



Zachodniopomorski
Uniwersytet
Technologiczny
w Szczecinie



Wydział
Budownictwa
i Architektury

ROZPRAWA DOKTORSKA

**Określenie poborów chwilowych
ciepłej wody użytkowej w budynkach
mieszkalnych wielorodzinnych**

mgr inż. Jerzy Nejranowski

promotor: prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik

Szczecin 2017

Streszczenie

Przedmiotem rozprawy jest metoda określania poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Na początku dokonano przeglądu metod określania obliczeniowego strumienia poboru wody w budynkach mieszkalnych stosowanych od XIX wieku, skoncentrowano się na metodach wykorzystujących teorię prawdopodobieństwa i stosowanych rozkładach statystycznych. Z przeprowadzonych analiz literaturowych wynikało, że dotychczas nie stosowano rozkładu uwzględniającego zmienność liczby czynnych punktów czerpalnych i zmienność pobieranego strumienia wody z tych punktów.

W związku z tym w pracy opracowano rozkład uwzględniający te dwa parametry. Powstały rozkład złożony jest z rozkładu Bernoulliego określającego zmienność liczby punktów czerpalnych i wykładniczego opisującego zmienność pobieranego strumienia wody. Korzystając z metody momentów określono zależności umożliwiające identyfikację parametrów tego rozkładu w oparciu o wyniki pomiarów poborów wody, oraz opracowano program komputerowy umożliwiający ustalenie zgodności proponowanego rozkładu z danymi pomiarowymi i obliczenie poborów o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia.

Następnie opracowano koncepcję pomiarów poborów chwilowych ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z węzłami ciepłej wody użytkowej, zakupiono odpowiedni przepływomierz rejestrujący i wykonano całodobowe pomiary jej zużycia rejestrując pobory pięciosekundowe przez minimum 30 dób. Na podstawie danych pomiarowych dokonano identyfikacji parametrów opracowanego rozkładu i korzystając z opracowanego programu komputerowego sprawdzono ich zgodność z opracowanym rozkładem oraz określono pobory o różnym prawdopodobieństwie przekroczenia, które mogą być przydatne do określania przepływów w projektowanych budynkach.

Na zakończenie otrzymane wyniki porównano z wartościami maksymalnych poborów zarejestrowanych w czasie pomiarów oraz z wartościami przepływów obliczeniowych ustalonych w oparciu o PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012.

W posumowaniu sformułowano wnioski dotyczące przydatności opracowanego rozkładu i wytyczne do dalszych analiz.

Summary

The subject matter of the doctoral thesis is determination of hot water temporary intake in apartment blocks. At the beginning of the thesis it was made the overview of analytical hot water flows determination methods in apartment blocks that had been applied since XIX century. The main emphasis was put on methods that used calculus of probability and on applied distributions used for description of variability of hot water consumption in building. The literature studies show, that the distribution taking variability of active draw-off points amount and water flow consumption from them into account wasn't applied until now.

Due to the above the distribution taking this two parameter into account was proposed in the thesis. The new distribution comprises of Bernoulli's distribution, that takes the active draw-off points amount into account and exponential distribution, that describes the variability of water flow consumption from these points. Relationships that enable the identification of this distribution parameters by moments method on the basis of results of hot water temporary intake measurements were determined in the thesis.

Then the measurements of hot water temporary intakes (duration: five seconds) in apartment blocks with thermal stations were conducted. The proper flow-meter was bought. Round-the-clock measurements of hot water consumption were conducted. The five seconds intakes during minimum of 30 days in eight buildings were recorded. On the basis of measurement data and developed computer program the distribution parameters for particular building were identified, the hot water temporary intakes with determined overdrawing probability were determined and the accordance between the taken distribution and measurements data was checked.

The property of taken distribution and obtained from measurements values of its parameters were used for hot water temporary intakes with demanded overdrawing probability determination for apartment blocks with water installations that consist of 20 – 500 sanitary appliances.

At the final part of the thesis the obtained results were compared to the values of maximum intakes that were recorded during the measurements and to the values of design flow calculated according to PN-92/B-01706 and DIN 1988:2012.

The summary of the thesis contains conclusions about usefulness of the formulated distribution and the guidelines for future analysis.

Zusammenfassung der Dissertation

Das Thema der vorliegenden Arbeit ist die Herausarbeitung der Methode zur Bestimmung des zeitlichen Warmwasserverbrauchs in Mehrfamilienhäusern. Zunächst wurde ein Überblick über die seit XIX Jahrhundert bis heute angewandten Methoden zur Bestimmung des Auslegungstrinkwasserbedarfs in Wohnbauten wiedergegeben, der Fokus wurde hierbei gelegt auf Methoden die auf Wahrscheinlichkeitstheorie und statistischen Verteilungsmodellen basieren. Aus der Literaturrecherche geht vor, dass es bisher keine Ansätze gab, die sowie den variablen Anzahl der momentan genutzten Zapfstellen als auch mengenmäßig variable Entnahme berücksichtigten.

In der vorliegenden Studie wurde deswegen ein Verteilungsmodell entwickelt und evaluiert der den Einfluss dieser beiden Parameter berücksichtigt. Es erfolgt durch das mathematische Modell einer Gesamtheit aus zwei Verteilungsfunktionen, wobei durch die Bernoulli-Verteilung zeitabhängige Anzahl der benutzen Zapfstellen und durch Exponentialverteilung Größe der mengenvariablen Entnahme erfasst wurde. Mittels der Momentenmethode, basierend auf den gemessenen Verbrauch, wurden Zusammenhänge herausgearbeitet, die die Identifikation der Parameter des Modells ermöglichen, es wurde auch ein Computerprogramm entwickelt der zum Zweck der Überprüfung der Übereinstimmung des entwickelten Verteilungsmodells mit den Messdaten, sowie zur Berechnung des Warmwasserverbrauchs mit der angenommenen Überschreitungswahrscheinlichkeit dient.

Den Abschluss dieser Dissertation bildet eine Auswertung der rechnerisch gewonnenen Werte mit den gemessenen maximalen stündlichen Wasserverbrauchswerten, sowie mit dem auf der Grundlage der PN-92/B-01706 und DIN 1988:2012 berechneten Normwasserverbrauch.

Zusammenfassend wurden Schlussfolgerungen in Bezug auf die Anwendbarkeit des entwickelten Modells formuliert und Leitlinien für die weitere Analyse herausgearbeitet.

Spis treści

Określenie poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych

- 1. Wstęp**
- 2. Przegląd metod określania obliczeniowego strumienia poboru wody**
 - 2.1. Metody stosowane w Niemczech
 - 2.2. Metody stosowane w USA
 - 2.3. Metody stosowane w Związku Radzieckim
 - 2.4. Metody stosowane w Polsce
 - 2.5. Podsumowanie i wnioski
- 3. Cel, zakres i teza pracy**
- 4. Przyjęcie matematycznego modelu strumienia poboru ciepłej wody z instalacji**
 - 4.1. Założenia ogólne
 - 4.2. Opis złożonego rozkładu Bernoulliego
 - 4.3. Określenie parametrów rozkładu na podstawie momentów z próby
 - 4.4. Prawdopodobieństwo określonego wypływu chwilowego dla warunków granicznych
- 5. Charakterystyka pomiarów**
 - 5.1. Charakterystyka badanych obiektów
 - 5.2. Charakterystyka układu pomiarowego
 - 5.2.1. Założenia ogólne
 - 5.2.2. Aparatura pomiarowa i jej charakterystyka
 - 5.2.3. Pomiary wielkości chwilowych
 - 5.2.4. Charakterystyka zapisu wyników pomiarów
 - 5.3. Analiza niepewności pomiarów
 - 5.3.1. Parametry metrologiczne przepływomierza
 - 5.3.2. Błąd względny pomiarów
 - 5.3.3. Dolny zakres pomiaru
- 6. Wyniki pomiarów**
 - 6.1. Wstęp
 - 6.2. Zmienność poborów w ciągu doby i rzeczywisty czas trwania poboru
 - 6.3. Pobory maksymalne chwilowe a rodzaj dnia tygodnia

7. Estymacja parametrów modelu matematycznego

- 7.1. Wybór analizowanej próby
- 7.2. Sprawdzenie zgodności rozkładu teoretycznego z danymi pomiarowymi dla poborów w czasie doby i w okresie pomiarów
- 7.3. Podsumowanie

8. Prognozowanie rozbiorów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i ich analiza

- 8.1. Wprowadzenie
- 8.2. Wartości średnie parametrów rozkładu uzyskane z pomiarów
- 8.3. Możliwość wykorzystania pomiarów eksploatacyjnych
- 8.4. Określenie rozbiorów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i ich analiza

9. Podsumowanie i wytyczne do dalszych badań

- 9.1. Podsumowanie i wnioski
- 9.2. Wytyczne do dalszych badań

10. Bibliografia

Zestawienie ważniejszych oznaczeń

Oznaczenia

a	— współczynnik,
b	— współczynnik,
C	— liczba kombinacji, [szt],
D	— średnica [mm],
D_{max}	— maksymalna różnica [%],
E	— wartość oczekiwana,
h	— gęstość rozkładu
H	— dystrybuanta,
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 (punktów),
p	— prawdopodobieństwo, [-],
q	— przepływ [dm^3/s]
S	— odchylenie od wartości średniej
t	— parametr testu t-Studenta,
T	— czas pomiędzy 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, [$\text{dm}^3/\text{dobę}$],
V	— wypływ [dm^3/d]
$\dot{V}$	— strumień objętości, [dm^3/s],
Var	— wariancja,
α	— współczynnik (jednoczesności działania)
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 [-]

Indeksy

a	— współczynnik,
A	— Indeks,
b	— współczynnik,
c	— współczynnik,
d	— dobowy,
i	— liczba porządkowa,
j	— jednostkowy,
max	— maksymalny,
n	— współczynnik,
obl	— obliczeniowy,
π	— cyklu, przedziału
p	— porównawczy,
R	— przyboru czerpalnego, instalacji,
S	— obliczeniowy w instalacji,
śr	— średni,
o	— Indeks,

Skróty

$c.w.$	— ciepła woda
$c.w.u.$	— ciepła woda użytkowa,

1. Wstęp

Racjonalne korzystanie z energii i Środowiska, a zarazem komfort użytkowania to w budownictwie zagadnienia zawsze ważne i aktualne. Znaczący wpływ na komfort użytkowania mieszkań mają instalacje ciepłej wody. Zastosowanie źródła ciepłej wody o zbyt małej wydajności lub instalacji o zbyt małej przepustowości prowadzić może do dyskomfortu użytkowania, natomiast ich przewymiarowanie do podwyższenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wywołanych nadmiernym zużyciem energii

W budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z instalacjami ciepłej i zimnej wody wyposażonymi w wodomierze mieszkaniowe zaobserwowano znaczne zmniejszenie poboru wody w stosunku do budynków z instalacjami bez wodomierzy mieszkaniowych.

W USA miarodajne informacje potwierdzające zmniejszenie zużycia i redukcję wpływów z punktów czerpalnych na przestrzeni lat, od 1940 roku, zawiera instrukcja American Water Works Association [1].

Podobne procesy zaobserwowano w Polsce, proces ten szczególnie się uwidacznia w budynkach wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe [2, 55, 66, 67, 122]. Obrazują je badania poborów długotrwałych (godzinowych) ciepłej wody użytkowej przeprowadzone w okresie 14 miesięcy w latach 1997–1999 w sześciu obiektach o różnej liczbie mieszkańców [66,67] a także wyniki podobnych badań z początku lat osiemdziesiątych XX wieku [111]. Wartości średniego dobowego poboru ciepłej wody dla poszczególnych dni tygodnia były znacznie mniejsze w budynkach wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe i stanowiły około 55 % zużycia w budynkach bez wodomierzy mieszkaniowych [55, 67]. Zużycie ciepłej wody w budynkach wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe, w poszczególnych półgodzinnych odcinkach czasu dla wszystkich rodzajów dni uległo zmniejszeniu. Można się spodziewać, że maksymalne pobory chwilowe ciepłej wody są również mniejsze w takich budynkach.

Zmienia się sposób korzystania z ciepłej wody, w Polsce częściej stosuje się kabiny natryskowe zamiast wanien w mieszkaniach oraz armaturę czerpalną i przybory umożliwiające oszczędzanie wody. Do zmywania naczyń coraz powszechniej używane są zmywarki zasilane zimną wodą.

Równocześnie wystąpiła tendencja do zmiany rozwiązania układów przygotowania ciepłej wody użytkowej z zasobnikowych na bezzasobnikowe.

Obecnie najczęściej projektowane są węzły cieplne pracujące na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej bez zasobników c.w.u., z priorytetem przygotowania ciepłej wody [117, 118, 121]. Bardzo istotne do ich wymiarowania są przepływy chwilowe ciepłej wody [120, 121].

Jeszcze teraz przy projektowaniu układów przygotowania c.w.u. w budynkach wielorodzinnych korzysta się z zależności i zaleceń opracowanych w czasie, kiedy zużycie ciepłej wody było znacznie większe. Przyjmowanie zbyt dużych wielkości wejściowych poboru ciepłej wody prowadzi do niepotrzebnego przewymiarowania urządzeń i podwyższenia kosztów inwestycyjnych, a w przypadku układów zasilanych z sieci ciepłowniczej oraz układów zasilanych gazem, do zamawiania zbyt dużej tzw. mocy zamówionej i ponoszenia za nią zbyt dużych opłat. Natomiast przyjmowanie zbyt małych wartości wyjściowych do wymiarowania układów przygotowania c.w.u. prowadzi do obniżania temperatury ciepłej wody podczas szczytu jej poboru i braku komfortu jej użytkowania.

Do projektowania bezzasobnikowych układów przygotowania ciepłej wody miarodajne wydają się pobory chwilowe ciepłej wody, a te mogą być określane analogicznie jak przepływy wody wodociągowej w budynkach mieszkalnych. Wobec powyższego w pracy została przeanalizowana dostępna literatura mówiąca o określaniu przepływów chwilowych do wymiarowania instalacji wodociągowych, zwłaszcza dotycząca metodyki korzystającej z metod rachunku prawdopodobieństwa.

W rozprawie autor proponuje nowy sposób określania poboru ciepłej wody z uwzględnieniem prawdopodobieństwa występowania poboru, z parametrami określonymi na podstawie przeprowadzonych pomiarów rozbioru ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych.

2. Przegląd metod określania obliczeniowego strumienia poboru wody

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

Na początku XX wieku podawano średnice przewodów instalacji wody do poszczególnych odbiorników w budynkach i schematy instalacji z określonymi średnicami przewodów jako wzorce do wykorzystania. W latach trzydziestych rozpoczęto określanie średnic przewodów instalacji wodociągowych na podstawie wartości spodziewanego przepływu.

W Niemczech korzystano głównie z zależności empirycznych. Do określania przepływów obliczeniowych teorię prawdopodobieństwa zaczęto stosować w Stanach Zjednoczonych. Pierwsze zależności powstałe 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 pt „Wymagania dotyczące wewnętrznych instalacji wodociągowych do przesyłu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi” gdzie jej „Część 3 – Wymiarowanie przewodów – Metody uproszczone” [80] dotyczy doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych. Zawiera 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 2017, nadal do określenia przepływów w przewodach instalacji wodociągowych przy projektowaniu obowiązuje wycofana norma PN-92/B-01706 [79] bazująca na DIN 1988-3 z grudnia 1988 roku [16].

2.1. Metody stosowane w Niemczech

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

W sierpniu 1930 roku wydano pierwszą wersję normy DIN 1988 dotyczącą wymagań technicznych budowy zewnętrznych sieci wodociągowych [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 wodociągowej [5, 19]. We wrześniu 1940 roku wydano modyfikację normy DIN 1988 dotyczącą warunków technicznych budowy i eksploatacji zewnętrznych sieci wodociągowych [48] (Bau und Betrieb von Wasserleitungsanlagen in Grundstücken). Podstawą tej normy było wydanie siódme Wytycznych TVR Wasser z 1936 [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 sieci poprzez określenie sumy ich równoważników.

