należy podkreślić, że proces poboru wody jest procesem losowym. Maksymalne chwilowe strumienie wody pobierane z instalacji są zmienne i zależą od wielu czynników [111]. Można wśród nich wyróżnić czynniki związane z charakterystyką obiektu oraz czynniki związane ze społecznością zasiedlającą budynek.

Do czynników związanych z obiektem zaliczyć można:

- liczbę mieszkań i ich wyposażenie w urządzenia pobierające ciepłą wodę,
- sposób rozliczania za wodę (ilościowy czy ryczałtowy),
- ciśnienie w sieci wodociągowej,
- właściwości instalacji rozprowadzającej wodę.

Do czynników związanych ze społecznością zasiedlającą budynek zaliczyć można:

- liczbę osób w poszczególnych mieszkaniach;
- przyzwyczajenia i czynności mieszkańców związane z porą dnia i rodzajem dnia (dzień roboczy, dzień wolny od pracy, dzień świąteczny);
- strukturę demograficzną mieszkańców;
- strukturę społeczną mieszkańców i związany z nią czas i rodzaj pracy;

- stopę życiową mieszkańców i ich nawyki higieniczne;
- zachowanie mieszkańców związane z porą roku i warunkami meteorologicznymi;
- atrakcyjność programów telewizyjnych itp.

Dla przykładowego budynku, o $N = 160$ punktów poboru ciepłej wody i liczbie mieszkańców $M = 187$ osób, na rysunku 1.1 przedstawiono pobory chwilowe (pobory pomierzone jako średnia z 5 sekund) zarejestrowane w ciągu doby w dniu roboczym (środa) i w dniu wolnym od pracy (sobota).

Ze względu na dobór średnic przewodów instalacji istotne jest określenie wielkości maksymalnych poborów i dni, w których one występują. Na rysunku 1.2 przedstawione powyżej pobory pięciosekundowe uporządkowano od wartości największej do wartości najmniejszej. Analizując wykresy uporządkowane, można zauważyć, że dla obu dni początkowe części krzywych poboru (dla dwóch pierwszych godzin) są niemal identyczne. Wynika to z losowości korzystania z wody w czasie procesu poboru. Można więc przyjąć, że maksymalne krótkotrwałe pobory zależą głównie od liczby punktów czerpalnych i dostępności do nich.

Z innych analiz [111] wynika, że pobory maksymalne krótkotrwałe (do godziny) są nieskorelowane z poborami dobowymi; współczynnik korelacji jest tym mniejszy, im krótszego okresu dotyczy pobór krótkotrwały.

Spotyka się w literaturze określenia: obliczeniowy przepływ wody, maksymalny rozbiór wody [73] miarodajne zużycie (rozbiór) wody [26, 27]. Miarodajny chwilowy przepływ wody na potrzeby doboru średnic przewodów wodociągowych nazywa się przepływem obliczeniowym.

Określanie obliczeniowego przepływu wody dla instalacji wewnętrznej polega na ustaleniu miarodajnego przepływu związanego z największym jej konsumpcyjnym zużyciem [74].

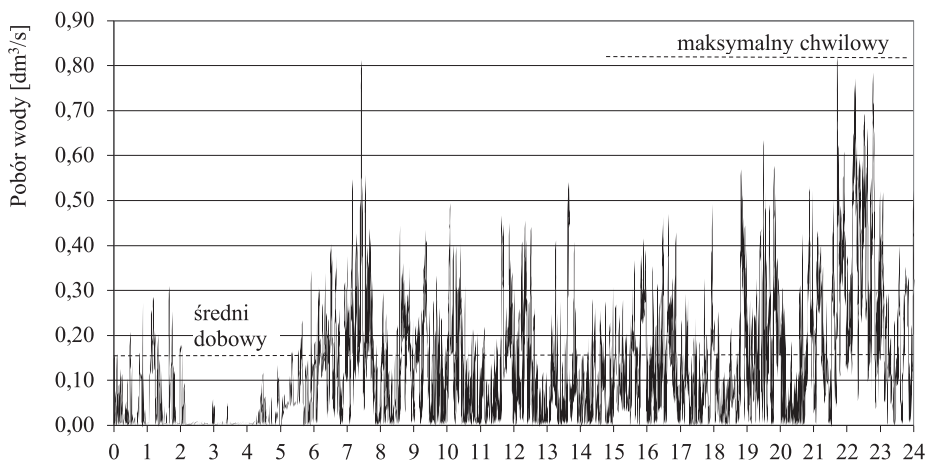
W normie PN-92/B-01706 przepływ obliczeniowy został nazwany umowną wartością strumienia objętości lub strumienia masy wody wyznaczonej dla warunków uznanych za obliczeniowe w danym fragmencie instalacji [79].

Można stwierdzić, że w literaturze nie zdefiniowano jednoznacznie sekundowego lub chwilowego natężenia przepływu wody.

Według autora niniejszej publikacji wydaje się za celowe przyjąć, że – zgodnie z nazwą – pobór chwilowy sekundowy jest to pobór z bardzo krótkiego okresu. Autor proponuje przyjęcie 5 sekund na określenie tego czasu.

Dalej w publikacji termin „pobór chwilowy” będzie oznaczał wartość poboru średniego z okresu 5 sekund.

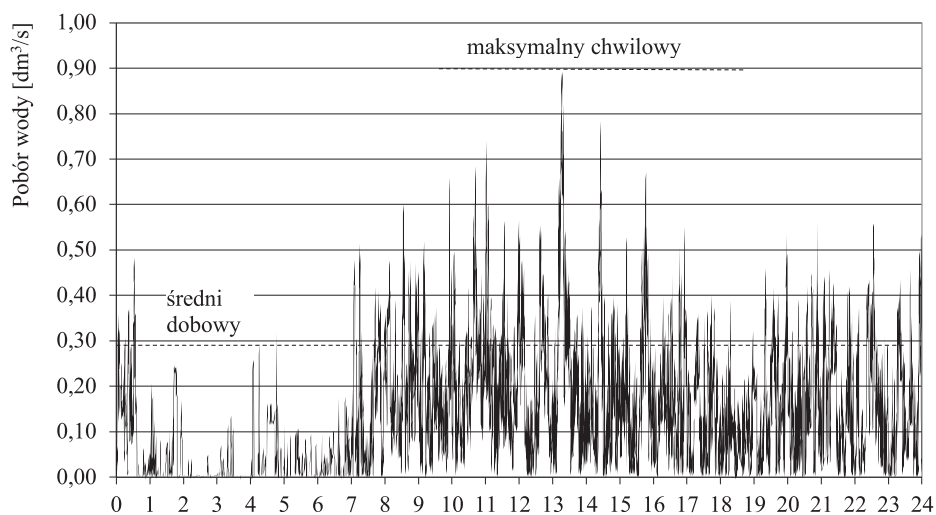
Pobory chwilowe; środa 13.03.2002, M = 187, N = 160



a)

Godziny doby

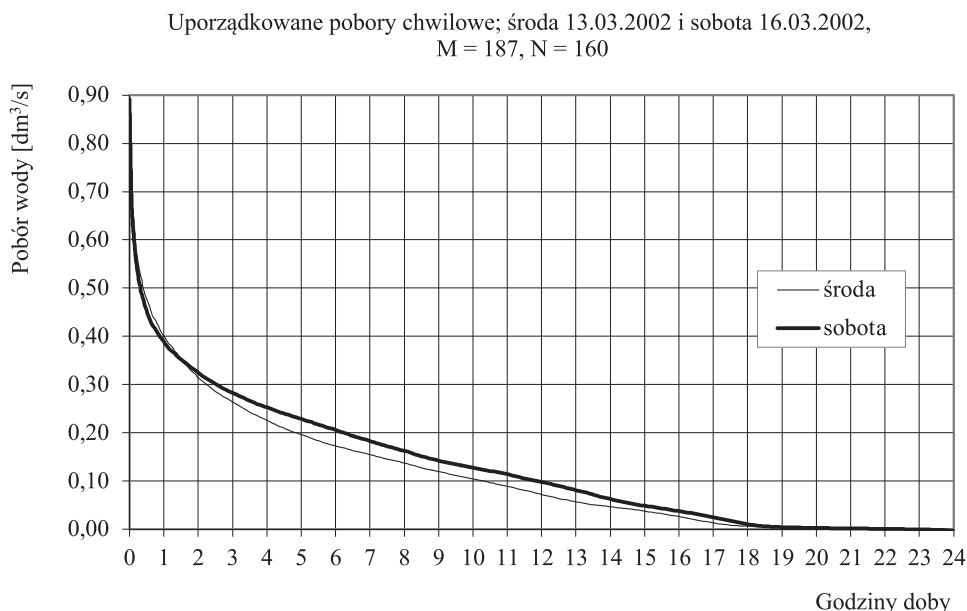
Pobory chwilowe; sobota 16.03.2002, M = 187, N = 160



b)

Godziny doby

Rys. 1.1. Wykres chwilowego poboru ciepłej wody w ciągu doby: a) w dzień roboczy – środa; b) w dzień wolny od pracy – sobota [115]



Rys. 1.2. Obiekt M = 187, N = 160 – uporządkowane pobory średnie pięciosekundowe ciepłej wody, uzyskane z pomiarów w środę 13.03.02 i w sobotę 16.03.02 [115]

Interesujące i przydatne mogą być zależności pomiędzy poborami chwilowymi i poborami średnimi w dłuższych okresach, zawierających się w przedziale np. od 15 sekund do 15 minut, oraz wyznaczenie przepływów obliczeniowych o różnym prawdopodobieństwie występowania (przekroczenia) dla obiektów o zróżnicowanej potrzebie pewności dostawy.

W monografii przedstawiono obszerny przegląd sposobów określania obliczeniowego strumienia wody, stosowanych do wymiarowania instalacji wodociągowych od XIX wieku. Skoncentrowano się na metodach wykorzystujących teorię prawdopodobieństwa i rozkłady statystyczne. Całościowych i obszernych przeglądów autor nie napotkał w dostępnej literaturze.

Następnie opisano zrealizowane przez autora pomiary poborów chwilowych ciepłej wody z instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych oraz przeprowadzoną analizę rzeczywistego czasu ich trwania i zależności pomiędzy poborami chwilowymi oraz poborami w dłuższych okresach.

Zasadniczą częścią monografii jest opis nowego probabilistycznego modelu poboru wody, z uwzględnieniem prawdopodobieństwa przewyższenia (przekroczenia), opartego na złożonym rozkładzie powstałym z połączenia rozkładu Bernoulliego z rozkładem wykładniczym. Z założeń przyjętych podczas opracowywania modelu

wynika, że może on być stosowany do instalacji wody ciepłej lub zimnej oraz obu tych instalacji jednocześnie.

Dla instalacji ciepłej wody zostały określone parametry modelu opracowanego na podstawie przeprowadzonych przez autora pomiarów. Umożliwiło to określenie poborów obliczeniowych dla instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i weryfikację zaprezentowanego modelu. Porównanie wartości otrzymanych z modelu z wartościami określonymi na podstawie norm PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012 potwierdziło, że daje on właściwe wyniki. Autor dostrzega możliwość praktycznego wykorzystania modelu do określania i aktualizacji poborów obliczeniowych dla instalacji wodociągowych ze zmieniającym się wyposażeniem i sposobem użytkowania.

Monografia może być przydatna dla studentów i badaczy zajmujących się problemami poboru wody z instalacji w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych.

2. Przegląd stosowanych metod określania obliczeniowego poboru wody, ze szczególnym uwzględnieniem metod probabilistycznych

2.1. Wprowadzenie

Wartości chwilowego poboru wody są niezbędne do doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych, a także mogą być podstawą do wymiarowania przewodów i urządzeń bezzasobnikowych układów przygotowania ciepłej wody czy układów hydroforowych.

W podręcznikach na początku XX wieku przy zasilaniu wielu punktów czerpalnych wskazywano wartość średnicy przewodu, w zależności od liczby podłączonych punktów czerpalnych. Średnicę podejścia do punktu poboru przyjmowano jako równą średnicy przyłączenia tego punktu. W poradnikach i podręcznikach dla instalatorów zamieszczano przykładowe rysunki typowych instalacji w budynkach z określonymi średnicami przewodów. Stanowiły one podstawę do określania średnic w projektowanych i wykonywanych instalacjach. W latach trzydziestych rozpoczęto określanie średnic przewodów instalacji wodociągowych na podstawie wartości spodziewanego maksymalnego przepływu wody w danym odcinku instalacji.

W Niemczech korzystano głównie z zależności empirycznych. Do określania przepływów obliczeniowych teorię prawdopodobieństwa zaczęto najwcześniej stosować w Stanach Zjednoczonych. Pierwsze zależności określone na gruncie teorii prawdopodobieństwa zastosowano w USA po roku 1921, a metody wykorzystujące rozkład dwumianowy używane są współcześnie w USA, niektórych krajach europejskich i azjatyckich. W Rosji Radzieckiej, a później w Związku Radzieckim korzystano z zależności empirycznych oraz wykorzystujących metody rachunku prawdopodobieństwa.

W Unii Europejskiej, a więc i w Polsce, w 2006 roku została wprowadzona trzyczęściowa norma PN-EN 806: 2006 „Wymagania dotyczące wewnętrznych instalacji wodociągowych do przesyłu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi”; jej część 3 „Wymiarowanie przewodów. Metody uproszczone” [80] dotyczy doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych. Zawiera ona też wykres umożliwiający wyznaczanie przepływów obliczeniowych w przewodzie na podstawie sumy równoważników wypływu obsługiwanych przyborów LU (*loading unit*). Do

chwili obecnej, to jest do połowy roku 2020, przy projektowaniu do określania przepływów w przewodach instalacji wodociągowych nadal wykorzystuje się normę PN-92/B-01706 [79] bazującą na DIN 1988-3 z grudnia 1988 roku [16].

2.2. Metody stosowane w Niemczech

W Niemczech prace normalizacyjne związane z odprowadzeniem ścieków oraz dostawą wody do budynków i instalacjami wodociagowymi, prowadzone były przez Stowarzyszenie Niemieckich Specjalistów Gazu i Wody (DVGW) działające od 1882 [12]. W 1913 roku Stowarzyszenie rozpoczęło publikację opracowań „Wytyczne dla wykonania i przeróbek (modernizacji) instalacji wodociagowych” znane jako TVR Wasser – „Techniczne przepisy i wytyczne”.

W sierpniu 1930 roku wydano pierwszą wersję normy DIN 1988 dotyczącą wymagań technicznych budowy zewnętrznych sieci wodociagowych [5, 6, 12, 48] (Technische Vorschriften für den Bau von Wasserversorgungsanlagen für Grundstücke). Jeszcze w wytycznych z 1932 roku, do obliczenia spadków ciśnienia w instalacji, przyjmowano przepływ sumując wydatki zainstalowanych przyborów na analizowanym odcinku instalacji wodociagowej [5, 19]. We wrześniu 1940 roku wydano modyfikację normy DIN 1988, dotyczącą warunków technicznych budowy i eksploatacji zewnętrznych sieci wodociagowych [48] (Bau und Betrieb von Wasserleitungsanlagen in Grundstücken). Podstawą tej normy było wydanie siódme Wytycznych TVR Wasser z 1936 roku [21].

Wytyczne z 1936 roku po raz pierwszy podawały metodykę określania przepływów obliczeniowych [21], uwzględniającą niejednoczesność działania zainstalowanych przyborów, która była znana w Polsce jako „stara metoda niemiecka”.

W metodyce tej stosowano bilansowanie liczby przyborów zainstalowanych na danym odcinku instalacji poprzez określenie sumy ich równoważników.

Poszczególным przyborom przypisywana była wartość równoważnika z:

$z = 1$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy $1/2'$ (fizycznie 13 mm), o wydajności $0,375 \text{ dm}^3/\text{s}$, i przyborów z takim zaworem: płuczki zbiornikowej, płuczki ciśnieniowej, bidetu, wanny z podgrzewaczem gazowym i węglowym, zlewu;

$z = 0,5$ – dla zaworu o średnicy $3/8'$ (10 mm) i przyborów z takim zaworem: płuczki zbiornikowej, bidetu, wanny, zlewu itp.;

$z = 5$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy $3/4'$ (20 mm) i przyborów z takim zaworem: płuczki ciśnieniowej, wanny z podgrzewaczem węglowym;

$z = 10$ – dla płuczki ciśnieniowej o średnicy 3/4" i o wydajności 1,5 dm³/s.

Wartości przepływów odpowiadające danej liczbie równoważników przedstawiano w postaci wykresu i danych tabelarycznych.

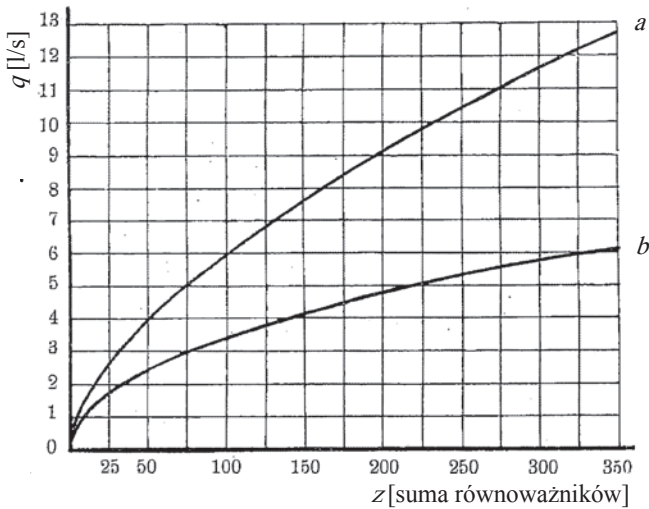
Na rysunku 2.1 przedstawiono wykres zależności przepływu [l/s] ([dm³/s]) od sumy równoważników z dla dużych budynków – krzywa a i dla budynków jednorodzinnych – krzywa b .

Wytyczne TVR 1936 nie podawały równania wiążącego liczbę równoważników z z odpowiadającą jej wartością przepływu. Krzywą a na rysunku 2.1 można opisać równaniem:

$$q = 0,375 \cdot z^{0,60206} \text{ [dm}^3\text{/s]} \quad (2.1)$$

Krzywą b można przedstawić za pomocą zależności:

$$q = 0,375 \cdot z^{0,47713} \text{ [dm}^3\text{/s]} \quad (2.2)$$



Krzywa a dla dużych budynków mieszkalnych

Krzywa b dla budynków jednorodzinnych

Rys. 2.1. Krzywe przepływów obliczeniowych q [l/s] ([dm³/s]), w zależności od liczby równoważników z zainstalowanych przyborów według „starej metody niemieckiej”, zawarte w TVR Wasser 1936 [21]

W roku 1940 w opracowaniach stowarzyszenia Das Gas-und Wasserfach [20] została zamieszczona modyfikacja metodyki określania przepływów miarodajnych w instalacjach wodociągowych na podstawie liczby równoważników. Metodyka ta znana jest w Polsce jako „nowa metoda niemiecka”.

Jej podstawowa zależność jest następująca [17]:

$$q = 0,25 \cdot \sqrt{Z} \text{ [dm}^3\text{/s]} \quad (2.3)$$

gdzie:

Z – suma równoważników na danym odcinku instalacji; poszczególnym przyborom przypisywana jest wartość Z jak niżej:

$Z = 1$ – dla zaworu czerpalnego, o średnicy 3/8' i o wydajności 0,25 dm³/s (15 dm³/min), przy podgrzewaczu gazowym wody nad wanną;

$Z = 0,25$ – dla zaworu bidetu;

$Z = 0,5$ – dla zaworu małego, o wydajności 10 dm³/min, małego podgrzewacza wody;

$Z = 2,5$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy 1/2';

$Z = 16$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy 3/4';

$Z = 36$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy 1';

$Z = 6$ – dla spłuczki ciśnieniowej o średnicy 1/2' i o wydajności 0,6 dm³/s;

$Z = 11$ – dla spłuczki ciśnieniowej o średnicy 3/4' i o wydajności 0,8 dm³/s;

$Z = 27$ – dla spłuczki ciśnieniowej o średnicy 1' i o wydajności 1,3 dm³/s.

Znając wydatek przyboru q [dm³/s], wartość równoważnika Z można określić za pomocą zależności [74]:

$$Z = 16 \cdot q^2 \quad (2.4)$$

Zależność (2.3) nazywano w Polsce wzorem Brix. Z dostępnej literatury źródłowej wynika jednak, że Brix nie jest autorem tej zależności, a jedynie przytacza ją w swojej książce z 1942 roku [6].

Kolejne wersje normy DIN wydano w latach 1955 i 1962.

W wytycznych związanych ze znowelizowaną w roku 1962 normą DIN 1988 do obliczeń przepływu wody w instalacji nadal stosowano znaną od 1940 roku zależność $q = 0,25 \sqrt{Z}$ [74]. Rozszerzono jedynie katalog równoważników Z o podgrzewacze wody i baterie czerpalne. Między innymi podano następujące wartości równoważników:

$Z = 2,5$ – dla pieca kąpielowego wannowego o przepływie 0,4 dm³/s,

$Z = 0,5$ – dla umywalki z zaworem 3/8' o przepływie 0,175 dm³/s,

$Z = 0,5$ – dla gazowego podgrzewacza wody o wydajności 10 dm³/min (0,175 dm³/s),

$Z = 1,0$ – dla gazowego podgrzewacza wody o wydajności 16 dm³/min (0,25 dm³/s),

$Z = 3,0$ – dla gazowego podgrzewacza wody o wydajności 26 dm³/min (0,43 dm³/s),

$Z = 2,5$ – dla baterii wannowej 1/2' o wydajności 0,43 dm³/s,

$Z = 16$ – dla baterii wannowej 3/4' o wydajności 1,0 dm³/s,

$Z = 2,5$ – dla baterii natryskowej 1/2' o wydajności 0,43 dm³/s,

$Z = 16$ – dla baterii natryskowej 3/4' o wydajności 1,0 dm³/s,

Przed rokiem 1988 zasady określania przepływów i doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych w budynkach podawane były w opracowaniach DVGW „Die technischen Regeln für Trinkwasserinstallationen (TRWI). Technische Regel des DVGW“ [48].

Sposób obliczeń przepływów chwilowych został gruntownie zmieniony w wydaniu DIN 1988 z grudnia 1988 roku. W części 3 (DIN 1988–3 Rohrweitenberechnung) [16] podano metodykę doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych. Metodykę zawartą w tej normie w 1992 roku przeniesiono do PN-92/B-01706 „Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu” [79].

Przepływy obliczeniowe w instalacji określano na podstawie sumy wypływów z zainstalowanych przyborów [dm^3/s] [16], a nie – jak poprzednio – na podstawie równoważników wypływu Z . Zamieszczono również tabelę określającą wymagane ciśnienie zasilania oraz wypływy jednostkowe V_R stosowanych przyborów. Tabela ta w całości została zamieszczona w PN-92/B-01706; wprowadzono w niej jedynie niewielkie zmiany [79].

Wartości wypływów z pojedynczych punktów czerpalnych, stosowanych w mieszkaniach, były następujące:

- zawór czerpalny dn15 bez perlatora – $0,3 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- zawór czerpalny dn15 z perlatozem – $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- zawór czerpalny dn15 z perlatozem – $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- zmywarka do naczyń (domowa) – $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- pralka automatyczna (domowa) – $0,25 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- baterie czerpalne natrysków dn15 – woda zimna i ciepła; po $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- baterie czerpalne wanien dn15 – woda zimna i ciepła; po $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- baterie zlewozmywaków dn15 – woda zimna i ciepła; po $0,07 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- baterie umywalk dn15 – woda zimna i ciepła; po $0,07 \text{ dm}^3/\text{s}$;
- płuczka zbiornikowa dn15 – $0,13 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Przepływ obliczeniowy w przewodach instalacji budynków mieszkalnych określano z zależności:

$$\dot{V}_S = 0,682 \cdot (\sum \dot{V}_R)^{0,45} - 0,14 \text{ [dm}^3/\text{s}] \quad (2.5)$$

dla $\dot{V}_R < 0,5 \text{ [dm}^3/\text{s}]$ i $\sum \dot{V}_R < 20 \text{ [dm}^3/\text{s}]$

oraz

$$\dot{V}_S = 1,7 \cdot (\sum \dot{V}_R)^{0,21} - 0,7 \text{ [dm}^3/\text{s}] \quad (2.6)$$

dla $\dot{V}_R > 0,5 \text{ [dm}^3/\text{s}]$ lub $\sum \dot{V}_R > 20 \text{ [dm}^3/\text{s}]$.

W 2012 roku wydano normę DIN 1988–300: 2012–05 „Technische Regel für Trinkwasser-Installationen (TRWI) Ermittlung der Rohrdurchmesser Technische Regel des DVGW” [17]. Wartości wypływów z punktów czerpalnych stosowanych

w mieszkaniach pozostawiono bez zmian, z wyjątkiem pralki i zmywarki, dla których przepływy zmniejszono odpowiednio do 0,15 i 0,07 dm³/s.

Uogólniono zapis formuły do określania przepływów obliczeniowych w różnych obiektach do postaci:

$$\dot{V}_S = a \cdot (\sum \dot{V}_R)^b - c \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (2.7)$$

Wartości współczynników a , b , c dla różnych obiektów zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Wartości współczynników do zależności określającej obliczeniowy przepływ w instalacjach wodociągowych

Typ budynku	a	b	c
Budynek mieszkalny	1,48	0,19	0,94
Szpital	0,75	0,44	0,18
Hotel	0,70	0,48	0,13
Szkoła	0,91	0,31	0,38
Budynek użyteczności publicznej	0,91	0,31	0,38
Mieszkania dla niepełnosprawnych i osób starszych	1,48	0,19	0,94
Dom opieki	1,40	0,14	0,92

Zależność do określania przepływów obliczeniowych dla budynków mieszkalnych, wynikająca z tej normy, ma postać:

$$\dot{V}_S = 1,48 \cdot (\sum \dot{V}_R)^{0,19} - 0,94 \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (2.8)$$

dla $0,2 \leq \sum \dot{V}_R \leq 500 \text{ [dm}^3/\text{s]}$.

Jeżeli w mieszkaniach (jednostkach mieszkalnych) są zamontowane: druga umywalka lub natrysk w łazience, oprócz wanny, zawór czerpakny w przedsionku toalety lub pisuar czy bidet, to wypływów z tych przyborów nie należy sumować (uwzględnić je należy w bilansie pobieranej wody).

Instalację dzieli się na odcinki obliczeniowe (działki), czyli fragmenty instalacji, o tej samej średnicy, służące do zasilania określonej liczby przyborów. Średnice przewodów należy dobierać tak, aby nie były przekroczone w nich prędkości dopuszczalne. Rozróżnia się dopuszczalne prędkości dla przyłącza oraz przewodów rozbiórczych, a także uwzględniane są opory miejscowe armatury na działce i przewidywany czas trwania przepływu obliczeniowego.

Szczegółowe wymagania zostały przedstawione w tabeli 2.2.

Straty ciśnienia w przewodach, według analizowanej normy, wyznacza się z powszechnie znanych zależności, uwzględniając następujące wartości chropowatości:

- $k = 0,0015 \text{ mm}$ dla rur miedzianych i rur ze stali nierdzewnej,
- $k = 0,007 \text{ mm}$ dla rur z tworzyw sztucznych i rur wielowarstwowych,
- $k = 0,15 \text{ mm}$ dla rur stalowych ocynkowanych na połączenia gwintowane.

Tabela 2.2. Dopuszczalne prędkości w przewodach instalacji wg DIN 1988-300, w zależności od czasu trwania przepływu maksymalnego i oporów miejscowych armatury na działce [17]

Rodzaj przewodu	Prędkość w przewodzie w zależności od czasu trwania przepływu obliczeniowego [m/s]	
	< 15 min	≥ 15 min
Przyłącze wodociągowe	2,0	2,0
Działki w instalacji z elementami o współczynniku oporów miejscowych $\zeta < 2,5$ (zasuwa, zawór kulowy, zawór skośny)	5,0	2,0
Działki w instalacji z elementami o współczynniku oporów miejscowych $\zeta \geq 2,5$ (zawór prosty)	2,5	2,0

2.3. Metody stosowane w USA

W USA do roku 1921 tylko jeden procent budynków posiadał wewnętrzne instalacje wodociągowe i kanalizacyjne. Rozwój nowoczesnego budownictwa zapoczątkował Herbert Clark Hoover powołany w 1921 roku na Sekretarza Departamentu Handlu [28]. Hoover w Biurze Standaryzacji (National Bureau of Standards) utworzył Instytut Materiałów i Konstrukcji (The Materials and Structures), znany obecnie jako Narodowy Instytut Standardów i Technologii (The National Institute of Standards and Technology – NIST).

Sekcję instalacyjną NITS rozwinął między innymi Roy B. Hunter powołany w 1921 roku do kierowania pracami badawczymi Instytutu, którego zadaniem było opracowanie minimalnych wymagań dla konstrukcji i instalacji budynków na podstawie nowoczesnych metod badawczych (metod eksperymentalnych oraz metod teoretycznych, między innymi z wykorzystaniem rachunku prawdopodobieństwa).

W 1924 roku wydano opracowanie „Zalecane minimalne wymagania dla instalacji w budynkach mieszkaniach i podobnych” [133]. Wytyczne te między innymi dotyczyły wartości minimalnych średnic przyłączy do budynków mieszkalnych oraz podejść do poszczególnych rodzajów odbiorników ścieków i punktów czepalnych instalacji wodociągowych. W komentarzu do wytycznych podano, że średnice rur prowadzących wodę do różnych urządzeń zależą od wielu czynników, np. od materiału i długości rur, ciśnienia wody w wodociągu, średnicy i wydajności punktu czerpalnego.

W omawianych wytycznych zawarto również opis metodyki określania przepływów maksymalnych w instalacjach kanalizacyjnych ze splekiwanymi miskami klozetowymi na podstawie metod klasycznego rachunku prawdopodobieństwa,

z wykorzystaniem danych z obserwacji częstotliwości korzystania z toalet w czasie szczytu użytkowania.

Średni czas pomiędzy kolejnym użyciem płuczki ciśnieniowej w instalacji badano w biurowcu Equitable Building w grupie 400 mężczyzn, do których dyspozycji było 10 toalet oraz w Hood Rubber Company, gdzie toalety były używane przez ponad 250 mężczyzn i prawie 200 kobiet. W pierwszym obiekcie średni czas przebywania w toalecie wyniósł ok. 7 minut, a w drugim – ok. 4 min dla kobiet i ok. 4,25 min dla mężczyzn. Ostatecznie do analiz przyjęto dwa czasy cyklu korzystania z toalet: 300 oraz 600 sekund. Przy założeniu cyklu wynoszącego 600 s, zgodnie z zasadami rachunku prawdopodobieństwa, liczba wszystkich możliwych zdarzeń związanych z korzystaniem z płuczek w tym czasie wynosi 600^n , gdzie n to liczba zainstalowanych płuczek. W każdej sekundzie liczba „spłukań” (zdarzeń korzystnych – r) określona została jako liczba kombinacji C_r^n . W związku z tym prawdopodobieństwo wystąpienia określonej liczby jednoczesnych „spłukań” w instalacji wynosi: $C_r^n/600^n$.

Przyjmując określony czas trwania szczytu korzystania z toalet (np. 1, 2 lub 3 godziny), wartość tego prawdopodobieństwa interpretowano jako wystąpienie założonej liczby jednoczesnych „spłukań” raz na określony czas (dni lub lat). Na przykład obliczono, że dla instalacji składającej się z 12 toalet, przy założeniu okresu szczytu korzystania wynoszącego 3 godziny, jednoczesne spłukanie we wszystkich toaletach może wystąpić raz na 112 dni. Kierując się wartością ustalonego prawdopodobieństwa jednoczesnego użycia przyborów (częstotliwością wystąpienia jednoczesnego użycia założonej liczby zaworów spłukujących) oraz ich jednostkowym wpływem, przyjmowano minimalne średnice pionów i poziomów kanalizacyjnych gwarantujących dostateczną pewność działania systemu. Uzyskiwano to poprzez założenie bezpiecznej częstości występowania przekroczeń przepustowości przyjętej średnicy przewodu, a następnie ustalano prawdopodobieństwo przekroczenia określonej wartości przepływu ścieków.

Z dostępnej literatury wynika, że była to pierwsza próba zastosowania rachunku prawdopodobieństwa do wymiarowania instalacji wodnych (kanalizacyjnych) w budynkach.

W omawianych wytycznych wprowadzono również pojęcie równoważnika przyboru (*fixture units*), przypisując wartość 1 dla umywalki, 6 dla płuczki ciśnieniowej, 1,5 dla zlewu, a 2 lub 3,5 dla wanny, w zależności od średnicy baterii czerpalnej. Sumy równoważników przyborów służyły do określania średnic przewodów kanalizacyjnych w budynku oraz średnicy przykanalików [133].

W roku 1940 opublikowano raport BMS 65, który uporządkował wyniki prac badawczych przeprowadzonych w roku 1921 oraz w latach 1937–1940 [42]. W raporcie tym została przedstawiona metodyka określania maksymalnego przepływu wody w instalacji wody budynku (Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems) [31]. Metoda ta, znana pod nazwą metody Huntera, stała się podstawowym sposobem określania przepływów przy doborze średnic przyłączy wodociągowych i przewodów w instalacjach budynków mieszkalnych. Metoda ta bazuje na rozkładzie dwumianowym, nazywanym też rozkładem Bernoulliego.

Analizując proces poboru wody z instalacji w budynku, rozpatrywano godziny o maksymalnym poborze. Założono, że prawdopodobieństwo p otwarcia pojedynczego zaworu czerpalnego można określić jako stosunek średniego czasu otwarcia zaworu t podczas poboru (średniego czasu poboru z punktu czerpalnego) do średniego czasu T pomiędzy kolejnymi otwarciami zaworu:

$$p = t/T \quad (2.9)$$

Ponadto przyjęto, że pojedyncze otwarcia punktów czerpalnych są od siebie niezależne.

Hunter, analizując proces otwierania przyborów w instalacji, przy powyższych założeniach doszedł do wniosku, że zmienność liczby otwartych zaworów można opisać rozkładem dwumianowym (Bernoulliego).

Dla tego rozkładu funkcja masy prawdopodobieństwa całkowitej liczby sukcesów k ma postać:

$$p_N(K) = \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (1-p)^{N-K} = \binom{N}{K} p^K (1-p)^{N-K} \quad (2.10)$$

Dystrybuenta tego rozkładu określona jest zależnością:

$$P_N(K) = \sum_{n=0}^K \binom{N}{n} \cdot p^n \cdot (1-p)^{N-n} \quad (2.11)$$

gdzie:

- p – prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpalnego,
- $p_N(K)$ – prawdopodobieństwo poboru jednocześnie z K punktów spośród N punktów instalacji wodociągowej w budynku,
- N – sumaryczna liczba punktów czerpalnych w instalacji wodociągowej w budynku.

Analizując proces poboru wody z instalacji w budynku, Hunter uznał, iż dopuszczalne jest przyjęcie sytuacji, w której raz na 100 przypadków liczba otwartych zaworów będzie większa od przewidzianej K . Wobec powyższego określał on liczbę czynnych punktów poboru, przyjmując, że prawdopodobieństwo otwarcia więcej niż K punktów czerpalnych będzie nie większe niż 0,01. Strumień pobieranej wody

zależy od liczby K otwartych zaworów, przy założeniu stałej wydajności q każdego zaworu:

$$Q = K \cdot q \quad (2.12)$$

Uzyskane wartości przepływów, w zależności od liczby i rodzaju punktów czerpalnych, przy założonym prawdopodobieństwie przekroczenia 1%, Hunter przedstawił na wykresie. Rysunek 2.2 przedstawia otrzymane przez Huntera wartości przepływów maksymalnych lub wartości uśrednione w cyklu poboru (w galonach na minutę GPM; 1 GPM = 0,0630833 dm³/s).

Poszczególnym przyborom, w skali od 1 do 10, w Raporcie przypisano następujące równoważniki wypływu:

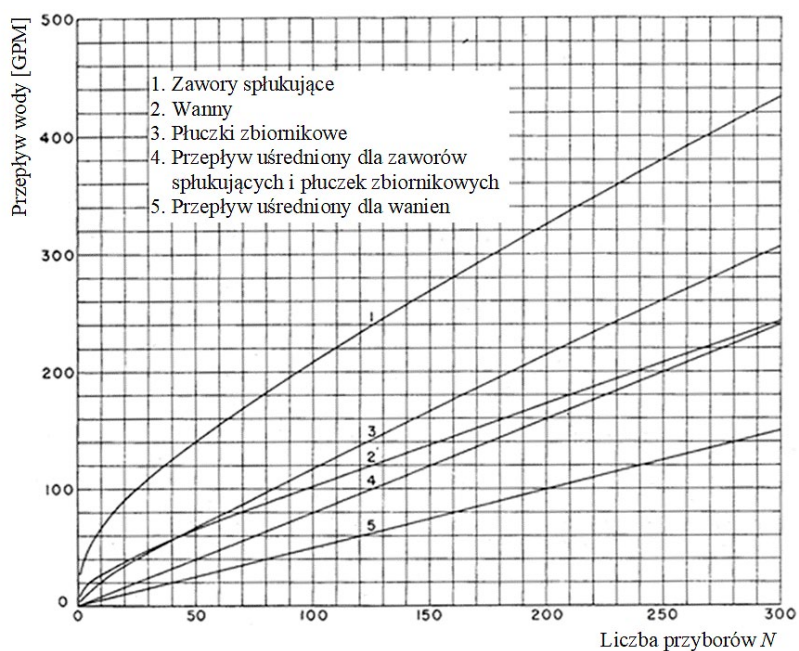
- zaworom spłukującym – 10,
- wannom – 4,
- płuczkom zbiornikowym – 5,
- pisuarom – 3,
- umywalce – 2,
- umywalce z wodą ciepłą lub zimną – 1,5,
- natryskowi – 4,
- natryskowi z wodą ciepłą lub zimną – 3.

Korzystając z równoważników podanych powyżej, odniesiono przepływy przedstawione na rysunku 2.2 do wartości sumy równoważników, które przedstawiono na rysunku 2.3.

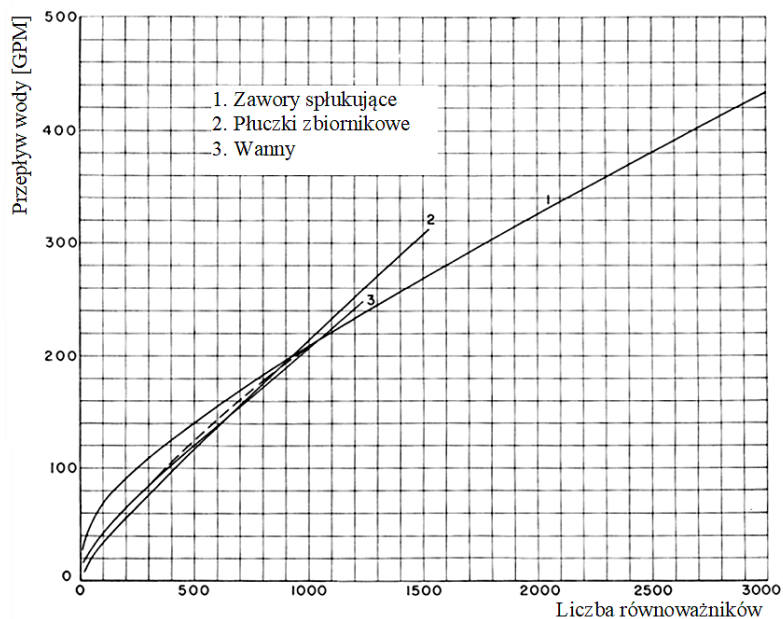
Następnie, po analizie przebiegu krzywych poboru dla instalacji z płuczkami zbiornikowymi i wannami (krzywe 2 i 3 na rysunku 2.3), oraz uwzględniając zbliżone wartości ich równoważników (odpowiednio 5 i 4), krzywe te Hunter zastąpił jedną linią. W początkowej części linia ta przebiega zgodnie z krzywą 2, a dalej wg linii przerywanej do przecięcia z krzywą 1. Wynik tego uproszczenia przedstawiono na rysunku 2.4 [31, 32].

W 1940 roku opublikowano również raport BMS 66 „Plumbing Manual” przedstawiający warunki techniczne (instrukcję) wykonania instalacji wodno-kanalizacyjnej w budynkach, który uwzględniał wcześniejsze ustalenia Instytutu. W instrukcji tej zawarto wykres pokazany na rysunku 2.4 jako podstawę określania przepływów miarodajnych przy doborze średnic przewodów instalacji wodociągowych i przyłączy do budynków [32].

Następnie w roku 1941 wydano raport BMS 79 „Water-Distributing Systems for Buildings”, będący szczegółową instrukcją projektowania instalacji wodociągowych [33]. Na potrzeby doboru przewodów zamieszczono w nim wykres przed-

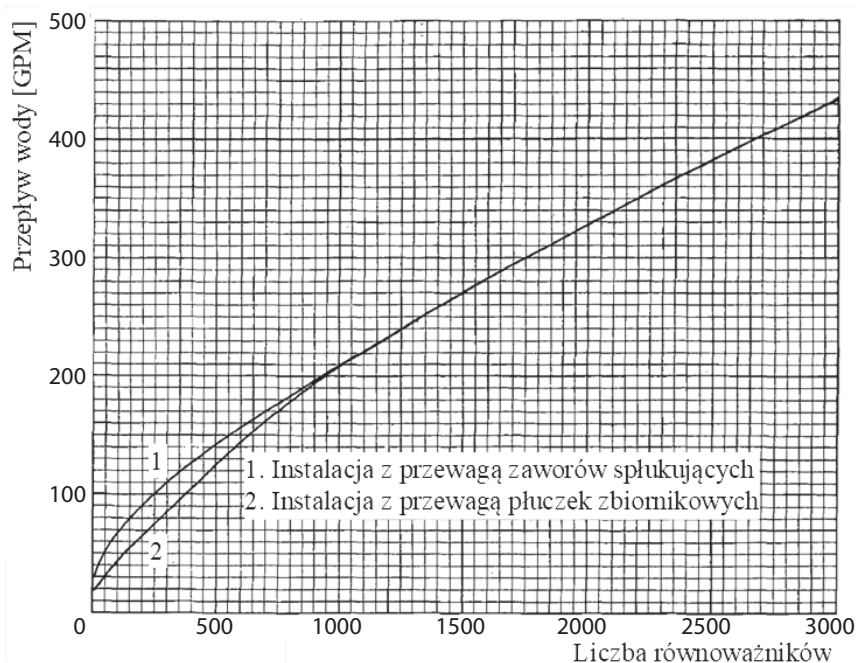


Rys. 2.2. Przepływ wody [GPM] w zależności od liczby n przyborów w instalacji wodociągowej oraz od rodzaju przyborów [31]



Rys. 2.3. Przepływ maksymalny wody [GPM] w zależności od liczby równoważników oraz od rodzaju przyborów [31]

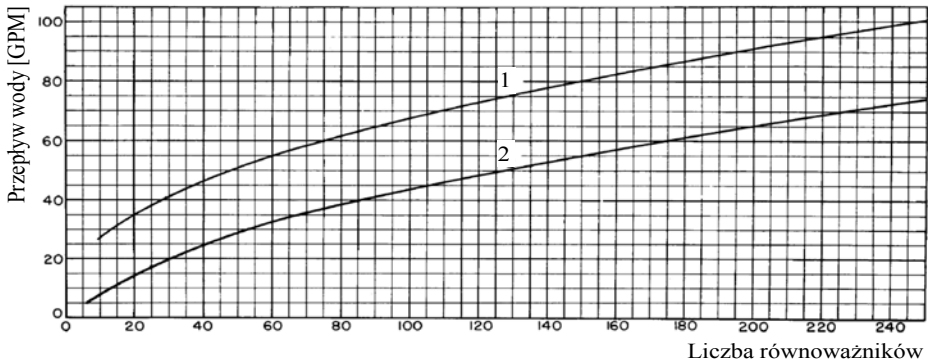
stawiony w BMS 65 oraz wykres dodatkowy ograniczony do 250 równoważników, przedstawiony na rysunku 2.5.



Rys. 2.4. Miarodajny przepływ wody w zależności od liczby równoważników oraz rodzaju przyborów w instalacji; powyżej punktu przecięcia przepływ dla dowolnie wyposażonej instalacji [31, 33]

Wykres na rysunku 2.5 zawiera początkowy fragment wykresu zasadniczego przedstawionego na rysunku 2.4, ograniczony do 250 jednostek równoważników i przeznaczony do wykorzystania przy projektowaniu małych instalacji wodociągowych.

W kolejnych latach w wielu publikacjach można było znaleźć wyniki prac związanych z modyfikacją metody Huntera [1, 9, 75, 76]. Modyfikacje te polegały głównie na wprowadzeniu innych wartości równoważników przyborów, dostosowania przepływu przyboru odniesienia oraz prawdopodobieństwa otwarcia do aktualnych rozwiązań lub sumowania wpływów obliczeniowych określonych dla poszczególnych rodzajów przyborów.



Rys. 2.5. Miarodajny przepływ wody [GPM] w zależności od liczby równoważników (do 250); 1 – instalacja z przewagą zaworów splekujących, 2 – instalacja z przewagą płuczek zbiornikowych [33]

W 1994 roku Robert Wistort, bazując na wzorach określających wartość oczekiwaną i wariancję rozkładu dwumianowego, korzystając z centralnego twierdzenia granicznego, uzyskał następujące równanie [9, 75, 76]:

$$Q_{0.99} = \sum_{k=1}^K n_k p_k q_k + (z_{0.99}) \sqrt{n_k p_k (1 - p_k) q_k^2} \quad (2.13)$$

gdzie:

n_k – liczba punktów czerpalnych danego typu,

p_k – prawdopodobieństwo otwarcia punktu czerpalnego danego typu,

q_k – wypływ z punktu czerpalnego danego typu,

$(z_{0.99})$ – wartość zmiennej standaryzowanej przy założeniu 99% prawdopodobieństwa wystąpienia.

Z przeglądu metod obliczeniowych zawartych w referacie z Sympozjum The International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB) [43] oraz z opracowania przedstawiającego rozwój metod określania poborów chwilowych wody, zaprezentowanych przez The International Association of Plumbing & Mechanical Officials (IAPMO) [9], wynika, że metoda bazująca na modelu Huntera i rozkładzie dwumianowym, oprócz USA, stosowana była w Wielkiej Brytanii, Japonii, Indiach i Australii. Metoda ta nadal stanowi podstawę ustalania metod wymiarowania przepływów obliczeniowych w instalacjach wody w budynkach mieszkalnych w tych krajach [1, 9].

2.4. Metody stosowane w Związku Radzieckim

W 1936 roku w Związku Radzieckim Kursin [41] przedstawił rozważania dotyczące zmienności poboru wody w budynkach mieszkalnych. Na początku zwrócił uwagę, że komisja Hoovera w Stanach Zjednoczonych Ameryki podjęła próbę ustalenia współczynników nierównomierności poboru wody w budynkach mieszkalnych, stosując metody rachunku prawdopodobieństwa, ale nie osiągnęła rezultatów przydatnych w praktyce.

Kursin zaprezentował rozważania teoretyczne, a następnie otrzymane rezultaty porównał z wynikami pomiarów zużycia wody przeprowadzonych w budynkach mieszkalnych Odessy za pomocą wodomierzy, z dodatkowym urządzeniem samopiszącym [41]. Na początku określił średni współczynnik nierównomierności poboru wody w mieszkaniu jako stosunek poboru chwilowego do poboru średniego dobowego. Pobór chwilowy określił na podstawie wydajności przyborów i współczynników jednoczesności działania przyborów (a właściwie ich udziałów w poborze chwilowym dla pojedynczego mieszkania) jako sumę iloczynów wydajności przyborów i ich współczynników udziału. Otrzymał dla pojedynczego mieszkania współczynnik nierównomierności K w przybliżeniu równy 23. Z treści artykułu [41] nie wynika jednak, na jakiej podstawie zostały przyjęte współczynniki udziałów przyborów w poborze chwilowym.

Następnie przyjmując mało oczywiste założenia, Kursin prowadził zawile rozważania nad prawdopodobieństwem poboru wody z instalacji przy otwieraniu, zamykaniu i ciągłym korzystaniu z przyborów w danej chwili. Ostatecznie doszedł do wniosku, że prawdopodobieństwo otwarcia danej liczby punktów czerpalnych może być wyznaczone z zależności opisującej prawdopodobieństwo wystąpienia określonej liczby sukcesów w schemacie Bernoulliego.

Dalej, korzystając z tej zależności i rozważając prawdopodobieństwo warunkowe sukcesu przy dużej liczbie przyborów (zdarzeń), Kursin przyjął, iż prawdopodobieństwo przekroczenia określonej liczby sukcesów (otwarć zaworów) można określić z rozkładu Poissona. Jest to znana właściwość rozkładu dwumianowego, że przy dużej liczbie powtórzeń i małym prawdopodobieństwie wystąpienia pojedynczego zdarzenia dąży on do rozkładu Poissona.

Wobec powyższego prawdopodobieństwo, że w instalacji o liczbie N przyborów wystąpi większa liczba otwarć, niż określona wartość K , opisał on zależnością [3]:

$$P_{>K} = e^{-Np} \sum_{i=K}^{\infty} \frac{(Np)^i}{i!} \quad (2.14)$$

Niezbędne do określenia poboru chwilowego wartości liczbowe prawdopodobieństwa otwarcia pojedynczego przyboru p i średniego poboru z przyboru q_{sri} Kursin ustalił na podstawie teoretycznych rozważań związanych ze średnim zużyciem wody na mieszkańca, intensywnością korzystania z przyborów i użytkowaniem punktów poboru w pojedynczym typowym mieszkaniu w budynku wielorodzinnym zamieszkałym przez 5 osób. Podał, że średnia liczba otwarć zainstalowanych przyborów w ciągu doby na mieszkańca wynosi 10, a średnie zużycie wody w ciągu doby – 100 dm^3 na osobę. Wobec powyższego średni pobór wody przy otwarciu pojedynczego punktu czerpalnego q_{sri} oszacował na 10 dm^3 na otwarcie.

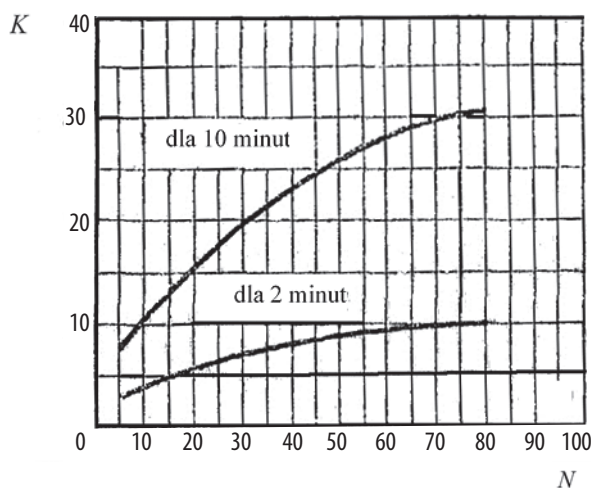
Dalej założył, że w pojedynczym typowym mieszkaniu z pięcioma osobami czas trwania szczytu poboru wynosi godzinę (60 minut) i że przybory będą użyte w tym czasie 12 razy. Przy łącznej liczbie przyborów w mieszkaniu wynoszącej 5 częstotliwość ich użycia wynosiła wg niego $2/5 = 2,4$ razy na godzinę. Prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego zaworu, przy przyjęciu dwuminutowego okresu chwilowego poboru oraz częstotliwości korzystania 2,4 razy na godzinę, $p = 2 \cdot 2,4/60 = 0,08$.

Natomiast w budynku liczącym 20 mieszkań, przy 100 mieszkańcach normatywnych, Kursin przyjął, że okres szczytowego poboru będzie dwa razy dłuższy. Wobec powyższego średnia częstotliwość korzystania z przyboru wynosiła 1,2 razy na godzinę, a więc prawdopodobieństwo otwarcia $p = 2 \cdot 1,2/60 = 0,04$, przy przyjęciu dwuminutowego okresu chwilowego poboru. Wartości prawdopodobieństwa p przy przyjęciu dziesięciominutowego czasu trwania maksymalnego chwilowego poboru okazały się dwa razy większe.

Kursin założył, że wartość prawdopodobieństwa p zmienia się liniowo wraz z liczbą zainstalowanych przyborów w instalacji N . Z zależności (2.14) obliczył liczbę otwartych zaworów w okresie szczytu poboru, przy przyjęciu dwuminutowego i dziesięciominutowego czasu trwania maksymalnego chwilowego poboru, a także prawdopodobieństwa przewyższenia tego zdarzenia nie większego niż 0,001. Wyniki jego obliczeń przedstawione zostały na rysunku 2.6.

Wartość przepływu chwilowego Kursin otrzymał, mnożąc liczbę czynnych punktów czerpalnych przez ich średni wydatek określony na 10 dm^3 na pojedynczy pobór.

W zależności od liczby punktów czerpalnych N w instalacji Kursin określił również współczynnik nierównomierności poboru chwilowego w stosunku do poboru średniego dobowego, określonego jako iloczyn normatywnej liczby mieszkańców i średniego zużycia dobowego na mieszkańca ($100 \text{ dm}^3/\text{dobę}$).



Rys. 2.6. Liczba czynnych punktów czerpalnych K w zależności od liczby przyborów w instalacji N , przy założeniu dwuminutowego i dziesięciminutowego czasu trwania maksymalnego chwilowego poboru [41]

Przy podanych powyżej założeniach liczba mieszkańców w budynku odpowiadała liczbie przyborów w instalacji.

Uzyskane przez Kursina wartości współczynnika nierównomierności K , w zależności od średniego dobowego zużycia wody w budynku Q [m^3/doba], zostały przedstawione na rysunku 2.7.

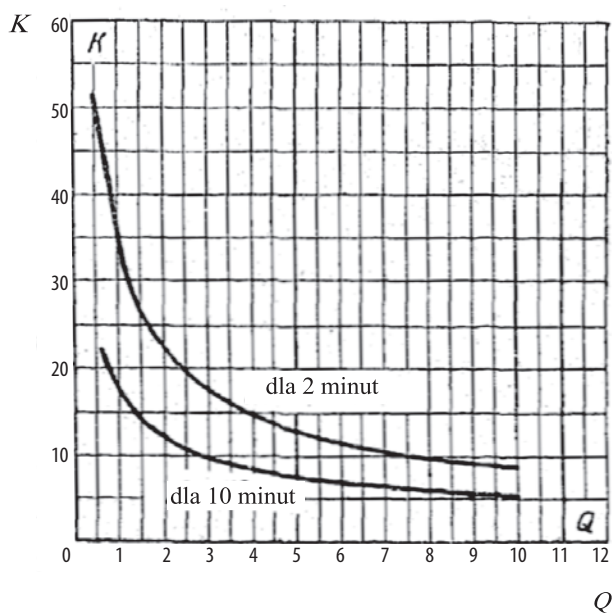
Krzywa dla poboru 10-minutowego została aproksymowana zależnością:

$$K = \frac{30}{\sqrt{Q_d}} \quad (2.15)$$

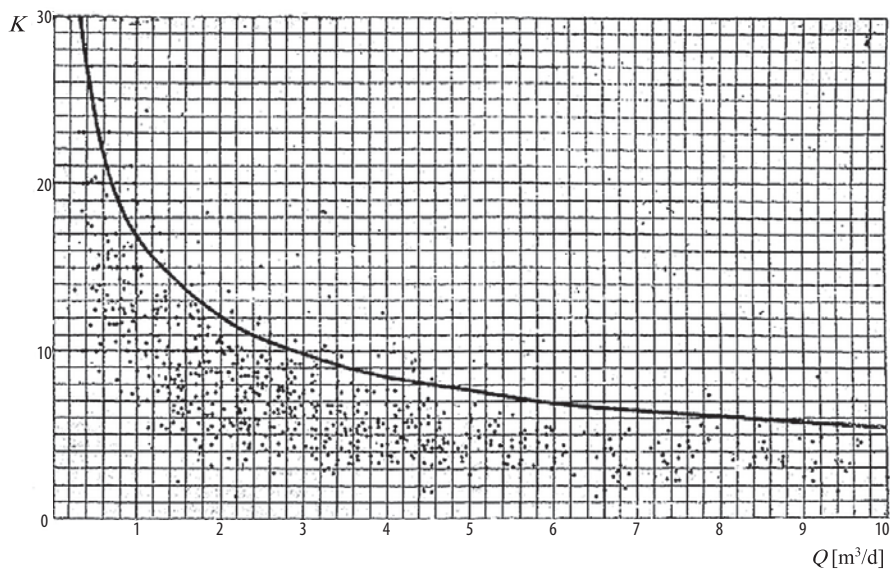
Kursin pisał, że rozważania teoretyczne zostały przeprowadzone w ten sposób, aby można było uzyskać informacje o przebiegu wartości współczynnika nierównomierności K dla właściwego przeprowadzenia aproksymacji posiadanego zbioru danych pomiarowych. Na rysunku 2.8 została przedstawiona uzyskana przez niego krzywa teoretyczna na tle zbioru danych pomiarowych.

Korzystając z zależności Kursina (2.15), w książce z 1949 roku Spyšnov[124] stwierdził, iż przepływ obliczeniowy chwilowy (sekundowy) w instalacji można powiązać z przepływem średnim poprzez zależność:

$$q_{obl} = q_{sr} \cdot K \text{ [dm}^3/\text{s}] \quad (2.16)$$



Rys. 2.7. Wartość współczynnika nierównomierności chwilowej K , w zależności od średniego dobowego zużycia wody w instalacji Q [m^3/doba] [41]



Rys. 2.8. Teoretyczny przebieg współczynnika nierównomierności chwilowej K dla poboru dziesięciominutowego, w zależności od średniego dobowego zużycia wody w instalacji Q na tle danych pomiarowych [41]

Następnie poprzez:

$$q_{sr} = \frac{Q_d \cdot 1000}{24 \cdot 3600} \quad (2.17)$$

i podstawiając za K zależność Kursina (2.15), otrzymał:

$$q_{obl} = \frac{Q_d \cdot 1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{30}{\sqrt{Q_d}} = 0,347 \sqrt{Q_d} \quad (2.18)$$

Pobór średni dobowy Spyšnov mógł zapisać jako iloczyn liczby przyborów N (lub ich równoważników) oraz poboru średniego dobowego przez przybór q_j :

$$Q_d = N \cdot q_j \quad (2.19)$$

Wobec powyższego:

$$q_{obl} = 0,347 \sqrt{N \cdot q_j} \quad (2.20)$$

Podstawiając:

$$b = 0,347 \sqrt{q_j} \quad (2.21)$$

ostatecznie uzyskał:

$$q_{obl} = b \sqrt{N} \quad (2.22)$$

Następnie przyjął $b = 0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$, a zależność (2.19) zmodyfikował do postaci:

$$q_{obl} = 0,2^a \sqrt{N} \quad (2.23)$$

Oznaczając:

$$n = \frac{q_{obl}}{0,2} \quad (2.24)$$

gdzie n zinterpretował jako liczbę otwartych zaworów o przepływie $0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$, otrzymał:

$$n = \sqrt[a]{N} \quad (2.25)$$

Logarytmując obie strony, uzyskał:

$$a \lg n = \lg N \quad (2.26)$$

Ostatecznie otrzymał:

$$a = \frac{\lg N}{\lg n} \quad (2.27)$$

Na podstawie analizy przeprowadzonych pomiarów dla równoważnika przyborów N z przedziału od 125 do 200 uzyskał $a = 2,15$.

Wówczas otrzymał wzór:

$$q_{obl} = 0,2^{2,15} \sqrt{N} \quad (2.28)$$

Przy wartości N powyżej 300 Spyšnov zaleca korzystać z zależności:

$$q_{obl} = 0,2^{2,15} \sqrt{N} + 0,002 N \quad (2.29)$$

Ogólnie [101, 102]:

$$q_{obl} = 0,2^{\infty} \sqrt{N} + kN \quad (2.30)$$

gdzie:

q_{obl} – przepływ obliczeniowy,

0,2 – wypływ odpowiadający jednemu równoważnikowi,

α – wykładnik zależny od dobowego zapotrzebowania na wodę jednego mieszkańca ($1,85 \leq \alpha \leq 2,2$),

K – współczynnik zależny od sumy równoważników N ,

N – liczba zainstalowanych przyborów wyrażona w równoważnikach; wartości N dla poszczególnych przyborów przypisano jak niżej:

$N = 1,0$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy 15 mm i wydajności 0,20 dm³/s,

$N = 1,0$ – dla baterii zlewozmywakowej o wydajności 0,20 dm³/s,

$N = 1,0$ – dla baterii wannowej o wydajności 0,20 dm³/s,

$N = 0,5$ – dla zaworu pływakowego płuczki zbiornikowej o wydajności 0,10 dm³/s,

$N = 0,33$ – dla baterii umywalkowej o wydajności 0,07 dm³/s.

Zależność powyższa została podana w Radzieckiej Normie II-G.3 z 1954 roku na potrzeby określania przepływu obliczeniowego w przewodach instalacji domów mieszkalnych. Norma ta nie podawała wartości równoważników poszczególnych przyborów [95]. Zawierała jedynie informacje, że jeden równoważnik odpowiada wypływowi 0,2 dm³/s oraz tabelaryczne zestawienie wypływów z zainstalowanych przyborów (punktów poboru).

Na potrzeby określania przepływu w instalacjach budynków użyteczności publicznej i przemysłowych w omawianej normie podano następującą zależność:

$$q = \sum_i^n q_0 \sqrt{n_0} \quad (2.31)$$

gdzie:

q – przepływ obliczeniowy w [dm³/s],

q_0 – wypływ z pojedynczego punktu czerpalnego danego typu [dm³/s],

n_0 – liczba zainstalowanych przyborów tego samego typu.

W następnej Radzieckiej Normie SNIIP II-G.1–62 z 1962 [96] oraz SNIIP II-G.1-70 z 1970 [97] roku nadal podawano do stosowania zależność (2.27) zamieszczoną w normie z roku 1954. Natomiast w tabeli z informacjami o wypływach z poszczególnych przyborów i średnicy podejścia podawano również ich równoważniki wypływu (czego we wcześniejszej normie nie było).

W swoim podręczniku Chłudow [11] odniósł się do pracy Kursina [41], pisząc, że jest ona zawiła i miejscami niejasna. Przedstawił wyniki analiz, w których określał liczbę czynnych punktów czerpalnych, korzystając z rozkładu Poissona:

$$P_{\geq K} = e^{-Np} \cdot \sum_{i=K}^{i=N} \frac{(Np)^i}{i!} \quad (2.32)$$

gdzie:

$P_{\geq K}$ – prawdopodobieństwo jednoczesnego otwarcia punktów czerpalnych w liczbie równej lub większej od K ,

N – liczba punktów czerpalnych zamontowanych w instalacji (suma zlewozmywaków i wanien w instalacji lub w jej odcinku),

p – prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpального.

Chłudow, podobnie jak Kursin, określał prawdopodobieństwo działania pojedynczego punktu czerpального p na drodze rozważań teoretycznych, w zależności od wyposażenia mieszkań, średniego ich zasiedlenia oraz średniego dobowego zużycia wody przez mieszkańca. Następnie korzystając z zależności (2.29), określał liczbę jednocześnie działających punktów czerpalnych K , dla których prawdopodobieństwo P_K było mniejsze od założonej wartości. W analizowanym przykładzie w instalacji z 50 przyborami Chłudow określał tę wartość na 0,0003, co oznacza, iż w czasie od 1,5 do 2 miesięcy raz mogło nastąpić włączenie większej liczby przyborów niż liczba określona przy tym założeniu [11, 41].

Korzystając z powyżej opisanej metodyki, dla różnych budynków określał on wartości współczynnika jednoczesności działania ϕ przyborów, w zależności od liczby przyborów zainstalowanych (jako stosunek liczby działających przyborów do liczby N przyborów zainstalowanych w instalacji lub jej części). Wartości współczynników jednoczesności dla różnych budynków o różnym zasiedleniu i wyposażeniu lub funkcji zostały opracowane przez niego w formie wykresu.

W przypadku budynków mieszkalnych Chłudow zalecał korzystanie z następującego wzoru:

$$\phi = \frac{1,4}{\sqrt{N}} \quad (2.33)$$

gdzie:

N – od 2 do 600.

Dostępne prace Šopenskijego [40,126] pochodzą z 1967 roku; ich podsumowaniem był artykuł opublikowany w 1968 roku [128]. We wstępie artykułu Šopenskij podaje, że złożoność procesów poboru wody w instalacjach budynków wyklucza możliwość zastosowania do ich opisu zależności empirycznych. Według autora przeprowadzone pomiary i analizy z wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej (ETO) wykazały, że do określenia poborów wody w budynkach są niezbędne następujące dane:

- normy zużycia wody w poszczególnych obiektach Q_o ,
- współczynnik nierównomierności poboru K w okresach jej maksymalnego zużycia,
- liczba użytkowników u oraz liczba punktów poboru, wyrażona w równoważnikach N ,
- wpływ wody przez przybór równoważny (odpowiadający jednemu równoważnikowi $q_o = 0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$).

Na podstawie analizy przebiegu zużycia wody w budynkach Šopenskij przyjął następującą zależność opisującą pobór wody:

$$\lim_{u \rightarrow \infty} Q_p = \frac{\bar{k} \cdot Q_o \cdot u}{24} = q_o \cdot N \cdot \bar{t} \quad (2.34)$$

gdzie:

Q_p – prawdopodobny pobór wody w obiekcie,

$\bar{t}$ – średni czas działania punktu czerpalnego w godzinie maksymalnego poboru, w przeliczeniu na przybór równoważny (jeden równoważnik),

$\bar{k}$ – wartość współczynnika nierównomierności godzinowej przy liczbie użytkowników w obiekcie dążącym do nieskończoności: $\bar{k} = \lim_{u \rightarrow \infty} k$.

Wartość oczekiwaną prawdopodobieństwa działania każdego ekwiwalentu (punktu czerpalnego) w okresie maksymalnego poboru Šopenskij oznaczył jako p i opisał następującą zależnością:

$$\bar{p} = \frac{\bar{t}}{3600} \quad (2.35)$$

gdzie:

$\bar{p}$ – prawdopodobieństwo działania każdego ekwiwalentu przy liczbie użytkowników w obiekcie dążącym do nieskończoności: $\bar{p} = \lim_{u \rightarrow \infty} p$.

Šopenskij określił prawdopodobieństwo działania armatury jako stosunek czasu otwarcia punktu czerpalnego do czasu korzystania z danego przyboru (np. stosunek czasu napełniania wanny i łączny czas trwania kąpieli), podobnie jak zrobił to w swoich pracach Hunter [31, 32].

Po określeniu czasu $\bar{t}$ oraz $q_o = 0,2$ z równania (2.35) i podstawieniu do równania (2.34) otrzymał:

$$\bar{p} = \frac{\bar{k} \cdot Q_o \cdot u}{17\,280 \cdot N} \quad (2.36)$$

Šopenskij zakładał, że prawdopodobieństwo działania punktów czerpalnych p_p w danej instalacji, lub w rozpatrywanej części instalacji, jest uzależnione od

ich liczby, wyrażonej w równoważnikach N . Określał więc wartość maksymalną prawdopodobieństwa p jako:

$$p_{\max} = \frac{t_{\max}}{3600} = \frac{t_{\Pi}}{T_{\Pi}} \quad (2.37)$$

gdzie:

t_{Π} – czas pracy armatury w cyklu T_{Π} korzystania z przyboru.

Następnie oszacował wartość $\bar{p}_{\max}$, która dla różnych przyborów (wannы, płuczki zbiornikowej, baterii umywalkowej) wynosiła 0,2.

Znając wartość $\bar{p}$ i $p_{\max}$, Šopenskij przyjął, że obliczeniowe prawdopodobieństwo otwarcia punktu równoważnego p_p instalacji o N odbiornikach równoważnych:

$$p_p = \bar{p} \cdot \left[1 + \frac{\sqrt{(p_{\max} - \bar{p})^2 \cdot N}}{\bar{p} \cdot N} \right] \quad (2.38)$$

Po przekształceniu i podstawieniu wartości 0,2 za $p_{\max}$ otrzymał on zależność umożliwiającą obliczenie p_p w zależności od N w postaci:

$$p_p = \bar{p} \left[1 + \frac{0,2 - \bar{p}}{\bar{p} \sqrt{N}} \right] \quad (2.39)$$

Podobnie jak Hunter, Šopenskij zakładał, że pobór wody z instalacji można opisać rozkładem dwumianowym; liczbę czynnych punktów czerpalnych w godzinie o maksymalnym poborze można określić przy założeniu określonego prawdopodobieństwa przekroczenia z zakresu 1–5%.

Korzystając z centralnego twierdzenia granicznego i zależności opisujących wartość oczekiwaną oraz odchylenie standardowe rozkładu dwumianowego, Šopenskij określił liczbę M równocześnie działających przyborów z następującej zależności:

$$M = p_p \cdot N + \Theta \sqrt{N \cdot p_p \cdot (1 - p_p)} \quad (2.40)$$

gdzie:

Θ – wartość zmiennej losowej standaryzowanej.

Po założeniu 98% prawdopodobieństwa wystąpienia wraz z niższymi (2% prawdopodobieństwa przekroczenia) wartość zmiennej standaryzowanej $\Theta = 2,32$; po podstawieniu wartości jednostkowego wypływu wody ($q_0 = 0,2$ l/s, $0,2 \cdot \Theta = 0,464$) Šopenskij uzyskał wzór umożliwiający obliczenie maksymalnego sekundowego poboru wody z instalacji w postaci:

$$q_p = 0,2 \cdot p_p \cdot N + 0,464 \sqrt{N \cdot p_p \cdot (1 - p_p)} \quad [\text{dm}^3/\text{s}] \quad (2.41)$$

Następnie określając maksymalny godzinowy pobór wody z pojedynczego przyboru Q_N według zależności:

$$Q_N = 3600 \cdot q_o \cdot p_{max} \quad (2.42)$$

i podstawiając $q_o = 0,2$ [dm³/s] oraz oszacowaną wcześniej wartość $p_{max} = 0,2$, otrzymał wartość maksymalnego godzinowego poboru wody z pojedynczego przyboru $Q_N = 144$ dm³/s [126].

Prowadząc identyczny tok rozumowania jak w przypadku poborów chwilowych, otrzymał zależność określającą obliczeniowy godzinowy pobór wody:

$$Q_p = Q_N \cdot p_N \cdot N + \Theta \cdot Q_N \cdot \sqrt{N \cdot p_N \cdot (1 - p_N)} \quad (2.43)$$

oraz prawdopodobieństwo działania przyboru p_N z zależności:

$$p_N = \frac{p_p}{p_{max}} \quad (2.44)$$

gdzie:

p_p – prawdopodobieństwo otwarcia punktu równoważnego p_p instalacji o N odbiornikach według zależności (2.34) i oszacowana wcześniej wartość $p_{max} = 0,2$.