Poszczególnym przyborom przypisywana była wartość równoważnika z jak niżej:

- $z = 1$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy 1/2' (13 mm) o wydajności 0,375 dm³/s i przyborów z takim zaworem: płuczki zbiornikowej, płuczki ciśnieniowej, bidetu, wanny z podgrzewaczem gazowym i węglowym, zlewu,
- $z = 0,5$ – dla zaworu 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.

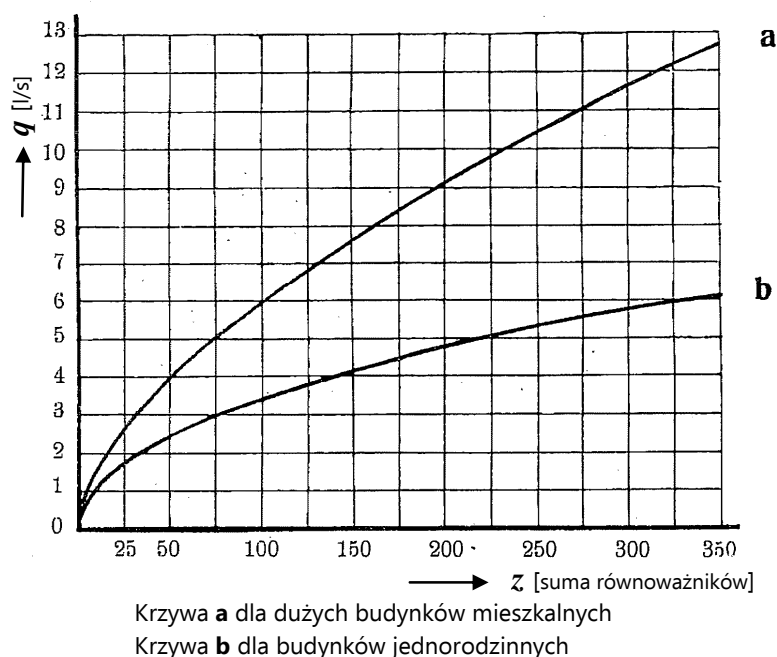
Wartości przepływów odpowiadające danej liczbie równoważników przedstawiono w postaci wykresu i danych tabelarycznych. Na rysunku 2.1 przedstawiono wykres zależności przepływu w [l/s] ([dm³/s]) od sumy równoważników z dla dużych budynków – krzywa **a** i dla budynków jednorodzinnych – krzywa **b**.

Wytyczne TVR 1936 nie podawały równania wiążącego liczbę równoważników z z odpowiadającą wartością przepływu. Krzywą **a** na rysunku 5 można opisać równaniem:

$$q = 0,375 \times z^{0,60206} \quad [dm^3/s] \quad (2.1.1)$$

Krzywą **b** można przedstawić za pomocą zależności:

$$q = 0,375 \times z^{0,47713} \quad [dm^3/s] \quad (2.1.2)$$



Rys 2.1 Krzywe przepływów obliczeniowych q [l/s] ($[dm^3/s]$) w zależności od liczby równoważników zainstalowanych przyborów według „Starej Metody Niemieckiej” zawarte w TVR Wasser 1936 [21]

W roku 1940 w opracowaniach stowarzyszenia Das Gas- und Wasserfach [20] została opublikowana 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]:

$$q = 0,25 \sqrt{Z} \quad [dm^3/s] \quad (2.1.3)$$

gdzie Z oznacza sumę równoważników na danym odcinku instalacji, a poszczególnym przyborom przypisywana jest wartość Z jak niżej:

- $Z = 1$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy 3/8' i o wydajności 0,25 dm^3/s (15 dm^3/min) przy podgrzewaczu gazowym wody nad wanną,
- $Z = 0,25$ – dla zaworu bidetu,
- $Z = 0,5$ – dla zaworu małego o wydajności 10 dm^3/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 dm^3/s ,
- $Z = 11$ – dla spłuczki ciśnieniowej o średnicy 3/4' i o wydajności 0,8 dm^3/s ,
- $Z = 27$ – dla spłuczki ciśnieniowej o średnicy 1' i o wydajności 1,3 dm^3/s ,

Znając wydatek przyboru q w $[\text{dm}^3/\text{s}]$ wartość równoważnika Z można określić za pomocą zależności [74]

$$Z = 16 \times q^2 \quad (2.1.4)$$

Zależność 2.1.3 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 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 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 $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $Z = 0,5$ – dla umywalki z zaworem $3/8'$ o przepływie $0,175 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $Z = 0,5$ – dla gazowego podgrzewacza wody o wydajności 10 l/min ($0,175 \text{ dm}^3/\text{s}$),
- $Z = 1,0$ – dla gazowego podgrzewacza wody o wydajności 16 l/min ($0,25 \text{ dm}^3/\text{s}$),
- $Z = 3,0$ – dla gazowego podgrzewacza wody o wydajności 26 l/min ($0,43 \text{ dm}^3/\text{s}$),
- $Z = 2,5$ – dla baterii wannowej $1/2'$ o wydajności $0,43 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $Z = 16$ – dla baterii wannowej $3/4'$ o wydajności $1,0 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $Z = 2,5$ – dla baterii natryskowej $1/2'$ o wydajności $0,43 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $Z = 16$ – dla baterii natryskowej $3/4'$ o wydajności $1,0 \text{ dm}^3/\text{s}$,

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 gdzie w części 3 (DIN 1988-3 Rohrweitenberechnung) [48] podano metodykę doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych [16]. Metodykę zawartą w tej normie w 1992 przeniesiono do Polskiej Normy PN-92/B-01706 „Instalacje wodociągowe – Wymagania w projektowaniu” [79].

Przepływy obliczeniowe w instalacji określany były na podstawie sumy wpływów z zainstalowanych przyborów w $[\text{dm}^3/\text{s}]$, a nie jak poprzednio na podstawie równoważników wpływu Z [16]. Zamieszczono również tabelę określającą wymagane ciśnienia zasilania oraz przepływy jednostkowe V_R stosowanych przyborów.

Tabela ta w całości została zamieszczona w Polskiej Normie PN-92/B-01706, wprowadzono w niej jedynie kosmetyczne zmiany [79].

Wartości wpływów z pojedynczych punktów czerpalnych stosowanych w mieszkaniach były następujące:

– zawór czerpalny dn 15 bez perlatora	0,3 dm ³ /s,
– zawór czerpalny dn 15 z perlatozem	0,15 dm ³ /s,
– zawór czerpalny dn 15 z perlatozem	0,15 dm ³ /s,
– zmywarka do naczyń (domowa)	0,15 dm ³ /s,
– pralka automatyczna (domowa)	0,25 dm ³ /s,
– baterie czerpalna natrysków dn15	woda zimna i ciepła; po 0,15 dm ³ /s,
– baterie czerpalne wanien dn15	woda zimna i ciepła; po 0,15 dm ³ /s,
– baterie zlewozmywaków dn15	woda zimna i ciepła; po 0,07 dm ³ /s,
– baterie umywalek dn15	woda zimna i ciepła; po 0,07 dm ³ /s,
– płuczka zbiornikowa dn15	0,13 dm ³ /s,

Przepływ obliczeniowy w przewodach instalacji budynków mieszkalnych określano z zależności:

$$\dot{V}_S = 0,682 \cdot (\sum \dot{V}_R)^{0,45} - 0,14 \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (2.1.5)$$

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

oraz

$$\dot{V}_S = 1,7 \cdot (\sum \dot{V}_R)^{0,21} - 0,7 \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (2.1.6)$$

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

Powyższe zależności znalazły się również w Polskiej Normie.

W 2012 roku wydano DIN 1988-300:2012-05 „Technische Regel für Trinkwasser-Installationen (TRWI) Ermittlung der Rohrdurchmesser Technische Regel des DVGW“ [16].

Wartości wpływów z punktów czerpalnych stosowanych w mieszkaniach pozostały bez zmian, z wyjątkiem pralki i zmywarki dla których przepływy zmniejszono odpowiednio do 0,15 i 0,07 dm³/s.

Uogólniono sposób zapisu formuły do określania przepływów obliczeniowych w różnych obiektach następująco:

$$\dot{V}_S = a \cdot (\sum \dot{V}_R)^b - c \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (2.1.7)$$

a współczynniki a , b i c , dla różnych obiektów, zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Stałe do zależności określającej obliczeniowy przepływ w instalacjach wodociągowych

Stoła Typ budynku	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
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 jest następująca:

$$\dot{V}_S = 1,48 \cdot (\sum \dot{V}_R)^{0,19} - 0,94 \text{ [dm}^3/\text{s]} \quad (2.1.8)$$

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 czerpalny w przedsionku toalety lub pisuar czy bidet, to wypływów z tych przyborów nie należy sumować (uwzględniać w bilansie pobieranej wody).

Średnice przewodów należy dobierać tak, aby nie były przekroczone prędkości dopuszczalne. Rozróżnia się dopuszczalne prędkości dla przyłącza oraz przewodów rozbiorczych, a także uwzględniane są opory miejscowe armatury na działce i przewidywany czas trwania przepływu obliczeniowego. Szczegółowe wymagania zostały przedstawione w Tabeli 2.2.

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

Rodzaj przewodu	Prędkość w przewodzie w zależności od czasu trwania przepływu obliczeniowego [m/s]	
	$<15 \text{ min}$	$\geq 15 \text{ min}$
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 $\zeta \geq 2,5$ (zwór prosty)	2,5	2,0

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.

2.2. Metody stosowane w USA

Dużą grupę zależności służących do określenia przepływów chwilowych w instalacjach wodociągowych w USA stanowią wzory powstałe przy wykorzystaniu teorii prawdopodobieństwa.

Początki wykorzystania teorii prawdopodobieństwa do określania przepływów w instalacji wodno-kanalizacyjnej

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 r 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 Dr. Roy B. Hunter powołany w 1921 roku do kierowania pracami badawczymi Instytutu. Zadaniem Biura było opracowanie minimalnych wymagań dla konstrukcji i instalacji budynków w oparciu o nowoczesne metody badawcze (metody eksperymentalne oraz metody teoretyczne, między innymi z wykorzystaniem rachunku prawdopodobieństwa).

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

W omawianych wytycznych z 1924 roku zawarto również opis metodyki określania przepływów maksymalnych w instalacjach kanalizacyjnych ze splukiwanymi miskami klozetowymi w oparciu o metody klasycznego rachunku prawdopodobieństwa. Jest to jedna z pierwszych prób zastosowania rachunku prawdopodobieństwa do wymiarowania instalacji w budynkach wielorodzinnych.

W omawianych wytycznych zawarto również opis metodyki określania przepływów maksymalnych w instalacjach kanalizacyjnych ze splukiwanymi miskami klozetowymi

w oparciu o metody klasycznego rachunku prawdopodobieństwa z wykorzystaniem danych z obserwacji o częstotliwości korzystania z toalet w czasie szczytu użytkowania.

Średni czas pomiędzy kolejnym użyciem płuczki ciśnieniowej w instalacji badano w biurowcu Equitable Building dla grupy 400 mężczyzn, do których dyspozycji było 10 toalet oraz w Zakładzie Hood Rubber Company, gdzie toalety były używane przez ponad 250 mężczyzn i blisko 200 kobiet. W pierwszym obiekcie średni czas przebywania w toalecie wyniósł ok. 7 minut a w drugim ok. 4 dla kobiet i ok. 4,25 min dla mężczyzn. Ostatecznie, uwzględniając przerwy, do analiz, przyjęto dwa czasy cyklu korzystania z toalet: 300 oraz 600 sekund. Przy założeniu cyklu 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 ilość kombinacji C_r^n . Wobec powyższego 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 ilości jednoczesnych „spłukań” raz na określony czas (dni lub lat). Np. 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 wypływem, przyjmowano minimalne średnice pionów i poziomów kanalizacyjnych gwarantujących dostateczną pewność działania systemu. Określano to poprzez ustalenie co jaki czas może nastąpić przekroczenie przepustowości przyjętej średnicy przewodu i tym samym ustalano prawdopodobieństwo przekroczenia określonej wartości przepływu ścieków.

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

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

Metoda Huntera

W roku 1940 opublikowano raport BMS 65, który porządkuje 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 dla doboru średnic przyłączy wodociągowych i przewodów w instalacjach budynkach 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 (średni czasu poboru z punktu czerpalnego) do średniego czasu T pomiędzy kolejnymi otwarciami zaworu:

$$p = t/T \quad (2.2.1)$$

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

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

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

$$p_N(K) = \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (1-p)^{N-K} = \binom{N}{K} p^K (1-p)^{N-K} \quad (2.2.2)$$

gdzie:

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

Dystrybuanta tego rozkładu określona jest zależnością

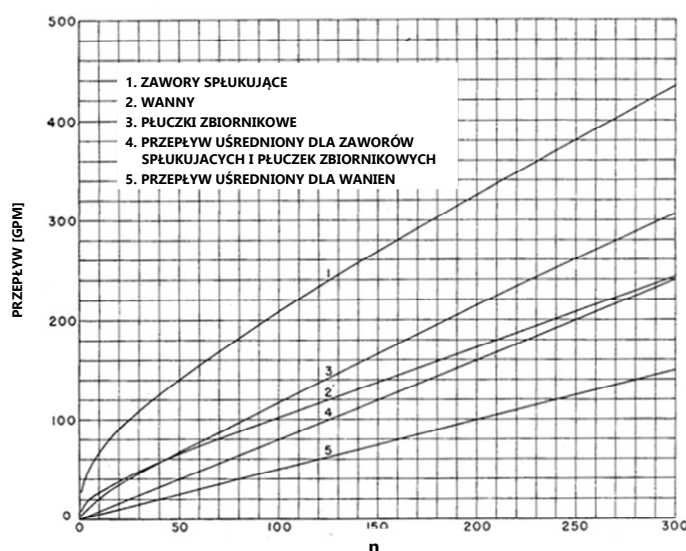
$$P_N(K) = \sum_{n=0}^K \binom{N}{n} \cdot p^n \cdot (1-p)^{N-n} \quad (2.2.3)$$

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 ilości K otwartych zaworów, przy założeniu stałej wydajności q każdego zaworu wynosi:

$$Q = K \times q \quad (2.2.4)$$

Uzyskane wartości przepływów, w zależności od liczby i rodzaju punktów czerpalnych, przy założonym prawdopodobieństwie przekroczenia 1%, przedstawiono na wykresie na rysunku 2.2.

Wykres na rysunku 2.2 przedstawiał otrzymane z obliczeń wartości przepływów maksymalnych lub wartości uśrednione w okresie cyklu poboru (w galonach na minutę GPM, 1 GPM=0,0630833 dm³/s).



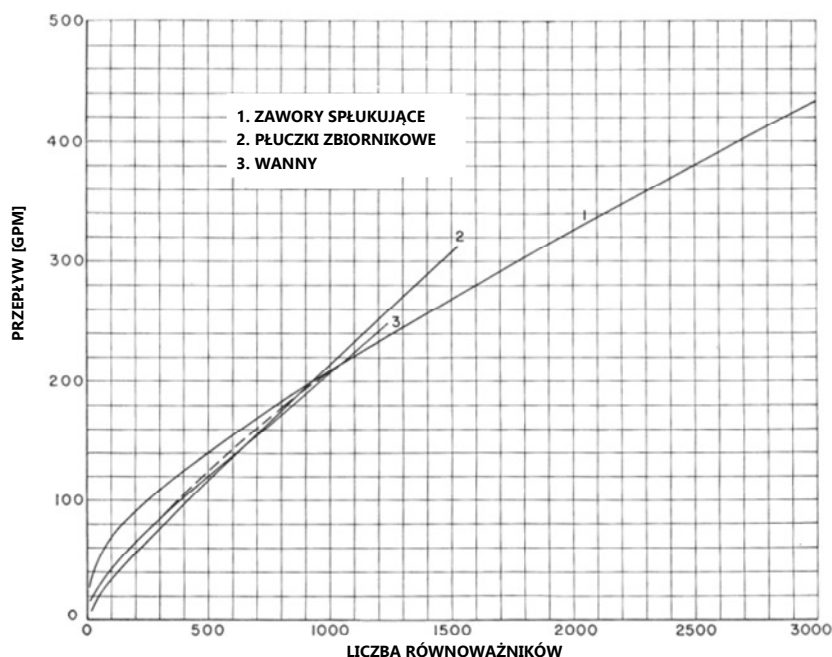
Rys 2.2 Przepływ wody [GPM] w zależności od liczby n przyborów w instalacji wodociągowej oraz od rodzaju przyborów: 1 – zawory spłukujące (przepływ maksymalny), 2 – wanny (przepływ maksymalny), 3 – płuczki zbiornikowe (przepływ maksymalny), 4 – uśredniony w okresie T dla zaworów i zbiorników spłukujących (nQ/T), 5 – uśredniony w okresie T dla wanien [31]

Dla poszczególnych przyborów, przyjmując skalę od 1 do 10, w Raporcie przypisano następujące równoważniki wypływu:

- | | |
|-----------------------|-------|
| – zawory spłukujące | – 10, |
| – wanny | – 4, |
| – płuczki zbiornikowe | – 5, |
| – pisuary | – 3, |

- umywalka – 2,
- umywalka woda ciepła lub zimna – 1,5,
- natrysk – 4,
- natrysk woda ciepła lub zimna – 3.