Podstawiając wartości liczbowe Θ i Q_N , ostatecznie otrzymał zależność określającą maksymalny godzinowy pobór wody z instalacji lub jej odcinka w postaci:

$$Q_p = 0,144 \cdot p_N \cdot N + 0,334 \cdot \sqrt{N \cdot p_N \cdot (1 - p_N)} \quad [\text{dm}^3/\text{h}] \quad (2.45)$$

Ponadto Šopenskij stwierdził, że zaprezentowana metodyka jest uniwersalna i umożliwia określenie poborów obliczeniowych w odcinkach przewodów zasilających jednocześnie instalacje wody ciepłej i zimnej, instalacje wody zimnej oraz oddzielnie instalacje wody ciepłej. Na potrzeby obliczania przepływów wody zimnej w przewodach zasilających instalacje wody zimnej i ciepłej (w przewodach wody ogólnej) prawdopodobieństwo działania przyborów zalecał obliczać na podstawie następującej zależności:

$$\bar{p}_i^z = \frac{(\bar{k}_i^{og} \cdot Q_{o(i)}^{og} - \bar{k}_i^{cw} \cdot Q_{o(i)}^{cw}) \cdot u_i}{17\,280 \cdot N_i^z} \quad (2.46)$$

gdzie:

$Q_{o(i)}^{og}$ – woda ogólna (zasilająca instalacje wody zimnej i ciepłej),

$Q_{o(i)}^z$ – woda zimna,

$Q_{o(i)}^{cw}$ – woda ciepła.

Šopenskij podawał, że przy obliczaniu przepływów w budynku z różnymi grupami odbiorców (np. budynek mieszkalny z punktami usługowymi) lub w grupie budynków o różnym przeznaczeniu prawdopodobieństwo działania przyborów należy określać jako średnią ważoną wg zależności:

$$\bar{p}_{cp} = \frac{\sum_i \bar{p}_i N_i}{\sum_i N_i} \quad (2.47)$$

W artykule [128] zawarte również zostały wyniki pomiaru poborów wody oraz wartości poboru otrzymane na podstawie powyżej przedstawionego toku obliczeń. Porównanie to potwierdziło zasadność przyjętej metodyki, o czym świadczy wysoka zgodność wartości pomierzonych z wynikami obliczeń. Šopenskiy również mówił o różnicach wynikających z pomiarów i analogicznych wartościach otrzymanych na podstawie obowiązujących wówczas norm.

Wydaje się, że przedstawiona powyżej metodyka nie znalazła praktycznego zastosowania (brak odzwierciedlenia w wytycznych oraz normach) prawdopodobnie ze względu na zbyt złożoną metodykę obliczeń.

W 1975 roku Šopenskiy [125] przedstawił metodykę określania przepływów chwilowych i godzinowych, która znalazła zastosowanie w normach radzieckich SNIP II-30-76 [98], w których został podany rozkład Erlanga. Na wstępie autor zaznaczył, że liczba równocześnie działających przyborów czerpalnych może być wyrażona funkcją:

$$m = f(n, P_n, P) \quad (2.48)$$

gdzie:

n – liczba przyborów czerpalnych zamontowanych na analizowanym odcinku instalacji,

P_n – prawdopodobieństwo działania przyboru czerpального w cyklu,

P – założone prawdopodobieństwo zapewnienia poboru wody.

Niezbędne dane do określania poborów wody w budynkach zostały przyjęte według stosowanych wówczas norm, w których:

Q – norma zużycia wody w danym obiekcie lub rozpatrywanej części instalacji;

K – współczynnik nierównomierności poboru wody w okresach jej maksymalnego zużycia;

U – liczba użytkowników w danym obiekcie lub rozpatrywanej części instalacji;

n – rzeczywista liczba punktów poboru (przy $q_o = 0,2 \text{ l/s}$ ($[dm^3/s]$) liczba równoważników) w danym obiekcie lub rozpatrywanej części instalacji;

q_o – pobór wody przez przybór o największym wydatku, zamontowany w instalacji, stanowiący co najmniej 10% liczby zamontowanych przyborów; obliczeniowy pobór jednostkowy.

Uśrednione prawdopodobieństwo działania przyborów czerpalnych w godzinie maksymalnego poboru w rozpatrywanym obiekcie zostało zdefiniowane na podstawie czasu średniego działania przyborów w tym okresie t_{sr} i ujęte w postaci zależności:

$$p_n = \frac{t_{sr}}{3600} = \frac{K \cdot Q \cdot U}{3600 \cdot T \cdot q_o \cdot n} \quad (2.49)$$

gdzie:

T – czas, w jakim rozpatrywany jest pobór (sekunda lub godzina).

Przy projektowaniu przewodów zasilających budynki o różnym przeznaczeniu prawdopodobieństwo średnie Šopenskij określał jako średnią ważoną, zależną od liczby przyborów w każdym obiekcie, wg zależności:

$$p_{\Sigma i} = \frac{\sum_1^i n_i p_i}{\sum_1^i n_i} \quad (2.50)$$

Przy różnych wartościach poboru obliczeniowego q_o w obiektach prawdopodobieństwo średnie określał jako średnią ważoną według zależności:

$$p_{\Sigma i} = \frac{\sum_1^i n_i p_i \frac{q_{o(i)}}{q_o}}{\sum_1^i n_i} \quad (2.51)$$

Przepływ obliczeniowy chwilowy był określany z następującej zależności:

$$q = q_o \cdot m \quad (2.52)$$

Dla zadanego prawdopodobieństwa przekroczenia, przy określonym prawdopodobieństwie P_n , przyjętym przepływie obliczeniowym q_o i liczbie zamontowanych przyborów n , Šopenskij określał liczbę jednocześnie działających przyborów i chwilowy przepływ obliczeniowy. Analogicznie określany był obliczeniowy przepływ godzinowy wody.

Dla spotykanych wartości prawdopodobieństwa działania P_n (od 0,001 do 0,15) i różnej liczby przyborów n (do 10 000) w artykule [98] zostały podane nomogramy umożliwiające odczytanie wartości przepływu chwilowego i godzinowego.

Šopenskij wprowadził również pojęcie przepływu chwilowego (sekundowego) w godzinie maksymalnego poboru wody oraz poboru godzinowego w godzinie maksymalnego poboru w ciągu doby.

Opracowana na podstawie powyżej przedstawionej metodyki norma radziecka z 1976 roku [98], a następnie SNIP 2.04.01-85 z 1985 roku [99] roku oraz jej uaktualnienia z 1991 i 1996 roku zakładały, że prawdopodobieństwo działania punktów czerpalnych jest stałe dla danego budynku. Dotyczy to instalacji wody zimnej, wody ciepłej i odcinków przewodów wody ogólnej, którymi płynie woda następnie pobierana jako ciepła lub zimna (np. przyłącza wodociągowego). Wartość tego prawdopodobieństwa określano z zależności:

- dla wody ogólnej:

$$P_{og} = \frac{k_{og} G_{og} U}{3600 T q_0 \sum_1^n N_i} \quad (2.53)$$

- dla wody ciepłej:

$$P_c = \frac{k_c G_c U}{3600 T q_0 \sum_1^{n_c} N_{c_i}} \quad (2.54)$$

- dla wody zimnej:

$$P_z = \frac{(k_{og} G_{og} - k_c G_c) U}{3600 T q_0 \sum_1^{n_z} N_{z_i}} \quad (2.55)$$

gdzie:

P (P_{og} , P_c , P_z) – prawdopodobieństwo działania punktów czerpalnych dla odcinków instalacji wody (ogólnej, ciepłej, zimnej);

k (k_{og} , k_c) – współczynnik nierównomierności poboru wody (ogólnej, ciepłej);

G (G_{og} , G_c) – jednostkowe zapotrzebowanie wody (ogólnej, ciepłej) [dm^3] na odbiorcę normatywnego w określonym czasie (w ciągu godziny, doby).

Obliczeniowy, maksymalny chwilowy (sekundowy) strumień wody należało określić z następującej zależności:

$$q = 5q_0 \cdot \alpha \quad (2.56)$$

gdzie:

α – liczba przyjmowana z tabeli w zależności od wartości iloczynu liczby przyborów czerpalnych N , zamontowanych na analizowanym odcinku instalacji, i wartości prawdopodobieństwa P dla tej instalacji.

Wartość współczynnika α odczytywana była z tabeli zamieszczonej w załączniku do normy; wartość q mogła być odczytana z nomogramu.

W roku 2006 normę SNIP 2.04.01-85 zastąpiono normą CTO 02494733-5.2-01-2006 [14], a w 2012 – normą SP 30.13330.2012 [100].

W modyfikacjach tych zrezygnowano z pojęcia prawdopodobieństwa otwarcia punktu czerpального, a maksymalny chwilowy strumień wody zalecano odczyty-

wać z tabeli na podstawie średniego poboru godzinowego w danej instalacji i liczby zainstalowanych przyborów.

Średni godzinowy pobór wody określano na podstawie iloczynu liczby zainstalowanych przyborów i ich średnich godzinowych wydatków jednostkowych. Wartości wydatków jednostkowych [l/h] (dm^3/h) oraz tabele do odczytu poborów chwilowych [l/s] (dm^3/s) zamieszczone zostały w załącznikach do normy [100].

2.5. Metody stosowane w Polsce

W „Podręczniku dla instalatorów wodociągowych i kanalizacyjnych” [4], wydanym w 1925 roku, inżynier Bronisław Biegeleisen podaje: „Formuł do obliczania przekrojów wodociągowych rur instalacyjnych dotychczas nie mamy (...)” (s. 28). Wcześniej autor podawał zalecane średnice wewnętrzne przewodów wodociągowych w zależności od liczby obsługiwanych punktów czerpalnych („miejsc”), a ściślej: od liczby obsługiwanych punktów czerpalnych o średnicy co najmniej 13 mm.

Dopiero po II wojnie światowej Plaskura i Wein [78] przedstawili metodykę doboru średnic przewodów w instalacji wodociągowej w podręczniku opublikowanym w 1948 roku. Zaprezentowali w swojej książce „starą metodę niemiecką” bez powoływania się na źródła niemieckie, jednak z charakterystycznymi dla DVGW-TV 1936 [21] rysunkami, wartościami równoważników i tabelami.

W książce Wóycickiego [134], również wydanej w 1948 roku, opisana jest natomiast „nowa metoda niemiecka” doboru przewodów instalacji wodociągowych, także bez odniesień do materiałów źródłowych.

W 1952 roku Gabryszewski [27] opublikował artykuł, w którym dokonał przeglądu metod stosowanych w kraju (z przepisów przedwojennych dla Warszawy – stara i nowa „metoda niemiecka”), a następnie szczegółowo przedstawił metodykę obliczeń wewnętrznych przewodów wodociągowych, opracowaną przez Spyšnova [101,102,124], łącznie z tablicami do doboru średnic przewodów oraz przykładem obliczeniowym. Metodyka ta została zamieszczona w podręczniku [26]. Powszechnie nazywano ją metodą radziecką [45, 89].

Po wprowadzeniu w Związku Radzieckim normy SNIP II-30-76 [98], bazującej na pracach Šopińskiego przedstawionych w opublikowanym w 1975 roku artykule [125], podjęto próbę wprowadzenia tej metodyki obliczeń w Polsce [7, 46, 91].

Równocześnie z „metodami radzieckimi” stosowano „metodę niemiecką”, które były podstawową przy projektowaniu instalacji w budynkach mieszkalnych praktycznie do 1992 roku, w którym została wprowadzona norma PN-92/B-01706

„Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu” [79], wzorowana na DIN 1988-3: 1988-12 [16]. Metodyka obliczeń instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych zawarta w tej normie została przywoływana w obowiązujących przepisach [86].

W 2006 roku została wprowadzona norma PN-EN 806 pt. „Wymagania dotyczące wewnętrznych instalacji wodociągowych do przesyłu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi”, gdzie w jej części 3 (PN-EN 806-3 pt. „Wymiarowanie przewodów. Metody uproszczone”) [80] podano równoważniki wypływu przyborów LU (*loading unit*), założenia projektowe i tabele do bezpośredniego doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych z określonych materiałów na podstawie sumy równoważników wypływu LU. Ponadto w załączniku C zamieszczony został wykres umożliwiający określanie przepływów obliczeniowych również na podstawie sumy równoważników LU obsługiwanych przyborów.

Wartości równoważników wypływu dla poszczególnych przyborów przedstawiono w tabeli 2.3.

Tabela 2.3. Wartości równoważników wypływu LU przyborów według PN-EN 806-3: 2006

Punkt czerpalny	Natężenie wypływu [dm ³ /s]		Równoważnik wypływu LU
	Q_A	Q_{min}	
Umywalka, bidet, płuczka zbiornikowa	0,1	0,10	1
Zlewozmywak, zlew, natrysk, zmywarka, pralka	0,2	0,15	2
Zawór spłukujący pisuaru	0,3	0,15	3
Wanna domowa	0,4	0,30	4
Zawór czerpalny ogrodowy, garażowy	0,5	0,40	5
Zlewozmywak, wanna z baterią DN20	0,8	0,80	8
Zawór spłukujący DN20	1,5	1,00	15

Założenia doboru średnicy przewodów przyjęto następujące:

- ciśnienie statyczne przed punktem poboru – maks. 5 bar (500 kPa),
- ciśnienie statyczne przed zaworem ogrodowym, garażowym – maks. 10 bar (1000 kPa),
- ciśnienie przy wypływie z punktu czerpalnego – min. 1 bar (100 kPa),
- prędkości w przyłączy, pionie, podejściu do mieszkania – maks. 2,0 m/s,
- prędkość do pojedynczego przyboru – maks. 4,0 m/s.

Analizy przeprowadzone przez Jeżowieckiego i Nowakowskiego [34, 35] wykazały, że w warunkach polskich wartości wypływów jednostkowych ze zlewozmywaka i wanny w typowym mieszkaniu są znacznie mniejsze niż podane w normie PN-EN 806-3: 2006. W związku z tym zaproponowali dla tych przyborów zmniejszenie

wartości LU o połowę, a sumę jednostek wypływu dla pojedynczego mieszkania w typowym budynku wielorodzinnym określili na $LU = 4$. Dodatkowo zaproponowali, aby przepływy obliczeniowe odczytywane były z wykresu B.1 normy PN-EN 806-3, przy założeniu maksymalnej wartości wypływu z przyboru w instalacji $LU_{\max} = 2$. Pozostałe założenia obliczeniowe przyjmowali zgodne z normą.

Wartości przepływów obliczeniowych, uzyskiwane według zmodyfikowanej metodyki normy PN-EN 806-3: 2006, okazały się porównywalne z wartościami uzyskiwanymi wg DIN 1988-300: 2012-05 [17, 55].

W roku 2020 nadal w „Rozporządzeniu o warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [86] jako obowiązującą do określania przepływów w przewodach instalacji wodociągowych przywoływano normę PN-92/B-01706 [79] bazującą na DIN 1988-3: 1988-12 [16].

Oprócz określania poborów wody na potrzeby wymiarowania instalacji wody zimnej i ciepłej istotne jest określanie przepływów miarodajnych potrzebnych do wymiarowania układów przygotowywania ciepłej wody. Od 1974 roku korzystano z metodyki zawartej w „Zarządzeniu w sprawie wytycznych projektowania instalacji centralnej ciepłej wody w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym” [136]. Podstawowymi parametrami tej metodyki były pobory średnie godzinowe i maksymalne godzinowe.

Szaflik [111] w pracy „Modelowanie poboru ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych przy użyciu teorii procesów stochastycznych” zastosował połączenie rozkładu Poissona i wykładniczego do modelowania poborów ciepłej wody maksymalnych godzinowych i poborów w dłuższym okresie. Wykazał, że powstały rozkład złożony dobrze oddaje zmienność tych poborów, a parametry tego rozkładu mają sens fizyczny. Parametr rozkładu Poissona dobrze odzwierciedla zmienność liczby poborów z instalacji w godzinach jej intensywnego użycia, a odwrotność parametru rozkładu wykładniczego jest równa wartości średniej tego poboru [110, 111]. Następnie na podstawie wielodobowych pomiarów poborów piętnastominutowych ciepłej wody w kilku budynkach wielorodzinnych określił parametry przyjętego rozkładu i przedstawił możliwości jego zastosowania do określania poborów godzinowych (maksymalnych i średnich) w budynkach o określonej liczbie mieszkańców i założonym prawdopodobieństwie przekroczenia, np. przy projektowaniu układów przygotowywania ciepłej wody, zwłaszcza zasobnikowych [118, 119].

2.6. Podsumowanie

W Niemczech do określania chwilowych poborów wody korzystano z zależności empirycznych. W dostępnej literaturze niemieckiej autor nie znalazł informacji dotyczących zastosowania metod rachunku prawdopodobieństwa do określania poborów obliczeniowych. Początkowo wartość przepływu, w zależności od sumy równoważników, odczytywano z wykresu. Obecnie podawane są zależności matematyczne, których podstawą jest suma wpływów obliczeniowych z zainstalowanych urządzeń [16, 17].

Metody rachunku prawdopodobieństwa do określania poboru wody zaczęto stosować w USA po roku 1921 [26, 28, 32]. Opracowane metody, wykorzystujące rozkład dwumianowy (Bernoulliego), stosowane są współcześnie w USA oraz w niektórych krajach europejskich i azjatyckich [9, 10, 42].

W Związku Radzieckim początkowo do określania przepływów obliczeniowych próbowano stosować metody rachunku prawdopodobieństwa, ale praktycznie korzystano z zależności empirycznych. Dopiero później zaczęto wykorzystywać metody rachunku prawdopodobieństwa [41, 125, 126].

W Polsce do obliczeń przepływów w instalacjach wodociągowych stosowano metody opracowane w krajach sąsiednich. Do lat pięćdziesiątych XX wieku stosowano zależności powstałe w Niemczech, później wprowadzano metody powstałe w Związku Radzieckim. W roku 1992 wprowadzono normę PN-92/B-01706 bazującą na normie niemieckiej DIN 1988-3 z 1988 roku. W 2006 roku pojawiła się norma europejska PN-EN 806-3: 2006 [80], lecz metodyka obliczeń wg normy PN-92/B-01706 roku przywoływana jest nadal w obowiązujących warunkach technicznych; rozporządzenie [86].

Spotkane w literaturze metody, wykorzystujące rachunek prawdopodobieństwa, opierały się na logicznych założeniach dotyczących przebiegu procesu poboru, lub na analizie danych pomiarowych, i zmierzały do ustalenia liczby czynnych punktów czerpalnych w instalacji za pomocą określonego rozkładu (dwumianowego, Poissona lub Erlanga). Jednocześnie z danych pomiarowych określano wartość poboru jednostkowego zainstalowanych przyborów lub wartość uśrednioną – miarodajną dla zbioru przyborów zainstalowanych. Mnożąc liczbę czynnych punktów poboru przez stałą wartość poboru jednostkowego, otrzymywano przepływ miarodajny. W wykorzystywanych modelach używano prostych rozkładów statystycznych.

W dostępnej literaturze autor nie znalazł opisu zastosowania rozkładów złożonych do określania poborów chwilowych. Natomiast Szaflik [110, 111] zastosował

połączenie rozkładu Poissona i wykładniczego do modelowania poborów ciepłej wody maksymalnych godzinowych i poborów w dłuższym okresie.

W związku z tym autor zaproponował model wykorzystujący złożony rozkład, którego parametry oddają sens fizyczny procesu poboru wody z instalacji i który uwzględnia zmienność liczby czynnych punktów poboru oraz zmienność strumienia wody pobieranej z tych punktów w instalacji budynku mieszkalnego wielorodzinnego.

3. Uogólniony model poboru chwilowego wody

3.1. Założenia ogólne

Wpływ wody z instalacji wody zimnej lub ciepłej użytkowej w danej chwili można określić jako sumę pojedynczych wpływów z poszczególnych czynnych punktów czerpalnych. Całkowity strumień wody przy poborze chwilowym zależy od liczby jednocześnie otwartych zaworów czerpalnych oraz od stopnia otwarcia każdego z nich.

Każdemu zaworowi czerpalnemu można przypisać dwa stany – otwarty lub zamknięty. Można również przyjąć, że prawdopodobieństwo p otwarcia zaworu w każdej próbie jest takie samo, a otwarcia kolejnych zaworów są wzajemnie niezależne. Przy takich założeniach proces otwierania zaworów w instalacji można potraktować jako ciąg prób Bernoulliego z liczbą prób odpowiadającą liczbie punktów czerpalnych N i określić prawdopodobieństwo K sukcesów, stosując zależności związane z rozkładem dwumianowym [3, 51].

Ze stopniem otwarcia zaworu związany jest wpływ strumienia ciepłej wody $\dot{V}$. Wartość tego strumienia związana jest z aktualnymi potrzebami korzystającego z instalacji, z rodzajem i stanem armatury czerpalnej, oraz z wieloma innymi czynnikami – jest więc wielkością losową. W dalszych rozważaniach przyjęto, że zmienność strumienia wody pobieranej z pojedynczego punktu czerpalnego można opisać rozkładem wykładniczym o parametrze λ . Wartość parametru λ odpowiada odwrotności średniego strumienia pobieranej wody. Rozkład zmienności strumienia pobieranej wody z K punktów czerpalnych może być określony przez K -krotną całkę splotu dystrybuanty tego rozkładu [111].

Rozkład prawdopodobieństwa, charakteryzujący strumień ciepłej wody pobieranej z instalacji, będzie więc opisany rozkładem złożonym z rozkładu Bernoulliego i rozkładu wykładniczego.

3.2. Sformułowanie modelu

Prawdopodobieństwo otwarcia danej liczby punktów czerpalnych opisać można rozkładem Bernoulliego. Funkcja masy prawdopodobieństwa całkowitej liczby K sukcesów dla tego rozkładu ma postać:

$$p(K) = \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \quad (3.1)$$

gdzie:

$p(K)$ – prawdopodobieństwo otwarcia K punktów czerpalnych,

K – liczba czynnych punktów czerpalnych,

N – liczba punktów w instalacji ciepłej wody,

p – prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpального.

Wartość strumienia pobieranej wody z pojedynczego punktu czerpального zależy od stopnia otwarcia zaworu i związana jest z aktualnymi potrzebami korzystających z instalacji, rodzajem i stanem armatury czerpальной, oraz wieloma innymi czynnikami – jest więc wielkością losową.

Gęstość tego rozkładu wykładniczego, opisującego zmienność strumienia pobieranej wody z pojedynczego punktu czerpального, określona jest zależnością [3]:

$$f_{vj}(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \times \dot{v}} \quad (3.2)$$

gdzie:

$f_{vj}(\dot{v})$ – gęstość rozkładu wykładniczego,

$\dot{v}$ – strumień wody pobieranej z punktu czerpального,

λ – odwrotność średniego strumienia wody pobieranej z pojedynczego punktu czerpального,

j – dotyczy pojedynczego punktu czerpального.

Pobór wody z instalacji jest sumą wpływów z czynnych punktów czerpalnych. Wobec powyższego pobór wody z K punktów czerpalnych można określić jako sumę K zmiennych losowych o rozkładzie wykładniczym. Dystrybuenta sumy K zmiennych losowych o rozkładzie wykładniczym, odpowiadająca poborowi chwilowemu z K punktów czerpalnych, jest K -krotną całką splotu dystrybuenty poboru z pojedynczego punktu czerpального, którą można zapisać w postaci [111]:

$$F_K(\dot{v}) = 1 - \lambda e^{-\lambda \times \dot{v}} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v})^j}{j!} \quad (3.3)$$

Przy założeniu, iż liczba otwarć zaworów i strumień pobranej wody są wielkościami niezależnymi, prawdopodobieństwo, że pobór chwilowy przy otwarciu K zaworów nie przekroczy określonej wartości $\dot{v}'$ [3]:

$$P(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = p(K) \cdot F_K(\dot{v}') \quad (3.4)$$

Po podstawieniu zależności (3.1) i (3.3) otrzymano:

$$p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = \frac{N!}{K! (N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \left[1 - e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v}')^j}{j!} \right] \quad (3.5)$$

Na podstawie twierdzenia o prawdopodobieństwie całkowitym [3] można stwierdzić, że prawdopodobieństwo nieprzekroczenia określonej wartości strumienia pobieranej wody $\dot{v}'$ z instalacji budynku:

$$p(\dot{v} \leq \dot{v}') = \sum_{K=1}^N p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = H(\dot{v}') \quad (3.6)$$

Po podstawieniu do powyższej zależności równania (3.5) otrzymano:

$$H(\dot{v}') = \sum_{K=1}^N \frac{N!}{K! (N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \left[1 - e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v}')^j}{j!} \right] \quad (3.7)$$

Rozkład, którego dystrybuantę przedstawia zależność (3.7), składa się z rozkładu wykładniczego oraz rozkładu Bernoulliego. Rozkład taki nazywany jest złożonym rozkładem Bernoulliego.

Dokonując przekształceń upraszczających i podstawiając $q = 1 - p$, $\dot{v}' = \dot{v}$, oraz:

$$\frac{N!}{K! (N-K)!} = \binom{N}{K} \quad (3.8)$$

otrzymuje się wzór na dystrybuantę złożonego rozkładu Bernoulliego w postaci:

$$H(\dot{v}) = 1 - e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} p^K (p-1)^{N-K} \right] \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v})^j}{j!} \quad (3.9)$$

Przydatność powstałego rozkładu do modelowania poborów wody należało sprawdzić poprzez stwierdzenie zgodności z wynikami pomiarów, co wymaga określenia jego parametrów. Jednym ze sposobów określania parametrów rozkładu na podstawie danych z pomiaru (obserwacji) jest metoda momentów [3]. W celu uzyskania zależności określających momenty należy zapoznać się z formułą określającą gęstość rozkładu $h(\dot{v})$. Mając dystrybuantę określoną zależnością (3.9), można znaleźć gęstość rozkładu jako pochodną tej zależności:

$$h(\dot{v}) = \frac{dH(\dot{v})}{d\dot{v}} \quad (3.10)$$

Wykonując odpowiednie przekształcenia, otrzymuje się zależność określającą gęstość złożonego rozkładu Bernoulliego w postaci:

$$h(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \binom{N}{K} p^K (p-1)^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \quad (3.11)$$

3.3. Obliczanie parametrów modelu na podstawie momentów z próby

Moment n -tego rzędu zmiennej losowej X może być wyrażony w postaci zależności [3]:

$$E(X^n) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^n h_x(x) dx \quad (3.12)$$

Moment pierwszego rzędu ($n = 1$) to wartość oczekiwana E . W rozważanym przypadku zmienną losową jest objętość pobranej wody, więc przyjmuje ona wartości dodatnie. Podstawiając do powyższej zależność (3.11), otrzymuje się:

$$E(\dot{v}) = \int_0^{+\infty} \dot{v} \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} p^K q^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] d\dot{v} \quad (3.13)$$

Wykonując całkowanie i niezbędne przekształcenia, otrzymujemy wzór określający wartość oczekiwaną złożonego rozkładu Bernoulliego w postaci:

$$E(\dot{v}) = \frac{Np}{\lambda} \quad (3.14)$$

Moment rzędu drugiego ($n = 2$) to inaczej wariancja oznaczana Var . Podstawiając do zależności (3.12), dla $n = 2$, zależność (4.11), otrzymuje się:

$$Var(\dot{v}) = \int_0^{+\infty} \dot{v}^2 \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} p^K q^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] d\dot{v} \quad (3.15)$$

Następnie wykonując całkowanie i odpowiednie przekształcenia, otrzymuje się zależność określającą wariancję złożonego rozkładu Bernoulliego:

$$Var(\dot{v}) = \frac{Np(2-p)}{\lambda^2} \quad (3.16)$$

Przyjmując, że wartość średnia $\dot{v}_{sr}$ z próby odpowiada wartości oczekiwanej oraz że kwadrat odchylenia średniego s^2 odpowiada wariancji, otrzymuje się układ równań:

$$\begin{cases} \dot{v}_{sr} = \frac{Np}{\lambda} \\ s^2 = \frac{Np(2-p)}{\lambda^2} \end{cases} \quad (3.17)$$

Rozwiązując powyższy układ równań, uzyskuje się zależności pomiędzy parametrami złożonego rozkładu Bernoulliego a momentami z próby:

$$\lambda = \frac{2N\dot{v}_{sr}}{Ns^2 + \dot{v}_{sr}^2} \quad (3.18)$$

$$p = \frac{2\dot{v}_{sr}^2}{Ns^2 + \dot{v}_{sr}^2} \quad (3.19)$$

Na podstawie powyższych zależności można określić parametry rozkładu dla wartości uzyskanych z pomiaru i sprawdzić przydatność złożonego rozkładu Bernoulliego do analizy poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej. Parametry p i λ dotyczą pojedynczego punktu czerpalnego i mają sens fizyczny. Iloczyn liczby punktów czerpalnych w instalacji N oraz prawdopodobieństwa otwarcia pojedynczego punktu czerpalnego p określa liczbę czynnych punktów czerpalnych przy poborze średnim. Natomiast średni pobór wody z punktu czerpalnego przy jego otwarciu jest równy odwrotności parametru λ [51, 59].

Po określeniu parametrów p i λ , na podstawie zebranych wyników pomiarów poborów chwilowych ciepłej wody, przy wykorzystaniu zależności (3.9), można obliczać przepływy chwilowe ciepłej wody dla instalacji o dowolnej liczbie punktów poboru N , z uwzględnieniem zadanego prawdopodobieństwa przekroczenia lub częstości przekroczenia.

3.4. Prawdopodobieństwo poboru chwilowego dla warunków granicznych

Ze wzoru na dystrybuantę złożonego rozkładu Bernoulliego (3.9) wynika, iż prawdopodobieństwo wystąpienia braku poboru wody z instalacji budynku ($\dot{v} = 0$) wiąże się z zerową liczbą otwartych zaworów ($K = 0$):

$$H(0) = (1-p)^N \quad (3.20)$$

Jest to zgodne z oczekiwaniami i wynika z właściwości rozkładu Bernoulliego.

W przypadku, gdy zakłada się stałą liczbę jednocześnie otwartych zaworów K , lecz wypływ z poszczególnych zaworów jest zmienny losowo, można przyjąć, że prawdopodobieństwo otwarcia każdego z K zaworów $p = 1$, jest więc równe gęstości rozkładu Bernoulliego opisanego zależnością (3.11); można je przedstawić w postaci zależności:

$$h(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} 1^K 0^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] \quad (3.21)$$

Wszystkie składniki sumy, dla K mniejszego od N , są równe zero, natomiast dla $N = K$ otrzymuje się:

$$h(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \left[\binom{N}{N} 1^N 0^{N-N} \frac{(\lambda \dot{v})^{N-1}}{(N-1)!} \right] \quad (3.22)$$

Przyjmując $0^0 = 1$, otrzymuje się zależność (3.23), która jest gęstością rozkładu znanego w literaturze jako rozkład Erlanga [3]:

$$h_K(\dot{v}) = \frac{\lambda (\lambda \dot{v})^{K-1} e^{-\lambda \dot{v}}}{(K-1)!} \quad (3.23)$$

Rozkład ten był stosowany przez Šopenskiego.

Jeżeli założy się, że wypływ z otwartego punktu czerpalnego jest stały i wynosi $\dot{v}_j$, zależność (3.4) sprowadza się do równania:

$$p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = p(K) \cdot F_K(\dot{v}' = K \cdot \dot{v}_j) \quad (3.24)$$

gdzie:

$$F_K(K \cdot \dot{v}_j) = 1.$$

Wówczas:

$$p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = \frac{N!}{K! (N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \cdot 1 \quad (3.25)$$

Z twierdzenia o prawdopodobieństwie całkowitym [3] wynika, że prawdopodobieństwo nieprzekroczenia określonej wartości strumienia pobieranej wody $\dot{v}'$ z instalacji budynku:

$$p(\dot{v} \leq \dot{v}') = \sum_{K=1}^N p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') \quad (3.26)$$

Podstawiając do równania (4.26) równanie (4.25), otrzymuje się:

$$H(\dot{v}' = K \cdot \dot{v}_j) = \sum_{K=1}^N \frac{N!}{K! (N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} = H(K) \quad (3.27)$$

Jest to dystrybuenta rozkładu Bernoulliego stosowana przez Huntera [31, 32] do określania liczby punktów czerpalnych przy określaniu wpływu z instalacji.

3.5. Czas korzystania z instalacji wodociągowej

Prawdopodobieństwo wystąpienia braku poboru wody z instalacji budynku ($\dot{v} = 0$), wiążące się z zerową liczbą otwartych zaworów ($K = 0$), określone jest zależnością (3.20). Natomiast prawdopodobieństwo wystąpienia czasu efektywnego korzystania z instalacji wody wyznaczyć można z zależności:

$$H_e = \frac{\tau_a - \tau_e}{\tau_a} \quad (3.28)$$

gdzie:

τ_a – doba pomiarowa,

τ_e – średni czas braku poboru z instalacji ciepłej wody w ciągu doby.

Powyższą zależność wykorzystano do wyznaczenia rzeczywistego czasu trwania poboru z instalacji na podstawie zebranych danych pomiarowych.

3.6. Podsumowanie

Rozkład prawdopodobieństwa, charakteryzujący strumień ciepłej wody pobieranej z instalacji, opisany rozkładem złożonym z rozkładu Bernoulliego i rozkładu wykładniczego, przyjęty został do modelowania poboru wody z instalacji na podstawie obserwacji procesu poboru z instalacji w budynku. Rozkład Bernoulliego określa liczbę otwartych zaworów w instalacji. Rozkład wykładniczy określa wpływ z pojedynczego punktu czerpalnego, a jego splot, związany z liczbą otwartych zaworów, opisuje sumaryczny pobór wody z instalacji. Korzystając z metody momentów, określono zależności umożliwiające wyznaczenie parametrów tego złożonego rozkładu na podstawie wyników pomiarów. Analizując powstały rozkład dla warunków granicznych, stwierdzono, że ze wzoru na jego dystrybuantę można określić rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia braku poboru wody z instalacji budynku oraz otrzymać zależności stosowane do określania obliczeniowego poboru wody przez Huntera i Šopenskigo. Określono też zależność do wyznaczania rzeczywistego czasu trwania poboru wody z instalacji.

4. Estymacja parametrów modelu dla chwilowych poborów ciepłej wody

4.1. Pomiary poborów chwilowych ciepłej wody

4.1.1. Charakterystyka badanych obiektów

Aby opracowany przez autora model mógł być wykorzystany do obliczania poboru wody z instalacji budynków, należało wyznaczyć jego parametry dla wartości uzyskanych z pomiarów, sprawdzić jego zgodność z danymi pomiarowymi oraz przydatność do określania poborów chwilowych w instalacjach o różnej liczbie punktów poboru.

Autor zdecydował się na pomiary poborów chwilowych ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z węzłami cieplnymi służącymi do jej przygotowania.

Po wstępnej analizie procesu poboru ciepłej wody i jego zmienności autor stwierdził, że przy korzystaniu z punktu czerpalnego rzeczywisty czas pojedynczego poboru wynosi zwykle nie mniej niż 5 sekund. Przyjął więc, że poborami miarodajnymi do określania wartości chwilowych poborów ciepłej wody użytkowej są pobory maksymalne pięciosekundowe występujące w ciągu doby. Średni czas pomiarów służących do określania poborów miarodajnych chwilowych będzie wynosił 35 dni, minimalny zaś 30 dni.

Istotne były pobory maksymalne chwilowe (5-sekundowe), które nie zależą od poborów godzinowych czy dobowych, jak również od dnia tygodnia. Wobec powyższego pomiary były prowadzone ciągle we wszystkich dniach tygodnia (roboczych, wolnych od pracy i świątecznych). Rejestracja wyników odbywała się co 5 sekund w formie cyfrowej, co umożliwiło dalsze przetwarzanie wyników po transmisji danych do komputera.

W celu uzyskania reprezentatywnych wyników pomiary poboru ciepłej wody przeprowadzono w 8 węzłach cieplnych obsługujących budynki mieszkalne wielorodzinne, o zróżnicowanej liczbie mieszkańców, zasiedlanych w różnych terminach, zlokalizowanych w różnych dzielnicach miasta. Mieszkania we wszystkich budynkach wyposażone były w wanny, umywalki i zlewozmywaki, a ich instalacje – w wodomierze mieszkaniowe ciepłej i zimnej wody. Dane charakteryzujące te budynki przedstawiono w tabeli 4.1.

Pomiary prowadzono przy zachowaniu istniejącej regulacji układów hydraulicznych instalacji ciepłej wody oraz węzłów cieplnych. Podczas pomiarów instalacje

oraz węzły podlegały standardowemu dozorowi i obsłudze pracowników administracji spółdzielni mieszkaniowej oraz Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej. Pobór ciepłej wody użytkowej określano na podstawie pomiaru ilości wody zimnej dopływającej do węzła ciepłej wody użytkowej (c.w.u.)

Tabela 4.1. Podstawowe dane budynków, dla których prowadzono pomiary w okresie 1.03.2001 – 30.10.2003

Lp.	Liczba mieszkańców <i>M</i>	Liczba mieszkań <i>m</i>	Liczba przyborów <i>N</i>	<i>N/m</i>
1	38	12	36	3,00
2	47	15	45	3,00
3	93	28	84	3,00
4	114	32	96	3,00
5	–	36	108	3,00
6	186	50	160	3,20
7	254	80	240	3,00
8	210	97	291	3,00
Σ	–	350	1060	3,03

Zimna woda dostarczana była z miejskiego wodociągu, a ciepło z miejskiej sieci ciepłej. W trakcie pomiarów instalacje c.w.u. były sprawne, cyrkulacja była poprawna. Układy regulacji temperatury c.w.u. w węzłach ciepłych funkcjonowały prawidłowo.

W czasie prowadzenia pomiarów okresowo kontrolowano prawidłowość dostawy ciepła do węzła c.w.u. i ciepłej wody do instalacji w budynku. Rejestrowano i kontrolowano temperaturę ciepłej wody kierowanej do instalacji, a jej zarejestrowane sumaryczne zużycie porównywano ze wskazaniami wodomierzy stanowiących wyposażenie węzłów ciepłych.

4.1.2. Charakterystyka układu pomiarowego

Do pomiarów wartości chwilowych poboru wykorzystano przenośny przepływomierz ultradźwiękowy, z rejestratorem typu UNIFLOW 1010EP3, firmy Controlotron, służący do nieinwazyjnych pomiarów przepływów szybkozmiennych cieczy, szczególnie w układach wodociągowych i ciepłowniczych z możliwością pomiaru ciepła.

Zastosowany do pomiarów przepływomierz ultradźwiękowy umożliwia rejestrację kolejnych wartości dotyczących pięciosekundowych odcinków czasu. Tym samym przepływomierz ten umożliwia pomiar średnich przepływów pięciosekundowych (poborów pięciosekundowych) z właściwą dokładnością.

Przyrząd mierzy prędkość chwilową wody w przewodzie, a następnie jego procesor dokonuje cyfrowego przeliczenia na natężenie przepływu, z uwzględnieniem średnicy przewodu, temperatury oraz spodziewanego rozkładu prędkości wody w przewodzie.

Podstawowe dane techniczne przepływomierza:

- bezinwazyjny montaż przepływomierza (sondy mocowane na rurociągu);
- zakres średnic zewnętrznych rurociągu – 19–125 mm;
- rozdzielczość – 0,0003 m/s;
- dokładność; kalibracja automatyczna – maks. 1–2% wartości wskazywanej;
- dokładność kalibracji na stanowisku – maks. 0,15% wartości wskazywanej;
- wahania zera – maks. 0,005 m/s;
- prędkość maksymalna czynnika – $\pm 12,0$ m/s;
- pamięć wbudowanego rejestratora – 200 kB;
- rejestracja pomiarów – min. co 5 s;
- zasilanie wbudowane – akumulator na 3 h pracy;
- transmisja danych do komputera – złącze RS 232.

Błąd pomiaru przepływu tym urządzeniem, wynikający z tak zwanego pływania zera, mieści się w granicach $\pm 0,01$ dm³/s. Przy pomiarze sumarycznego przepływu w ciągu doby powoduje to błąd pomiaru mniejszy niż 1%.

Za pomocą powyżej scharakteryzowanego urządzenia mierzono chwilowe (pięciosekundowe) pobory ciepłej wody w ciągu kolejnych dób (minimum 32 doby w każdym obiekcie).

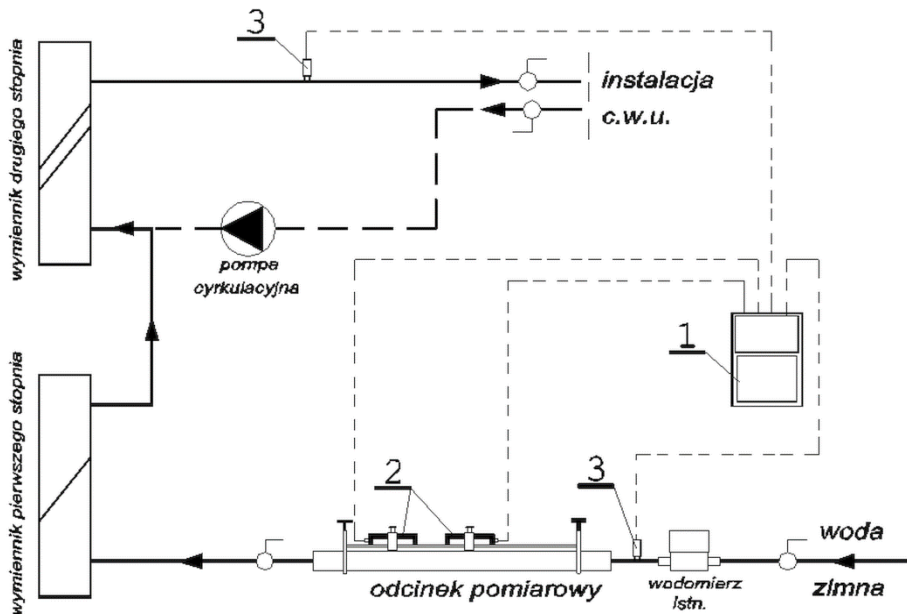
Uzyskanie żądanej dokładności w obiektach o różnej liczbie mieszkańców było możliwe dzięki odpowiedniemu doborowi średnicy przewodu na odcinku pomiarowym. W badanych węzłach wbudowywano odcinki pomiarowe o odpowiednio małej średnicy, tak aby prędkości na odcinku pomiarowym były odpowiednie dla uzyskania właściwej dokładności pomiaru i jednocześnie aby straty ciśnienia (na nich) nie były zbyt duże. Dodatkowo zainstalowano dwie sondy temperatury Pt 1000, umożliwiające pomiar temperatury przewodów wody zimnej i ciepłej za wymiennikiem, co umożliwiało kontrolę temperatury oraz określanie ilości ciepła pobieranego do podgrzania wody (bez ilości ciepła oddawanego w obiegu cyrkulacji). Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 4.1.

Swobodny wybór parametrów do rejestracji pozwalał na optymalne wykorzystanie pamięci rejestratora, co w połączeniu ze znaczną pojemnością tej pamięci umożliwiało ciągły pomiar przez kilka kolejnych dni. Transmisja danych z urządzenia do komputera przenośnego nie przerywała pomiaru i rejestracji wyników. Powyższe cechy urządzenia spowodowały, iż zebrane dane okazały się pełne

i dokładne w całym okresie pomiarowym, przy czym możliwe było ich dalsze przetwarzanie praktycznie zaraz po transmisji do komputera.

Tabela 4.2. Przykładowy zapis wyników pomiarów w arkuszu kalkulacyjnym Excel (węzeł przy ul. Ku Słońcu 2) [82]

Data	Godzina	Przepływ	Jednostki	Temperatura ciepłej wody	Oznaczenie temperatury	Temperatura zimnej wody	Oznaczenie temperatury
12.02.2002	16.54.05	0,10306	LTR/SEC	55,27	TS	10,39	TR
12.02.2002	16.54.10	0,07554	LTR/SEC	55,35	TS	10,38	TR
12.02.2002	16.54.15	0,03755	LTR/SEC	55,42	TS	10,41	TR
12.02.2002	16.54.20	0,03857	LTR/SEC	55,46	TS	10,40	TR
12.02.2002	16.54.25	0,00357	LTR/SEC	55,49	TS	10,43	TR
12.02.2002	16.54.30	0,05585	LTR/SEC	55,47	TS	10,46	TR
12.02.2002	16.54.35	0,04543	LTR/SEC	55,43	TS	10,50	TR
12.02.2002	16.54.40	0,05081	LTR/SEC	55,39	TS	10,48	TR
12.02.2002	16.54.45	0,09403	LTR/SEC	55,31	TS	10,49	TR
12.02.2002	16.54.50	0,05136	LTR/SEC	55,25	TS	10,47	TR
12.02.2002	16.54.55	0,00242	LTR/SEC	55,17	TS	10,51	TR
12.02.2002	16.55.00	-0,00263	LTR/SEC	55,05	TS	10,54	TR
12.02.2002	16.55.05	-0,00233	LTR/SEC	55,00	TS	10,55	TR
12.02.2002	16.55.10	-0,00290	LTR/SEC	54,88	TS	10,60	TR
12.02.2002	16.55.15	-0,00218	LTR/SEC	54,81	TS	10,65	TR
12.02.2002	16.55.20	0,00048	LTR/SEC	54,78	TS	10,70	TR
12.02.2002	16.55.25	-0,00080	LTR/SEC	54,76	TS	10,74	TR
12.02.2002	16.55.30	0,03225	LTR/SEC	54,74	TS	10,77	TR
12.02.2002	16.55.35	0,03527	LTR/SEC	54,77	TS	10,78	TR
12.02.2002	16.55.40	0,03414	LTR/SEC	54,86	TS	10,77	TR
12.02.2002	16.55.45	0,03394	LTR/SEC	54,97	TS	10,77	TR
12.02.2002	16.55.50	0,03441	LTR/SEC	55,07	TS	10,76	TR
12.02.2002	<EOT>			<EOT> – koniec transmisji			



Rys. 4.1. Schemat układu pomiarowego: 1 – jednostka centralna przepływomierza, 2 – sondy ultradźwiękowe do pomiaru przepływu, 3 – czujniki temperatury

Powyżej w tabeli 4.2 przedstawiono przykładowy zapis wyników w arkuszu po transmisji (zapisane dane dotyczą pomiarów przeprowadzonych w węźle przy ul. Ku Słońcu 2 w dniu 17.02.2002 roku, pomiędzy godz. 16.54.05 a 16.57.35).

4.1.3. Analiza niepewności pomiarów

Przepływomierz dokonuje pomiarów prędkości chwilowych w rurociągu. Urządzenie oblicza prędkość średnią w przewodzie, na podstawie rodzaju i temperatury cieczy oraz rodzaju materiału i średnicy przewodu, wykorzystując specjalistyczny algorytm uwzględniający rozkład prędkości w rurociągach. Uwzględniając wartość średnicy wewnętrznej, podaje też chwilowy przepływ objętościowy w rurociągu zgodnie z zależnością:

$$\dot{V} = \dot{v} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (4.1)$$

Niepewność maksymalną pomiaru można określić metodą różniczeki zupełnej:

$$\Delta \dot{V} = \frac{\partial \dot{V}}{\partial v} \Delta v + \frac{\partial \dot{V}}{\partial D} \Delta D \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (4.2)$$

Po wykonaniu działań otrzymuje się wartość bezwzględną maksymalnej niepewności pomiarów w postaci:

$$\Delta \dot{V} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \Delta \dot{v} + \frac{\pi}{2} \cdot \dot{v} \cdot D \cdot \Delta D \text{ [dm}^3\text{/s]} \quad (4.3)$$

Po podzieleniu równania (4.3) przez równanie (1.1) otrzymuje się zależność określającą wartość względną niepewności pomiaru strumienia objętości w postaci:

$$\frac{\Delta \dot{V}}{\dot{V}} = \left(\frac{\Delta \dot{v}}{\dot{v}} + \frac{2 \cdot \Delta D}{D} \right) \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.4)$$

Do powyższego równania podstawiono dane wynikające z warunków pomiarowych:

$\frac{\Delta \dot{v}}{\dot{v}} \cdot 100 = 2\%$ – deklarowana dokładność zastosowanego miernika przy pomiarze prędkości średniej wody w odcinku pomiarowym,

$D = 21,6 \text{ mm}$ – średnica wewnętrzna odcinka pomiarowego (najbardziej niekorzystnego),

$\Delta D = 0,05 \text{ mm}$ – dokładność przyrządu do pomiaru średnicy wewnętrznej odcinka pomiarowego.

Po podstawieniu otrzymano:

$$\frac{\Delta \dot{V}}{\dot{V}} = \left(0,2 + \frac{2 \cdot 0,05}{21,6} \right) \cdot 100 = 2,463 \text{ [%]} \quad (4.5)$$

Ostatecznie przyjęto, że średni błąd względny pojedynczego pomiaru wynosi 2,5%.

Deklarowana rozdzielczość miernika wynosi 0,0003 m/s z zakresem w pobliżu przepływu zerowego. Natomiast deklarowana wartość wahan zera wynosi nie więcej niż $\dot{v}_0 = 0,005 \text{ m/s}$. Dolny zakres pomiaru uzależniony jest więc od wahań zera; dla odcinka pomiarowego:

$$\dot{V}_{min} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \dot{v}_0 \quad (4.6)$$

Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymuje się dolny zakres pomiaru, który wynosi 0,0018 dm³/s dla odcinka pomiarowego Dn 20 mm i 0,0028 dm³/s dla odcinka pomiarowego Dn 25 mm.

Jest to wartość 10–15 razy mniejsza od wartości rzeczywistego średniego strumienia wody pobieranej z pojedynczego punktu czerpalnego, która nie wpłynie na wyniki.

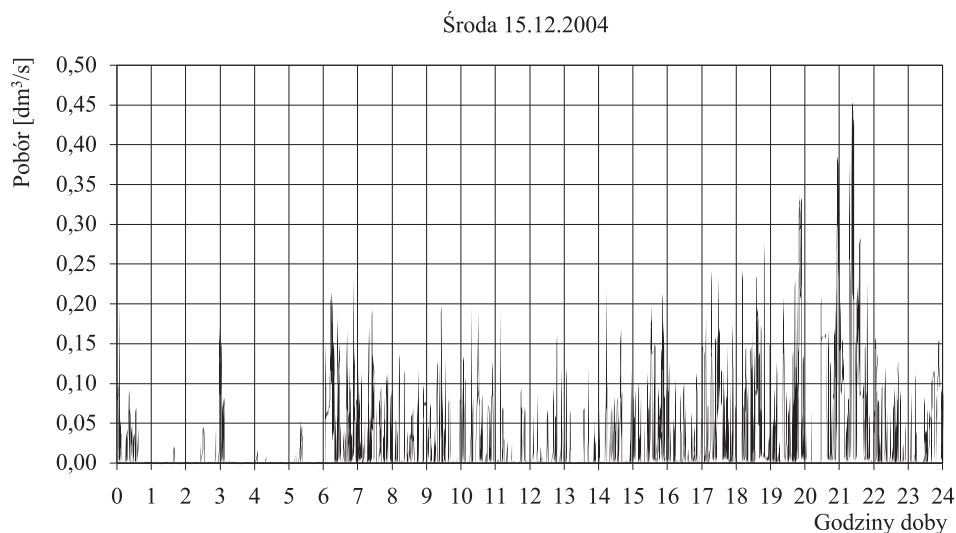
4.2. Wyniki pomiarów

4.2.1. Zmienność poborów w ciągu doby

Pomiary wykonano w okresie od 1.03.2001 do 30.10.2003 roku. Otrzymane wartości wskazań przepływomierza pomiarowego porównano ze wskazaniami przepływomierza znajdującego się na węźle wodomierza. Wskazania wodomierza, zgodnie z oczekiwaniami, były niższe od wskazań zastosowanego miernika; różnice nie przekraczały 10%.

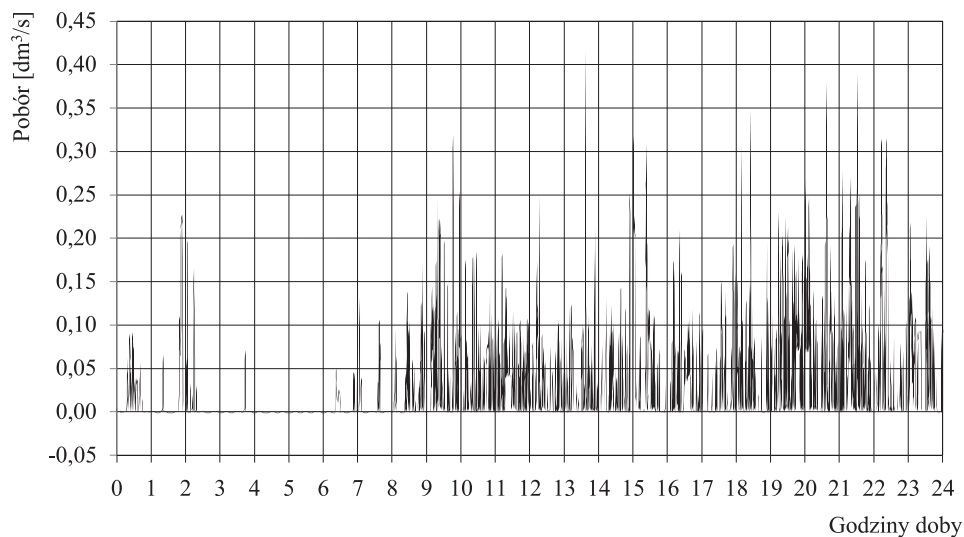
Dla zobrazowania przebiegu poboru wody w ciągu doby poniżej zamieszczono przykładowe wyniki pomiarów. Porównano zarejestrowane w czasie doby pobory pięciosekundowe dla środy (dnia roboczego), soboty i niedzieli oraz ich uporządkowane przebiegi od wartości największych do najmniejszych. Na rysunkach 4.2–4.10 przedstawiono pobory i ich uporządkowane przebiegi dla budynków z instalacjami wyposażonymi w 36 oraz 291 przyborów ciepłej wody (odpowiednio w obiekcie najmniejszym i obiekcie największym wśród badanych).

Analizując wykresy pomierzonych poborów pięciosekundowych, można stwierdzić, że pobór w dni robocze zaczyna się wcześniej oraz że w tych dniach występuje wyraźny szczyt poranny i wieczorny (rys. 4.2, rys. 4.7). W dni wolne od pracy pobór wody w ciągu całego dnia jest stosunkowo intensywny, niemal równomierny, z dużymi wartościami w środku dnia (rys. 4.3, rys. 4.4, rys. 4.8 i rys. 4.9).



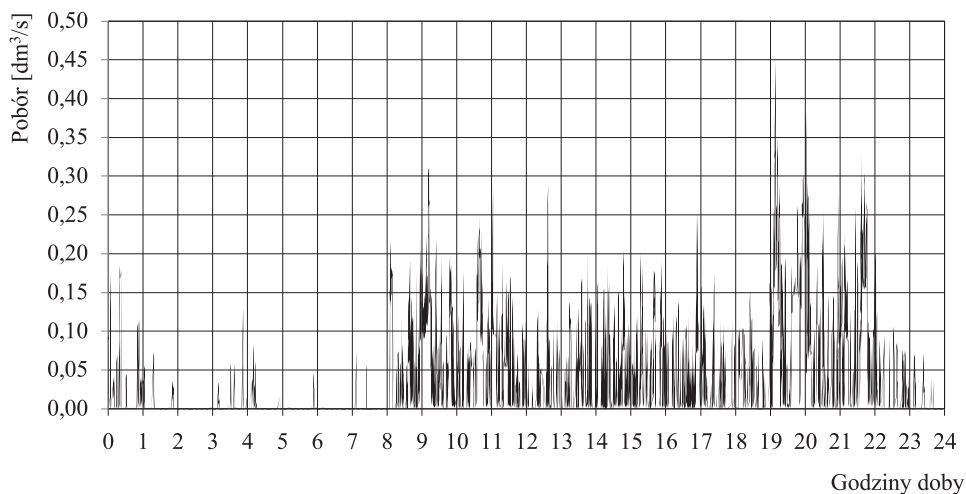
Rys. 4.2. Pomierzone w dniu roboczym pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją z 36 przyborami (najmniejszy badany obiekt)

Sobota 18.12.2004



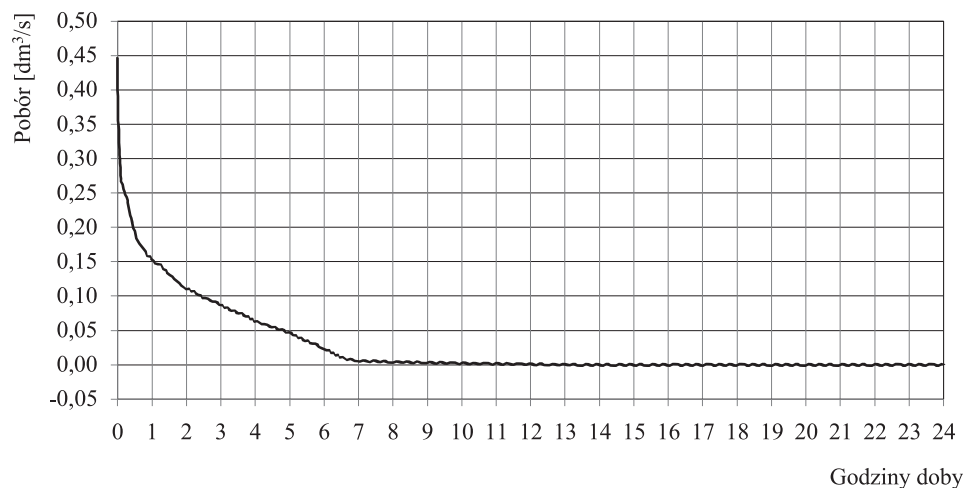
Rys. 4.3. Pomierzone w sobotę pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją z 36 przyborami (najmniejszy badany obiekt)

Niedziela 19.12.2004



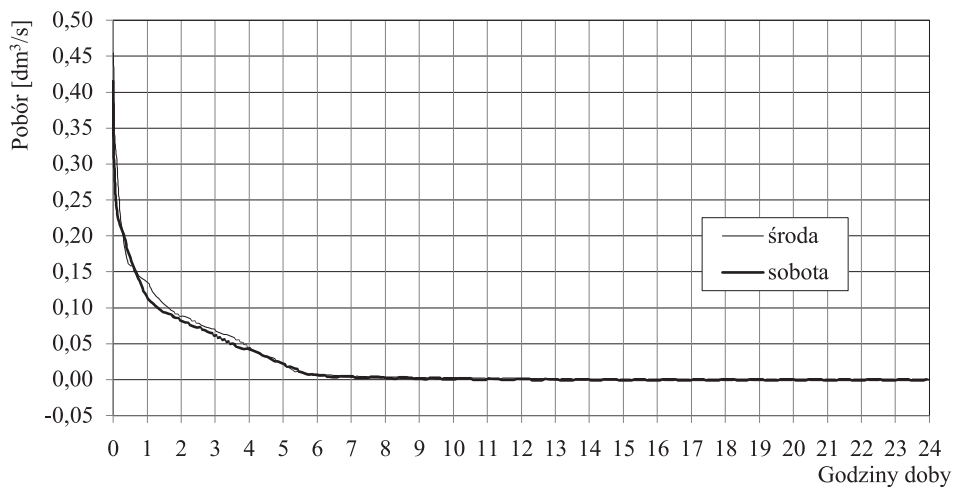
Rys. 4.4. Pomierzone w niedzielę pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją z 36 przyborami (najmniejszy badany obiekt)

Niedziela 19.12.2004

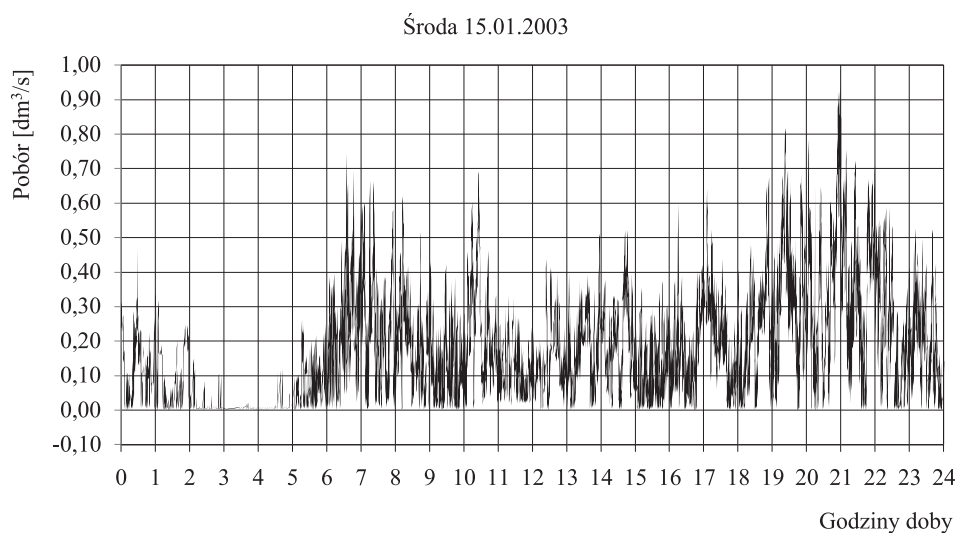


Rys. 4.5. Uporządkowany dla niedzieli przebieg poborów pięciosekundowych w budynku z instalacją z 36 przyborami (najmniejszy badany obiekt)

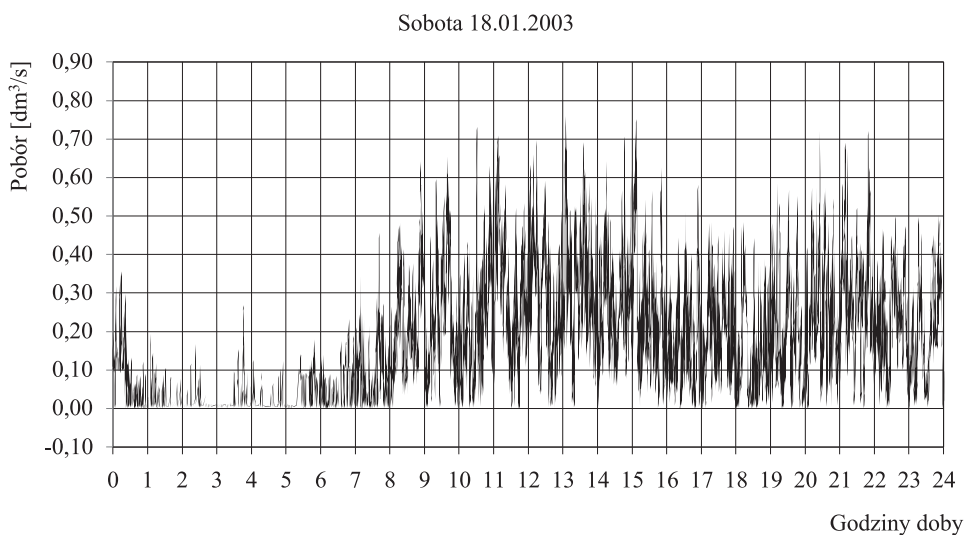
Środa 15.12.2004 i sobota 18.12.2004



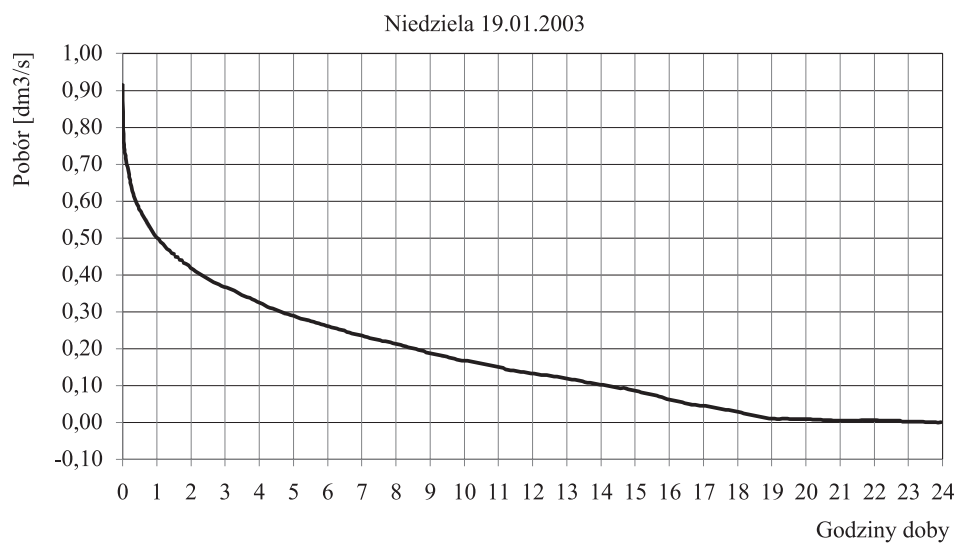
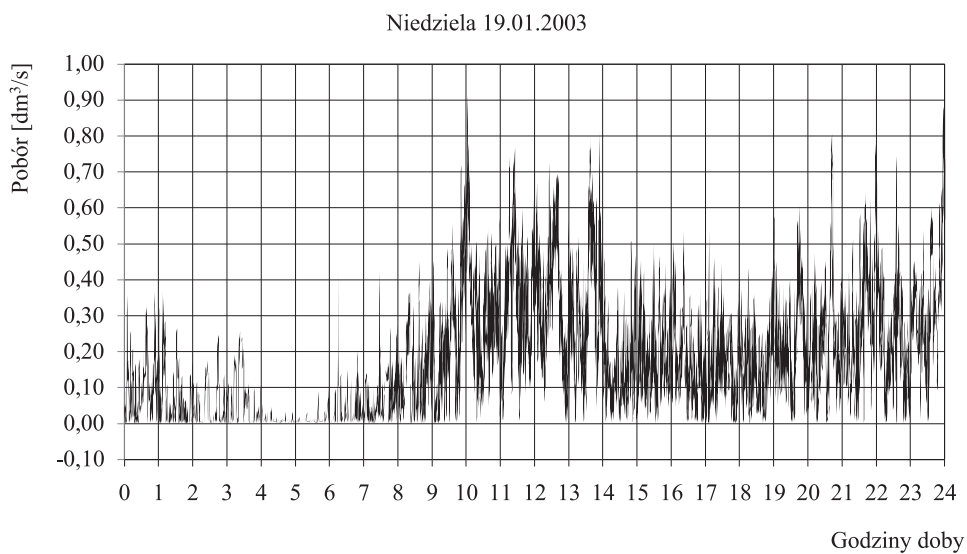
Rys. 4.6. Uporządkowane dla dnia roboczego i soboty przebiegi poborów ciepłej wody w budynku z instalacją z 36 przyborami (najmniejszy badany obiekt)



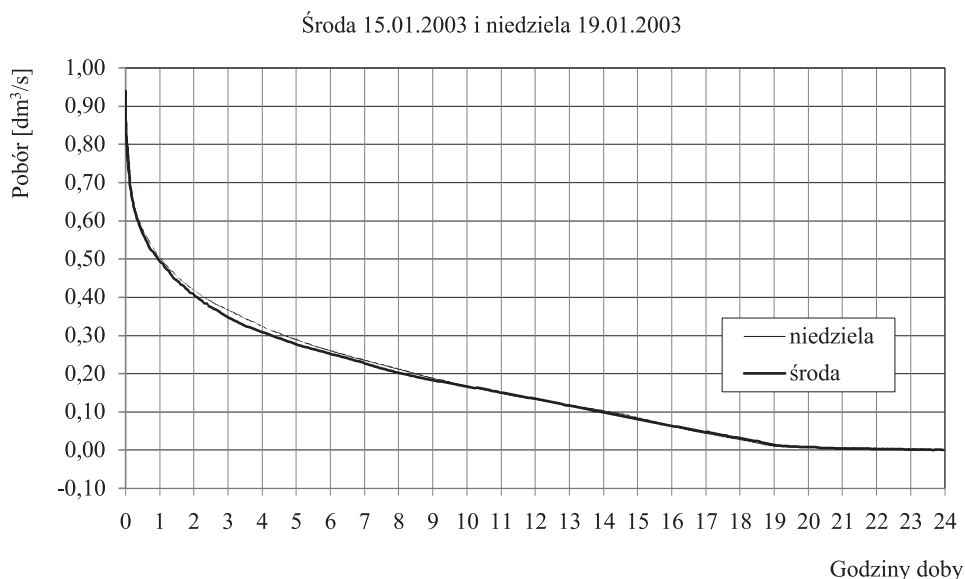
Rys. 4.7. Pomierzone w dniu roboczym pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją z 291 przyborami (największy badany obiekt)



Rys. 4.8. Pomierzone w sobotę pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją z 291 przyborami (największy badany obiekt)



Rys. 4.9. Pomierzone w niedzielę pobory pięciosekundowe (na górze) oraz ich uporządkowany przebieg (na dole) w budynku z instalacją z 291 przyborami (największy badany obiekt)



Rys. 4.10. Uporządkowane dla dnia roboczego i niedzieli przebiegi poborów ciepłej wody w budynku z instalacją z 291 przyborami (największy badany obiekt)

4.2.2. Pobory chwilowe a pobory w dłuższych okresach

Wiedza o zależnościach pomiędzy poborami maksymalnymi o różnym okresie trwania jest istotna dla badających pobory wody z instalacji wodociągowych, zwłaszcza badających pobory krótkotrwałe (chwilowe).

Informacje o związkach pomiędzy poborami maksymalnymi o różnym okresie trwania znaleziono w publikacjach opisujących badania z lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku [71, 73]. Nie uwzględniano w nich wpływu wielkości instalacji, a w późniejszej literaturze nie znaleziono analiz tego zagadnienia.

W celu określenia poborów średnich z dłuższych okresów sumowano odpowiednią liczbę wartości kolejnych poborów pięciosekundowych zarejestrowanych w ciągu doby. Tak otrzymane wyniki porządkowano i wybierano wartości największe z danej doby. Analizowano wyniki z danego obiektu dla doby o największej i najmniejszej wartości poboru pięciosekundowego oraz wartości poborów uśrednione w danym obiekcie [52].

W tabeli 4.3 przedstawiono dla poszczególnych obiektów stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w ciągu doby, dla doby o największej wartości tego poboru.

Tabela 4.3. Stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w ciągu doby dla doby o największej wartości poboru 5-sekundowego w poszczególnych obiektach

Lp.	N	Wartości względne poborów [%]												
		5 s	10 s	15 s	30 s	60 s	120 s	180 s	240 s	300 s	600 s	900 s	1800 s	3600 s
1	291	100,0	98,9	98,3	97,3	90,4	88,7	85,5	84,9	80,8	65,1	57,5	47,1	36,2
2	240	100,0	98,0	97,4	96,5	93,2	85,6	80,0	75,7	74,1	69,8	68,4	54,6	43,6
3	160	100,0	99,8	99,4	99,2	94,2	87,1	78,9	68,9	62,1	46,7	45,7	38,4	30,1
4	108	100,0	100,0	97,6	79,6	73,5	57,0	52,5	47,6	45,9	32,5	29,3	24,7	19,9
5	96	100,0	99,6	93,2	87,1	77,3	65,4	58,9	59,2	54,8	47,0	34,8	22,8	17,6
6	84	100,0	97,1	95,1	91,7	88,2	79,9	75,2	73,9	72,8	62,4	57,5	40,6	30,0
7	47	100,0	98,4	94,4	90,3	87,0	80,1	78,5	76,2	76,2	63,2	49,4	36,7	26,3
8	36	100,0	98,3	97,7	88,0	73,8	65,0	61,6	61,0	59,8	48,2	38,2	27,0	22,4
Średnia		100,0	98,8	96,6	91,2	84,7	76,1	71,4	68,4	65,8	54,4	47,6	36,5	28,3

Następnie dane te, dla obiektu o najmniejszej i dla obiektu o największej liczbie przyborów, przedstawiono na rys. 4.11 i rys. 4.12.