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



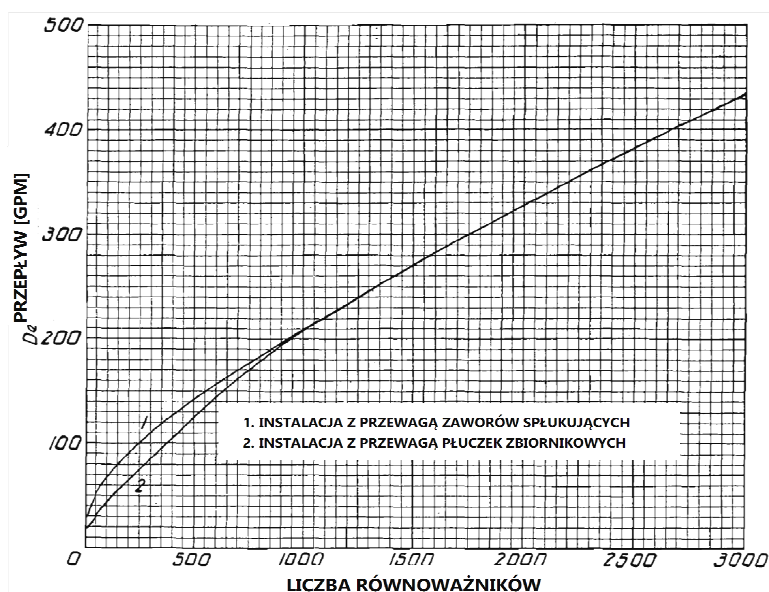
Rys 2.3 Przepływ wody [GMP] w zależności od liczby równoważników oraz od rodzaju przyborów: 1 – zawory spłukujące (przepływ maksymalny), 2 – płuczki zbiornikowe (przepływ maksymalny), 3 – wanny (przepływ maksymalny), [31]

Następnie po analizie przebiegu krzywych poboru dla instalacji z płuczkami zbiornikowymi i wannami (krzywe 2 i 3 na Rysunku 2.2.), oraz uwzględniając zbliżone wartości ich równoważników (odpowiednio 5 i 4) krzywe te zastąpiono jedną linią. W początkowej części linia ta przebiega zgodnie z krzywą 2 i dalej wg linii przerywanej do przecięcia z krzywą 1. Wynik tego uproszczenia przedstawiono na Rysunku 2.4 [31, 32].

W 1940 opublikowano również raport BMS 66 „Plumbing Manual” będący warunkami technicznymi (instrukcją) wykonania instalacji wod.-kan. w budynkach, który uwzględniał wcześniejsze ustalenia Instytutu. W instrukcji tej zawarto wykres pokazany na Rys 2.4 jako podstawę do określania przepływów miarodajnych przy doborze średnic przewodów instalacji wodociągowych i przyłączy do budynków [32].

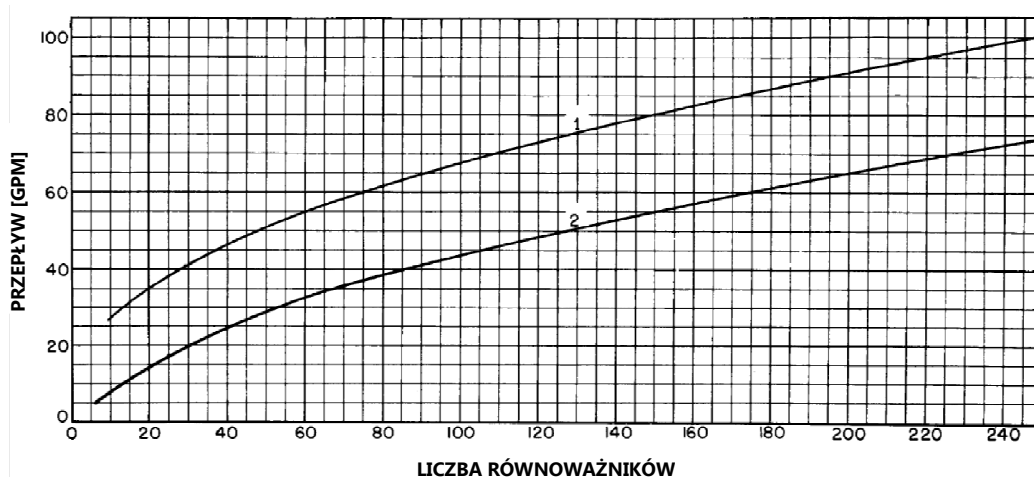
Następnie w roku 1941 wydano raport BMS 79 „Water-Distributing Systems for Buildings”, będący szczegółową instrukcją projektowania instalacji wodnych [33].

Do doboru przewodów zamieszczono w nim wykres przedstawiony 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 od rodzaju przyborów w instalacji: 1 – instalacja z przewagą zaworów spłukujących, 2 – instalacja z przewagą płuczek zbiornikowych, powyżej punktu przecięcia – 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 jest do wykorzystania przy projektowaniu małych instalacjach wodociągowych



Rys 2.5 Miarodajny przepływ wody [GPM] w zależności od liczby równoważników z zakresie do 250 równoważników; 1 – instalacja z przewagą zaworów spłukujących, 2 – instalacja z przewagą płuczek zbiornikowych, dla małych instalacji [33]

W kolejnych latach w wielu publikacjach można 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.

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]:

$$Q_{0.99} = \sum_{k=1}^K n_k p_k q_k + (z_{0.99}) \sqrt{n_k p_k (1 - p_k) q_k^2} \quad (2.2.5)$$

gdzie:

n_k – liczba punktów czerpalnych danego typu,

p_k – prawdopodobieństwo otwarcia punktu czerpalnego danego typu,

q_k – wpływ 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 CIB [43] oraz opracowania dotyczące rozwoju metod określania poborów chwilowych wody prezentowanych przez IAPMO [9] wynika, że metoda bazująca na modelu Huntera i rozkładzie dwumianowym, oprócz USA, stosowana była w Wielkiej Brytanii Japonii, Indiach, Australii. Metoda to nadal stanowi podstawę do ustalania metod wymiarowania przepływów obliczeniowych w instalacjach wody w budynkach mieszkalnych [1,9].

2.3. Metody stosowane w Związku Radzieckim

Prace Kursina

W 1936 roku S. A. Kursin przedstawił rozważania dotyczące zmienności poboru wody w budynkach mieszkalnych. Na początku zwrócił on 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 [41].

Kursin przeprowadził rozważania teoretyczne a następnie otrzymane rezultaty porównał z wynikami pomiarów zużycia wody przeprowadzonych w budynkach mieszkalnych Odessy wykonanych za pomocą wodomierzy samopiszących Siemens [41, 73] (odpowiednikiem polskim było urządzenie „Rejstrat”).

Na początku określił on 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 udziały 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 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 czasowej. Ostatecznie dochodzi w tych rozważaniach 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 dochodzi do wniosku, iż prawdopodobieństwo przewyższenia określonej liczby sukcesów (otwarć zaworów) można określić z rozkładu Poissona. Jest to znana właściwość rozkładu dwumianowego, iż 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 można opisać następującą zależnością [3]:

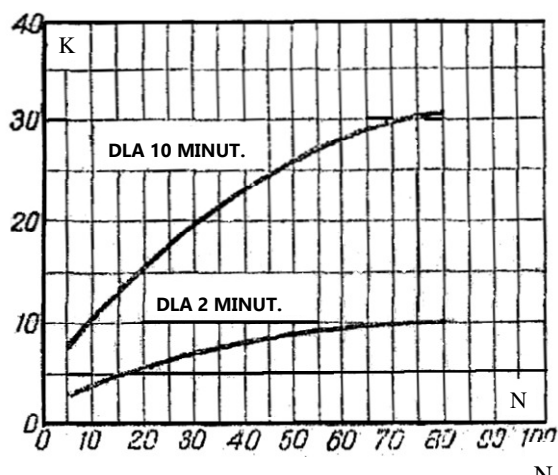
$$P_{>K} = e^{-Np} \sum_{i=K}^{\infty} \frac{(Np)^i}{i!} \quad (2.3.1)$$

Niezbędne wartości liczbowe do określenia poboru chwilowego: prawdopodobieństwa otwarcia pojedynczego przyboru p i średni pobór z przyboru q_{sri} Kursin ustalił w oparciu o teoretyczne rozważania związane ze średnim zużyciem wody na mieszkańca, intensywnością korzystania z przyborów i użytkowaniem punktów poboru w pojedynczym, typowym mieszkaniu budynku wielorodzinnego zamieszkałego przez 5 osób. Podał, że średnia liczba otwarć zainstalowanych przyborów w ciągu doby na mieszkańca wynosi 10, a średnie zużycie wody w ciągu doby wynosi 100 litrów ($[dm^3]$) na osobę. Wobec powyższego średni pobór wody przy otwarciu pojedynczego punktu czerpalnego q_{sri} można oszacować na 10 l ($[dm^3]$) na otwarcie.

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

Natomiast w budynku o 20 mieszkaniach i stu mieszkańcach normatywnych, przyjęto, że okres szczytowego poboru będzie dwa razy dłuższy. Wobec powyższego średnia częstotliwość korzystania z przyboru będzie wynosiła 1,2 razy/godzinę co powoduje, że prawdopodobieństwo otwarcia będzie wynosiło $p=2 \times 1,2/60=0,04$ przy przyjęciu dwuminutowego okresu chwilowego poboru. Wartości prawdopodobieństwa p przy przyjęciu dziesięciominutowego czasu trwania maksymalnego chwilowego poboru będą dwa razy większe.

Kursin założył, że wartość prawdopodobieństwa p zmienia się liniowo wraz z liczbą zainstalowanych przyborów w instalacji N . Z zależności 2.3.1 obliczył liczbę otwartych zaworów w okresie szczytu poboru przy przyjęciu dwuminutowego i dziesięciominutowego czasu trwania maksymalnego chwilowego poboru, przyjmując założenie że prawdopodobieństwo przewyższenia tego zdarzenia będzie nie większe niż 0,001. Wyniki obliczeń przedstawione zostały na poniższym wykresie rys 2.6.



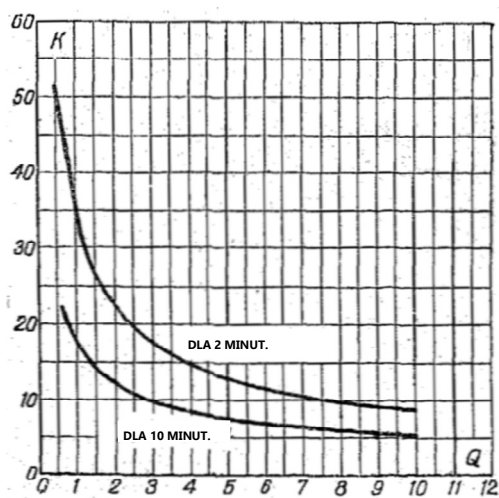
Rys 2.6 Liczba czynnych punktów czerpalnych K w zależności od ilości przyborów w instalacji N przy założeniu dwuminutowego (krzywa dolna) i dziesięciominutowego (krzywa górna) czasu trwania maksymalnego chwilowego poboru [41]

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 ilości 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 ($100 \text{ dm}^3/\text{dobę}$).

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

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

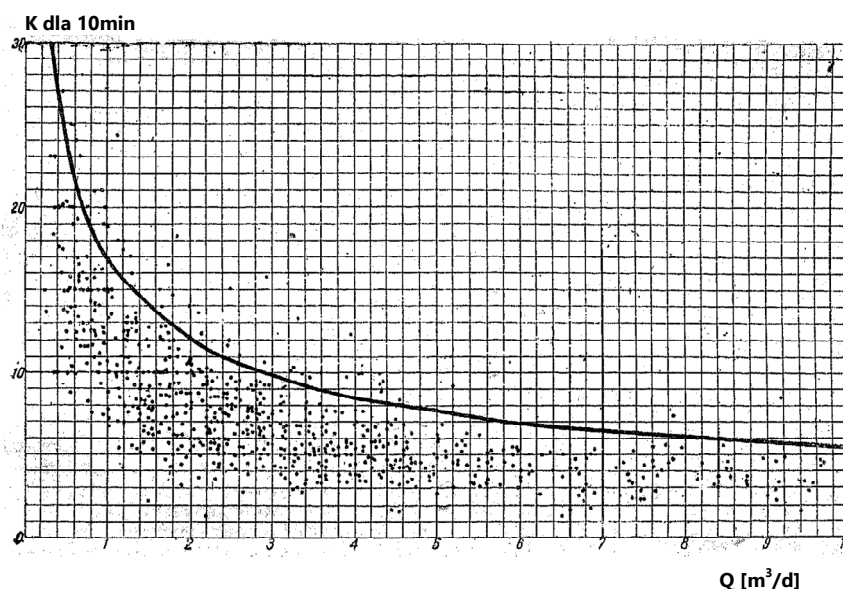


Rys 2.7 Wartość współczynnika nierównomierności chwilowej K w zależności od średniego dobowego zużycia wody w instalacji Q [m^3/doba] [41]

Krzywa dla poboru 10 minutowego została aproksymowana zależnością:

$$K = \frac{30}{\sqrt{Q_d}} \quad (2.3.2)$$

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



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

Prace Spysznowa

Korzystając z zależności Kursina (2.3.2) w książce z 1949 roku [124] Spysznow stwierdził, iż przepływ obliczeniowy chwilowy (sekundowy) w instalacji można powiązać z przepływem średnim zależnością:

$$q_{obl} = q_{sr} \times K [dm^3/s] \quad (2.3.3)$$

a następnie

$$q_{sr} = \frac{Q_d \times 1000}{24 \times 3600} \quad (2.3.4)$$

i podstawiając za K zależność Kursina (2.3.2) otrzymał:

$$q_{obl} = \frac{Q_d \times 1000}{24 \times 3600} \times \frac{30}{\sqrt{Q_d}} = 0,347 \sqrt{Q_d} \quad (2.3.5)$$

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

$$Q_d = N \times q_j$$

Wobec powyższego:

$$q_{obl} = 0,347 \sqrt{N \times q_j}$$

i podstawiając:

$$b = 0,347 \sqrt{q_j}$$

ostatecznie uzyskano:

$$q_{obl} = b \sqrt{N} \quad (2.3.6)$$

Następnie przyjęto $b = 0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$ a zależność 2.3.6 została zmodyfikowana do postaci:

$$q_{obl} = 0,2 \sqrt{N} \quad (2.3.7)$$

Oznaczając:

$$n = \frac{q_{obl}}{0,2} \quad (2.3.8)$$

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

$$n = \sqrt{N} \quad (2.3.9)$$

Logarytmując obie strony uzyskano:

$$\lg n = \frac{1}{2} \lg N \quad (2.3.10)$$

Ostatecznie otrzymano:

$$a = \frac{\lg N}{\lg n} \quad (2.3.11)$$

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

Wówczas uzyskano dobrze znany wzór:

$$q_{obl} = 0,2 \sqrt[2,15]{N} \quad (2.3.12)$$

Przy wartości N powyżej 300 autor zaleca korzystać z zależności:

$$q_{obl} = 0,2 \sqrt[2,15]{N} + 0,002N \quad (2.3.13)$$

I ogólnie [101, 102]:

$$q_{obl} = 0,2 \sqrt[\alpha]{N} + kN \quad (2.3.14)$$

gdzie:

- q_{obl} – przepływ obliczeniowy,
- $0,2$ – wypływ odpowiadający jednemu równoważnikowi,
- α – wykładnik zależny od dobowego zapotrzebowania wody przez jednego mieszkańca ($1,85 \leq \alpha \leq 2,2$),
- k – współczynnik zależny od sumy równoważników N .
- N – liczba zainstalowanych przyborów wyrażona w równoważnikach,

gdzie wartości N dla poszczególnych przyborów przypisano jak niżej:

- $N = 1,0$ – dla zaworu czerpalnego o średnicy 15 mm i wydajności $0,20 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $N = 1,0$ – dla zlewozmywakowej o wydajności $0,20 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $N = 1,0$ – dla baterii wannowej o wydajności $0,20 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $N = 0,5$ – dla zaworu pływakowego płuczki zbiornikowej o wydajności $0,10 \text{ dm}^3/\text{s}$,
- $N = 0,33$ – dla baterii umywalkowej o wydajności $0,07 \text{ dm}^3/\text{s}$,

Zależność powyższa została podana w Radzieckiej Normie II-G.3 z 1954 roku do określenia przepływu obliczeniowego w przewodach instalacji domów mieszkalnych lecz norma nie podawała wartości równoważników poszczególnych przyborów [95]. Zawierała jedynie informacje, że jeden równoważnik odpowiada wypływowi $0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$ oraz tabelaryczne zestawienie wypływów z instalowanych przyborów (punktów poboru).