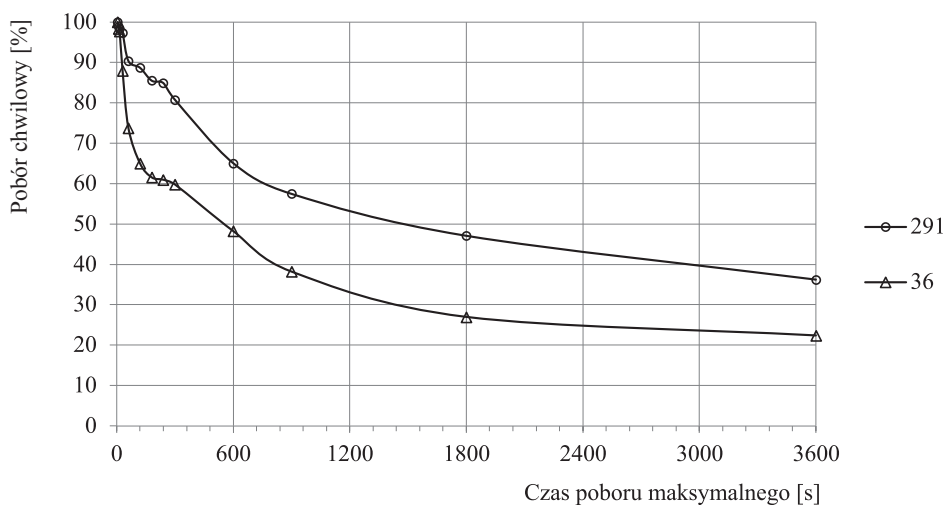
Rysunek 4.11 dotyczy poborów maksymalnych w czasie do godziny, a rysunek 4.12 – poborów maksymalnych w czasie do 5 minut; związane jest to z lepszą czytelnością wykresów dla krótkotrwałych poborów.

Pobory maksymalne o czasie trwania do 30 sekund w obu budynkach są jednakowe. Na przedstawionych wykresach można zauważyć występowanie pewnej prawidłowości. Potwierdza się to, że pobory w budynkach o większej liczbie przyborów charakteryzują się mniejszym zróżnicowaniem [36]. W budynku o 291 przyborach pobór maksymalny godzinowy stanowi ok. 36,2% poboru maksymalnego chwilowego (5 s), natomiast w budynku o 36 przyborach stanowi on 22,4% tego poboru. Im większa jest liczba przyborów w budynku, tym stosunek ten jest większy.

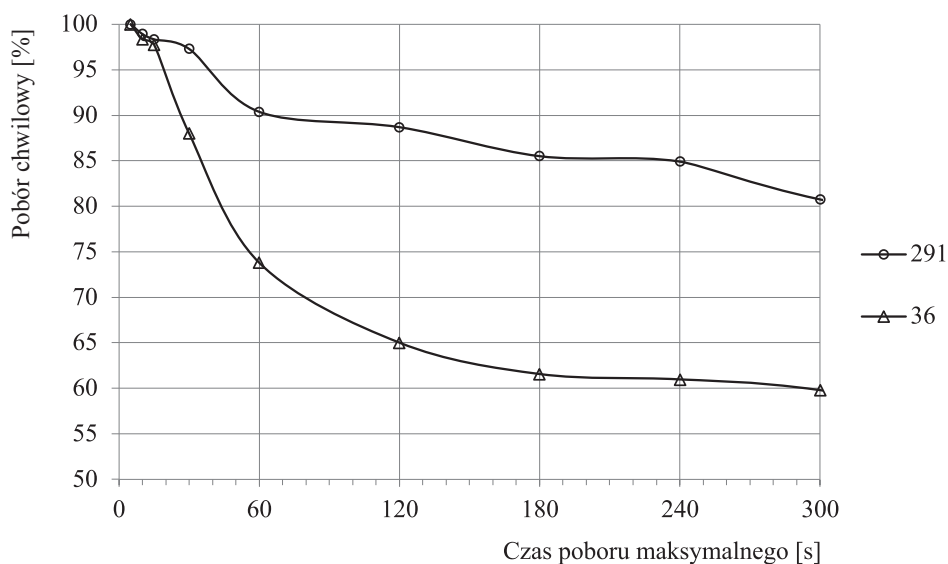
W tabeli 4.4 przedstawiono dla poszczególnych obiektów stosunek wartości poboru maksymalnego o danym czasie trwania do maksymalnego poboru 5-sekundowego w dobie z najmniejszą wartością tego poboru.

Następnie dla obiektu największego i dla obiektu najmniejszego dane te przedstawiono na rysunkach 4.13 i 4.14. W przypadku poborów maksymalnych o dłuższym czasie trwania (do godziny) w budynku o większej liczbie przyborów ($N = 291$) pobór maksymalny godzinowy stanowił 49,0% poboru chwilowego, a w budynku mniejszym ($N = 36$) – 25,8%. Pobory maksymalne do 300 sekund trwania są do siebie zbliżone w obu obiektach.

W tabeli 4.5 przedstawiono stosunek wartości poboru maksymalnego o danym czasie trwania do maksymalnego poboru 5-sekundowego dla poszczególnych obiektów, uśredniony dla całego okresu pomiarowego.



Rys. 4.11. Stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w dobie z największą wartością tego poboru dla budynku o największej (291) i dla budynku o najmniejszej (36) liczbie przyborów; czas ograniczony do godziny



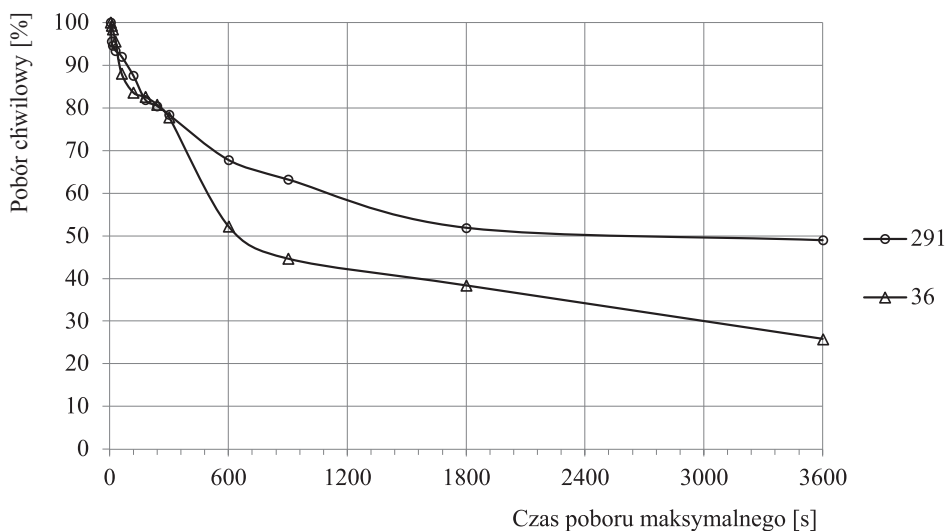
Rys. 4.12. Ograniczony do 5 minut stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w dobie z największą wartością tego poboru dla budynku o największej (291) i dla budynku o najmniejszej (36) liczbie przyborów

Tabela 4.4. Stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w dobie z najmniejszą wartością tego poboru dla poszczególnych obiektów

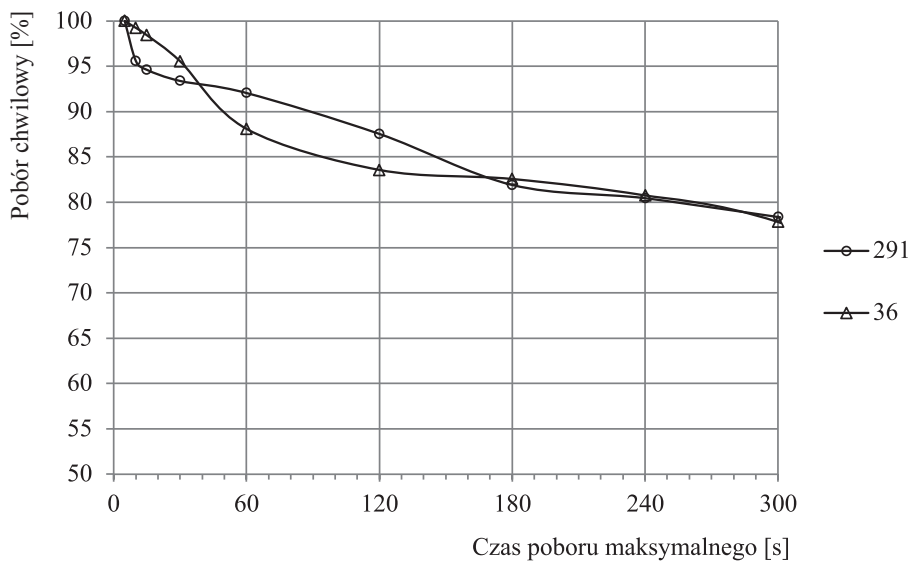
Lp.	N	Wartości względne poborów [%]												
		5 s	10 s	15 s	30 s	60 s	120 s	180 s	240 s	300 s	600 s	900 s	1800 s	3600 s
1	291	100,0	95,6	94,6	93,4	92,1	87,5	81,9	80,4	78,4	67,8	63,2	51,9	49,0
2	240	100,0	99,0	98,8	96,9	93,1	77,5	69,5	65,0	64,1	59,0	53,7	46,1	42,0
3	160	100,0	99,7	99,1	97,1	90,4	87,6	86,2	80,2	75,3	62,5	54,0	45,0	42,7
4	108	100,0	99,9	97,7	90,1	78,1	72,4	69,3	70,1	69,3	64,0	50,6	33,9	30,0
5	96	100,0	98,8	98,1	95,3	87,9	81,2	70,7	67,4	64,7	50,8	42,8	29,7	23,8
6	84	100,0	99,1	97,9	94,0	79,9	78,1	70,4	66,5	57,9	48,3	41,3	33,0	26,7
7	47	100,0	99,7	99,6	98,1	82,9	75,1	71,4	69,5	65,3	60,7	57,1	42,6	34,8
8	36	100,0	99,3	98,4	95,6	88,1	83,6	82,6	80,7	77,8	52,2	44,7	38,4	25,8
Średnia		100,0	98,9	98,0	95,1	86,6	80,4	75,2	72,5	69,1	58,2	50,9	40,1	34,4

Tabela 4.5. Stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w ciągu doby – średnie dla całego okresu pomiarów w poszczególnych obiektach

Lp.	N	Wartości względne poborów [%]												
		5 s	10 s	15 s	30 s	60 s	120 s	180 s	240 s	300 s	600 s	900 s	1800 s	3600 s
1	291	100,0	98,2	96,1	92,7	87,6	82,2	78,4	76,0	73,6	63,8	57,6	47,9	40,5
2	240	100,0	97,5	95,8	92,1	87,3	81,4	77,6	74,2	71,5	61,7	55,5	46,6	40,8
3	160	100,0	98,3	96,8	93,4	88,3	79,9	75,6	72,1	70,8	58,7	52,6	42,3	34,6
4	108	100,0	98,1	95,8	88,9	81,7	74,6	69,9	66,5	63,7	52,5	46,2	35,9	28,2
5	96	100,0	96,6	94,2	88,4	80,6	69,9	64,7	61,0	57,7	46,2	40,3	31,1	25,5
6	84	100,0	96,9	94,7	90,2	84,7	77,4	72,1	67,5	64,1	50,9	44,4	35,2	29,0
7	47	100,0	96,9	94,2	90,1	85,9	80,4	76,4	73,3	70,3	60,0	54,2	42,2	31,2
8	36	100,0	97,7	94,7	88,4	80,2	71,3	65,3	60,8	57,3	46,5	40,3	30,7	22,4
Średnia dla wszystkich budynków		100,0	97,5	95,3	90,5	84,5	77,1	72,5	68,9	66,1	55,1	48,9	39,0	31,5
Średnia bez budynków 4 i 7		100,0	97,8	95,7	91,0	85,0	77,8	73,1	69,5	66,8	55,7	49,4	39,8	32,6



Rys. 4.13. Ograniczony do godziny stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w dobie z najmniejszą wartością tego poboru dla budynku o największej (291) i dla budynku o najmniejszej (36) liczbie przyborów



Rys. 4.14. Ograniczony do 5 minut stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego w dobie z najmniejszą wartością tego poboru dla budynku o największej(291) i dla budynku o najmniejszej (36) liczbie przyborów

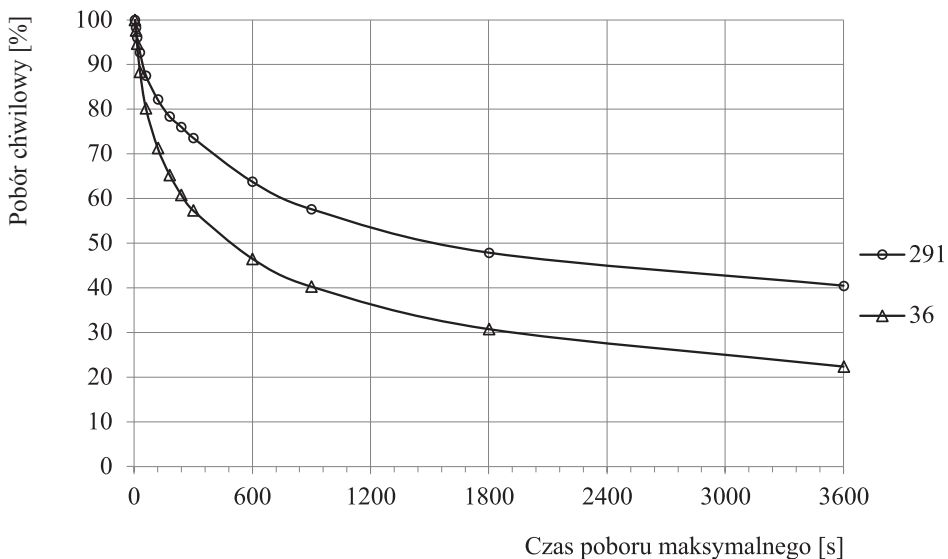
Następnie na rysunkach 4.15 i 4.16 dane te przedstawiono dla obiektu największego i dla obiektu najmniejszego.

Do dalszej analizy wybrano 6 budynków; pominięto dwa budynki, w których zależności były nietypowe, jeśli chodzi o rozkład poboru wody w ciągu doby (budynek pracowników uczelni i budynek z mieszkaniami o znacznie większej powierzchni niż w pozostałych budynkach).

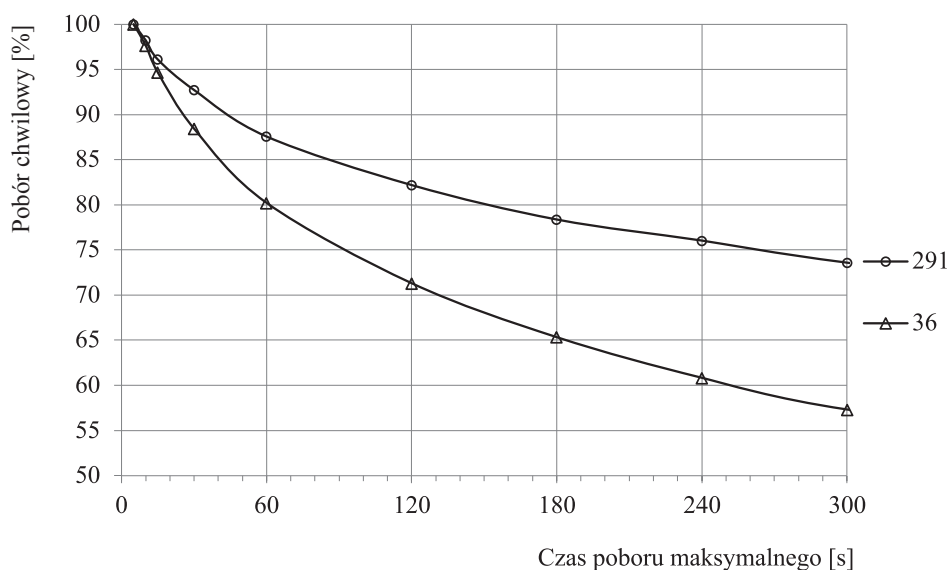
Na rysunku 4.17 przedstawiono uśredniony dla okresu pomiarów stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego dla analizowanych obiektów, w funkcji okresu trwania poboru.

Na rysunku 4.17 można zauważyć, że:

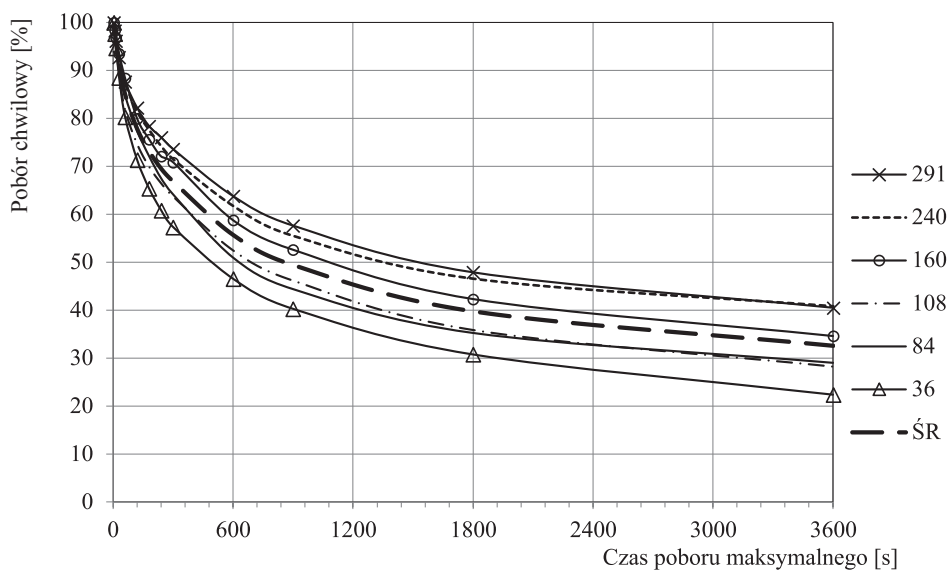
- uzyskane krzywe są monotonicznie malejące;
- przy danej liczbie przyborów wraz z wydłużeniem okresu maksymalnego poboru wartości analizowanego stosunku maleją;
- im mniejsza jest instalacja w budynku, tym wartość analizowanego stosunku jest mniejsza, co świadczy o większym zróżnicowaniu poborów maksymalnych w mniejszych instalacjach.



Rys. 4.15. Ograniczony do godziny stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego, uśredniony dla okresu pomiarów dla budynku o największej (291) i dla budynku o najmniejszej (36) liczbie przyborów

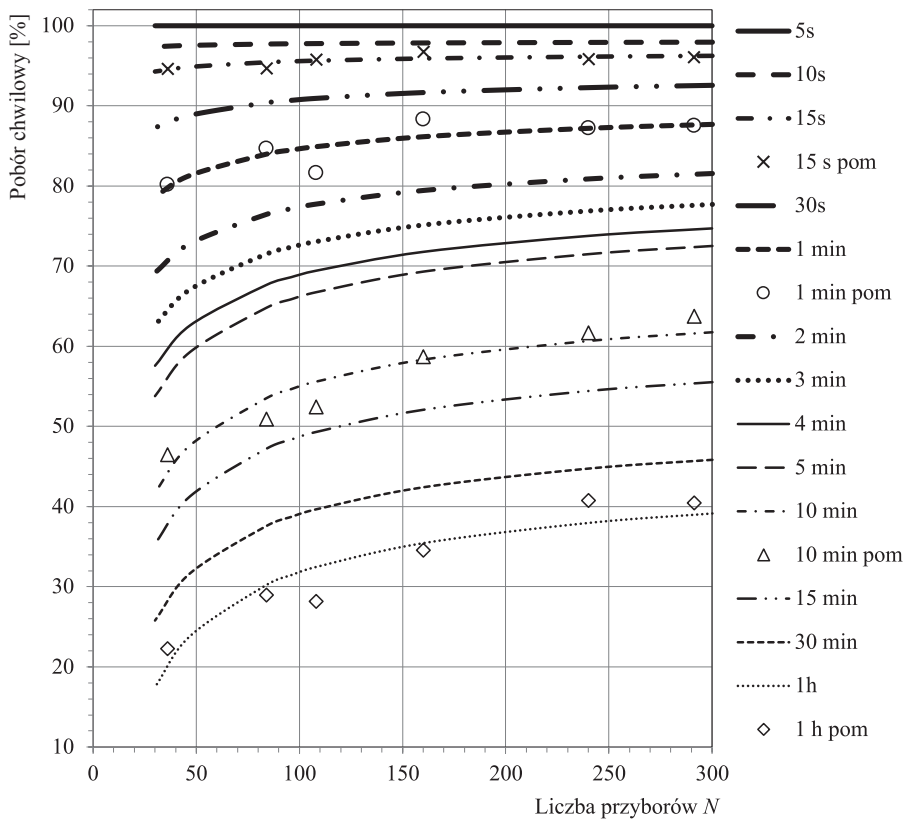


Rys. 4.16. Ograniczony do 5 minut stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego, uśredniony dla okresu pomiarów dla budynku o największej (291) i dla budynku o najmniejszej (36) liczbie przyborów



Rys. 4.17. Stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego, uśredniony dla okresu pomiarów, dla obiektów wybranych do dalszej analizy o liczbie przyborów od 36 do 291 oraz wartość średnia (ŚR) tego stosunku

Na rysunku 4.18 pokazano uśredniony dla okresu pomiarów stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego, dla analizowanych obiektów, w funkcji liczby przyborów. Rysunek przedstawia krzywe otrzymane na drodze aproksymacji wyników, wraz z przykładowymi wartościami uzyskanymi z pomiarów.



Rys. 4.18. Stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego, w zależności od liczby przyborów dla analizowanych obiektów (wybrane wartości z pomiarów „pom” wraz z liniami z aproksymacji danych pomiarowych dla czasów trwania poboru od 5 sekund do godziny)

Na rysunku 4.18 można zauważyć, że:

- uzyskane krzywe są regularne i monotonicznie rosnące,
- wraz z wydłużeniem okresu maksymalnego poboru zwiększa się zmienność otrzymanych wartości,
- dla czasu poboru do 15 sekund można przyjąć, że stosunek wartości poboru maksymalnego w danym czasie do maksymalnego poboru 5-sekundowego nie zależy od liczby przyborów w instalacji.

Na podstawie zebranych danych pomiarowych przeanalizowano zależności pomiędzy poborami maksymalnymi chwilowymi a poborami maksymalnymi z dłuższych okresów, uwzględniając wpływ wielkości instalacji ciepłej wody użytkowej. Wpływ ten jest szczególnie widoczny w instalacjach o małej liczbie punktów czerpalnych.

Przeprowadzona analiza wykazała, że we współczesnych instalacjach jest większe zróżnicowanie poborów maksymalnych, niż zauważono to w latach siedemdziesiątych. Na przykład w publikacji [73] podano, że natężenie poboru 2-minutowego stanowiło 96% procent, 5-minutowego – 86%, a 10-minutowego – 71% poboru sekundowego. Dla poboru 2-minutowego, 5-minutowego i 10-minutowego autorzy uzyskali odpowiednio: 82%, 72% oraz 62% poboru 2-minutowego w budynku o 300 punktach poboru. Dla mniejszych instalacji wartości te okazały się jeszcze mniejsze.

Analiza wykazała, że stosunek poborów maksymalnych, z okresu wynoszącego 15 sekund lub krótszego, do poboru maksymalnego pięciosekundowego nie zależy od liczby przyborów w instalacji.

Informacje te mogą być przydatne podczas przyjmowania czasu próbkowania oraz uśredniania w badaniach poborów chwilowych z instalacji wodociągowych.

4.2.3. Rzeczywisty czas trwania poboru

Z analizy krzywych uporządkowanych wynika, że czas korzystania netto z instalacji ciepłej wody wynosił od ok. 7 godzin w obiektach najmniejszych i dochodził do około 19 godzin w obiektach największych.

Wzór na prawdopodobieństwo braku poboru wody $H(0)$ z instalacji w budynku (pobór $\dot{v} = 0$), co wiąże się z zerową liczbą otwartych zaworów ($K = 0$), określono w rozdz. 3.4 (zależność 3.20); ma on postać [48]:

$$H(0) = (1 - P)^N \quad (4.7)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego zaworu czerpalnego w czasie doby,

N – liczba punktów czerpalnych.

Prawdopodobieństwo otwarcia zaworu czerpalnego można określić jako:

$$P = \frac{\tau_{zd}}{\tau_d} \quad (4.8)$$

gdzie:

τ_{zd} – średni czas otwarcia zaworu ciepłej wody w czasie doby,

τ_d – średni czas korzystania z instalacji ciepłej wody w ciągu doby.

Natomiast efektywny czas korzystania z instalacji wody wyznaczyć można z zależności:

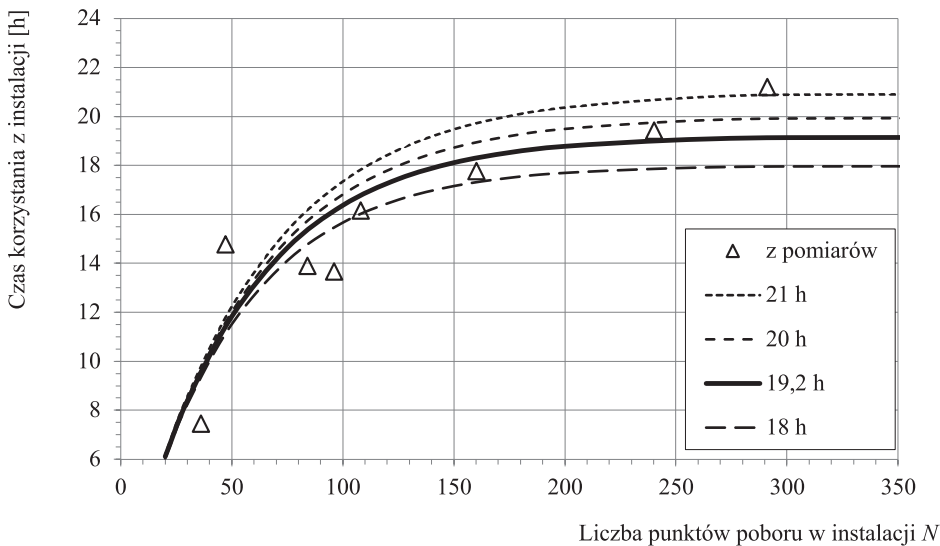
$$H_e = \frac{\tau_a - \tau_e}{\tau_a} \quad (4.9)$$

gdzie:

τ_a – doba pomiarowa,

τ_e – średni czas braku poboru z instalacji ciepłej wody w ciągu doby.

Przewidywany czas korzystania z instalacji w okresie doby, w zależności od liczby punktów poboru N , uzyskany na podstawie opracowanego przez autora modelu, przedstawiono na rysunku 4.19. Na rysunku tym można zauważyć wydłużanie się czasu poboru ciepłej wody z instalacji wraz ze wzrostem liczby zainstalowanych punktów czerpalnych.



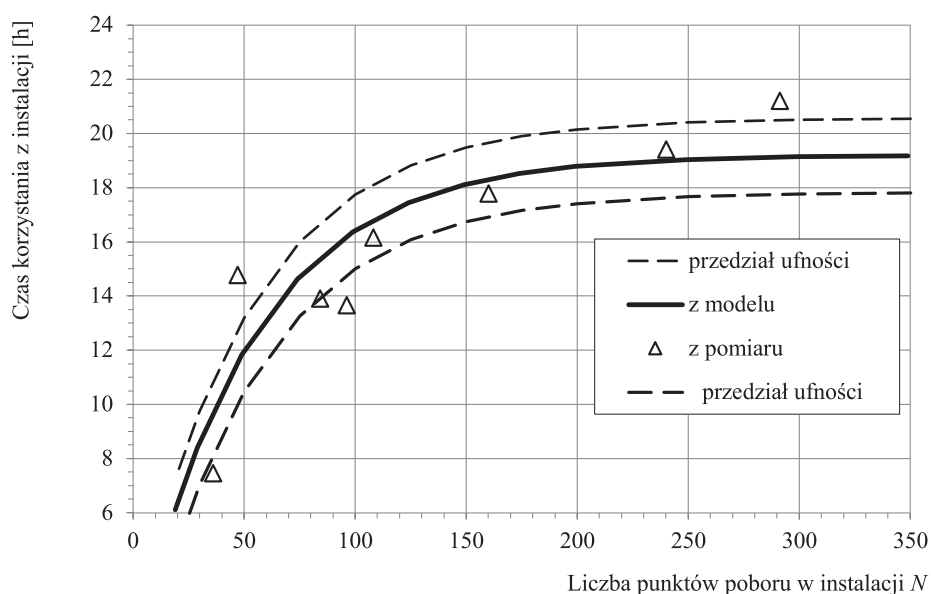
Rys. 4.19. Estymowane wartości czasu poboru ciepłej wody z instalacji, w zależności od liczby punktów poboru N , określone na podstawie przedstawionego modelu poboru ciepłej wody i wyników pomiarów zużycia ciepłej wody dla przyjętych różnych wartości czasu trwania okresu fazy aktywnej – aktywnej

Liczba zamontowanych punktów poboru ciepłej wody w pojedynczych mieszkaniach w badanych budynkach wielorodzinnych wynosiła 3. Można przyjąć, że liczba mieszkańców jest proporcjonalna do liczby mieszkań, a więc jest również proporcjonalna do liczby punktów poboru ciepłej wody. Zatem wydłużanie czasu poboru ciepłej wody z instalacji związane jest również ze wzrostem liczby osób ko-

rzyszających z instalacji. Można zauważyć, że dla liczby przyborów większej niż 250 czas ten jest stały i odpowiada czasowi trwania fazy aktywnej – aktywnej.

Wyznaczony przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów czas poboru ciepłej wody z instalacji dla 350 przyborów wynosi 19,2 godziny. Można więc przyjąć, że czas ten odpowiada okresowi fazy aktywnej – aktywnej.

Na rysunku 4.20 dla optymalnej wartości czasu trwania cyklu dziennego pokazano czas poboru ciepłej wody z centralnej instalacji, w zależności od liczby punktów poboru, określony na podstawie przedstawionego modelu poboru ciepłej wody i wyników pomiarów zużycia ciepłej wody [50], wraz z przedziałami ufności dla poziomu istotności 0,95.



Rys. 4.20. Czas poboru ciepłej wody z centralnej instalacji, w zależności od liczby punktów poboru, wraz z przedziałami ufności dla poziomu istotności 0,95, określony na podstawie modelu poboru ciepłej wody i wyników pomiarów zużycia ciepłej wody

Okres trwania fazy aktywnej wynosi $19,2 \pm 1,4$ godziny. Czyli z prawdopodobieństwem 95% można stwierdzić, że średni czas trwania fazy aktywnej mieści się w przedziale od 17,8 do 20,6 godziny [50].

4.2.4. Wpływ rodzaju dnia tygodnia na pobory maksymalne chwilowe

Pobory dobowe mają zauważalny związek z rodzajem dnia tygodnia (dni robocze, dni świąteczne), nie mają natomiast wyraźnego związku z poborami chwilowymi

[111]. Z zebranych danych pomiarowych wynika, że zużycie dobowe wody w dni robocze jest mniejsze niż w soboty i niedziele.

Porównując na wykresach przebiegi uporządkowane poborów chwilowych dla dni roboczych i dni wolnych od pracy, nie zaobserwowano istotnych powtarzalnych różnic pomiędzy nimi. Z przebiegu poborów chwilowych i krzywych uporządkowanych poborów nie wynika jednoznacznie, w jakich dniach występują największe pobory chwilowe. Dla poborów chwilowych z dni roboczych oraz sobót i niedziel wykonano porównanie odpowiadających im wartości, metodą zmiennych łączonych, za pomocą testu t-Studenta. W 95% przypadków nie było podstaw do odrzucenia hipotezy mówiącej o ich równości. W związku z tym dodatkowo przeanalizowano, czy istnieje związek rodzaju dnia z występowaniem maksymalnych poborów chwilowych. W tym celu zestawiono wybrane dane w tabeli 4.6. Dla poszczególnych obiektów ze zbioru wartości poborów chwilowych, uporządkowanych w kolejności malejącej, w poszczególnych dniach wybrano wartości największe. Następnie wartości te uporządkowano w kolejności malejącej i do dalszej analizy wybrano po 5 największych poborów zarejestrowanych w każdym obiekcie wraz z przypisanym im dniem (od 1 – poniedziałek do 7 – niedziela). Z tabeli 4.6 wynika, że stosunek liczby dni świątecznych do liczby dni roboczych w analizowanym zbiorze poborów maksymalnych wynosi 0,43. Stosunek ten jest zbliżony do stosunku liczby dni świątecznych do liczby dni roboczych w tygodniu, który wynosi 0,40. Wobec powyższego można stwierdzić, że nie ma związku pomiędzy rodzajem dnia a pomierzonymi poborami maksymalnymi chwilowymi w badanych obiektach.

W dalszych analizach parametry rozkładu przyjętego modelu poboru ciepłej wody w poszczególnych obiektach ustalano na podstawie danych uzyskanych dla wszystkich dni okresu pomiarowego.