Do określania przepływu w instalacjach budynków użyteczności publicznej i przemysłowych, w omawianej normie, podano następującą zależność:

$$q = \sum_i^n q_0 \sqrt{n_0} \quad (2.3.15)$$

gdzie:

- q – przepływ obliczeniowy w $[\text{l/s}]$ ($[\text{dm}^3/\text{s}]$),
- q_0 – wypływ z pojedynczego punktu czerpalnego danego typu $[\text{l/s}]$ ($[\text{dm}^3/\text{s}]$),
- n_0 – liczba zainstalowanych przyborów tego samego typu,

W następnej Radzieckiej Normie SNiP II-G.1-62 z 1962 [96] oraz SNIP II-G.1-70 z 1970 [97] roku dalej podawano do stosowania zależność 2.3.14 zamieszczoną w normie z 1954. Natomiast w tabeli z informacjami o wpływach z poszczególnych przyborów i średnicy podejścia podawano również ich równoważniki wpływu (czego we wcześniejszej normie nie było).

Prace Chłudowa

W podręczniku [11] Chłudow odniósł się do pracy Kursina mówiąc, że jest ona zawiła i miejscami niejasna.

Przedstawił on wyniki analiz, w których określał liczbę czynnych punktów czerpalnych korzystając z rozkładu Poissona:

$$P_K = e^{-Np} \times \sum_{i=K}^{i=N} \frac{(Np)^i}{i!} \quad (2.3.16)$$

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 jej odcinku),
- p – prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpalnego,

Chłudow, podobnie jak Kursin, określa prawdopodobieństwo działania pojedynczego punktu czerpalnego p , na drodze rozważań teoretycznych, w zależności od wyposażenia mieszkań, średniego ich zasiedlenia oraz średniego dobowego zużycia wody przez mieszkańca. Następnie korzystając z zależności 2.3.16 określa liczbę jednocześnie działających punktów czerpalnych K , dla których prawdopodobieństwo P_K będzie mniejsze od założonej wartości. W analizowanym przykładzie w instalacji z 50 przyborami Chłudow określa tę wartość jako 0,0003 co oznacza, iż w czasie 1,5 do 2 miesięcy raz może nastąpić włączenie większej liczby przyborów niż określona na przy tym założeniu [11, 17].

Korzystając z powyżej opisanej metodyki, dla różnych budynków, określa 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 były opracowane w formie wykresu.

Dla budynków mieszkalnych zaleca on korzystanie z następującego wzoru:

$$\phi = \frac{1,4}{\sqrt{N}} \quad (2.3.17)$$

gdzie: N zawiera się w granicach od 2 do 600.

Prace Šopenskigo

Dostępne prace Šopenskigo [40, 126] pochodzą z 1967 roku a ich podsumowaniem był artykuł opublikowany w 1968 roku [128]. Na wstępie artykułu Šopenskij podaje, że złożoność procesów poboru wody w instalacjach budynków wyklucza możliwość zastosowania zależności empirycznych do ich opisu. 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 maksymalnego jej zużycia,
- liczba użytkowników u oraz liczba punktów poboru wyrażona w równoważnikach N ,
- wpływ wody przez przybór równoważny (odpowiadający jednemu równoważnikowi równy $q_o = 0,2 \text{ l/s}$ ($[\text{dm}^3/\text{s}]$),

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

$$\lim_{u \rightarrow \infty} Q_p = \frac{\bar{k} \times Q_o \times u}{24} = q_o \times N \times \bar{t} \quad (2.3.16)$$

gdzie:

- Q_p – prawdopodobny pobór wody w obiekcie,
- $\bar{k}$ – wartość współczynnika nierównomierności godzinowej przy liczbie użytkowników w obiekcie dążącym do nieskończoności: $\bar{k} = \lim_{u \rightarrow \infty} k$,
- $\bar{t}$ – średni czas działania punktu czerpalnego w godzinie maksymalnego poboru w przeliczeniu na przybór równoważny (jeden równoważnik),

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

$$\bar{p} = \frac{\bar{t}}{3600} \quad (2.3.17)$$

gdzie:

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

W podobny sposób, jako stosunek czasu otwarcia punktu czerpalnego do czasu korzystania z danego przyboru (np. stosunek czasu napełnianie wanny i łączny czas trwania kąpieli), określano prawdopodobieństwo działania armatury w pracach Huntera [31, 32]

Po określeniu z równania (2.3.17) i podstawieniu do równania (2.3.16) czasu $\bar{t}$ oraz $q_o = 0,2$ otrzymano:

$$\bar{p} = \frac{\bar{k} \times Q_o \times u}{17280 \times N} \quad (2.3.18)$$

Szopenski zakłada, że prawdopodobieństwo działania punktów czerpalnych p_p w danej instalacji, lub rozpatrywanej części instalacji, jest uzależniona od ich liczby wyrażonej w równoważnikach N .

Określa więc wartość maksymalną prawdopodobieństwa p jako:

$$p_{\max} = \frac{t_{\max}}{3600} = \frac{t_{\Pi}}{T_{\Pi}} \quad (2.3.19)$$

gdzie:

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

Następnie oszacowana została wartość $\bar{p}_{\max}$, która dla różnych przyborów (wanna, spłuczka zbiornikowa, bateria umywalkowa) wynosi 0,2.

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

$$p_p = \bar{p} \times \left[1 + \frac{\sqrt{(p_{\max} - \bar{p})^2 \times N}}{\bar{p} \times N} \right] \quad (2.3.20)$$

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

$$p_p = \bar{p} \left[1 + \frac{0,2 - \bar{p}}{\bar{p} \sqrt{N}} \right] \quad (2.3.21)$$

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

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

$$M = p_p \times N + \Theta \sqrt{N \times p_p \times (1 - p_p)} \quad (2.3.22)$$

gdzie:

Θ – wartość zmiennej losowej standaryzowanej,

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

$$q_p = 0,2 \times p_p \times N + 0,464 \sqrt{N \times p_p \times (1 - p_p)} \quad [\text{l/s}] \quad (2.3.23)$$

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

$$Q_N = 3600 \times q_o \times p_{\max} \quad (2.3.24)$$

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

Prowadząc identyczny tok rozumowania jak dla poborów chwilowych otrzymał zależność określającą obliczeniowy godzinowy pobór wody Q_p :

$$Q_p = Q_N \times p_N \times N + \Theta \times Q_N \times \sqrt{N \times p_N \times (1 - p_N)} \quad (2.3.25)$$

oraz prawdopodobieństwo działania przyboru p_N z zależności:

$$p_N = \frac{p_p}{p_{\max}} \quad (2.3.26)$$

gdzie:

p_p – prawdopodobieństwo otwarcia punktu równoważnego p_p instalacji o N odbiornikach według zależności (2.3.21) i oszacowana wcześniej wartość $p_{\max} = 0,2$

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

$$Q_p = 0,144 \times p_N \times N + 0,334 \sqrt{N \times p_N \times (1 - p_N)} \quad [l/h] \quad ([dm^3/h]) \quad (2.3.27)$$

Ponadto autor stwierdza, że zaprezentowana metodyka jest uniwersalna i umożliwia określenie poborów obliczeniowych w odcinkach przewodów zasilających jednocześnie instalacje wody ciepłej i zimnej, instalacje wody zimnej oraz instalacje wody ciepłej. Do obliczania przepływów wody zimnej w przewodach zasilających instalacje wody zimnej i ciepłej (przewody wody ogólnej) prawdopodobieństwo działania przyborów należy obliczać na podstawie następującej zależności:

$$\bar{p}_i^z = \frac{(\bar{k}_i^{og} \times Q_{o(i)}^{og} - \bar{k}_i^{cw} \times Q_{o(i)}^{cw}) \times u_i}{17280 \times N_i^z} \quad (2.3.28)$$

gdzie indeksy górne oznaczają:

- og – woda ogólna (zasilająca instalacje wody zimnej i ciepłej),
- z – woda zimna,
- cw – woda ciepła,

Przy obliczaniu przepływów w budynku z różnymi grupami odbiorców (np. budynek mieszkalny z usługami) lub grupy budynków o różnym przeznaczeniu autor podaje, że prawdopodobieństwo działania przyborów należy określać jako średnią ważoną wg zależności:

$$\bar{p}_{cp} = \frac{\sum_i \bar{p}_i N_i}{\sum_i N_i} \quad (2.3.29)$$

W artykule zawarte są również wyniki pomiaru poborów wody oraz wartości poboru otrzymane na podstawie powyżej przedstawionego toku obliczeń. Porównanie to potwierdza zasadność przyjętej metodyki o czym świadczy wysoka zgodność wartości pomierzonych z wynikami obliczeń. Autor również mówi 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 [125] Šopenskij przedstawił metodykę określania przepływów chwilowych i godzinowych, która znalazła zastosowanie w normach radzieckich СНиП II-30-76 [98] gdzie został użyty rozkład Erlanga.

Na wstępie autor podaje, że liczba równocześnie działających przyborów czerpalnych może być wyrażona funkcją:

$$m = f(n, P_n, P) \quad (2.3.30)$$

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 określenia poborów wody w budynkach zostały przyjęte według stosowanych wówczas norm, są to :

- Q – norma zużycia wody w danym obiekcie lub rozpatrywanej części instalacji,
- K – współczynnik nierównomierności poboru wody w okresach maksymalnego jej zużycia,
- U – liczba użytkowników w danym obiekcie lub rozpatrywanej części instalacji,
- n – rzeczywista liczba punktów poboru (przy $q_o = 0,2$ 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 w oparciu o czas średniego działania przyborów w tym okresie t_{sr} następująco:

$$P_n = \frac{t_{sr}}{3600} = \frac{K \times Q \times U}{3600 \times T \times q_o \times n} \quad (2.3.31)$$

gdzie T oznacza czas w jakim rozpatrywany będzie pobór (sekunda lub godzina).

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

$$p_{\Sigma i} = \frac{\sum_1^i n_i p_i}{\sum_1^i n_i} \quad (2.3.32)$$

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

$$p_{\Sigma i} = \frac{\sum_1^i n_i p_i \frac{q_{o(i)}}{q_o}}{\sum_1^i n_i} \quad (2.3.33)$$

Przepływ obliczeniowy chwilowy był określany z następującej zależności:

$$q = q_o \times m \quad (2.3.34)$$

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 określony był obliczeniowy przepływ godzinowy wody.

Dla spotykanych wartości prawdopodobieństwa działania P_n (od 0,001 do 0,15) i różnej liczby przyborów n (do 10000) zostały stworzone nomogramy umożliwiające odczytanie wartości przepływu chwilowego i godzinowego [98].

Autor 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 [98] a następnie SNIP 2.04.01-85 z 1985 roku [99] roku oraz jej uaktualnienie 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 można określić z zależności:

– dla wody ogólnej:

$$P_{og} = \frac{k_{og} G_{og} U}{3600 T q_o \sum_1^n N_i} \quad (2.3.35)$$

– dla wody ciepłej:

$$P_c = \frac{k_c G_c U}{3600 T q_o \sum_1^{n_c} N_{c_i}} \quad (2.3.36)$$

– dla wody zimnej:

$$P_z = \frac{(k_{og} G_{og} - k_c G_c) U}{3600 T q_0 \sum_1^{n_z} N_{zi}} \quad (2.3.37)$$

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) w [dm³] na odbiorcę normatywnego w określonym czasie (godzina, doba),

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

$$q = 5q_o \times \alpha \quad (2.3.38)$$

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 lub wartość q mogła być odczytana z nomogramu.

W 2006 roku 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 czerpalnego, a maksymalny chwilowy strumień wody odczytuje się z tabeli na podstawie średniego poboru godzinowego w danej instalacji i liczby zainstalowanych przyborów.

Średni godzinowy pobór wody liczony jest jako iloczyn liczby zainstalowanych przyborów i ich średnich godzinowych wydatków jednostkowych. Wartości wydatków jednostkowych w [l/h] ([dm³/h]) oraz tabele do odczytu poborów chwilowych w [l/s] ([dm³/s]) zamieszczone są w załącznikach normy.

2.4. Metody stosowane w Polsce

W opracowaniu „Podręcznik Dla Instalatorów Wodociągowych i Kanalizacyjnych” [4], wydanym w 1925 roku, inżynier Bronisław Biegeleisen podaje: „Formuł do obliczania przekrojów wodociągowych rur instalacyjnych dotychczas nie mamy,...”. Wcześniej autor podaje zalecane średnice wewnętrzne przewodów wodociągowych w zależności od ilości obsługiwanych punktów czerpalnych („miejsc”), a ściślej od ilości obsługiwanych punktów czerpalnych o średnicy co najmniej 13 mm.

Dopiero po II Wojnie Światowej Plaskura i Wein podają metodykę doboru średnic przewodów w instalacji wodociągowej w podręczniku opublikowanym w 1948 [75]. Przedstawili oni 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 Wójcickiego, również wydanej w 1948 roku, pokazana jest natomiast „nowa” *metoda niemiecka* doboru przewodów instalacji wodociągowych [134] również bez odniesień do materiałów źródłowych.

W 1952 roku Tadeusz Gabryszewski opublikował artykuł [27] w którym dokonał przeglądu metod stosowanych w kraju (przepisy przedwojenne dla Warszawy, stara i nowa „metoda niemiecka”) a następnie szczegółowo przedstawił metodykę obliczeń wewnętrznych przewodów wodociągowych opracowanej przez Spysznowa [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 artykule [125], podjęto próbę wprowadzenia tej metodyki obliczeń w Polsce [7, 46, 91].

Równoległe z „metodami radzieckimi” stosowano „metodę niemiecką” i były one podstawową przy projektowaniu instalacji w budynkach mieszkalnych praktycznie do 1992 roku kiedy została wprowadzona norma „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 jest przywoływana w obowiązujących Warunkach Technicznych [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 jej Część 3 (PN-EN 806-3: 2006): „Wymiarowanie przewodów –Metody

uproszczone” [80] podaje, 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 jest wykres umożliwiający określenie 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	0,1	1
Zlewozmywak, zlew, natrysk, zmywarka, pralka	0,2	0,15	2
Zawór spłukujący pisuaru	0,3	0,15	3
Wanna domowa	0,4	0,3	4
Zawór czerpalny ogrodowy, garażowy	0,5	0,4	5
Zlewozmywak, wanna z baterią DN20	0,8	0,8	8
Zawór spłukujący DN20	1,5	1,0	15

Założenia do doboru średnicy przewodów są natępujące:

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

Analizy przeprowadzone przez profesora dr hab. inż. Janusza Jeżowieckiego i dr inż. Edmunda 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 były zgodne z normą.

Wartości przepływów obliczeniowych uzyskiwane według zmodyfikowanej metodyki normy PN-EN 806-3: 2006 są porównywalne z wartościami uzyskiwanymi wg DIN 1988-300: 2012-05 [17, 54].

Do połowy roku 2016 nadal w „rozporządzeniu o warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [86], jako obowiązująca do określenia przepływów w przewodach instalacji wodociągowych, przywoływana jest norma PN-92/B-01706 [79] bazująca na DIN 1988-3: 1988-12 [16].

2.5. Podsumowanie i wnioski

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

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

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

Metody oparte na rachunku prawdopodobieństwa, opierając się na logicznych założeniach dotyczących przebiegu procesu poboru lub analizując dane pomiarowe, zmierzały do ustalenia liczby czynnych punktów czerpalnych w instalacji z wykorzystaniem 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 opartych na rachunku prawdopodobieństwa używano prostych rozkładów statystycznych. W dostępnej literaturze nie spotkano zastosowania rozkładów złożonych. W związku z tym wydaje się celowym założenie takiego złożonego rozkładu, który będzie oddawał sens fizyczny procesu poboru ciepłej wody. Rozkład taki powinien uwzględniać zmienność liczby czynnych punktów poboru i zmienność strumienia pobieranej wody z tych punktów.

3. Cel, zakres i teza pracy

W celu opracowania modelu umożliwiającego określanie miarodajnych poborów chwilowych ciepłej wody przeanalizowano zależności powstałe na gruncie teorii prawdopodobieństwa dotyczące poborów chwilowych wody z instalacji wodociągowych w budynkach wielorodzinnych. Analizowano prace Huntera, oraz metodę Chłodowa i Šopenskigo. Zależności tam zawarte, w oparciu o parametry wyznaczone na podstawie obserwacji i pomiarów zużycia, umożliwiają ustalenie liczby czynnych punktów czerpalnych korzystając z rozkładu Bernoulliego lub Poissona.

Rozkład Bernoulliego poprawnie oddaje stochastyczny charakter zjawiska poboru, a jego parametry, (prawdopodobieństwo otwarcia i liczba otwartych zaworów) mają sens fizyczny. Określenie poborów miarodajnych następuje przy założeniu stałego wypływu z punktu czerpalnego.

Założenie stałego strumienia wypływu z poszczególnych punktów czerpalnych nie odpowiada rzeczywistości. Łatwo stwierdzić, że strumień ten jest każdorazowo zależny od stopnia otwarcia zaworu, a to zależy od korzystającego z instalacji, głównie jego aktualnych potrzeb, przyzwyczajzeń, stanu armatury i innych czynników. Opracowany przez *Szaflika* [111] model zużycia ciepłej wody w dłuższych okresach czasu, uwzględniał liczbę otwartych zaworów w analizowanym czasie i ilość wypływającej przez nie wody, przez użycie rozkładu złożonego z rozkładu *Poissona* opisującego zmienność liczby pojedynczych poborów ciepłej wody z instalacji i rozkładu wykładniczego opisującego zmienność ilości pobranej wody podczas pojedynczego poboru c.w.u. z instalacji. W przypadku gdy określamy strumień pobieranej wody w danej chwili czynna jest określona liczba punktów czerpalnych, którą możemy wyznaczyć za pomocą rozkładu Bernoulliego i strumień wypływającej wody z każdego punktu, który cechuje się pewnym rozkładem. Można więc przypuszczać, że wprowadzając złożony rozkład Bernoulliego z rozkładem opisującym zmienność strumienia pobieranej wody związany ze stopniem otwarcia zaworów czerpalnych uzyskamy model umożliwiający lepsze opisanie procesu poborów. Umożliwi on również, na podstawie zebranych pomiarów, obliczenie poborów miarodajnych o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia.

Analizując proces poboru ciepłej wody i jego zmienność ustalono, że w warunkach rzeczywistych, przy korzystaniu z przyborów w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, czas pojedynczego poboru wynosi co najmniej pięć sekund.

Przyjęto więc, że poborami miarodajnymi, niezbędnymi dla ustalenia wartości przepływów dla wymiarowania urządzeń i przewodów bezzasobnikowych układów przygotowywania ciepłej wody użytkowej będą pobory maksymalne pięciosekundowe występujące w okresie doby.

W celu identyfikacji parametrów proponowanego modelu poborów i jego weryfikacji przeprowadzono całodobowe pomiary wartości chwilowych poborów ciepłej wody i na tej podstawie określono parametry charakteryzujące zmienność strumienia pobieranej wody.

Celem pracy jest:

- opracowanie nowego modelu poboru ciepłej wody z instalacji,
- przeprowadzenie pomiarów chwilowych poborów c.w.u.,
- identyfikacja parametrów opracowanego modelu,
- weryfikacja modelu,
- zastosowanie opracowanego modelu do określenia poborów potrzebnych do celów praktycznych np. do projektowania bezzasobnikowych układów przygotowania c.w.u.

Teza pracy:

Model poboru ciepłej wody opisany rozkładem złożonym z rozkładu opisującego zmienność liczby czynnych punktów czerpalnych i rozkładu opisującego zmienność strumienia pobieranej wody z pojedynczego punktu może służyć do określenia poborów chwilowych w instalacji ciepłej wody o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia.

4. Przyjęcie matematycznego modelu strumienia poboru ciepłej wody z instalacji

4.1. Założenia ogólne

Wypływ wody z instalacji ciepłej wody użytkowej w danej chwili, można określić jako sumę pojedynczych wypływów z poszczególnych czynnych punktów czerpalnych. Całkowity strumień wody przy poborze chwilowym zależy od ilości 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 same, 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 ilości punktów czerpalnych N i określić prawdopodobieństwo K sukcesów stosując zależności związane z rozkładem dwumianowym [3, 51].

Ze stopniem otwarcia zaworu związany jest wypływ strumienia ciepłej wody $\dot{v}$. Wartość tego strumienia związana jest z aktualnymi potrzebami korzystającego z instalacji, rodzajem i stanem armatury czerpalnej, oraz wieloma innymi czynnikami – jest więc wielkością losową. W dalszych rozważaniach przyjęto, że zmienność strumienia wody pobieranej z pojedynczego punktu czerpального 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 spłotu dystrybucyjnego tego rozkładu [111].

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

4.2. Opis złożonego rozkładu Bernoulliego z rozkładem wykładniczym

Prawdopodobieństwo otwarcia danej liczby punktów czerpalnych opisać można rozkładem Bernoulliego.

Funkcja masy prawdopodobieństwa całkowitej liczby K sukcesów dla tego rozkładu ma postać:

$$p(K) = \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \quad (4.1)$$

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]:

$$f_{\dot{v}j}(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \times \dot{v}} \quad (4.2)$$

gdzie:

- $f_{\dot{v}j}(\dot{v})$ – gęstość rozkładu wykładniczego,
- $\dot{v}$ – strumień pobieranej wody z punktu czerpального,
- λ – odwrotność średniego strumienia wody pobieranej z pojedynczego punktu czerpального,
- j – dotyczy pojedynczego punktu czerpального,

Rozkład zmienności strumienia pobieranej wody z K punktów czerpalnych może być określony przez K -krotną całkę splotu dystrybuanty pojedynczego poboru.

W związku z powyższym dystrybuantę rozkładu sumy K zmiennych losowych o rozkładzie wykładniczym odpowiadającą poborowi chwilowemu wody z K punktów czerpalnych można zapisać następująco [111]:

$$F_K(\dot{v}) = 1 - e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v})^j}{j!} \quad (4.3)$$

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 $\dot{v}'$ wynosi [3]:

$$p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = p(K) \times F_K(\dot{v}') \quad (4.4)$$

Po podstawieniu zależności (4.1) i (4.3) otrzymujemy:

$$p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \left[1 - e^{-\lambda \dot{v}'} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v}')^j}{j!} \right] \quad (4.5)$$

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

$$p(\dot{v} \leq \dot{v}') = \sum_{K=1}^N p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = H(\dot{v}') \quad (4.6)$$

Po podstawieniu do powyższej zależności równania (4.5) otrzymano:

$$H(\dot{v}') = \sum_{K=1}^N \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \left[1 - e^{-\lambda \dot{v}'} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v}')^j}{j!} \right] \quad (4.7)$$

Rozkład, którego dystrybuantę przedstawia zależność (4.7) składa się z rozkładu wykładniczego oraz rozkładu Bernoulliego. Rozkład taki określa się jako złożony rozkład Bernoulliego.

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

$$\frac{N!}{K!(N-K)!} = \binom{N}{K} \quad (4.8)$$

otrzymujemy wzór na dystrybuantę złożonego rozkładu Bernoulliego w postaci:

$$H(\dot{v}) = 1 - e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} p^K (q)^{N-K} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{(\lambda \dot{v})^j}{j!} \right] \quad (4.9)$$

Jednym ze sposobów określania parametrów rozkładu na podstawie danych z pomiaru (obserwacji) jest metoda momentów. Dla uzyskania zależności określających momenty konieczna jest znajomość formuły określającej gęstość rozkładu $h(\dot{v})$. Mając dystrybuantę określoną zależnością (4.9) możemy znaleźć gęstość rozkładu jako pochodną tej zależności:

$$h(\dot{v}) = \frac{dH(\dot{v})}{d\dot{v}} \quad (4.10)$$

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

$$h(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} p^K (q)^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] \quad (4.11)$$

4.3. Określenie parametrów rozkładu na podstawie momentów z próby

Moment n -tego rzędu zmiennej losowej X może być wyrażony następującą zależnością [3]:

$$E(X^n) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^n h_x(x) dx \quad (4.12)$$

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 (4.11) otrzymujemy:

$$E(\dot{v}) = \int_0^{+\infty} \dot{v} \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} p^K (q)^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] d\dot{v} \quad (4.13)$$

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

$$E(\dot{v}) = \frac{Np}{\lambda} \quad (4.14)$$

Moment rzędu drugiego ($n=2$) to inaczej wariancja oznaczana Var . Podstawiając do zależności (4.12) dla $n=2$ zależność (4.11) otrzymujemy:

$$Var(\dot{v}) = \int_0^{+\infty} \dot{v}^2 \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} p^K (q)^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] d\dot{v} \quad (4.15)$$

Następnie wykonując całkowanie i odpowiednie przekształcenia otrzymujemy zależność określającą wariancję złożonego rozkładu Bernoulliego:

$$Var(\dot{v}) = \frac{Np(2-p)}{\lambda^2} \quad (4.16)$$

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

$$\begin{cases} \dot{v}_{sr} = \frac{Np}{\lambda} \\ s^2 = \frac{Np(2-p)}{\lambda^2} \end{cases} \quad (4.17)$$

Rozwiązując powyższy układ równań uzyskujemy zależności pomiędzy parametrami złożonego rozkładu Bernoulliego a momentami z próby:

$$\lambda = \frac{2 N \dot{v}_{sr}}{N s^2 + \dot{v}_{sr}^2} \quad (4.18)$$

$$p = \frac{2 \dot{v}_{sr}^2}{N s^2 + \dot{v}_{sr}^2} \quad (4.19)$$

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.

Zaproponowany model umożliwia określenie przepływu chwilowego dla dowolnej liczby punktów poboru z uwzględnieniem prawdopodobieństwa przekroczenia przy wykorzystaniu zależności (4.9).

4.4. Prawdopodobieństwo określonego wypływu chwilowego dla warunków granicznych

Ze wzoru na dystrybuantę złożonego rozkładu Bernoulliego (4.9) wynika, iż prawdopodobieństwo wystąpienia braku poboru wody z instalacji budynku (pobór $\dot{v}=0$), wiąże się z zerową liczbą otwartych zaworów ($K=0$) i wynosi:

$$H(0) = q^N \quad (4.20)$$

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

W przypadku gdy założymy stałą liczbę jednocześnie otwartych zaworów K , lecz wypływ z poszczególnych zaworów jest zmienny losowo, można przyjąć że prawdopodobieństwo otwarcia każdego z K zaworów wynosi $p=1$, więc równe gęstości rozkładu Bernoulliego opisana zależnością (4.11) można zapisać następująco

$$h(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \sum_{K=1}^N \left[\binom{N}{K} 1^K (0)^{N-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] \quad (4.21)$$

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

$$h(\dot{v}) = \lambda e^{-\lambda \dot{v}} \left[\binom{K}{K} 1^K (0)^{K-K} \frac{(\lambda \dot{v})^{K-1}}{(K-1)!} \right] \quad (4.22)$$

Przyjmując $0^0 = 1$ otrzymujemy zależność (4.23), która jest gęstością rozkładu znanego w literaturze jako rozkład Erlanga [3]:

$$h_K(\dot{v}) = \frac{\lambda(\lambda\dot{v})^{(K-1)} e^{-\lambda\dot{v}}}{(K-1)!} \quad (4.23)$$

Rozkład ten był stosowany przez Szopenskiego.

Jeżeli założymy, że wypływ z otwartego punktu czerpального jest stały i wynosi $\dot{v}_j$ wówczas zależności (4.4) sprowadza się do równania:

$$p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = p(K) \times F_K(\dot{v}' = Kx\dot{v}_j) \quad (4.24)$$

gdzie: $F_K(Kx\dot{v}_j) = 1$ i wówczas:

$$p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') = \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} \times 1 \quad (4.25)$$

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

$$p(\dot{v} \leq \dot{v}') = \sum_{K=1}^N p(K, \dot{v} \leq \dot{v}') \quad (4.26)$$

Podstawiając do równania (4.26) równanie (4.25) otrzymujemy:

$$H(\dot{v}' = K \times \dot{v}_j) = \sum_{K=1}^N \frac{N!}{K!(N-K)!} p^K (p-1)^{N-K} = H(K) \quad (4.27)$$

Jest to dystrybucja rozkładu Bernoulliego stosowana przez Huntera [31, 32] dla określania liczby punktów czerpalnych przy określaniu wypływu z instalacji.

5. Charakterystyka pomiarów

5.1. Charakterystyka badanych obiektów

Dla uzyskania reprezentatywnych wyników pomiary poboru ciepłej wody przeprowadzono w ośmiu węzłach cieplnych obsługujących budynki mieszkalne wielorodzinne o zróżnicowanej liczbie mieszkańców, różnym terminie zasiedlenia mieszkań, oraz zlokalizowane w różnych dzielnicach miasta. Wszystkie mieszkania w tych budynkach były wyposażone w wodomierze mieszkaniowe ciepłej i zimnej wody. Dane charakteryzujące te budynki przedstawiono w tabeli 5.1.

Mieszkania we wszystkich budynkach wyposażone były w wanny, umywalki i zlewozmywaki.

Węzły ciepłej wody dla potrzeb budynków pracowały w układzie szeregowo-równoległym (dwa bezzasobnikowe, a cztery z zasobnikami). Zimna woda dostarczana była z miejskiego wodociągu, a ciepło z miejskiej sieci ciepłej.

Tabela 5.1. Podstawowe dane budynków dla których prowadzono pomiary
okres 1.03.2001 – 30.10.2003

Lp.	Adres budynku w Szczecinie	Liczba mieszkańców M	Liczba mieszkań m	Liczba przyborów N	N/m
1	Berlinga 9	–	12	36	3,00
2	Wilków Morskich 6	47	15	45	3,00
3	Bohaterów Warszawy 83	93	28	84	3,00
4	Cegielskiego 5	114	32	96	3,00
5	Berlinga 5	–	36	108	3,00
6	Ku Słońcu 2	186	50	160	3,20
7	Przyjaciół Żołnierza 86	254	80	240	3,00
8	Przyjaciół Żołnierza 82	210	97	291	3,00
Σ	–	–	350	1060	3,03

W trakcie pomiarów instalacje c.w.u. były sprawne i cyrkulacja działała poprawnie. Układy regulacji temperatury c.w.u. w węzłach cieplnych funkcjonowały prawidłowo. W czasie prowadzenia pomiarów okresowo kontrolowano prawidłowość dostawy ciepła do węzła c.w.u. i ciepłej wody do instalacji w budynku.