Tabela 4.6. Zestawienie maksymalnych wartości poborów chwilowych (po 5 największych wartości) dla poszczególnych obiektów, z przypisanym im dniem wystąpienia w tygodniu

Berlinga 9 N = 36	data	09.01.2005	30.12.2004	21.12.2004	23.12.2004	17.12.2004
	godzina	19.26'20"	22.38'40"	20.53'40"	20.10'05"	21.42'10"
	pobór [dm ³ /s]	0,66	0,58	0,55	0,54	0,53
	dzień tygodnia	7	4	2	4	5
Wilków 6 N = 47	data	07.06.2002	01.06.2002	12.06.2002	15.06.2002	24.06.2002
	godzina	10.30'55"	10.32'45"	15.40'15"	13.10'30"	07.46'50"
	pobór [dm ³ /s]	0,48	0,46	0,46	0,45	0,45
	dzień tygodnia	5	6	3	6	1
Bohaterów Warszawy 83 N = 84	data	14.04.2002	05.05.2002	21.04.2002	25.04.2002	17.04.2002
	godzina	21.44'55"	22.41'05"	21.34'15"	22.07'30"	20.53'25"
	pobór [dm ³ /s]	1,19	1,04	1,03	1,00	1,00
	dzień tygodnia	7	7	7	4	3
Cegielskiego 5 N = 96	data	21.12.2002	30.11.2002	15.12.2002	11.11.2002	04.12.2002
	godzina	18.07'15"	20.11'50"	21.44'50"	22.10'45"	22.20'55"
	pobór [dm ³ /s]	0,95	0,89	0,88	0,87	0,84
	dzień tygodnia	6	6	7	1	3
Berlinga 5 N = 108	data	29.10.2004	01.11.2004	17.11.2004	23.11.2004	03.11.2004
	godzina	12.21'30"	22.25'5"0	21.24'45"	22.38'10"	22.41'40"
	pobór [dm ³ /s]	0,63	0,63	0,62	0,60	0,59
	dzień tygodnia	5	1	3	2	3
Ku Słońcu 2 N = 160	data	01.03.2002	17.03.2002	07.03.2002	12.02.2002	17.02.2002
	godzina	22.20'15"	21.42'10"	22.25'15"	21.29'00"	22.20'40"
	pobór [dm ³ /s]	1,10	0,98	0,96	0,95	0,94
	dzień tygodnia	5	7	4	2	7
Przyjaciół Żołnierza 86 N = 240	data	04.09.2002	24.09.2002	26.09.2002	19.09.2002	06.09.2002
	godzina	20.44'20"	20.47'30"	19.26'50"	20.19'25"	14.07'45"
	pobór [dm ³ /s]	1,72	1,29	1,25	1,25	1,18
	dzień tygodnia	3	2	4	4	5
Przyjaciół Żołnierza 82 N = 291	data	26.01.2003	30.01.2003	10.02.2003	21.01.2003	16.01.2003
	godzina	10.21'55"	22.26'50"	21.20'35"	19.44'10"	21.32'00"
	pobór [dm ³ /s]	1,19	1,11	1,08	1,07	1,01
	dzień tygodnia	7	4	1	2	4
Razem dni świąteczne z pomiarów					12	
Razem dni robocze z pomiarów					28	
Dni świąteczne / dni robocze z pomiarów					0,43	
Dni świąteczne / dni robocze w tygodniu					0,40	

4.3. Określanie parametrów modelu na podstawie próby

4.3.1. Wybór analizowanej próby

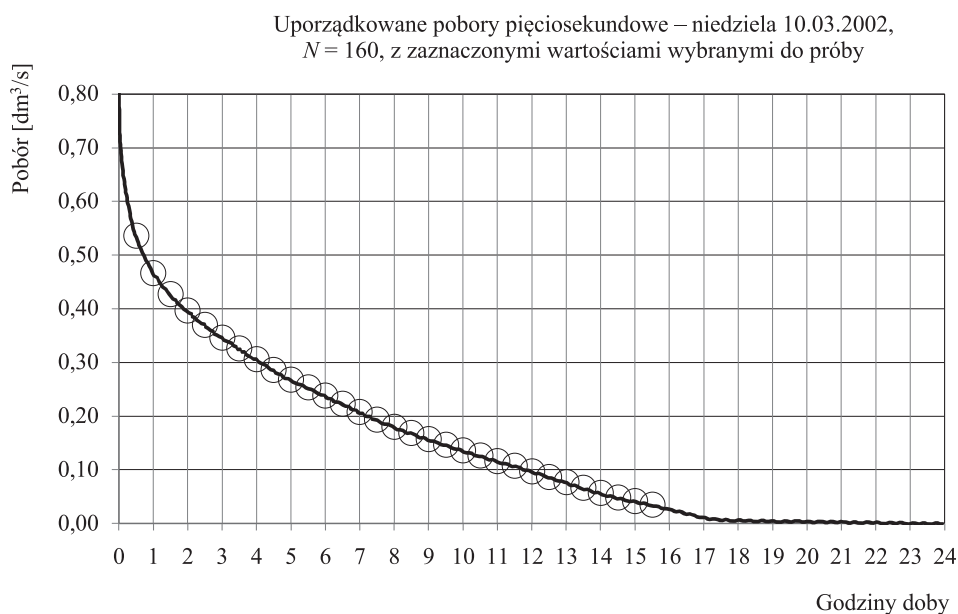
Przyjęto, że rozkład prawdopodobieństwa, opisujący strumień ciepłej wody pobieranej z instalacji, jest rozkładem złożonym z rozkładu Bernoulliego i rozkładu wykładniczego o parametrach p i λ . Do określenia parametrów rozkładu na podstawie danych z pomiarów (obserwacji) zastosowano metodę momentów przedstawioną w rozdziale 3.1 (zależności 3.18 i 3.19).

W trakcie pomiarów dla każdego z 8 obiektów, przez co najmniej 30 dni, w ciągu każdej doby rejestrowano po 17 280 wartości poborów pięciosekundowych. Łączna liczba zgromadzonych danych dla każdego obiektu wynosiła ponad 518 tysięcy. Przy tak dużej liczbie danych ich statystyczna obróbka, a zwłaszcza sprawdzanie zgodności z rozkładem teoretycznym były bardzo uciążliwe. Wobec powyższego ze zgromadzonych danych wybrano próbkę reprezentatywną w celu określenia parametrów analizowanego rozkładu.

Na potrzeby wyboru próby miarodajnej dla doby zarejestrowane podczas niej pobory pięciosekundowe uporządkowano w kolejności malejącej; z tak uporządkowanego zbioru wybrano pomierzone wartości w odstępach 30-minutowym. Przyjęto, że tak wybrane wartości dostatecznie dokładnie charakteryzują zmienność poborów.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że w ciągu doby czas netto, w którym występowały pobory wahał się od 7 do 18 godzin. Przyjęto, że średnio wynosi on 16 godzin, w związku z czym z każdej doby wybrano 32 wartości pomierzone.

Na rysunku 4.21 przedstawiono wykres uporządkowanych poborów, zarejestrowanych w ciągu doby w jednym z obiektów; zaznaczono wybrane dane jako próbę reprezentatywną przeznaczoną do dalszych analiz. Do wyznaczenia parametrów rozkładu przyjęto 31 wartości, rozpoczynając od wartości z połowy pierwszej godziny, a kończąc na wartości z połowy szesnastej godziny uporządkowanych poborów. Wartości maksymalne (początkowe) pominięto, ponieważ mogły one wynikać z występowania mało istotnych i przypadkowo występujących czynników. Przeprowadzone obliczenia dla wybranego losowo obiektu i wybranej losowo doby przedstawionej na rysunku wykazały, że bezwzględna różnica wartości średnich wszystkich zarejestrowanych wyników, od połowy pierwszej godziny do połowy szesnastej godziny poboru, oraz określonych dla 31 wartości z wybranej próby wynosi poniżej $0,0036 \text{ dm}^3/\text{s}$, czyli stanowi ok. 1,7% wartości średniej i jest mniejsza od wyznaczonego błędu pomiaru zastosowanymi urządzeniami.



Rys. 4.21. Uporządkowany przebieg zarejestrowanych poborów pięciosekundowych w budynku (linia ciągła), z zaznaczonymi wartościami wybranymi do próby statystycznej (okręgi)

Dla danego obiektu uśredniono wartości z okresu pomiarowego, tworząc zbiór będący sumą wartości wybranych z poszczególnych dni, a następnie porządkując go i wybierając próbę miarodajną, tak jak dla pojedynczej doby.

Dysponując próbami dla pojedynczych dni, próbami uśrednionymi dla dni roboczych (środy), sobót i niedziel, a także dla wszystkich dni z okresu pomiarów, określono parametry przyjętego modelu.

4.3.2. Sprawdzenie zgodności rozkładu teoretycznego z danymi pomiarowymi z doby i z całego okresu pomiarów

Dysponując parametrami rozkładu dla pojedynczych dni, dni roboczych (środy), sobót i niedziel, a także dla wszystkich dni z okresu pomiarów sprawdzono zgodność rozkładu teoretycznego z danymi pomiarowymi. Wyniki przedstawiono na rysunkach 4.22–4.32 w postaci krzywych teoretycznych, o parametrach estymowanych z danych pomiarowych, a także wartości pomiarów.

Przeanalizowano również możliwość zastosowania testu Kołmogorowa do sprawdzenia hipotezy, że przyjęty rozkład z parametrami estymowanymi z próby odpowiada wynikom uzyskanym z pomiarów. Liczebność pomiarów w analizowanym

okresie (15 i pół godziny każdej doby) wynosi 10 080, w związku z czym dopuszczalna wartość krytyczna testu, przy poziomie istotności 0,05, w tym przypadku wynosi 1,35%. Oszacowany błąd pomiaru poboru wynosi 2,5%, dlatego zrezygnowano ze stosowania tego testu.

Ponieważ przy określaniu przepływów w instalacji poszukiwane były wartości największe, zdecydowano się na określenie własnego kryterium zgodności.

Jako kryterium przyjęto maksymalne różnice (D_{max}) wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego z pomiarów i odpowiadającej jej wartości teoretycznej wynikającej z modelu. Założono, że dopuszczalna różnica nie powinna przekraczać wartości 5% (dwukrotnej wartości błędu pomiarowego oszacowanej dla układu pomiarowego).

Prawdopodobieństwo przekroczenia dotyczące określonego zbioru danych losowych oznacza wystąpienie zakładanej wartości z prawdopodobieństwem nie większym niż przyjęta wartość tego przekroczenia (np. przy przyjęciu przekroczenia 10% pobór o przyjętej wartości może wystąpić raz na 10 poborów zarejestrowanych).

W tabelach 4.7–4.10 dla największych wartości poboru w próbkach pomiarowych z poszczególnych obiektów przedstawiono maksymalne obliczone wartości D_{max} .

Uzyskane parametry modelu w poszczególnych obiektach dla wybranych dni oraz wyniki przyjętego testu zgodności w tych dniach przedstawiono w tabeli 4.7.

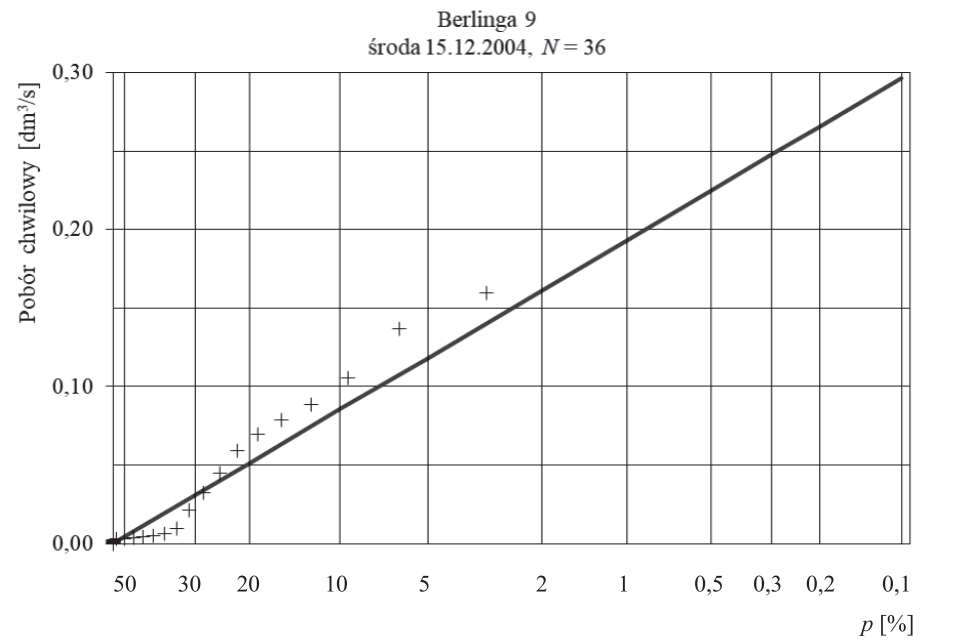
Na rysunkach 4.22–4.24 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, wynikających z przyjętego modelu (złożonego rozkładu Bernouliego), i parametrów uzyskanych z pomiarów w poszczególnych obiektach, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla losowo wybranych dni.

W tabeli 4.8 przedstawiono parametry rozkładu uzyskane na podstawie wyników uśrednionych dla dni roboczych (śród) oraz podano wartość maksymalnej różnicy pomiędzy wartościami pomierzonymi i estymowanymi. Na rysunkach 4.25 i 4.26 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, wynikających z przyjętego rozkładu, i parametrów uzyskanych z pomiarów w wybranych obiektach, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla dni roboczych. Na rysunkach oś pozioma wykresów posiada skalę logarytmiczną.

Parametry modelu, wybrane dla sobót i niedziel w poszczególnych obiektach, oraz wynik testu zgodności przedstawiono w tabeli 4.9.

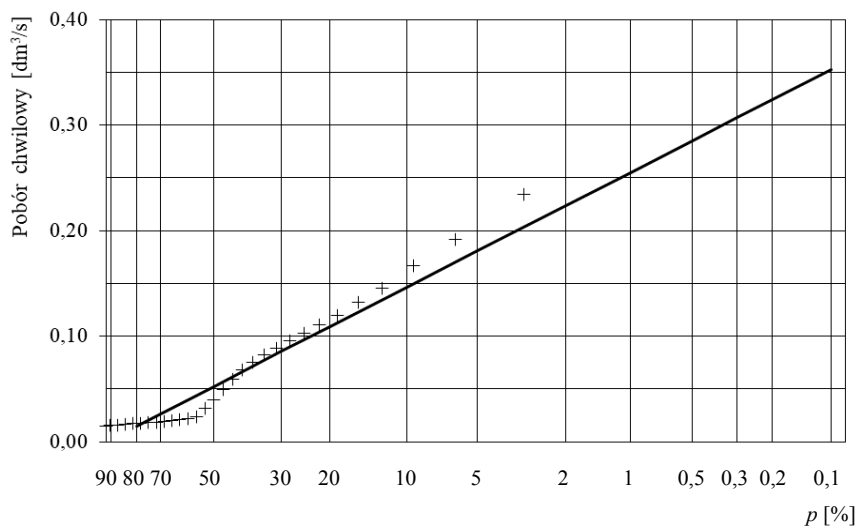
Tabela 4.7. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego, określone na podstawie pomiarów, oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego pomiaru i odpowiadającej jej wartości dystrybuanty teoretycznej, wynikającej z modelu (D_{max}), dla wybranych dni z okresu pomiaru

Budynek	N	Wybrane dni				
		data pomiaru	parametry			różnica
			P	λ	v_j	
Berlinga 9	36	15.12.2004	0,022	28,4	0,035	2,4%
Wilków 7	47	19.06.2002	0,052	37,2	0,027	2,7%
Bohaterów Warszawy 83	84	10.04.2002	0,023	18,0	0,055	3,1%
Cegielskiego 5	96	6.11.2002	0,019	24,9	0,040	2,2%
Berlinga 5	108	20.10.2004	0,028	47,6	0,021	2,7%
Ku Słońcu 2	160	6.03.2002	0,027	30,6	0,033	2,8%
Przyjaciół Żołnierza 86	240	18.09.2002	0,017	20,8	0,048	2,5%
Przyjaciół Żołnierza 82	291	8.01.2003	0,024	31,0	0,032	2,8%



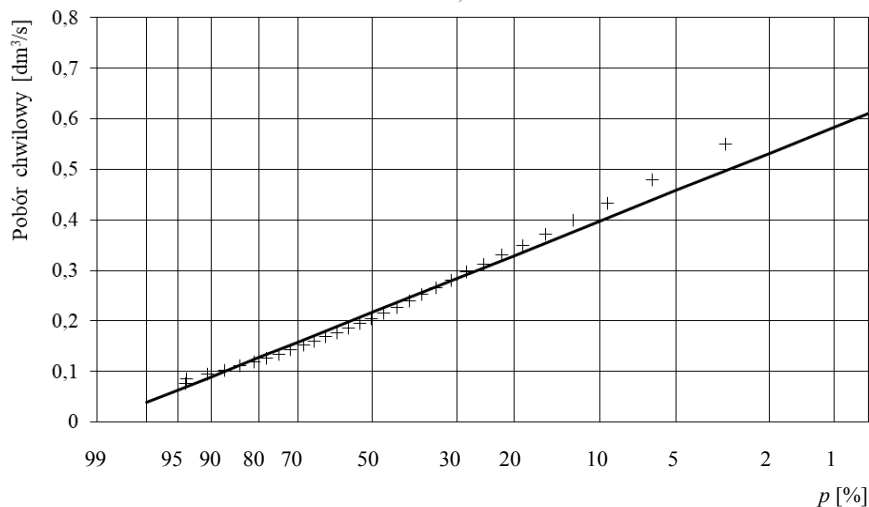
Rys. 4.22. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla obiektu najmniejszego w wybranym dniu roboczym; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 2,4\%$

Wilków Morskich 7
środa 19.06.2002, $N = 47$



Rys. 4.23. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla obiektu małego w wybranym dniu roboczym; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 2,7\%$

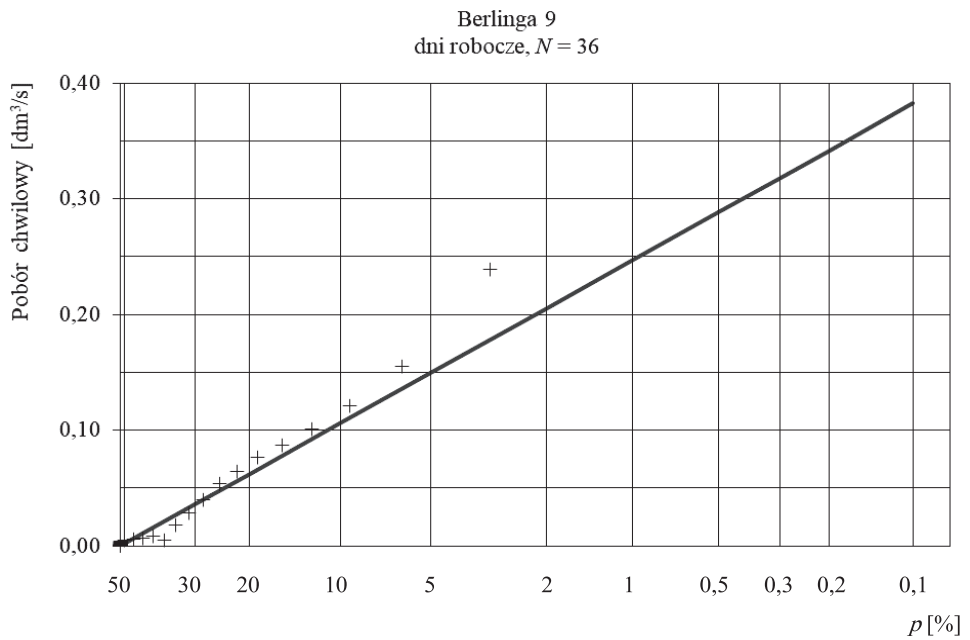
Przyjaciół Żołnierza 82
środa 08.01.2003, $N = 291$



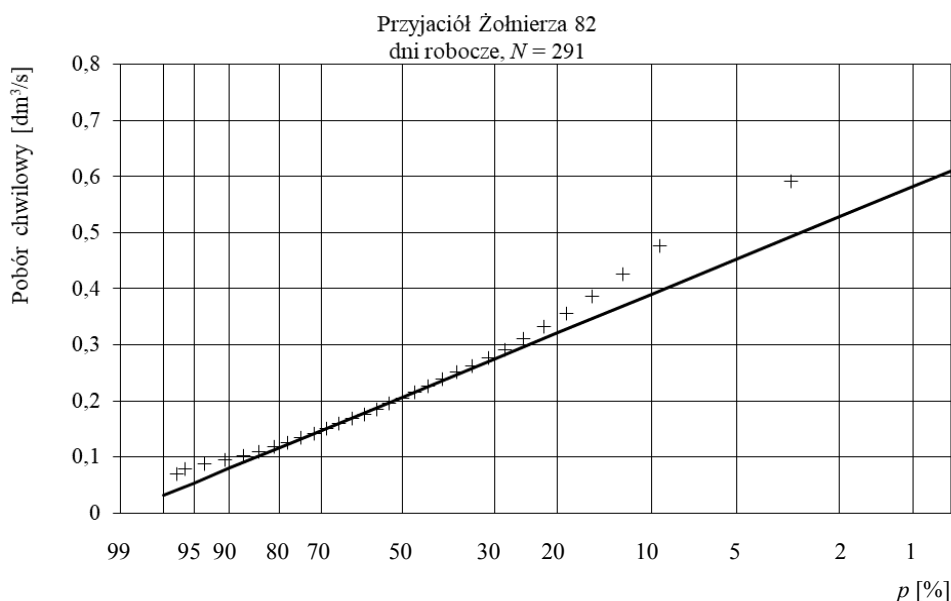
Rys. 4.24. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla obiektu największego w wybranym dniu roboczym; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 2,8\%$

Tabela 4.8. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego, określone na podstawie pomiarów, oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego pomiaru i odpowiadającej jej wartości dystrybuanty teoretycznej, wynikającej z modelu (D_{max}), dla dni roboczych (śród) z okresu pomiaru

Budynek	N	Środy			
		parametry			różnica
		P	λ	v_j	
Berlinga 9	36	0,020	21,4	0,047	2,8%
Wilków 7	47	0,034	28,8	0,035	3,9%
Bohaterów Warszawy 83	84	0,021	16,2	0,062	2,2%
Cegielskiego 5	96	0,021	23,6	0,042	2,3%
Berlinga 5	108	0,017	30,4	0,033	2,4%
Ku Słońcu 2	160	0,022	22,8	0,043	3,0%
Przyjaciół Żołnierza 86	240	0,015	17,4	0,057	3,7%
Przyjaciół Żołnierza 82	291	0,022	29,0	0,034	5,8%
Średnia		0,022	23,7	00,044	3,3%



Rys. 4.25. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi z dni roboczych (śród) dla obiektu najmniejszego; wartość maksymalnej różnicy pomiędzy wartością pomierzoną a wartością estymowaną $D_{max} = 2,8\%$

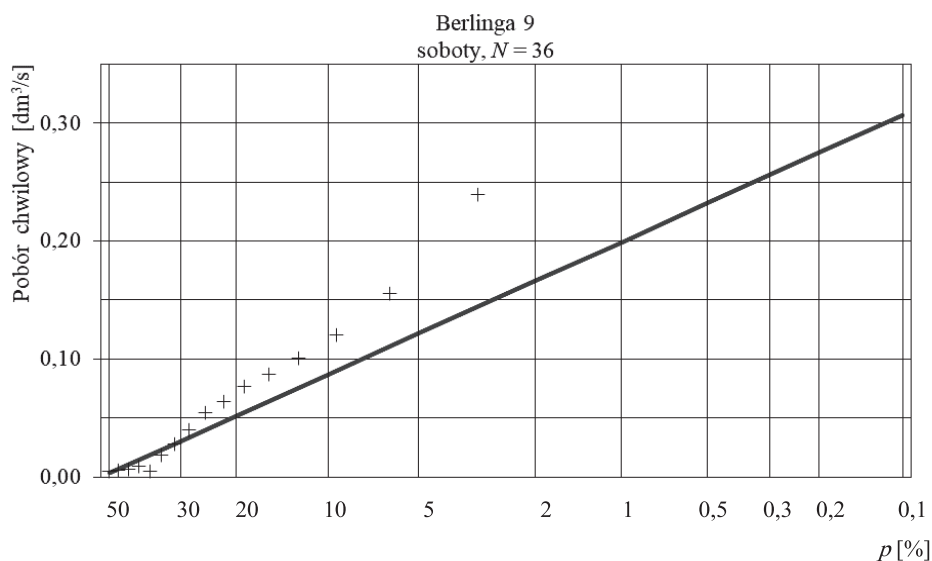


Rys. 4.26. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi z dni roboczych (śródy) dla obiektu największego; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 5,8\%$

Tabela 4.9. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego, określone na podstawie pomiarów, oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego z pomiarów i odpowiadającej jej wartości dystrybucyjnej teoretycznej wynikającej z modelu (D_{max}), dla sobót i niedziel

Budynek	N	Soboty				Niedziele			
		parametry			różnica D_{max}	parametry			różnica D_{max}
		P	λ	v_j		P	λ	v_j	
Berlinga 9	36	0,021	27,1	0,037	4,3%	0,022	21,7	0,046	3,3%
Wilków 7	47	0,030	27,6	0,036	4,0%	0,038	26,9	0,037	3,0%
Bohaterów Warszawy 83	84	0,028	21,2	0,047	2,2%	0,026	17,7	0,057	2,9%
Cegielskiego 5	96	0,027	24,9	0,040	2,4%	0,024	22,9	0,044	2,0%
Berlinga 5	108	0,021	33,2	0,030	2,6%	0,020	30,1	0,033	2,9%
Ku Słońcu 2	160	0,034	28,5	0,035	3,1%	0,027	22,4	0,045	3,2%
Przyjaciół Żołnierza 86	240	0,022	23,8	0,042	2,8%	0,024	24,1	0,042	2,8%
Przyjaciół Żołnierza 82	291	0,027	32,1	0,031	3,0%	0,024	27,6	0,036	2,5%
Średnia		0,026	27,3	0,037	3,1%	0,026	24,2	0,043	2,8%

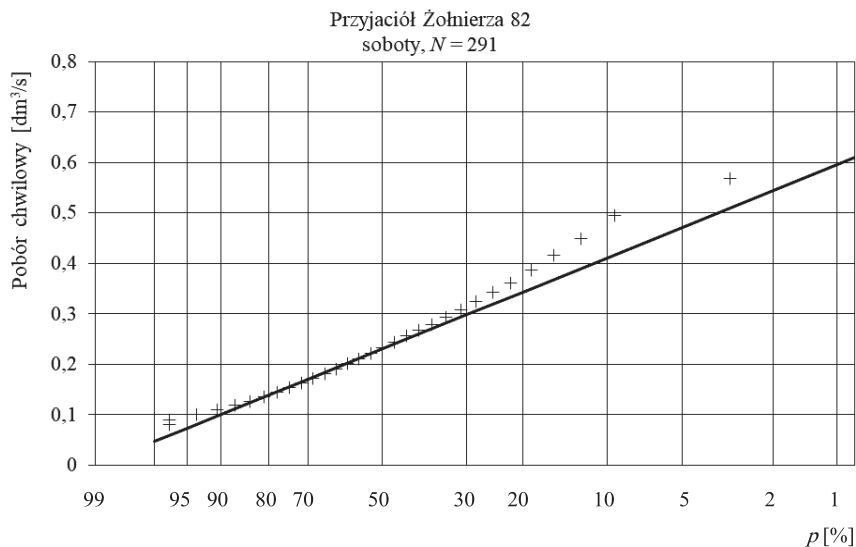
Na rysunkach 4.27–4.30 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, wynikających z przyjętego modelu (złożonego rozkładu Bernoulliego), i parametrów uzyskanych z pomiarów w wybranych obiektach, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi dla wszystkich sobót i niedziel.



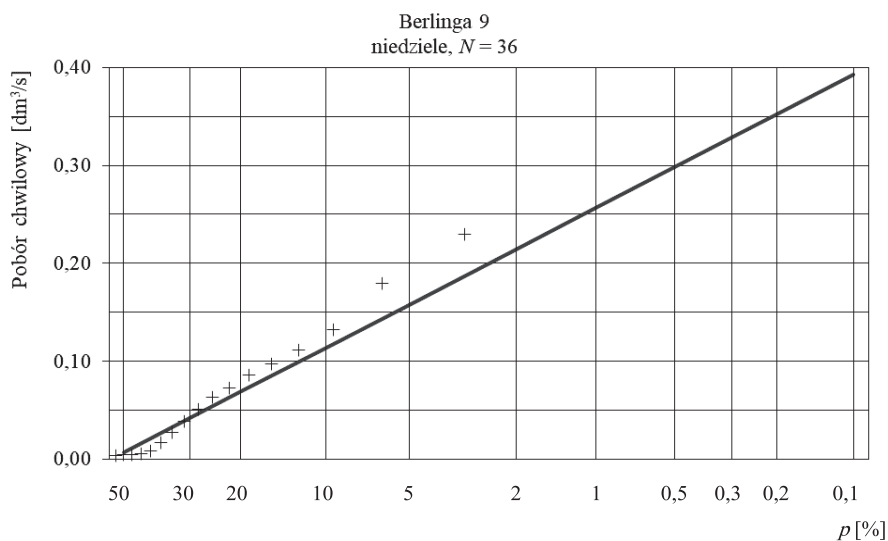
Rys. 4.27. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi z sobót dla obiektu najmniejszego; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 4,3\%$

Parametry modelu dla próby uśrednionej dla wszystkich dni z okresu pomiarów i maksymalne bezwzględne różnice pomiędzy wartościami pomierzonymi i wynikającymi z modelu (w procentach) dla prawdopodobieństwa przekroczenia poniżej 10% przedstawiono w tabeli 4.10.

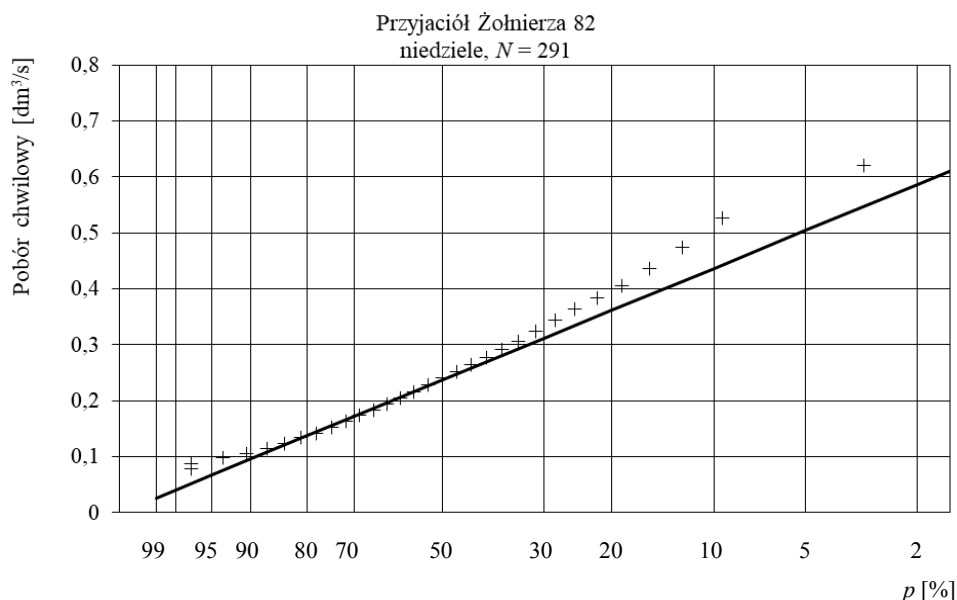
Na rysunkach 4.31 i 4.32 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, wynikających z przyjętego złożonego rozkładu Bernoulliego, i parametrów rozkładu uzyskanych z pomiarów w wybranych obiektach, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi dla wszystkich dni z okresu pomiarów.



Rys. 4.28. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi z sobót dla obiektu największego; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 3,0\%$



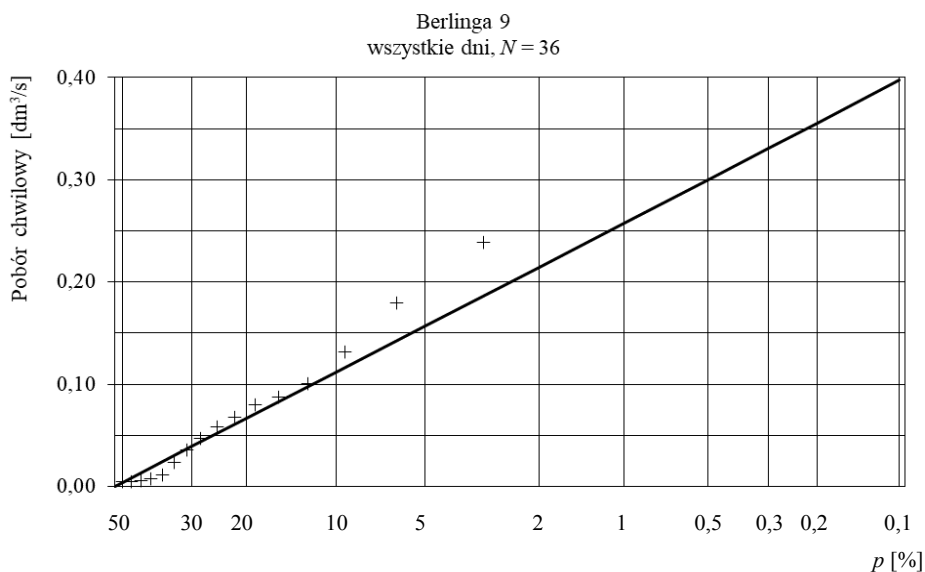
Rys. 4.29. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą rozkładu złożonego Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi z niedziel dla obiektu najmniejszego; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 3,3\%$



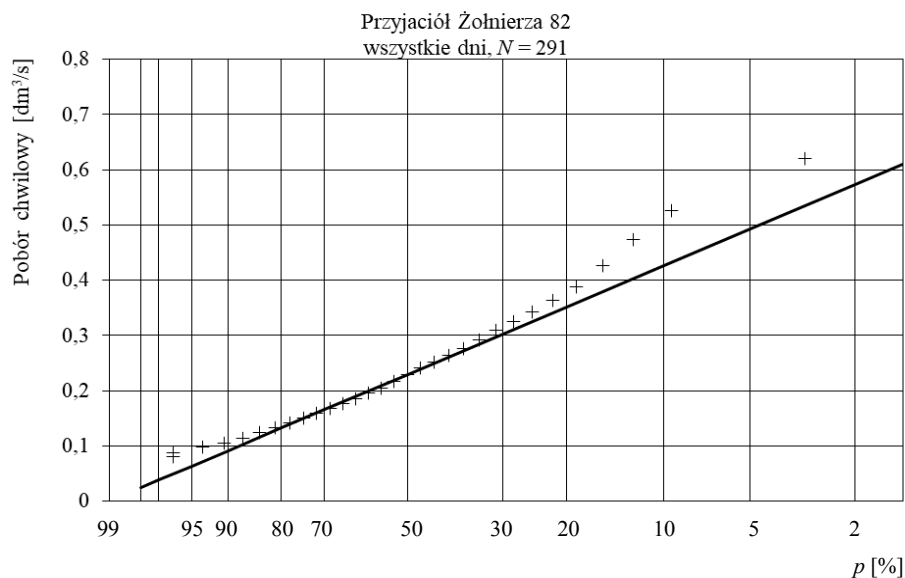
Rys. 4.30. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięcisekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi z niedziel dla obiektu największego; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 2,5\%$

Tabela 4.10. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego, określone na podstawie pomiarów, oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego pomiaru i odpowiadającej jej wartości dystrybucyjnej teoretycznej wynikającej z modelu (D_{max}) dla wszystkich dni z okresu pomiarów razem

Budynek	N	Wszystkie dni			Różnica
		P	λ	v_j	D_{max}
Berlinga 9	36	0,021	20,9	0,048	2,8%
Wilków 6	47	0,035	25,7	0,039	2,9%
Bohaterów Warszawy 83	84	0,024	16,6	0,060	2,4%
Cegielskiego 5	96	0,024	22,7	0,044	2,1%
Berlinga 5	108	0,019	30,2	0,033	2,8%
Ku Słońcu 2	160	0,027	23,4	0,043	2,9%
Przyjaciół Żołnierza 86	240	0,018	18,7	0,053	2,6%
Przyjaciół Żołnierza 82	291	0,024	27,7	0,036	3,3%
Średnia		0,024	23,2	0,045	2,7%



Rys. 4.31. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi ze wszystkich dni dla obiektu najmniejszego; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 2,8\%$



Rys. 4.32. Wykres teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, określony za pomocą złożonego rozkładu Bernoulliego, z parametrami określonymi na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi ze wszystkich dni dla obiektu dużego; wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 3,3\%$

4.4. Podsumowanie

W celu sprawdzenia zgodności opracowanego rozkładu z danymi pomiarowymi określono i sprawdzono sposób wyboru próby do analizy, a następnie przeprowadzono sprawdzenie tej zgodności. W tabelach 4.8–4.11 przedstawiono wartości parametrów złożonego rozkładu Bernoulliego, uzyskane na podstawie danych pomiarowych zebranych dla poszczególnych obiektów w analizowanych dniach tygodnia. Na rysunkach 4.22–4.32 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych, wynikające z przyjętego modelu, przy parametrach określonych na podstawie pomiarów, wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi dla wybranych dni tygodnia, dla budynku najmniejszego ($N = 36$ przyborów) i budynku największego ($N = 291$ przyborów). Na przedstawionych rysunkach wzajemne położenie krzywych teoretycznych oraz danych pomiarowych im odpowiadających świadczą o dobrym dopasowaniu tych danych i wartości uzyskanych z zastosowanego złożonego rozkładu Bernoulliego. O dobrym dopasowaniu świadczą też małe różnice pomiędzy wartościami dystrybuant, dla prawdopodobieństwa przekroczenia poniżej 10%, określone dla poborów pomierzonych i wynikających z modelu. Tylko w jednym przypadku różnica ta przekracza 5% i wynosi 5,8%.