Dane o poszczególnych budynkach uzyskano z administracji Spółdzielni Mieszkaniowych.

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 SM oraz Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej. Pobór ciepłej wody użytkowej określano na podstawie pomiaru ilości wody zimnej dopływającej do węzła c.w.u.

5.2. Charakterystyka układu pomiarowego

5.2.1. Założenia ogólne

Celem pomiarów było określenie wartości chwilowych poborów ciepłej wody użytkowej. Po analizie procesu poboru ciepłej wody i jego zmienności przyjęto, że przy korzystaniu z punktu czerpalnego rzeczywisty czas pojedynczego poboru wynosi zwykle nie mniej niż pięć sekund. Przyjęto więc, że poborami miarodajnymi dla określenia wartości chwilowych poborów ciepłej wody użytkowej, będą pobory maksymalne pięciosekundowe występują w okresie doby.

Przyjęto, że czas pomiarów służących do określenia poborów miarodajnych chwilowych będzie wynosił średnio 35 dni, minimalnie zaś 30 dni. Mierzony był pobór maksymalny chwilowy (5 sekundowy), który nie zależy od poborów godzinowych czy dobowych i również od rodzaju dnia tygodnia. Wobec powyższego pomiary były prowadzone ciągle we wszystkie dni tygodnia (robocze, wolne i świąteczne). Rejestracja wyników będzie odbywała się co pięć sekund w formie elektronicznej, cyfrowej i umożliwiającej dalsze przetwarzanie wyników po transmisji danych do komputera.

5.2.2. Aparatura pomiarowa i jej charakterystyka

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

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 automat.: **max 1÷2% wartości wskazywanej,**
- dokładność przy kalibracji na stanowisku: **max. 0,15% wartości wskazywanej,**
- wahania zera: **max. 0,005 m/s,**
- prędkość maksymalna czynnika: **±12,0 m/s,**
- powtarzalność: **min 0,5%,**
- pamięć wbudowanego rejestratora: **200 kB,**
- rejestracja pomiarów: **min co 5s,**

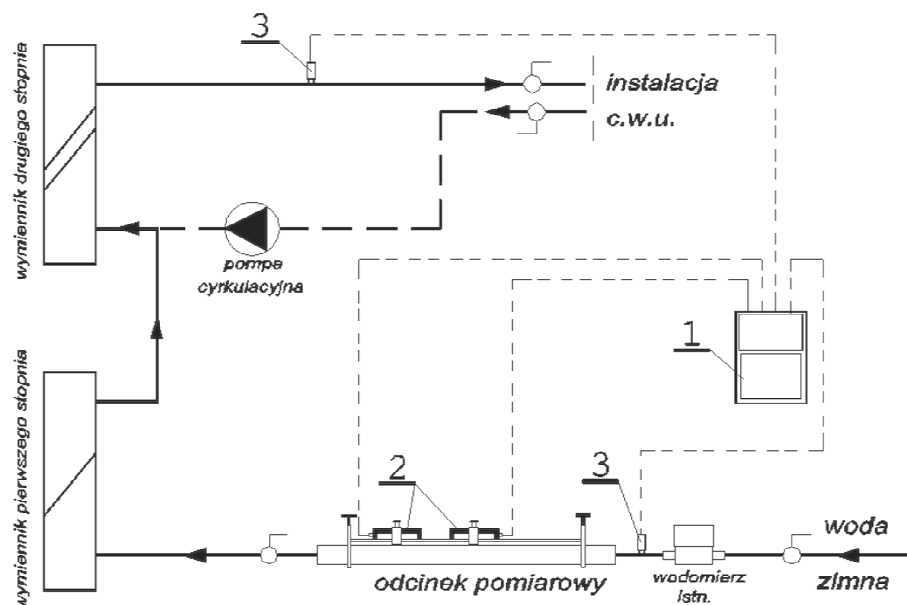
- zasilanie wbudowane: **akumulator na 3 h pracy,**
- transmisja danych do komputera: **złącze RS 232**

Sondy pomiarowe mocowane były do rury za pomocą odpowiedniego uchwytu, następnie pokrywano je żelazem sprzęgającym, aby stworzyć dobre warunki kontaktu pomiędzy czujnikami a rurą dla przepływu ultradźwięków. Błąd pomiaru przepływu tym urządzeniem, wynikający z tak zwanego „pływania zera”, mieści się w granicach $\pm 0,01$ l/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).

5.2.3. Pomiary wielkości chwilowych

Zastosowany do pomiarów przepływomierz ultradźwiękowy umożliwia rejestrację kolejnych pomierzonych 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 przepływ z uwzględnieniem średnicy przewodu, temperatury, oraz spodziewanego rozkładu prędkości wody w przewodzie. Uzyskanie żądanej dokładności w obiektach o różnej liczbie mieszkańców możliwe jest poprzez odpowiedni dobór 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, a 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 określenie ilości ciepła pobieranego do podgrzania wody (bez ilości ciepła oddawanego w obiegu cyrkulacji). Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 5.1.



Rys. 5.1. Schemat układu pomiarowego; oznaczenia: 1 – jednostka centralna przepływomierza, 2 – sondy ultradźwięków do pomiaru przepływu, 3 – czujniki temperatury

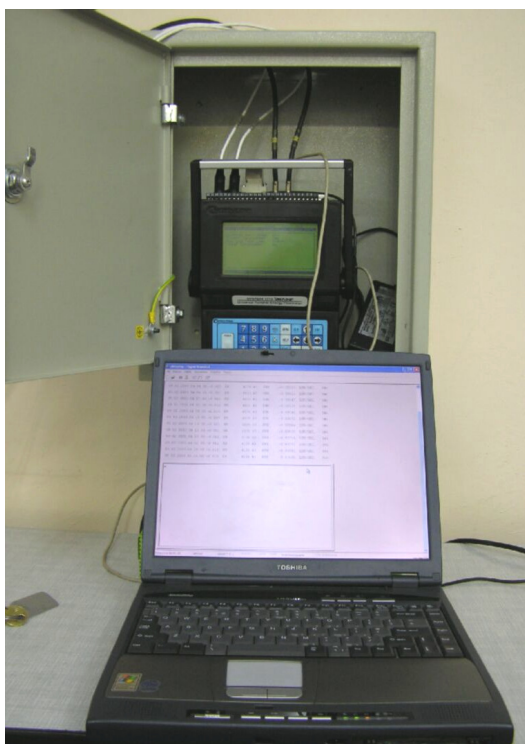
Poniżej na rysunkach przedstawiono przykładowe fotografie zamontowanego układu pomiarowego na węźle przy ulicy Ku Słońcu 2. Widok ogólny węzła z zamontowanym układem pomiarowym przedstawia rysunek 5.2. Sondy zamontowane na odcinku pomiarowym zaś przedstawia rysunek 5.3., a jednostkę główną z komputerem w trakcie przenoszenia danych rysunek 5.4.



Rys 5.2. Widok ogólny węzła z zamontowanym układem pomiarowym



Rys. 5.3. Sondy ultradźwięków zamontowane na odcinku pomiarowym



Rys. 5.4. Jednostka główna z komputerem w trakcie przenoszenia danych

5.2.4. Charakterystyka zapisu wyników pomiarów

Mierzono przepływ chwilowy i rejestrowano średnie pobory ciepłej wody z okresów pięciosekundowych (zapis co 5 sekund). Ze względu, iż na pobór ciepłej wody ma również wpływ jej temperatura, mierzono i rejestrowano temperaturę c.w.u..

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 są pełne i dokładne, dotyczą całego okresu pomiarowego i możliwe było ich dalsze przetwarzanie w arkuszu kalkulacyjnym praktycznie zaraz po transmisji do komputera.

Układ pomiarowy realizował rejestrację cyfrową i transmisję danych do komputera w formacie odczytywanym przez arkusz kalkulacyjny EXCEL. Poniżej w tabeli 5.2. 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 pomiędzy 16.54.05 a 16.57.35)

Tabela 5.2. Przykładowy zapis wyników pomiarów w arkuszu kalkulacyjnym
(węzeł przy ul. Ku Słońcu 2)

Data	Godzina	Przepływ	Jedn.	Temp. ciepłej wody	Oznaczenie temp.	Temp. zimnej wody	Oznaczenie temp.
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	10,4	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	10,5	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	-0,0029	LTR/SEC	54,88	TS	10,6	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	10,7	TR
12.02.2002	16.55.25	-0,0008	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					

5.3. Analiza niepewności pomiarów

5.3.1. Parametry metrologiczne przepływomierza

Pomiary wartości chwilowych poboru ciepłej wody wykonywano przenośnym przepływomierze ultradźwiękowym z rejestratorem do nieinwazyjnych pomiarów przepływów szybkozmiennych cieczy typu UNIFLOW 1010EP3 firmy Controlotron.

Parametry metrologiczne tego urządzenia są następujące:

- dokładność przy kalibracji automat.: **max 1÷2% wartości wskazywanej,**
- wahanie zera **max 0,005 m/s,**
- dokładność przy kalibracji na stanowisku **max. 0,15% wartości wskazywanej,**
- rozdzielczość **0,0003m/s.**

5.3.2. Błąd względny pomiarów

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

$$\dot{V} = \dot{v} \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \text{ [dm}^3\text{/s]} \quad (5.2.1)$$

Błąd maksymalny pomiaru można określić metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta \dot{V} = \frac{\partial \dot{V}}{\partial v} \Delta v + \frac{\partial \dot{V}}{\partial D} \Delta D \text{ [dm}^3\text{/s]} \quad (5.2.2)$$

Po wykonaniu działań otrzymujemy wartość bezwzględną błędu maksymalnego w postaci:

$$\Delta \dot{V} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \Delta \dot{v} + \frac{\pi}{2} \times \dot{v} \times D \times \Delta D \text{ [dm}^3\text{/s]} \quad (5.2.3)$$

Po podzieleniu równania 5.2.3 przez równanie 5.2.1 otrzymujemy zależność określającą wartość względną błędu pomiaru strumienia objętości w postaci:

$$\frac{\Delta \dot{V}}{\dot{V}} = \left(\frac{\Delta \dot{v}}{\dot{v}} + \frac{2 \times \Delta D}{D} \right) \times 100 \text{ [%]} \quad (5.2.4)$$

Do powyższego równania podstawiamy dane wynikające z warunków pomiarowych:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \dot{v}}{\dot{v}} \times 100 = 2\% & - \text{deklarowana dokładność zastosowanego miernika przy} \\ & \text{pomiarze prędkości średniej wody w odcinku pomiarowym,} \\ D=21,6 \text{ mm} & - \text{średnica wewnętrzna odcinka pomiarowego} \\ & \text{(najniekorzystniejszego),} \end{aligned}$$

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

Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\frac{\Delta \dot{V}}{\dot{V}} = \left(0,2 + \frac{2 \times 0,05}{21,6} \right) \times 100 = 2,463 [\%] \quad (5.2.5)$$

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

5.3.3. Dolny zakres pomiaru

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

$$\dot{V}_{\min} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \dot{v}_0 \quad (5.2.5)$$

Po podstawieniu wartości otrzymujemy, że dolny zakres pomiaru wynosi $0,0018 \text{ dm}^3/\text{s}$ dla odcinka pomiarowego Dn 20mm i $0,0028 \text{ dm}^3/\text{s}$ dla odcinka pomiarowego Dn 25mm.

Jest to wartość 10 do 15 razy mniejsza od rzeczywistego, średniego strumienia pobieranej wody z pojedynczego punktu czerpalnego.

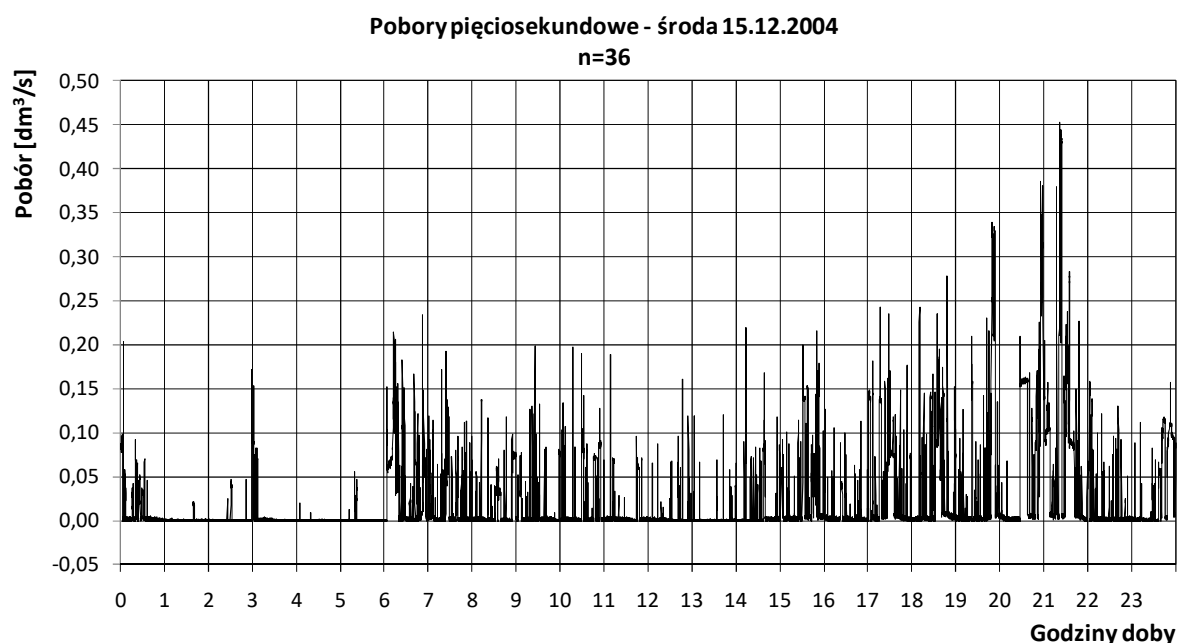
6. Wyniki pomiarów

6.1. Wstęp

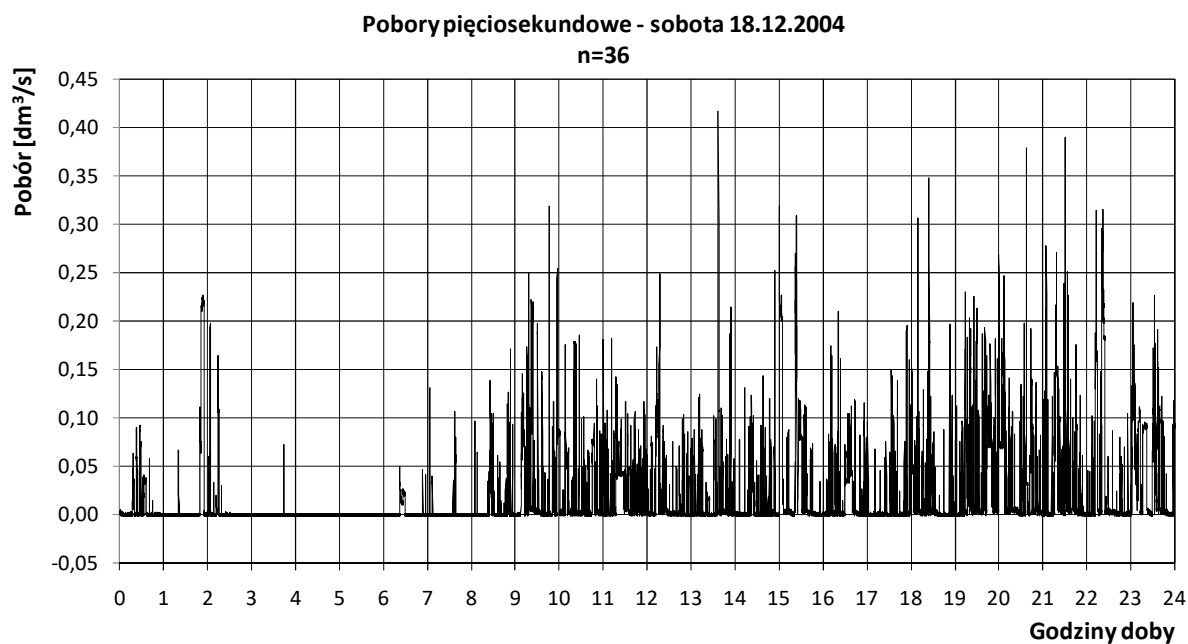
Pomiary wykonano w okresie od 1.03.2001 do 30.10.2003. Mierzono i rejestrowano pobory pięciosekundowe ciepłej wody oraz sumaryczny pobór c.w. w ośmiu budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Otrzymane wartości porównano ze wskazaniami istniejącego na węźle wodomierza. Wskazania wodomierza, zgodnie z oczekiwaniami, były niższe od wskazań zastosowanego miernika. Różnice nie przekraczały 10 %.