Równie dobre dopasowanie stwierdzono dla wyników uzyskanych w pozostałych obiektach.

5. Prognozowanie poborów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych

5.1. Wartości parametrów modelu uzyskane z pomiarów

Zmienna losowa o rozkładzie Bernoulliego (dwumianowym), będąca sumą dwóch niezależnych zmiennych losowych, o tym samym prawdopodobieństwie wystąpienia pojedynczego zdarzenia P , oraz danej liczbie prób, jest również zmienną losową o rozkładzie dwumianowym i tym samym prawdopodobieństwie wystąpienia pojedynczego zdarzenia oraz o liczbie prób będących sumą liczby prób poszczególnych układów. Jest to twierdzenie o dodawaniu dla rozkładu Bernoulliego (dwumianowego) [24]. Twierdzenie to dotyczy również złożonego rozkładu Bernoulliego, pod warunkiem że parametry dodawanych rozkładów są identyczne.

W opracowanym przez autora modelu chwilowego poboru wody, który jest rozkładem złożonym z rozkładu Bernoulliego i z rozkładu wykładniczego, przyjęto założenie, że prawdopodobieństwo otwarcia każdego punktu czerpalnego w instalacji wody P i wartość odwrotności poboru wody z punktu λ są niezmiennie, a parametr N rozkładu, określający sumę prób Bernoulliego, jest równy liczbie punktów czerpalnych w analizowanej instalacji. Wobec powyższego model ten może być użyty do opisywania poborów wody w przypadku instalacji złożonej z dowolnej liczby punktów czerpalnych.

W tabeli 5.1 zebrano wartości średnie parametrów modelu (złożonego rozkładu Bernoulliego), określone na podstawie pomiarów dla analizowanych dni tygodnia oraz odpowiadające im średnie wartości maksymalnej różnicy wartości pomierzonej i wartości estymowanej (wartości przyjętego testu).

Dla analizowanych dni tygodnia parametry modelu, uzyskane z pomiarów metodą momentów, różnią się w niewielkim stopniu. Na podstawie analizy przedstawionej w poprzednim rozdziale pracy stwierdzono brak związku pomiędzy określonym dniem tygodnia a poborami maksymalnymi. W związku z powyższym do modelowania poborów chwilowych przyjęto parametry rozkładu uzyskane dla wszystkich dni z okresu pomiarowego.

Tabela 5.1. Wartości średnie parametrów złożonego modelu, określone na podstawie pomiarów dla analizowanych dni tygodnia oraz odpowiadające im wartości maksymalnej różnicy wartości i wartości estymowanej

Dni tygodnia	Wartości średnie parametrów			Wartość średnia maksymalnej różnicy
	P	λ	$\dot{v}_j$	$D_{max}[\%]$
Dni robocze (środy)	0,022	23,7	0,044	3,3
Soboty	0,026	27,3	0,037	3,1
Niedziele	0,026	24,3	0,042	2,6
Wszystkie dni razem	0,024	23,2	0,045	2,7

Można się spodziewać, że będą one najlepiej odzwierciedlać rzeczywistość, gdyż zostały określone na podstawie próby reprezentatywnej wybranej ze wszystkich zarejestrowanych danych pomiarowych w poszczególnych obiektach.

W celu określenia zakresu zmienności parametrów P i λ zdecydowano się zastosować test t-Studenta dla wartości określonych dla wszystkich dni razem, zestawionych w tabeli 8.1. Wartość parametru tego testu $t = 2,3646$, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ i liczbie stopni swobody $n = 7$. Wyniki obliczeń zakresu zmienności parametrów P i λ przedstawiono w tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Wyniki obliczeń przedziałów zmienności parametrów P i λ , przy zastosowaniu testu t-Studenta, dla pomiarów ze wszystkich dni w analizowanych obiektach

Oznaczenie	$\bar{P}$	$S_{\bar{P}}$	$t \cdot S_{\bar{P}}$	$\bar{P}_{max}$	$\bar{P}_{min}$
Wartość	0,0240	0,00189	0,00447	0,0285	0,0195
Oznaczenie	$\bar{\lambda}$	$S_{\bar{\lambda}}$	$t \cdot S_{\bar{\lambda}}$	$\bar{\lambda}_{max}$	$\bar{\lambda}_{min}$
Wartość	23,238	1,608	3,803	27,041	19,435

Ostatecznie dla przyjętego poziomu ufności 0,95 wartości parametrów rozkładu zawarte są w następujących przedziałach:

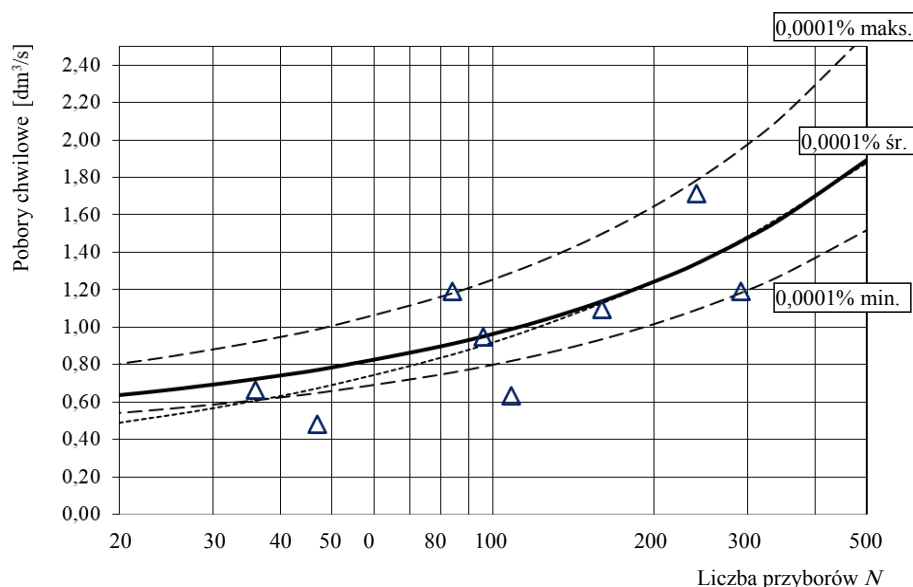
$$P \in [(0,024 - 0,00447); (0,024 + 0,00447)]$$

$$\lambda \in [(23,238 - 3,803); (23,238 + 3,803)]$$

Wykorzystując opracowaną metodykę, stworzono własny program komputerowy do modelowania przepływów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych.

Przyjmując parametry uzyskane z danych pomiarowych dla wszystkich dni okresu pomiarowego i uwzględniając ich przedziały zmienności, obliczono przepływy

o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001% dla instalacji o różnej liczbie punktów poboru (od 20 do 500). Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 5.1. Na rysunku tym widać, że pobory maksymalne, zarejestrowane w okresie pomiarów, nie przekraczają poborów wynikających z modelu, przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001%, dla uzyskanych parametrów P i λ z zakresu ich zmienności, generujących maksymalne wartości przepływów ($P = 0,0285$ i $\lambda = 19,434$ – krzywa 0,0001% maks. na wykresie). Większość zarejestrowanych w czasie pomiarów poborów maksymalnych znajduje się ponad krzywą powstałą dla parametrów P i λ generujących najmniejsze wartości przepływów ($P = 0,0195$ i $\lambda = 27,041$ – krzywa 0,0001% min. na wykresie). Podsumowując, można powiedzieć, że 75% zarejestrowanych wartości maksymalnych mieści się w przedziale wynikającym ze zmienności parametrów modelu przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001%.



Rys. 5.1. Zmienność poborów chwilowych pięciosekundowych, o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001%, określona w modelu za pomocą własnego programu komputerowego, wraz z poborami maksymalnymi z okresu pomiarów (trójkąty)

Tak mała wartość prawdopodobieństwa przekroczenia (0,0001%) wynika z dużej liczby analizowanych wartości pomiarowych przy określaniu parametrów rozkładu przyjętego do modelowania poborów chwilowych. Dla przyjętego efektywnego czasu poboru, wynoszącego 16 godzin, w każdej dobie liczba zarejestrowanych wartości poborów pięciosekundowych wynosiła 11 520. Przy pomiarze trwającym minimum

30 dni parametry rozkładu wyznaczone były z ok. 350 tysięcy wartości i tym samym wartość największa z pomiarów występowała z prawdopodobieństwem mniejszym niż $3 \cdot 10^{-6}$. W metodach klasycznych (Huntera, Šopenskigo) obliczenia wykonywano przy założonym prawdopodobieństwie przekroczenia wynoszącym 2 lub 5%, gdyż analizy dotyczyły pojedynczej godziny o maksymalnym poborze w ciągu doby, a nie całego okresu pomiarowego złożonego z minimum 30 dób.

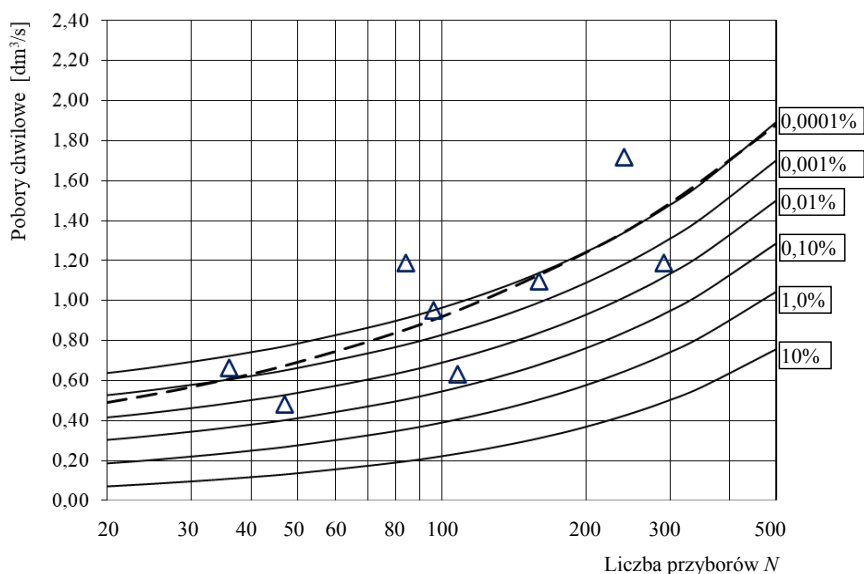
Dlatego wydaje się, że wartości uzyskane z modelu, przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001%, odpowiadają wartościom maksymalnym z okresu pomiarów.

5.2. Określanie poborów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i ich analiza

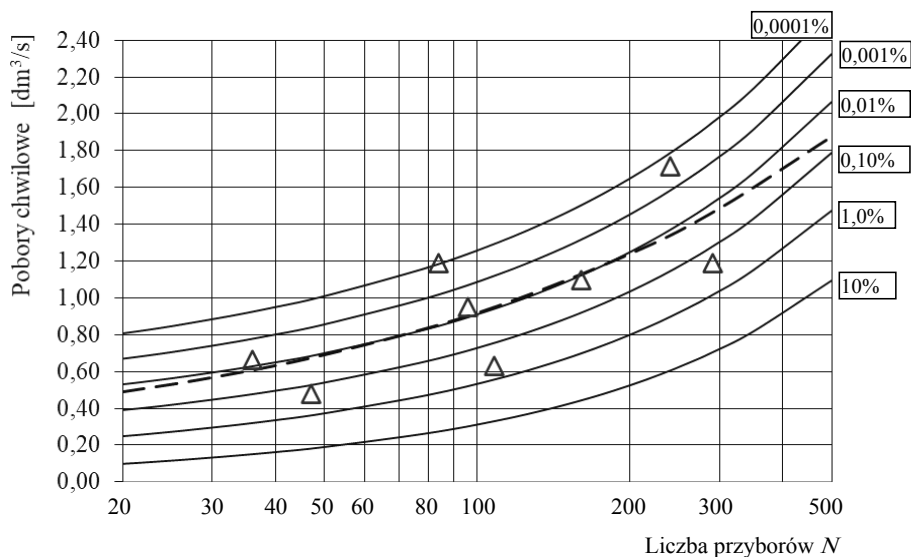
Przyjmując średnie wartości parametrów modelu P i λ oraz wartości tych parametrów dla górnej granicy przedziału ufności (tabela 5.2), generujące większe wartości poborów, obliczono przepływy o określonych prawdopodobieństwach przekroczenia (od 0,0001% do 10%) dla instalacji o różnej liczbie punktów poboru. Wyniki obliczeń, wraz z wartościami maksymalnymi zarejestrowanych poborów, dla średnich wartości parametrów P i λ przedstawiono na rysunku 5.2, a dla górnych wartości generujących przepływy największe – na rysunku 5.3.

Z rysunku 5.2 wynika, że wartości poborów, otrzymane z modelu dla średnich wartości parametrów P i λ , przy założonym prawdopodobieństwie przekroczenia wynoszącym 0,0001%, odpowiadają krzywej aproksymującej pomierzone pobory maksymalne (linia przerywana na rysunku 5.3 o $m = 0,0776 \cdot \sqrt{N} + 0,142$ [dm³/s]). Wartości zarejestrowanych poborów maksymalnych znajdują się powyżej krzywej o prawdopodobieństwie przekroczenia wynoszącym 0,1%. W przypadku dwóch obiektów (25%) zarejestrowane wartości maksymalne znajdują się ponad krzywą o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001%.

Na rysunku 5.3 przedstawiono maksymalne pomierzone wartości poborów i krzywą je aproksymującą oraz wartości, określone z modelu dla wartości parametrów P i λ na granicy przedziału ufności, generujące największe wartości przepływów. Pomierzone wartości maksymalnych poborów w tym przypadku znajdują się poniżej krzywej o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001% maks., a powyżej krzywej – o prawdopodobieństwie przekroczenia 1%. Krzywa aproksymująca uzyskana z pomiarów mieści się w zakresie przepływów o prawdopodobieństwie przekroczenia wynoszącym od 0,1% do 0,01%.



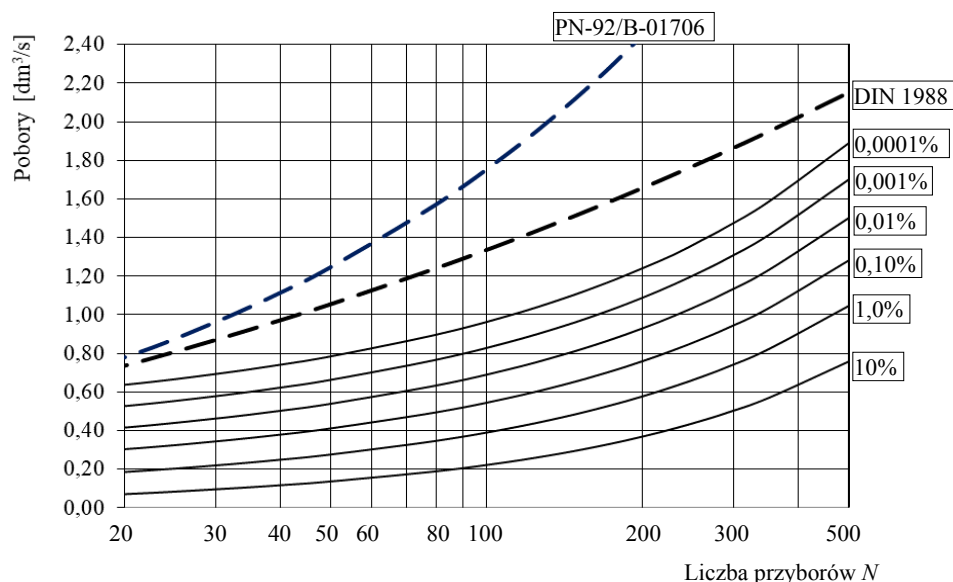
Rys. 5.2. Pobory chwilowe pięciosekundowe, o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia, określone ze złożonego rozkładu Bernoulliego dla średnich wartości parametrów P i λ , wraz z poborami maksymalnymi z okresu pomiarów (trójkąty), oraz krzywa aproksymująca pomierzone pobory maksymalne (linia przerywana)



Rys. 5.3. Pobory chwilowe pięciosekundowe o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia, określone ze złożonego rozkładu Bernoulliego, przy parametrach P i λ dla górnej granicy przedziału ufności 0,05, generujących większe wartości poborów, wraz z poborami maksymalnymi z okresu pomiarów (trójkąty), oraz krzywa aproksymująca pomierzone pobory maksymalne (linia przerywana)

Wyniki modelowania, w porównaniu z wartościami poborów obliczeniowych wynikających z norm PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012, przedstawiono na kolejnych rysunkach.

Na rysunku 5.4 wartości wynikające ze wspomnianych norm zestawiono z przepływami uzyskanymi z modelu dla wartości średnich parametrów P i λ . Natomiast na rysunku 5.5 wartości przepływów z norm zestawiono z wartościami uzyskanymi z modelu dla wartości parametrów P i λ , na granicy przedziału ufności 0,05, generujących większe przepływy.



Rys. 5.4. Pobory chwilowe pięciosekundowe o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia, określone ze złożonego rozkładu Bernoulliego dla średnich wartości parametrów P i λ , wraz z poborami wynikającymi z PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012, przyjmowanymi przy doborze średnic przewodów instalacji wodociągowych (linie przerywane)

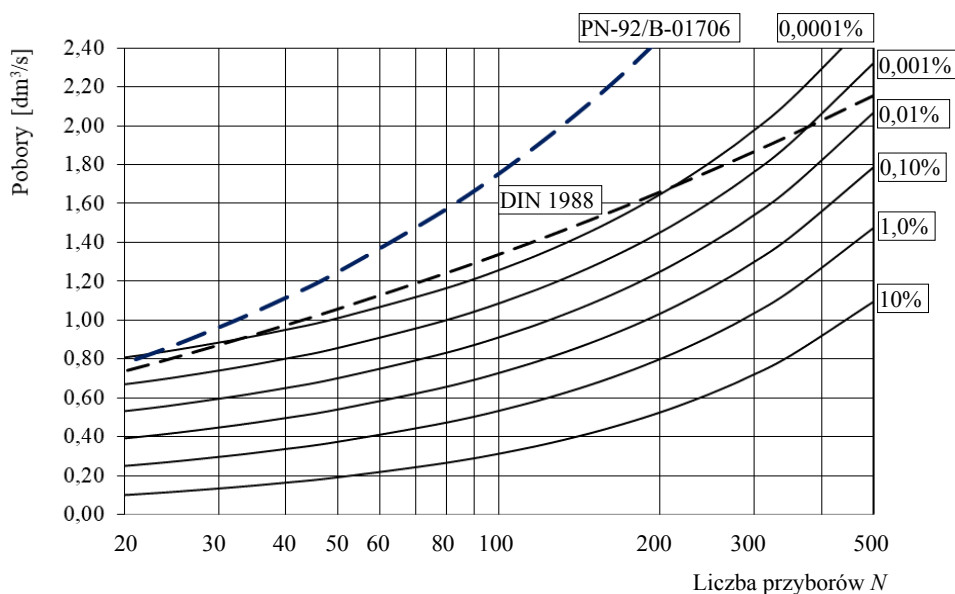
Na rysunku 5.4 można zauważyć, że przepływy obliczeniowe w instalacji wynikające z normy PN-92/B-01706 (cieńsza linia przerywana) są większe od wynikających z metodyki wg DIN 1988:2012 i zdecydowanie większe od uzyskanych z modelu dla wartości średnich parametrów. Wartości przepływów wg PN-92/B-01706 są większe od ok. 10% w instalacjach najmniejszych (30 przyborów) do ok. 35% w instalacjach dużych (300 przyborów). Wartości przepływów wg DIN 1988:2012 są większe o ok. 30% od odpowiadających im wartościom z modelu niemal w całym zakresie analizowanej liczby przyborów (od 30 do 300).

Wyniki modelowania przepływów, przy przyjęciu wartości skrajnych parametrów P i λ generujących największe przepływy, przedstawiono w tabeli 5.3 i na rysunku 5.5.

Na rysunku 5.5 widać, że wartości przepływów otrzymane według metodyki z PN-92/B-01706 (cieńsza linia przerywana) są większe od wartości uzyskanych z modelu o prawdopodobieństwie przekroczenia wynoszącym 0,0001%.

Tabela 5.3. Porównanie wartości przepływów chwilowych pięciosekundowych uzyskanych z modelu oraz uzyskanych według normy DIN 1988:2012 i PN-92/B-01706

Przepływy według	Przepływy obliczeniowe [dm^3/s] w zależności od liczby punktów czerpalnych w instalacji				
	30	50	100	200	300
Opracowanego modelu	0,88	1,00	1,25	1,65	2,30
DIN 1988:2012	0,88	1,05	1,35	1,65	2,05
PN-92/B-01706	0,96	1,23	1,75	2,45	2,74



Rys. 5.5. Pobory chwilowe pięciosekundowe o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia, określone ze złożonego rozkładu Bernoulliego, przy parametrach P i λ dla górnej granicy przedziału ufności 0,05, generujących większe wartości poborów, wraz z poborami wynikającymi z PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012, przyjmowanymi przy doborze średnic przewodów instalacji wodociągowych (linie przerywane)

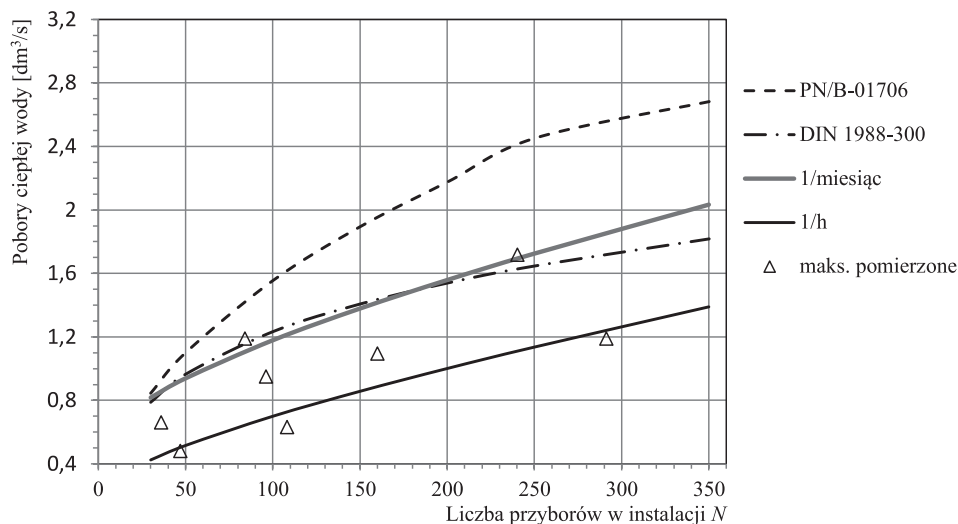
Wartości przepływów otrzymane według metodyki z DIN 1988:2012 układają się w pobliżu uzyskanej krzywej przepływów o prawdopodobieństwie przekroczenia

0,0001%. Wartości zebrane w tabeli 5.3 potwierdzają zależności pomiędzy wartościami przepływów obliczonymi według analizowanych metod, zaobserwowane na rysunku 5.5.

Z rozważań przeprowadzonych powyżej wynika, że do określenia przepływów w instalacji ciepłej wody, o liczbie przyborów od 30 do ok. 300, w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych można przyjąć wartości uzyskane z modelu o prawdopodobieństwie przekroczenia wynoszącym 0,0001%.

Dla celów praktycznych można zastosować równanie aproksymujące przebieg omawianej krzywej w postaci: $\dot{m} = 0,0894 \cdot \sqrt{N} + 0,391$ [dm³/s].

Ponieważ parametry modelu zostały określone na podstawie pomiarów poborów chwilowych o czasie trwania wynoszącym 5 sekund, można, zamiast ustalenia poborów o danym prawdopodobieństwie przekroczenia, ustalić pobory o założonej częstotliwości przekroczenia strumienia obliczeniowego wraz z poborami wyższymi [53]. Na rysunku 5.6 przedstawiono wartości poborów ciepłej wody przy częstotliwości wystąpienia poborów chwilowych, wraz z wyższymi, raz w miesiącu, raz w ciągu godziny, wraz z wartościami poborów maksymalnych zarejestrowanych w czasie pomiarów i wartościami uzyskanymi z obowiązującej podczas projektowania PN-92/B-01706 oraz DIN 1988-300: 2012-05.

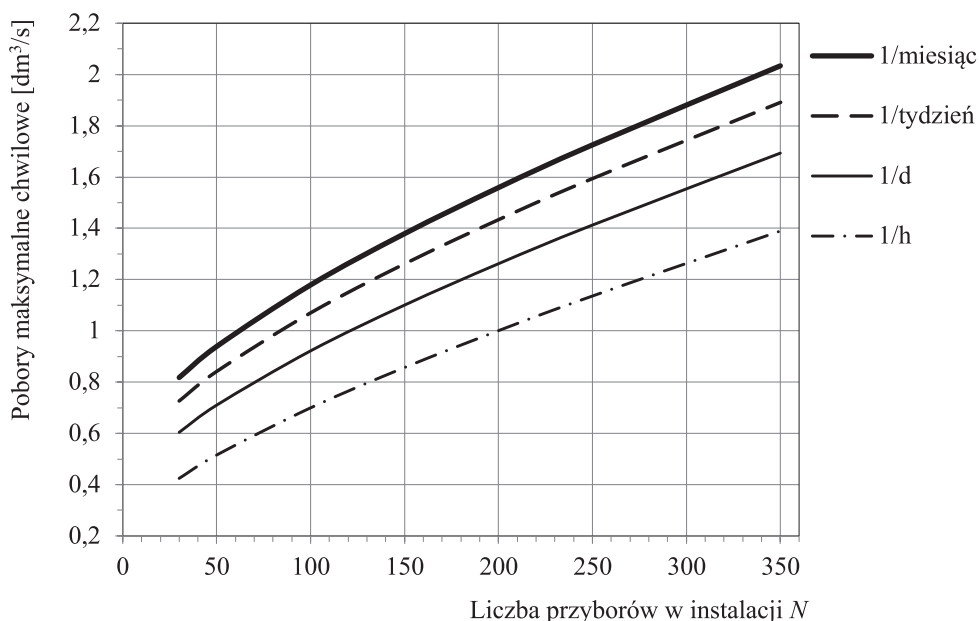


Rys. 5.6. Wartości poborów maksymalnych chwilowych ciepłej wody wraz z wyższymi, w zależności od liczby punktów czerpalnych w instalacji N , dla przyjętej częstotliwości przekroczenia, oraz wartości poborów maksymalnych chwilowych zarejestrowanych w czasie pomiarów i wartości uzyskanych na podstawie PN-92/B-01706 oraz DIN 1988-300: 2012-05

Jak widać na rysunku 5.6, wartości maksymalne uzyskane z pomiarów mieszczą się poniżej krzywej określonej wg normy DIN. Średnio pobory o częstotliwości

przekroczenia raz w miesiącu są dla 30 przyborów dwukrotnie większe, a dla 300 przyborów ok. 50% większe niż przy częstotliwości przekroczenia raz na godzinę.

Na rysunku 5.7 podano wartości maksymalnych chwilowych poborów ciepłej wody wraz z wyższymi dla przyjętych częstotliwości przekroczenia, w zależności od liczby punktów czerpalnych w instalacji N . Przedstawiono krzywe przy częstotliwości przekroczenia raz na miesiąc, raz na tydzień, raz na dobę i raz na godzinę.



Rys. 5.7. Wartości maksymalnych chwilowych poborów ciepłej wody wraz z wyższymi, w zależności od liczby punktów czerpalnych w instalacji N , przy przyjętej częstotliwości przekroczenia

Jak widać na rysunku 5.7, największe wartości poborów maksymalnych chwilowych ciepłej wody występują przy częstotliwości przekroczenia raz w miesiącu, najmniejsze – raz na godzinę, co jest oczywiste. Ponadto na rysunku widać, że pobory określone na podstawie normy DIN 1988-300: 2012-05 odpowiadają poborom maksymalnym chwilowym, o częstotliwości ich przekroczenia raz na miesiąc.

Przedstawione na rysunku 5.7 krzywe zaproksymowano za pomocą następujących równań:

– dla przekroczenia 1/miesiąc

$$\dot{v} = 0,2077 \cdot N^{0,384} \quad (5.1)$$

– dla przekroczenia 1/tydzień

$$\dot{v} = 0,1729 \cdot N^{0,403} \quad (5.2)$$

– dla przekroczenia 1/dobę

$$\dot{v} = 0,1285 \cdot N^{0,435} \quad (5.3)$$

– dla przekroczenia 1/godzinę

$$\dot{v} = 0,0723 \cdot N^{0,500} \quad (5.4)$$

Zależności (5.1)–(5.4) mogą posłużyć do określania obliczeniowych przepływów ciepłej wody przydatnych przy analizie pewności dostawy ciepłej wody w obiektach istniejących lub analizach kosztów instalacji projektowanych, o różnym komforcie dostawy ciepłej wody.

5.3. Określanie parametru λ na podstawie pomiarów eksploatacyjnych zużycia wody

Analizując proces poboru wody z instalacji w budynkach mieszkalnych, można sądzić, że prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpalnego w instalacji wody jest związane z dostępem mieszkańców do tych punktów. Ponieważ wyposażenie mieszkań w punkty czerpalne ciepłej wody i zasiedlenie mieszkań we wszystkich badanych obiektach są jednakowe, wydaje się, że prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpalnego w tych budynkach jest również jednakowe i równe otrzymanej wartości średniej $P = 0,024$.

Znając wartość poboru średniego $\dot{v}_{sr}$ w instalacji budynku, można określić parametr λ przyjętego rozkładu, który zależny jest od przepustowości armatury czerpalnej zamontowanej w instalacji. Wartość $\dot{v}_{sr}$ można uzyskać, dzieląc wartość poboru dobowego przez czas korzystania netto z instalacji ciepłej wody. Korzystając z danych eksploatacyjnych o poborach dobowych wody, można w ten sposób określić parametr λ rozkładu i wyznaczać pobory o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia dla instalacji wyposażonych w zawory czerpalne o innej wydajności jednostkowej niż w przeprowadzonych pomiarach. Daje to możliwość aktualizacji tych parametrów w przyszłości i lepsze prognozowanie poborów chwilowych w instalacjach wyposażonych w armaturę czerpalną o innej wydajności niż zastosowana w instalacjach objętych pomiarami.

Przyjmując, że wartość średnia $\dot{v}_{sr}$ z pomiarów odpowiada wartości oczekiwanej i korzystając z zależności (3.14), otrzymujemy:

$$\dot{v}_{sr} = \frac{Np}{\lambda} \quad (5.5)$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{Np}{\dot{v}_{sr}} \quad (5.6)$$

Wykorzystując dane z pomiarów o poborach dobowych, dla kilku przykładowych dni wyznaczono wartość średnią poboru i określono parametry λ według zależności (5.5).

Założono jak poprzednio, że czas korzystania netto z instalacji ciepłej wody wynosi 16 godzin. Wyniki dla trzech budynków (najmniejszego, średniego i największego) przedstawiono w tabeli 5.4 (wartości poborów podano w dm^3/s).

Tabela 5.4. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego określone na podstawie pomiarów poboru dobowego średniego, przy założonym prawdopodobieństwie pojedynczego poboru $P = 0,024$, oraz wartości wynikające z modelu, przy założonym poziomie prawdopodobieństwa przekroczenia

Budynek	N	Data pomiaru	Pobory pomierzone [dm^3/s]		Parametry obliczone na podstawie pomiaru dobowego		Pobory z modelu dla parametrów uzyskanych z pomiarów dobowych			Pobory z modelu dla parametrów średnich ze wszystkich pomiarów $\lambda = 23,24$		
			$\dot{v}_{srd}$	$\dot{v}_{maxp}$	λ	$\dot{v}_j$	prawdopodobieństwo przekroczenia [%]			prawdopodobieństwo przekroczenia [%]		
							0,1	0,01	0,001	0,1	0,01	0,001
Berlinga 9	36	12.12.2004	0,034	0,49	25,19	0,0397	0,347	0,461	0,574	0,376	0,500	0,622
		14.12.2004	0,024	0,29	35,65	0,0281	0,245	0,326	0,406			
		28.12.2004	0,030	0,38	28,52	0,0351	0,306	0,408	0,507			
		04.01.2005	0,038	0,40	22,64	0,0442	0,386	0,514	0,639			
		08.01.2005	0,027	0,34	31,94	0,0313	0,273	0,364	0,453			
		Średnia	0,031	0,38	28,79	0,0357	0,311	0,415	0,516			
Berlinga 9	108	19.10.2004	0,078	0,59	33,20	0,0301	0,408	0,514	0,615	0,423	0,583	0,734
		03.11.2004	0,069	0,59	37,66	0,0266	0,360	0,453	0,542			
		07.11.2004	0,076	0,53	34,16	0,0293	0,288	0,397	0,598			
		15.11.2004	0,063	0,48	40,83	0,0245	0,332	0,418	0,500			
		27.11.2004	0,065	0,41	39,72	0,0252	0,341	0,430	0,514			
		Średnia	0,070	0,52	37,11	0,0271	0,346	0,442	0,554			
Przyjaciół Żołnierza 82	291	05.01.2003	0,259	0,83	26,97	0,0371	0,835	0,991	1,153	0,969	1,159	1,338
		14.01.2003	0,252	0,96	27,71	0,0361	0,813	0,972	1,123			
		20.01.2003	0,264	0,84	26,45	0,0378	0,851	1,019	1,176			
		28.01.2003	0,230	0,79	30,37	0,0329	0,742	0,887	1,024			
		04.02.2003	0,229	0,87	30,50	0,0328	0,738	0,883	1,020			
		Średnia	0,247	0,86	28,28	0,0354	0,796	0,950	1,099			

Analizując wyniki zebrane w tabeli 5.3, można stwierdzić, że dla obiektu najmniejszego, o $N = 36$ przyborów, średnia wartość poboru maksymalnego odpowiada niemal dokładnie wartościom uzyskanym z modelu dla parametrów P i λ

średnich z całego okresu pomiarów, przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,1%, a przy przyjęciu stałego prawdopodobieństwa $P = 0,024$ i parametru λ , określonego z pomiarów dobowych, odpowiada wartościom uzyskanym z modelu, przy prawdopodobieństwie przekroczenia pomiędzy 0,1% a 0,01%.

Dla obiektu średniego, o $N = 108$ przyborów, średnia wartość poboru maksymalnego odpowiada wartościom uzyskanym z modelu dla parametrów P i λ średnich z całego okresu pomiarów, przy prawdopodobieństwie przekroczenia pomiędzy 0,1% a 0,01%, zaś przy przyjęciu stałego prawdopodobieństwa $P = 0,024$ i parametru λ , określonego z pomiarów dobowych, oscyluje wokół wartości otrzymanych przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,01%. Dla obiektu największego ($N = 291$) średnia wartość poboru maksymalnego jest mniejsza od wartości uzyskanych z modelu dla parametrów P i λ średnich z całego okresu pomiarów, przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,1%. Przy przyjęciu stałego prawdopodobieństwa $P = 0,024$ i parametru λ , określonego z pomiarów dobowych, oscyluje wokół wartości otrzymanych przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,1%.

5.4. Podsumowanie

Z zestawionych w tabeli 5.4 wyników przeprowadzonych obliczeń wynika, że przy założeniu stałego prawdopodobieństwa poboru, przyjmując dane eksploatacyjne o poborach średnich wody w obiekcie, można określić odpowiadające tym poborom wartości parametru λ przyjętego rozkładu i prognozować przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia. Umożliwia to dostosowanie modelu do zmiany wydajności jednostkowej przyborów stosowanych w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych.