6.2. Zmienność poborów w ciągu doby i rzeczywisty czas trwania poboru

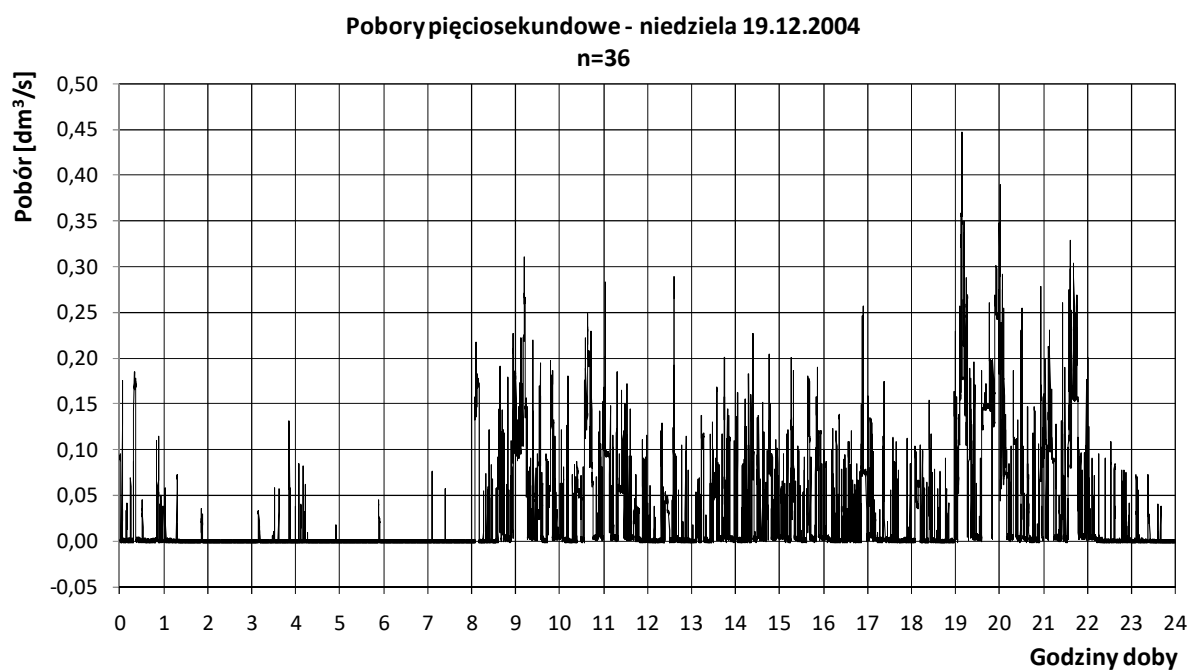
Dla zobrazowania przebiegu poboru wody w ciągu doby zamieszczono przykładowe wyniki pomiarów poborów pięciosekundowych. Porównano zarejestrowane w czasie doby pobory pięciosekundowe dla środy (dnia roboczego), soboty i niedzieli oraz ich uporządkowane przebiegi od wartości największych do najmniejszych. Na wykresach od Rys. 6.1 do Rys. 6.9 przedstawiono pobory i ich uporządkowane przebiegi dla budynków z instalacjami wyposażonymi w 36 oraz 291 przyborów ciepłej wody (obiekt najmniejszy i największy z badanych).



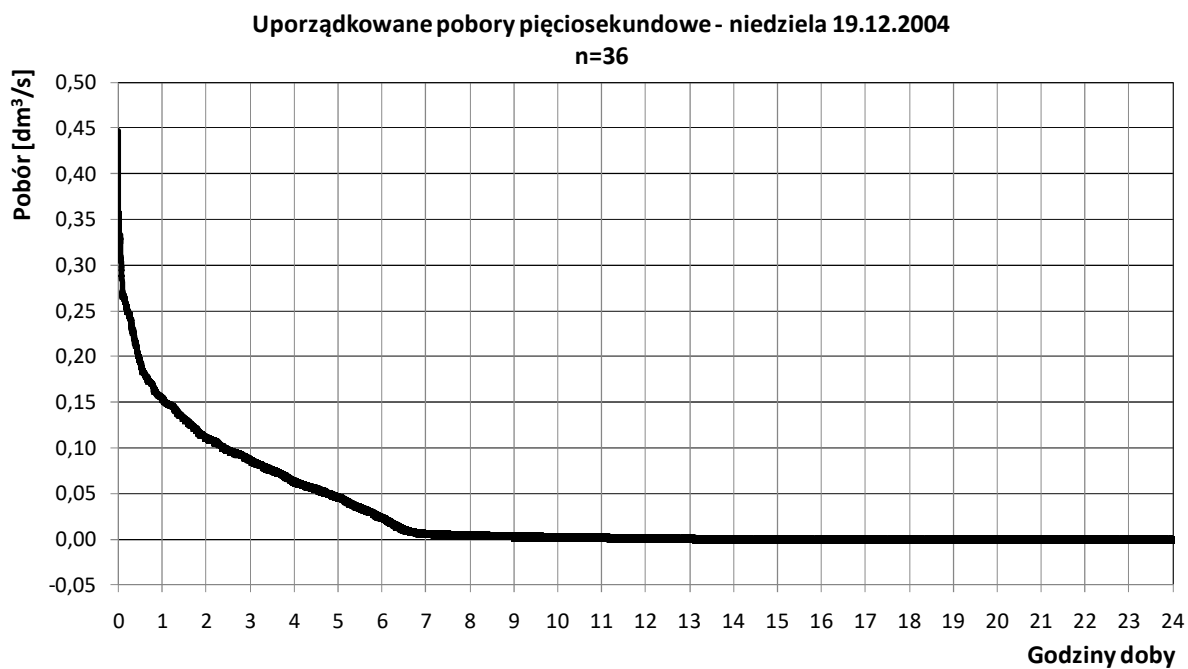
Rys. 6.1 Pomierzone pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją o 36 przyborach (najmniejszy badany obiekt) w dniu roboczym



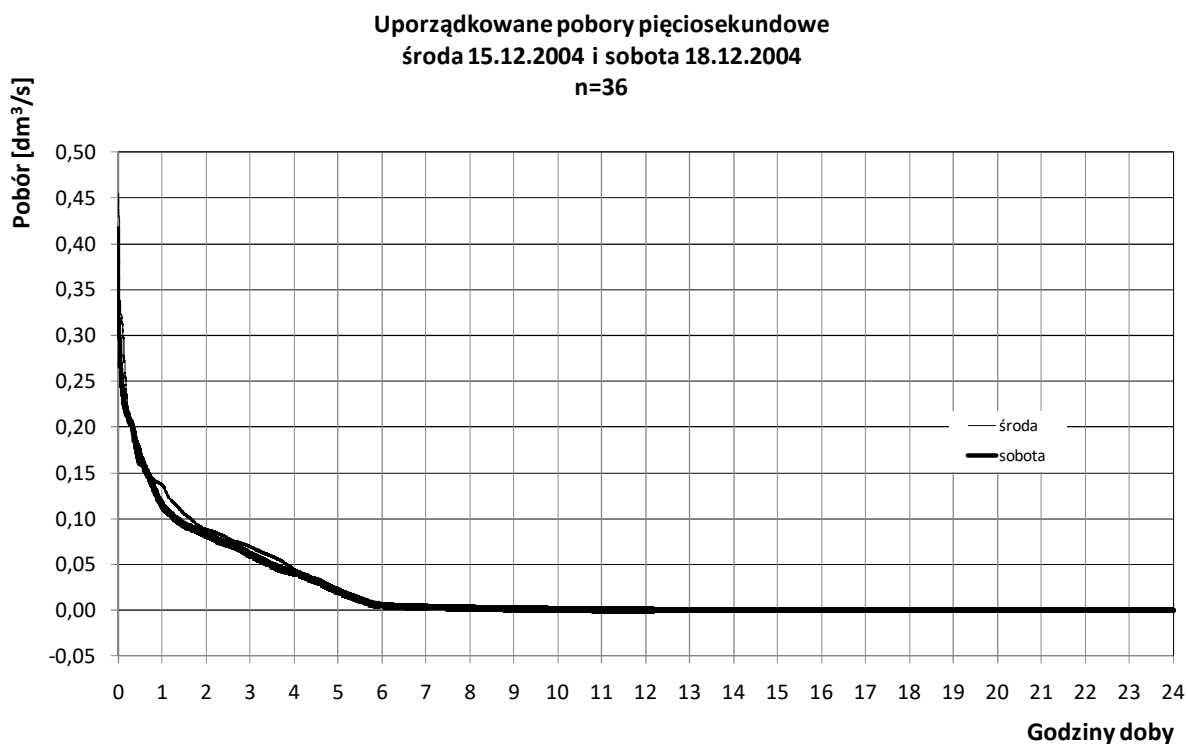
Rys. 6.2 Pomierzone pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją o 36 przyborach (najmniejszy badany obiekt) w sobotę



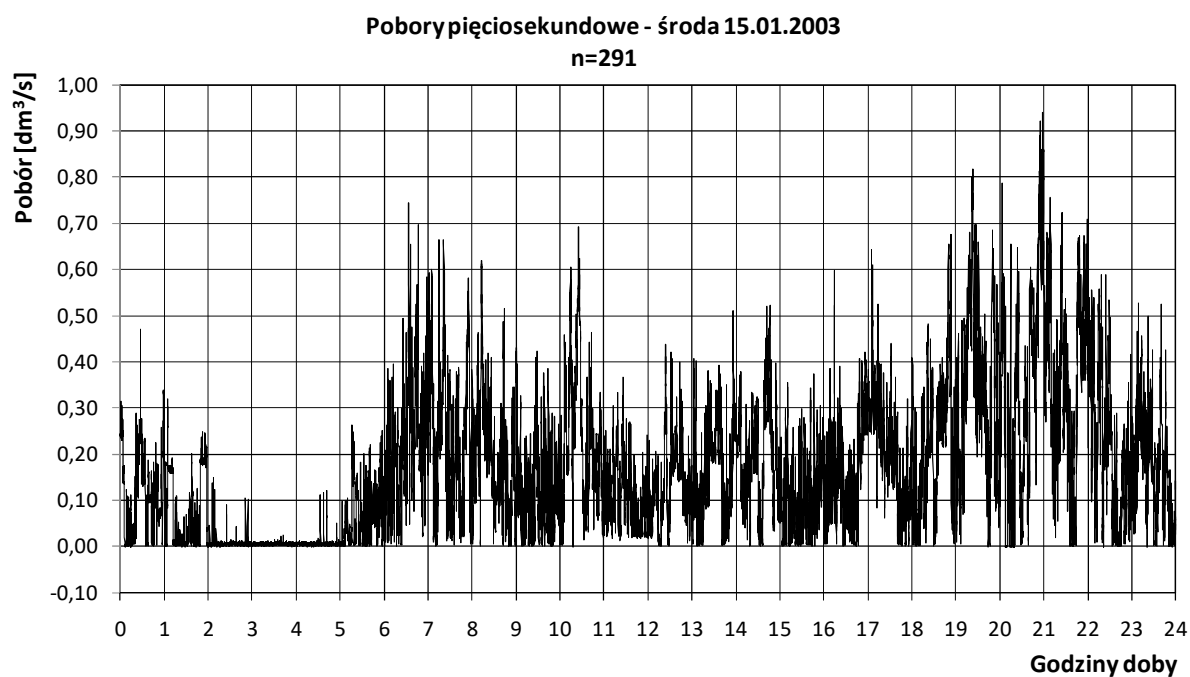
Rys. 6.3 Pomierzone pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją o 36 przyborach (najmniejszy badany obiekt) w niedzielę



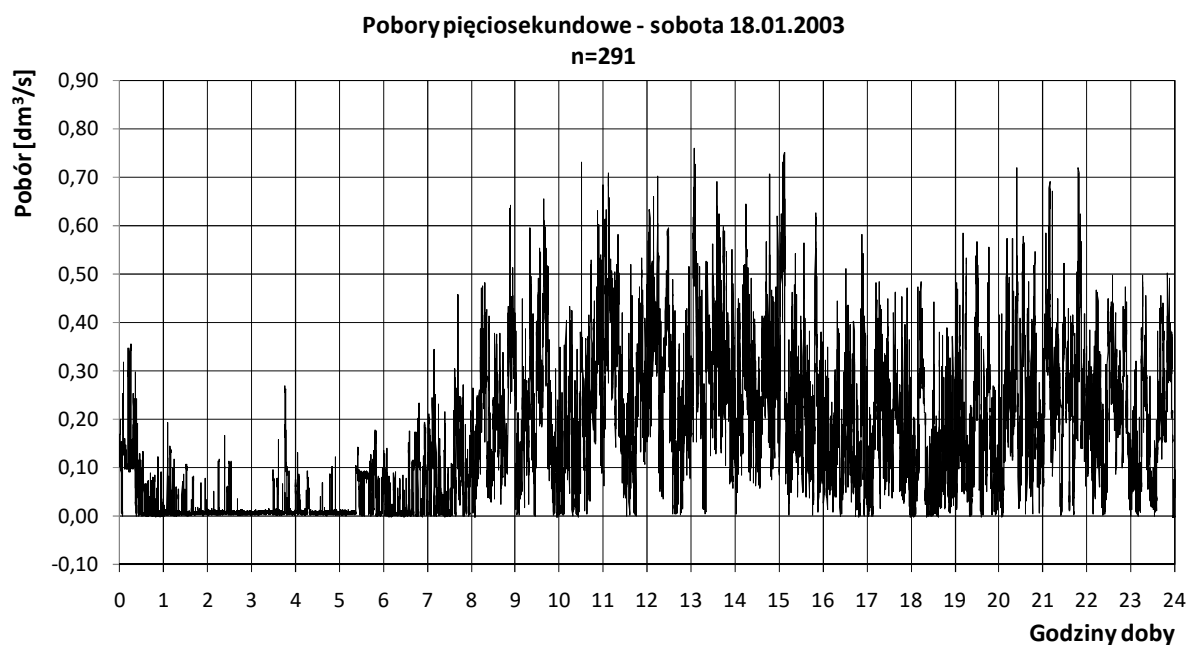
Rys. 6.4 Uporządkowany przebieg poborów pięciosekundowych w budynku z instalacją o 36 przyborach (najmniejszy badany obiekt) w niedzielę