6. Wnioski

Przeprowadzony przegląd literatury wykazał, że do określania przepływów obliczeniowych w instalacjach wody nie stosowano modeli wykorzystujących rachunek prawdopodobieństwa, które uwzględniają zmienność liczby czynnych punktów czerpalnych i zmienność strumienia wody pobieranego z tych punktów. W związku z tym autor zaproponował model wykorzystujący rozkład złożony, w którym zmienność liczby czynnych punktów czerpalnych określa rozkład Bernoulliego, zmienność strumienia pobieranej wody z tych punktów, rozkład wykładniczy, a parametry tego złożonego rozkładu mają sens fizyczny. Analizy teoretyczne właściwości opracowanego modelu potwierdziły jego przydatność do obliczania poborów o założonych częstościach przekroczenia w instalacjach o dowolnej liczbie punktów czerpalnych. Korzystając z metod rachunku prawdopodobieństwa, określono zależności umożliwiające identyfikację parametrów przyjętego modelu na podstawie wartości pomierzonych.

Przeprowadzone pomiary (ponad cztery miliony wartości poborów pięciosekundowych zarejestrowanych w ośmiu budynkach wielorodzinnych, wyposażonych łącznie w 1060 punktów czerpalnych ciepłej wody) potwierdziły zgodność zastosowanego złożonego rozkładu z danymi pomiarowymi. Zostały też wyznaczone parametry modelu miarodajne do obliczania poborów o ustalonym prawdopodobieństwie przekroczenia, lub ustalonych częstościach przekroczenia, w instalacjach budynków różnej wielkości.

Otrzymane z modelu wartości poborów porównano z wartościami maksymalnymi zarejestrowanymi w czasie pomiarów oraz z wartościami przepływów obliczeniowych ustalonych na podstawie PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012. Pobory określone na podstawie normy DIN 1988-300: 2012-05 odpowiadają poborom maksymalnym chwilowym o częstości przekroczenia raz na miesiąc.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i analiz można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Opracowany model, w który przyjęto rozkład złożony z rozkładu Bernoulliego i z rozkładu wykładniczego, może służyć do określania poborów wody, o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia, z instalacji budynków mieszkalnych wielorodzinnych po określeniu jego parametrów na podstawie wyników pomiarów. Tak określone pobory mogą być podstawą wymiarowania przewodów instalacji lub układów przygotowywania ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych.

2. Ustalony na podstawie pomiarów i opracowanego modelu poboru czas korzystania netto z instalacji ciepłej wody, w obiektach o różnej liczbie punktów czerpalnych, dobrze oddaje stan faktyczny i może być wykorzystany do analizy pracy instalacji istniejących i projektowanych.
3. W kolejnych analizach należy uwzględnić zmienny czas korzystania netto z instalacji o różnej liczbie przyborów i tym samym o różnej liczbie mieszkańców. Może mieć to wpływ na uzyskanie lepszego dopasowania przedstawionego modelu do występujących przepływów chwilowych w instalacji ciepłej wody w warunkach rzeczywistych.
4. Należy przeanalizować i poddać dalszej weryfikacji możliwość określania parametru modelu, związanego z wartością średnią wypływu z pojedynczego punktu czerpalnego λ , na podstawie pomiarów eksploatacyjnych dobowych. Umożliwi to określanie poborów o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w instalacjach wyposażonych w zawory czerpalne o innej wydajności jednostkowej niż w przeprowadzonych pomiarach.

Bibliografia

- [1] American Water Works Association. Sizing water service lines and meters M22, 3rd ed. AWWA, Denver 2014.
- [2] Bagiński J., Łasiński J. Wpływ pomiaru miejscowego na zużycie ciepłej wody w budynkach mieszkalnych. COW 1983, nr 12, s. 325–328.
- [3] Benjamin J.R., Cornell C.A. Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT, Warszawa 1977.
- [4] Biegeleisen B. Podręcznik dla instalatorów wodociągowych i kanalizacyjnych. Miejskie Muzeum Przemysłu, Kraków 1925.
- [5] Brix J., Heyd H., Gerlach E. Die Wasserversorgung. Verlag, Berlin 1936.
- [6] Brix J., Heyd H., Gerlach E. Die Wasserversorgung. Verlag, Berlin 1942.
- [7] Brydak-Jeżowiecka D., Jeżowiecki J. Nowe metody określania przepływów obliczeniowych w wewnętrznych instalacjach wodociągowych. Gaz. Woda i Technika Sanitarna 1978, nr 6, s. 163–166.
- [8] Brydak-Jeżowiecka D., Jeżowiecki J., Schwandt W. Przegląd modeli szczytowego poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych. Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja 1984, nr 7, s. 200–202.
- [9] Buchberger S., Omaghomi T., Wolfe T., Hewitt J., Cole D. Peak Water Demand Study, Probability Estimates for Efficient Fixtures in Single and Multi-family Residential Buildings. IAPMO 2017, <http://www.iapmo.org/WESand/Documents/Peak%20Water%-20Demand%20Study%20%20Executive%20Summary.pdf>, dostęp: 20 listopada 2018.
- [10] California Plumbing Code 2010. International Association Of Plumbing And Mechanical Officials. California Building Standards Commission, Ontario 2010.
- [11] Chłudow A.W. Zaopatrzenie w ciepłą wodę. Arkady, Warszawa 1960.
- [12] Chronik des DVGW 1859-2009. Jubiläumsausgabe, Bonn 2009.
- [13] Chybowski B. Instalacje ciepłej wody użytkowej. Arkady, Warszawa 1973.
- [14] CTO 02494733-5.2-01-2006. Vnutrennij vodoprovod i kanalizacia zdaniy.
- [15] Czaplicki S. Określenie miarodajnych przepływów dla instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1963.
- [16] DIN 1988-3: 1988-12. Technische Regel für Trinkwasser-Installationen, Ermittlung der Rohrdurchmesser.
- [17] DIN 1988-300: 2012-05. Technische Regel für Trinkwasser-Installationen, Ermittlung der Rohrdurchmesser.

- [18] Dolecki J., Tabernacki J. Wymiarowanie instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych przy zastosowaniu teorii obsługi masowej. *Gaz. Woda i Technika Sanitarna* 1978, nr 1, s.13–18.
- [19] DVGW-Grundlagen für die Berechnung von Hauswasserleitugen. *Das Gas-und Wasserfach* 1932, nr 44.
- [20] DVGW-Richtlinien für die Berechnung der Kaltwasserleitungen in Hausanlagen. *Das Gas-und Wasserfach* 1940, nr 29.
- [21] DVGW-TVW Wasser 1936. Ausführung Und Veränderung von Wasserleitungsanlagen in Gebäuden und Grundstücken. Technische Vorschriften und Richtlinien. DVGW, Berlin 1938.
- [22] Fanning J.T. A practical treatise on hydraulics and water -supply engineering. J.T.D. Van Nostrand, Publisher, New York 1878.
- [23] Feller W. Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa, t. 1. PWN, Warszawa 1997.
- [24] Feller W. Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa, t. II. PWN, Warszawa 1998.
- [25] Fisz M. Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. PWN, Warszawa 1967.
- [26] Gabryszewski T. Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne. Arkady, Warszawa 1978.
- [27] Gabryszewski T. Obliczanie wewnętrznych przewodów wodociągowych. *Gaz. Woda i Technika Sanitarna* 1952, nr 9, s. 255–262.
- [28] George R. The History of Plumbing. Plumbing Engineer, TMB Publishing, marzec 2001, <http://xnet.rrc.mb.ca/rcharney/History%20of%20Plumbing.pdf>, dostęp: 10 grudnia 2009.
- [29] Gołębiewski K., Hałupka Z. Miarodajne natężenie przepływu wody w przewodach instalacji wody zimnej i ciepłej. *Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja* 1978, nr 10, s. 270–275.
- [30] Hotłoś H., Kotowski A., Badania wielkości i nierównomierności zużycia wody w Polkowicach. *Gaz. Woda i Technika Sanitarna* 1994, nr 6, s.184–186.
- [31] Hunter R.B. Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems. Building Materials and Structures. Report BMS65. United States Government Printing Office, Washington 1940.
- [32] Hunter R.B. Plumbing Manual. Materials and Structures. Report BMS66. United States Government Printing Office, Washington 1940.
- [33] Hunter R.B. Water-Distributing Systems for Buildings. Materials and Structures. Report BMS79. United States Government Printing Office, Washington 1941.
- [34] Jeżowiecki J., Nowakowski E. Określanie średnic przewodów w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych, w: *Nowoczesne rozwiązania w inżynierii i ochronie środowiska*, t.1. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011, s. 287–292.

- [35] Jeżowiecki J., Nowakowski E. Wymiarowanie przewodów instalacji wodociągowych według metody uproszczonej, w: *Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych*. VIII konferencja naukowo-techniczna, red. K. Kuś, F. Piechurski, Ustroń, 24–26.02.2010. Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, Gliwice 2010, s. 185–195.
- [36] Jeżowiecki J., Tiukało A. Modelowanie matematyczne poboru ciepłej wody użytkowej. *Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej* 1984, nr 43, seria: Monografie nr 25.
- [37] Janota M. Zużycie wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z indywidualnymi wodomierzami. *Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja* 2002, nr 3, s. 16–21.
- [38] Janota M. Zużycie wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z indywidualnymi wodomierzami, w: *Materiały konferencyjne IV Forum Ciepłowników Polskich*, Międzyzdroje, 17–19.09.2001. Komitet Naukowy IV Forum, Szczecin 2001, s. 185–197.
- [39] Jurczak A. Maksymalne rozbiory wody w budynkach mieszkalnych. *Gaz. Woda i Technika Sanitarna* 1979, nr 9, s. 271–272.
- [40] Kazakov S.P., Šopenskij L.A., *Gidravličeskie harakteristiki sanitarno-tehničeskogo oborudovania i rasčet setej vnutrennej kanalizacii*. Sanitarnaâ tehnika, NIIST, zbornik 1967, no. 24, s. 257–277.
- [41] Kursin S.A. Issledovanie voprosa o kolebaniach razchoda vody v žilych zdaniach *Vodosnabženie i sanitarnaja tehnika* 1936, nr 2, s. 1–36.
- [42] Konen T.P. Modifying the Hunter method. *Plumbing Engineer* 1985, vol. 8, no. 6, p. 20–70.
- [43] Konen T.P., Goncalves O.M. Summary of mathematical models for the design of water distribution systems within buildings, in: *International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings*. Proceedings Annual Meeting CIB W062. University of Porto, Portugal 1993.
- [44] Ladd J.S. An Evaluation and Pressure-Driven Design of Potable Water Plumbing Systems. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering. Blacksburg, Virginia 2005.
- [45] Mańkowski S. *Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej*. Arkady, Warszawa 1981.
- [46] *Materiały pomocnicze do projektowania instalacji wody zimnej, ciepłej i kanalizacji*, red. J. Dobrzański. COBRTI Instal BOINTIE, Warszawa 1985.
- [47] Metcalf L., Eddy H.P. *Sewerage and sewage disposal*. McGraw-Hill Book Company, New York 1930.

- [48] Nejranowski J. Określenie poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych dla potrzeb wymiarowania układów jej przygotowania. Rozprawa doktorska. WBIA ZUT, Szczecin 2018 (niepublikowana).
- [49] Nejranowski J., Szaflik W. Badania poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe, w: Materiały z X konferencji „Air conditioning, air protection and district heating”, nr 804, Szklarska Poręba, 27–30.06.2002. PZITS, Wrocław, s. 385–390, ISBN 83-911619-4-3.
- [50] Nejranowski J., Szaflik W. Hot water consumption time in multi-apartment buildings. *Journal of Ecological Engineering* 2020, vol. 21, no. 4, p. 199–202, DOI doi.org/10.12911/22998993/119906.
- [51] Nejranowski J., Szaflik W. Modelowanie zmienności chwilowych poborów ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych przy wykorzystaniu złożonego rozkładu Bernoulliego, w: IX Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XIV Krajowej Konferencji, Międzyzdroje 19–21.09.2005. Komitet Naukowy IX Forum, Szczecin 2005, s. 160–164.
- [52] Nejranowski J., Szaflik W. Pobory chwilowe a pobory w dłuższych okresach w centralnych instalacjach ciepłej wody budynków mieszkalnych wielorodzinnych. *Gaz. Woda i Technika Sanitarna* 2019, nr 8, s. 272–276.
- [53] Nejranowski J., Szaflik W. Pobory chwilowe ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. *Instal* 2019, nr 6, s. 34–36.
- [54] Nejranowski J., Szaflik W. Pobór ciepła na potrzeby centralnej ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. *Ogrzewnictwo Praktyczne* 1995, nr 1, s. 21–26.
- [55] Nejranowski J., Szaflik W. Porównanie wybranych metod określenia przepływów obliczeniowych w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych, w: Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne – projektowanie, wykonanie, eksploatacja. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o. o., Warszawa 2015, s. 123–131.
- [56] Nejranowski J., Szaflik W. Straty ciepła układów centralnej ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, w: Materiały II Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 22–24.09.1997. Komitet Naukowy II Forum, Szczecin 1997, s. 149–154.
- [57] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność pięciosekundowych poborów ciepłej wody użytkowej w budynkach wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze. *Acta Mechanica Slovaca*, Kosice 2003, nr 3, s. 497–504.
- [58] Nejranowski J., Szaflik W. Wpływ rozwiązania węzła cieplnego na pobory chwilowe ciepłej wody użytkowej, w: X Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XV Krajowej

- Konferencji, Międzyzdroje 17–20.09.2006. Komitet Naukowy X Forum, Szczecin 2006, s. 194–199.
- [59] Nejranowski J., Szaflik W. Zastosowanie złożonego rozkładu Bernoulliego do modelowania zmienności poborów chwilowych c.w.u. w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, w: Materiały z XI konferencji „Air conditioning, air protection and district heating”, nr 855, Szklarska Poręba 23–25.06.2005 r. PZITS, Wrocław 2005, s. 441–446, ISBN 83-921167-0-4.
- [60] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność chwilowych poborów c.w.u. w warunkach rzeczywistych, w: Materiały XI Krajowej Konferencji VI Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 16–18.09.2002. Komitet Naukowy XI Forum, Szczecin 2002, s. 175–184.
- [61] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność dobowego poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe, w: Materiały VII Krajowej Konferencji. II Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 21–23.09.1998. Komitet Naukowy II Forum, Szczecin 1998, s. 161–169.
- [62] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność maksymalnych poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej, w: I Konferencja Naukowo-Techniczna. Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne. Projektowanie, wykonawstwo, eksploatacja, Warszawa – Dębe, maj 2004. Wydawnictwo Seidel-Przywłocki Sp. z o.o., Warszawa 2004, s. 115–122.
- [63] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność pięciosekundowych poborów ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe, w: VII Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XII Krajowej Konferencji, Międzyzdroje 15–17.09.2003. Komitet Naukowy XII Forum, Szczecin 2003, s. 160–165.
- [64] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe. Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja 1999, nr 1, s. 13–27.
- [65] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w cyklu dobowym w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe, w: Materiały z IX konferencji „Air conditioning and district heating”, nr 756, Szklarska Poręba 4–7.06.1998 r. PZITS Wrocław, 1998, s. 377–381,
- [66] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w cyklu rocznym w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe, w: Materiały III Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 20–22.09.1999. Komitet Naukowy III Forum, Szczecin, s. 139–143.
- [67] Nejranowski J., Szaflik W. Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, na podstawie rocznego cyklu pomiarów. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej 2000, nr 561(34), s. 113–130.

- [68] Nowak B. Model ogólny a model wskaźników jednostkowych poboru ciepłej wody dla wielorodzinnego budownictwa mieszkalnego. *Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja* 1997, nr 8, s. 5–10.
- [69] Nowak B., Jeżowiecki J. Opracowanie zasad czasoprzestrzennej symulacji instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych. Raport Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1988.
- [70] Nowak B., Zaleski J. Ogólny model procesu poboru ciepłej wody użytkowej dla wielorodzinnego budownictwa mieszkaniowego. *Archiwum Energetyki* 1993, nr 3–4, s. 191–206.
- [71] Nowakowski E. Instalacje hydroforowe do zimnej i ciepłej wody ze zbiornikami na poddaszu. *Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej* 1972, nr 14, s. 109–129.
- [72] Nowakowski E. Metoda uproszczona wymiarowania przewodów w instalacjach do przesyłu wody. *Rynek Instalacyjny* 2011, nr 12, s. 70–71.
- [73] Nowakowski E. Współczynniki chwilowych nierównomierności zużycia ciepłej wody. *Rynek Instalacyjny* 2011, nr 9, s. 60–61.
- [74] Ogrzewanie i klimatyzacja. Poradnik Recknagel-Sprenger, red. M. Rubik. Arkady, Warszawa 1976.
- [75] Omaghome T.O. Analysis of Methods for Estimating Water Demand in Buildings. Ph.D. thesis. University of Cincinnati 2014.
- [76] Omaghome T.O., Buchberger S. Estimating water demands in buildings. *Procedia Engineering* 2014, vol. 89, p. 1013–1022.
- [77] Plaskura W., Wein S. Instalacje wodociągowe i gazowe. Część II. Urządzenia wodociągowe i kanalizacyjne. „Ognisko” Spółdzielnia Księgarska, Katowice, 1948.
- [78] Plaskura W., Wein S. Domowe instalacje wodociągowe i kanalizacyjne. *Budownictwo i Architektura*, Warszawa 1954.
- [79] PN-92/B-01706. Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu.
- [80] PN-EN 806-3:2006. Wymagania dotyczące wewnętrznych instalacji wodociągowych do przesyłu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Część 3. Wymiarowanie przewodów. Metody uproszczone.
- [81] Popławski A. Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej według nowego normatywu radzieckiego SnIP II-34-76. *Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja* 1978, nr 7, s. 202–205.
- [82] Projekt badawczy nr 8 T07G 001 20. Określenie wskaźników zużycia ciepłej wody do wymiarowania układów służących do jej przygotowywania dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe. Szczecin

- 2001–2003. Kierownik projektu: dr hab. inż. Władysław Szaflik. Główny wykonawca: mgr inż. Jerzy Nejranowski.
- [83] Projekt badawczy nr 8 T10 B030 29. Określenie i ocena warunków, możliwości i sposobów dezynfekcji termicznej instalacji ciepłej wody użytkowej. W aspekcie racjonalizacji zużycia ciepła. Szczecin 2005–2008. Kierownik projektu: dr hab. inż. Władysław Szaflik. Główny wykonawca: mgr inż. Jerzy Nejranowski.
- [84] Radziszewski I. Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne. Podręcznik inżynierski, red. S. Bryła, t. IV. Księgarnia Polska B. Połonieckiego, Warszawa 1936.
- [85] Raumberger M., Graßer H.J. TRWI neu; Technische Regeln der Wasser-Installation, in: Informationsveranstaltung der Innungen für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik und der mittelfränkischen Netzbetreiber, 2.03.2012, http://www.jahresvortrag_2012_3.pdf (infra-fuerth.de), dostęp: 2.07.2021.
- [86] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 10 grudnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. DzU z 2010 r., nr 239, poz. 1597.
- [87] Sidorski K. Badanie maksymalnego zużycia wody w budynkach i w osiedlach mieszkaniowych. Rozprawa doktorska. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1976.
- [88] Sizing water service lines and meters. Manual of water supply practices – M22, 2nd ed. AWWA, Washington 2004.
- [89] Sosnowski S., Tabernacki J., Heidrich Z. Projektowanie instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych. Arkady, Warszawa 1985.
- [90] Sosnowski S. Wpływ standardu domowych instalacji na wielkość zużycia wody. Gaz. Woda i Technika Sanitarna 1981, nr 1–2, s. 30–33.
- [91] Sosnowski S. Projektowanie wewnętrznych instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych w świetle ustaleń nowego normatywu radzieckiego SNiP-II-30-76. Gaz. Woda i Technika Sanitarna 1979, nr 1, s. 23–25.
- [92] Siwoń Z. Badanie maksymalnego zużycia wody w budynkach i osiedlach mieszkalnych. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1976.
- [93] Siwoń Z. Podstawy probabilistycznego modelowania zużycia i zapotrzebowania na wodę w miastach. Archiwum Hydrotechniki 1981, nr 3, s. 399–435.
- [94] Siwoń Z., Stanisławska M., Stanisławski J. Modelowania czasów trwania poborów wody wodociągowej. Gaz. Woda i Technika Sanitarna 1991, nr 5, s. 115–117.
- [95] SNIP II-G.3-1954. Vnutrennij vodoprovod i kanalizaciâ.
- [96] SNIP II-G.1-62. Vnutrennij vodoprovod žilyh i obšestvennyh zdaniy. Normy proektirovaniâ.
- [97] SNIP II-G.1-70. Vnutrennij vodoprovod zdaniy. Normy proektirovaniâ.
- [98] SNIP II-30-76. Vnutrennij vodoprovod i kanalizaciâ zdaniy.

- [99] SNIP 2.04.01-85. Vnutrennij vodoprovod i kanalizaciâ zdaniy.
- [100] SP 30.13330.2012. Vnutrennij vodoprovod i kanalizaciâ zdaniy.
- [101] Spyšnov P.A., Šniejerov A.I. Spravočnik po vnutriennym vodoprovodu, kanalizacii i vodostokam. Gosstrojizdat, Moskva 1954.
- [102] Spyšnov P.A. Proektirovanie vodoprovodov w žilych i graždanskich zdaniach. Gosudarstviennoe Izdatielstvo Architektury i Gradostritielstva, Moskva 1951.
- [103] Suligowski Z. Analiza zużycia i zapotrzebowania na wodę w osiedlach mieszkaniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, ser. Budownictwo Wodne 1981, nr 327(24).
- [104] Suligowski Z. Badania zużycia ciepłej wody użytkowej. Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja 1979, nr 7, s. 169–175.
- [105] Suligowski Z. Badania parametrów zależności warunkujących zmienność rozbioru wody zimnej i ciepłej. Praca doktorska. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1976.
- [106] Suligowski Z. Matematyczne modelowanie zużycia wody. Gaz. Woda i Technika Sanitarna 1980, nr 4, s. 117–120.
- [107] Suligowski Z. Rozwój metod do określenia projektowych parametrów instalacji ciepłej wody użytkowej. Ciepłownictwo. Ogrzewnictwo. Wentylacja 1980, nr 1, s. 7–11.
- [108] Suligowski Z. Zużycie ciepłej wody. Archiwum Hydrotechniki 1978, nr 3, s. 111–123.
- [109] Szaflik W. Analiza pracy równoległego węzła c.o. i c.w.u. z priorytetem przygotowania ciepłej wody, w: II Forum Ciepłowników Polskich. Materiały VII Krajowej Konferencji, Międzyzdroje 21–23.09.1998. Komitet Naukowy II Forum, Szczecin 1998, s. 236–242.
- [110] Szaflik W. Mathematical Model of the Process of Hot Water Consumption. Archives of Hydroengineering 1994, vol. 3–4, p. 3–24.
- [111] Szaflik W. Modelowanie poboru ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych przy użyciu teorii procesów stochastycznych. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej 1993, nr 501, s. 156.
- [112] Szaflik W. Obliczanie jednostopniowych bezzasobnikowych węzłów ciepłej wody użytkowej z priorytetem jej przygotowania, w: IX Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XIV Krajowej Konferencji, Międzyzdroje 19–21.09.2005. Komitet Naukowy IX Forum, Szczecin 2005, s. 193–202.
- [113] Szaflik W. Określenie poboru ciepłej wody do projektowania bezzasobnikowych układów do jej przygotowania, w: VIII Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XIII Krajowej Konferencji, Międzyzdroje, 13–15.09.2004. Komitet Naukowy VIII Forum, Szczecin 2005, s. 194–201.
- [114] Szaflik W. Problemy modelowania rozbioru c.w.u. w budynkach wielorodzinnych w świetle wielodobowych pomiarów zużycia ciepłej wody użytkowej, w: Badania

- w ogrzewnictwie, wentylacji i ciepłownictwie. Materiały sympozjum naukowego zorganizowanego przez PAN, Sekcję Ogrzewnictwa i Wentylacji KILiW, Szczecin–Świnoujście, 20–22.10.1988. Komitet Naukowy Sympozjum, Szczecin 1988, s. 249–258.
- [115] Szaflik W. Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych. Ośrodek Informacyjny „Technika Instalacyjna w Budownictwie”, Warszawa 2011.
 - [116] Szaflik W. Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2008.
 - [117] Szaflik W. Projektowanie jednostopniowych bezzasobnikowych węzłów ciepłej wody użytkowej z priorytetem jej przygotowania, w: Materiały z XI konferencji „Air conditioning, air protection and district heating”, nr 855, Szklarska Poręba 23–25 czerwca 2005 r. PZITS, Wrocław 2005, s. 659–664, ISBN 83-921167-0-4.
 - [118] Szaflik W. Równoległe węzły c.o. i c.w.u. z priorytetem przygotowania ciepłej wody. Informacja INSTAL 1998, nr 7–8(173–174), s. 4–8.
 - [119] Szaflik W. Stochastyczne modelowanie poboru ciepłej wody użytkowej. Informacja INSTAL 1997, nr 3, s. 14–20.
 - [120] Szaflik W. Wartości chwilowych poborów ciepłej wody użytkowej do projektowania układów jej przygotowania, w: Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne. Projektowanie, wykonawstwo, eksploatacja. I Konferencja Naukowo-Techniczna, Warszawa–Dębe, maj 2004 r. Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego, Politechnika Warszawska, Warszawa 2004, s. 123–131.
 - [121] Szaflik W. Wymiarowanie i analiza pracy węzła cieplnego z priorytetem przygotowania ciepłej wody użytkowej, w: Materiały z IX konferencji „Air conditioning and district heating”, nr 756, Szklarska Poręba 4–7.06.1998 r. PZITS, Wrocław 1998, s. 491–496. ISBN 83-904120-4-7.
 - [122] Szaflik W. Wyposażenie instalacji ciepłej wody w mieszkaniach w wodomierze podstawą racjonalizacji zużycia ciepłej wody. Ogrzewnictwo Praktyczne 1995, nr 1, s. 27–30.
 - [123] Szaflik W. Zmienność czasu pojedynczego poboru ciepłej wody w gospodarstwach domowych, w: Materiały Sesji z okazji 45-lecia Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Szczecińskiej. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1992, s. 117–126.
 - [124] Šneerov A.I., Spyšnov P.A., Svešnikov I.P. Sanitarno-tehničeskoe oborudovanie zdanih. Strojizdat, Moskva 1949.
 - [125] Šopenskij L.A. K voprosu o metodike opredeleniâ rasčetnyh rashodov vody v setáh vodoprovodov zdanih različnogo naznačeniâ i ih kompleksov. Vodosnabženie i sanitarnaâ tehnika 1975, no. 12, s. 4–7.

- [126] Šopenskij L.A. Nekotorye voprosy opredeleniâ parametrov armatury sanitarnyh priborov i rasčet vnutrennih vodoprovodov s primeneniem ÈCVM. NIIST. Sanitarnaâ tehnika 1967, no. 24, s. 210–243.
- [127] Šopenskij L.A. Opredelenie maksimalnyh sekundnyh i časovyh rashodov vody po SNIP II-30-76 i II-34-76. Vodosnabženie i sanitarnaâ tehnika 1980, no. 5, s. 7–10.
- [128] Šopenskij L.A., Ŭrëva I.P. Priemy vyčisleniâ rashodov v setâh vodoprovodov zdaniy različnogo naznačeniâ i mikrorajonov. Vodosnabženie i sanitarnaâ tehnika 1968, no. 11, s. 4–8.
- [129] Šopenskij L.A., Kožinova A. Soveršenstvovanie norm vodopotrebleniâ dlâ žilyh zdaniy. Vodosnabženie i sanitarnaâ tehnika 1985, no.11, s. 25–27.
- [130] Tiukało A. Dynamika poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1982.
- [131] Tabernacki J. Metodyka analizy powstawania zjawisk przepływu i zużycia wody w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, ser. Inżynieria Sanitarna i Wodna 1990, nr 11, s. 149.
- [132] Webster C.J.D. An investigation of the use of water outlets in multi-storey flats. The Building Services Engineer (JIHVE) 1972, no. 39, p. 215–233.
- [133] Whipple G.C., Carson H.Y., Groeniger W.C., Hanley T.C., Hansen A.E. Recommended minimum requirements for plumbing in dwellings and similar buildings. Final report of Subcommittee on Plumbing of the Building Code Committee. Government Printing Office, Washington 1924.
- [134] Wóycicki K. Wodociągi i kanalizacje, t. I. Wodociągi. Wydawnictwo Ministerstwa Odbudowy, Warszawa 1948.
- [135] Zaleski J. Stochastyczne modelowanie procesu poboru wody w instalacjach wewnętrznych i jego zastosowanie. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej, ser. Monografie 1987, nr 26.
- [136] Zarządzenie nr 47 Ministerstwa Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 10.08.1974 r. w sprawie wytycznych projektowania instalacji centralnej ciepłej wody w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym. Dz. Bud. z 1974 r., nr 6, poz. 18.

Streszczenie

Pobory chwilowe wody z instalacji w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych

Przedmiotem monografii jest analiza poborów chwilowych z instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych oraz przedstawienie metody określania poborów chwilowych z użyciem złożonego rozkładu Bernoulliego.

Na początku przedstawiono przegląd sposobów określania obliczeniowego strumienia wody zimnej w instalacjach budynków mieszkalnych, stosowanych od XIX wieku. Skoncentrowano się na metodach wykorzystujących teorię prawdopodobieństwa i rozkłady statystyczne. Dokonany przegląd literatury wykazał, że dotychczas nie stosowano metod uwzględniających zmienność liczby czynnych punktów czerpalnych jednocześnie ze zmiennością pobieranego strumienia wody z tych punktów. Niniejsza monografia jest próbą wypełnienia tej luki poprzez zaprezentowanie modelu uwzględniającego te dwa parametry. Wykorzystano w nim połączenie rozkładu Bernoulliego, określającego zmienność liczby czynnych punktów czerpalnych w instalacji, z rozkładem wykładniczym, określającym zmienność pobieranego strumienia wody z tych punktów. Korzystając z metod statystycznych, określono zależności umożliwiające identyfikację parametrów tego złożonego rozkładu na podstawie wartości pomierzonych. Następnie uwzględniając uśrednione parametry modelu, uzyskane na podstawie badań własnych poborów pięciosekundowych (minimum 30 dób w ośmiu budynkach mieszkalnych z 1060 punktami czerpalnymi), sprawdzono jego zgodność z wynikami pomiarów oraz przydatność do obliczania poborów chwilowych dla instalacji o różnej liczbie punktów czerpalnych i przyjętej częstości przekroczenia związanej z pewnością dostawy ciepłej wody do mieszkań.

Otrzymane w ten sposób wyniki porównano z wartościami maksymalnych poborów zarejestrowanych w czasie pomiarów oraz z wartościami przepływów obliczeniowych ustalonych na podstawie PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012.

Analizując wyniki pomiarów, określono właściwości rzeczywistych poborów ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, między innymi: ich zmienność w ciągu doby, zależności pomiędzy poborami chwilowymi a poborami o dłuższym czasie trwania, sumaryczny czas ich występowania w ciągu doby. Przeanalizowano także wpływ dnia tygodnia na wartości maksymalne chwilowe tych poborów.

Summary

Water temporary intake in apartment buildings' installations

The subject matter of the monography is analysis of hot water temporary intake in apartment blocks and the exposition of the method of determination of temporary intakes with the use of complex Bernoulli distribution.

At the beginning the overview of analytical cold water flows determination methods in apartment blocks that had been applied since XIX century are presented. The main emphasis was put on methods that used theory of probability and statistical distributions. The literature studies showed, that so far no methods have been used that take into account the variability of active draw-off points amount simultaneously with the variability of the water flow consumption from them. This monograph is an attempt to fill this gap through the presentation of a model that takes into account these two parameters. It uses a combination of the Bernoulli distribution, that takes the active draw-off points amount into account, with the exponential distribution, that describes the variability of water flow consumption from these points. Using statistical methods, dependencies that enable the identification of the parameters of this complex distribution based on the measured values have been determined. Then, taking into account the averaged parameters of the model obtained on the basis of measurements of five-second consumption (minimum 30 days in eight buildings with 1060 draw-off points), its compatibility with the measurement results and suitability for calculating temporary intakes for installations with a different number of draw-off points and the assumed frequency of exceedance related to dependability of hot water the supply was checked.

The results obtained in this way were compared to the values of the maximum intakes recorded during the measurements and to the values of design flows calculated according to PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012.

Analysing the measurement results, the features of real hot water intakes in apartment buildings were determined, including: their variability during the day, the relationship between temporary intakes and intakes of a longer duration, the total time of their occurrence during the day. The influence of the type of day of the week on the maximum temporary intake values was also analysed.

Zusammenfassung

Zeitlicher Wasserverbrauch in Mehrfamilienwohnhäusern

Gegenstand der Monographie ist die Analyse des zeitlichen Warmwasserverbrauchs in Mehrfamilienhäusern sowie die Darstellung einer Methode zur Bestimmung des zeitlichen Verbrauchs unter Verwendung der komplexen Binomialverteilung.

Zu Beginn wird ein Überblick über die seit dem 19. Jahrhundert angewandten Methoden zur Bestimmung der Auslegungsdurchflusses in den Kaltwasseranlagen in Wohngebäuden wiedergegeben. Der Fokus wurde hierbei auf Methoden die auf Wahrscheinlichkeitstheorie und statistischen Verteilungsmodellen basieren gelegt. Aus der Literaturrecherche geht vor, dass es bisher keine Ansätze gab, die sowie die variable Anzahl der momentan genutzten Zapfstellen als auch die Variabilität des verbrauchten Wasserstroms berücksichtigten. Die vorliegende Monographie ist ein Versuch, diese Lücke zu schließen, indem ein Modell vorgestellt wird, das diese beide Parameter berücksichtigt. Im Modell wird eine Verbindung der Binomialverteilung, welche die Variabilität der benutzen Zapfstellen bestimmt, und der Exponentialverteilung, die die Variabilität des verbrauchten Wasserstroms bestimmt, benutzt. Mit Hilfe statistischer Methoden wurden Zusammenhänge herausgearbeitet, um die Parameter dieser komplexen Verteilung anhand von Messdaten zu bestimmen. Anschließend wurde unter Berücksichtigung der gemittelten Parameter des Modells, die auf der Grundlage eigener Untersuchungen von 5-Sekunden-Entnahmebezugszeit (mindestens 30 Tage in acht Wohngebäuden mit 1060 Wasserentnahmestellen) ermittelt wurden, seine Übereinstimmung mit den Messungen sowie seine Brauchbarkeit für die Berechnung des zeitlichen Wasserverbrauchs in Anlagen mit unterschiedlicher Anzahl von Entnahmestellen und angenommener Überschreitungshäufigkeit in Bezug auf die Sicherheit der Warmwasserversorgung von Wohnungen verifiziert.

Die so erhaltenen Ergebnisse wurden mit den maximalen gemessenen Wasserverbrauchswerten, sowie mit dem auf der Grundlage der PN-92/B-01706 und DIN 1988:2012 berechneten Normwasserverbrauch verglichen.

Durch die Analyse der Messergebnisse wurden die Merkmale der realen Warmwasserverbrauche in Mehrfamilienhäusern ermittelt, darunter: ihre Variabilität im Tagesverlauf, das Verhältnis zwischen zeitlichen Verbrauch und Entnahmen von längerer Dauer, die Gesamtzeit ihres Auftretens im Tagesverlauf. Der Einfluss des Wochentags auf die Höchstwerte des zeitlichen Verbrauchs wurde ebenfalls analysiert.

ISBN 978-83-7663-318-3