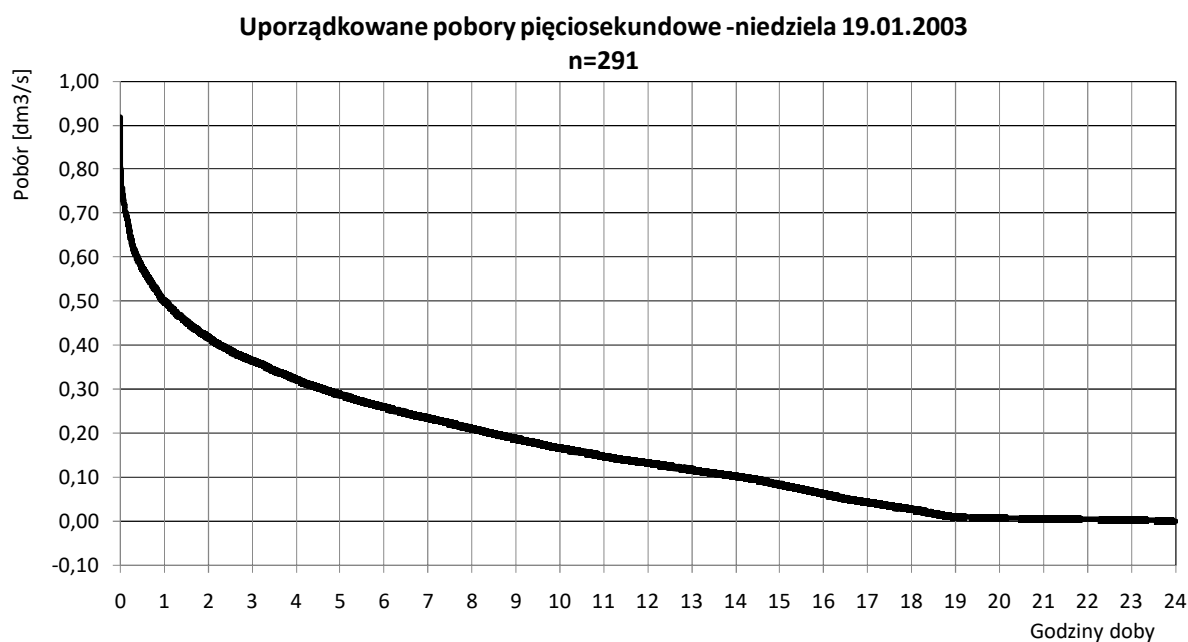
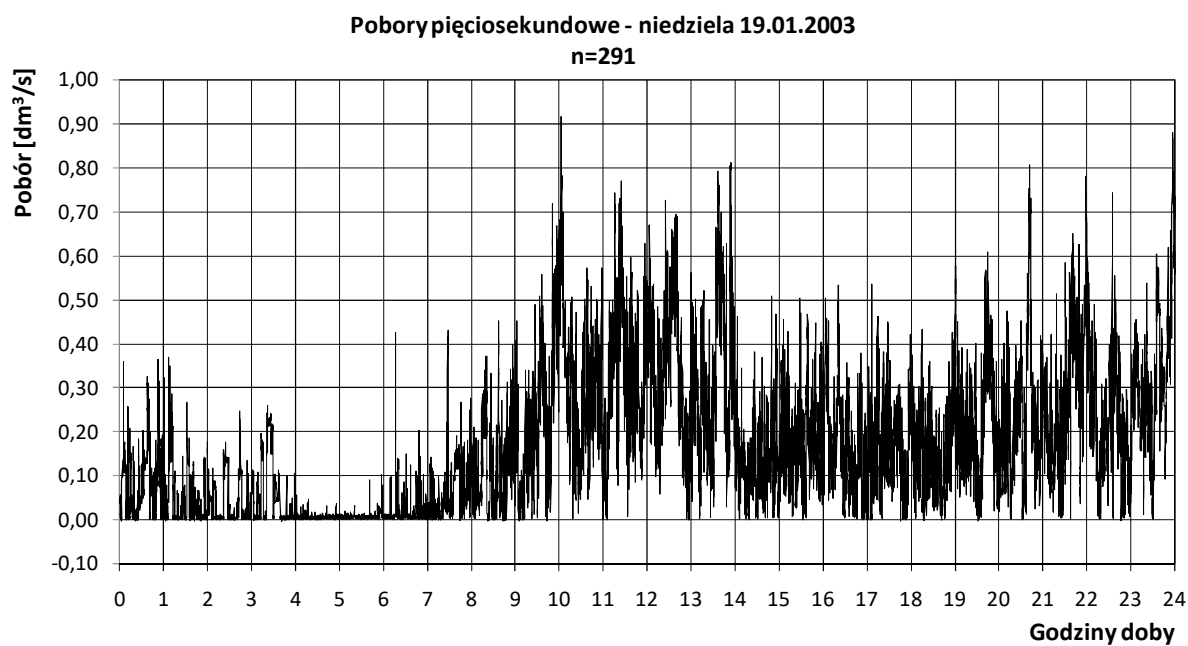
Rys. 6.5 Uporządkowane przebiegi poborów ciepłej wody w budynku z instalacją o 36 przyborach (najmniejszy badany obiekt) dla dnia roboczego i soboty



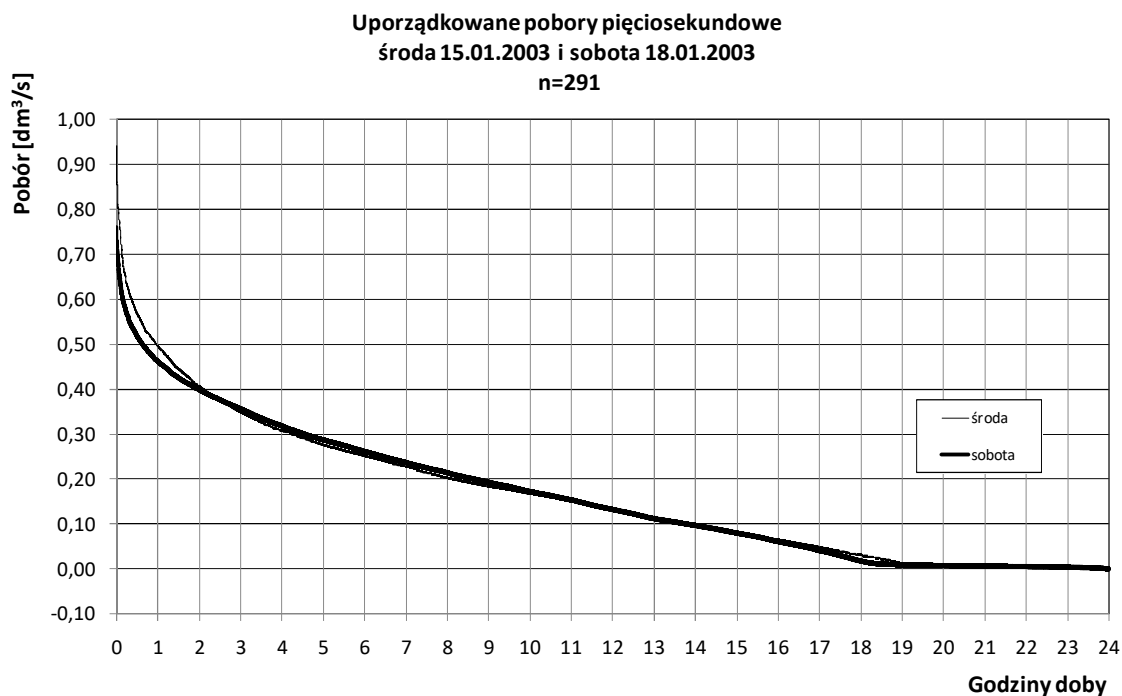
Rys. 6.6 Pomierzone pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją o 291 przyborach (największy badany obiekt) w dniu roboczym



Rys. 6.7 Pomierzone pobory pięciosekundowe w budynku z instalacją o 291 przyborach (największy badany obiekt) w sobotę



Rys. 6.8 Pomierzone pobory pięciosekundowe oraz ich uporządkowany przebieg w budynku z instalacją o 291 przyborach (największy badany obiekt) w niedzielę



Rys. 6.9 Uporządkowane przebiegi poborów ciepłej wody w budynku z instalacją o 291 przyborach (największy badany obiekt) dla dnia roboczego i soboty

Analizując wykresy pomierzonych poborów pięciosekundowych można stwierdzić, że pobór w dni robocze zaczyna się wcześniej oraz występuje wyraźny szczyt poranny i wieczorny (Rys. 6.1 i Rys. 6.6). W dni wolne od pracy występuje stosunkowo intensywny, niemal równomierny, pobór wody w ciągu całego dnia z dużymi wartościami wypadającymi w środku dnia (Rys. 6.2, Rys. 6.3, Rys. 6.7 i Rys. 6.8).

Krzywe uporządkowane umożliwiają określenie czasu występowania poborów ciepłej wody w budynku. Czas korzystania netto z instalacji ciepłej wody wynosił od ok. 7 godzin dla obiektów najmniejszych (Rys 6.4 i Rys. 6.5) do ok. 19,0 godzin dla największych (Rys 6.8 i Rys. 6.9), średnio ok. 16 godzin.

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.

6.3. Pobory maksymalne chwilowe a rodzaj dnia tygodnia

Pobory dobowe mają zauważalny związek z rodzajem dnia tygodnia, natomiast pobory dobowe nie mają wyraźnego związku z poborami chwilowymi [111].

Z przebiegu poborów chwilowych i krzywych uporządkowanych poborów nie wynika jednoznacznie dla jakich dni występują największe pobory chwilowe.

Dla poborów chwilowych z dni roboczych oraz sobót i niedziel wykonano porównanie odpowiadających wartości metodą zmiennych połączonych za pomocą testu t – Studenta. W 95% przypadków nie było podstaw do odrzucenia hipotezy co do 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 6.1.

W Tabeli 6.1, dla poszczególnych obiektów, ze zbioru wartości poborów chwilowych uporządkowanych w kolejności malejącej w poszczególnych dniach, wybrano wartości największe. Następnie te wartości uporządkowano w kolejności malejącej i do dalszej analizy wybrano po pięć największych poborów zarejestrowanych w każdym obiekcie z przypisanym rodzajem dnia (1 –poniedziałek do 7 – niedziela).

Z tabeli 6.1. 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 ustalono w oparciu o dane uzyskane dla wszystkich dni okresu pomiarowego.

Tabela 6.1. Zestawienie maksymalnych wartości poborów chwilowych dla poszczególnych obiektów z przypisaniem rodzaju dnia ich wystąpienia (po pięć największych wartości)

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 tygodni	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 tygodni	5	6	3	6	1
Boh. Wa-wy 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 tygodni	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 tygodni	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	22.25.50	21.24.45	22.38.10	22.41.40
	pobór [dm ³ /s]	0,63	0,63	0,62	0,60	0,59
	dzień tygodni	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 tygodni	5	7	4	2	7
Przys. Żołn. 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 tygodni	3	2	4	4	5
Przys. Żołn. 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 tygodni	7	4	1	2	4
Razem dni świątecznych z pomiarów				12		
Razem dni roboczych z pomiarów				28		
Dni świąteczne/dni robocze z pomiarów				0,43		
Dni świąteczne/dni robocze w tygodniu				0,40		

7. Estymacja parametrów modelu matematycznego

7.1. 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 czwartym (zależności 4.18 i 4.19).

W trakcie pomiarów dla każdego z ośmiu obiektów, przez co najmniej 30 dni, w ciągu każdej doby rejestrowano po 17280 wartości poborów pięciosekundowych. Łączna ilość zgromadzonych danych dla każdego obiektu wynosiła ponad 518 tysięcy. Przy tak dużej liczbie danych ich statystyczna obróbka, a zwłaszcza sprawdzanie zgodności z rozkładem teoretycznym byłaby bardzo uciążliwa.

Wobec powyższego ze zgromadzonych danych wybrano próbkę reprezentatywną do określenia parametrów analizowanego rozkładu.

W celu wyboru próby miarodajnej dla doby, zarejestrowane w niej pobory pięciosekundowe uporządkowano malejąco i z tak uporządkowanego zbioru wybrano pomierzone wartości w odstępie 30 minutowym. Przyjęto, że tak wybrane wartości dostatecznie dokładnie charakteryzują zmienność poborów.

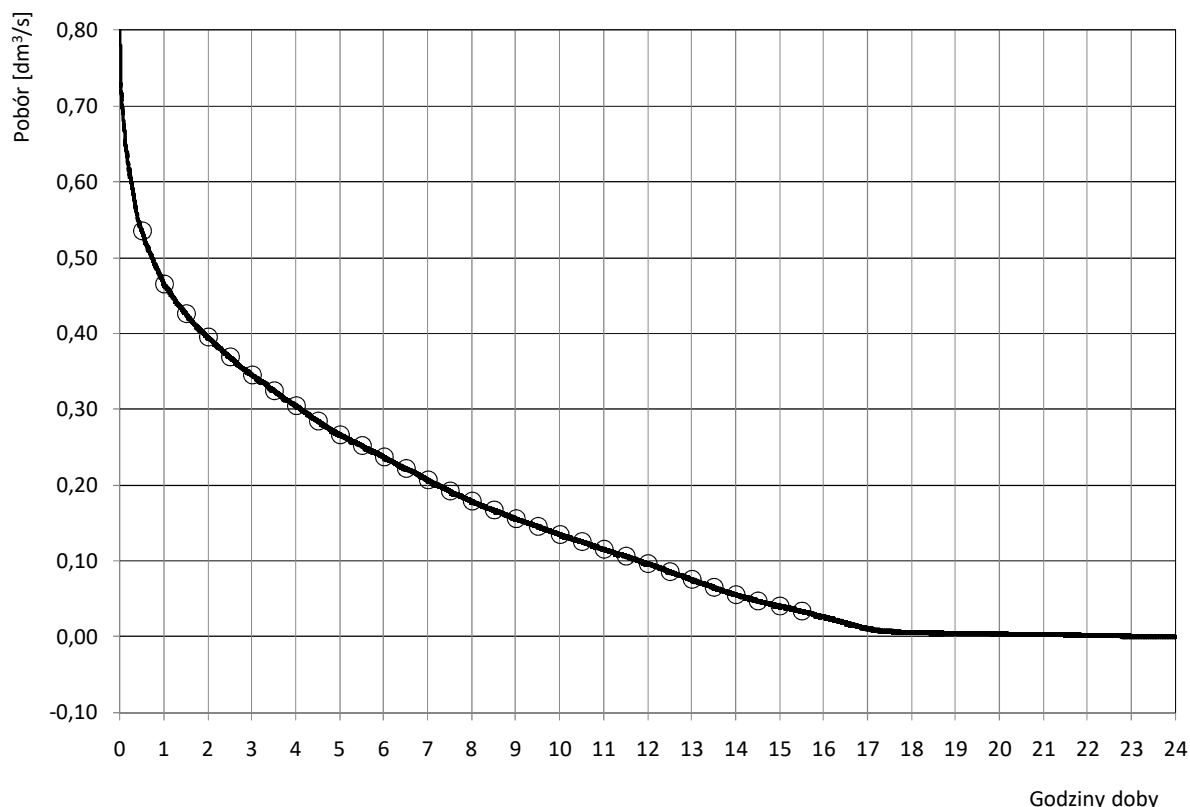
Z przeprowadzonych analiz wynika, że w ciągu doby czas netto w którym występowały pobory wahał się od 7 do 18 godzin w ciągu doby. Przyjęto, że średnio wynosi on 16 godzin, więc z każdej doby wybrano 32 wartości pomierzone.

Na rysunku 7.1 przedstawiono uporządkowany wykres poborów zarejestrowanych w ciągu doby na jednym z obiektów i zaznaczono wybrane dane, jako próba reprezentatywna przeznaczona do dalszych analiz.

Do wyznaczenia parametrów rozkładu przyjęto 31 wartości, rozpoczynając od wartości z połowy pierwszej godziny i kończąc na wartości z połowy szesnastej godziny uporządkowanego poboru.

Przy ustalaniu parametrów wartości maksymalne (początkowe) w uporządkowanej próbie pominięto w analizie, ponieważ mogą one wynikać z występowania mało istotnych i przypadkowo występujących czynników.

Uporządkowane pobory pięciosekundowe -niedziela 10.03.2002
N=160 z zaznaczonymi punktami wybranymi do próby



Rys. 7.1 Uporządkowany przebieg zarejestrowanych poborów pięciosekundowych w budynku (linia ciągła) z zaznaczonymi danymi wybranymi do próby statystycznej (okręgi)

Przeprowadzone obliczenia dla wybranego losowo obiektu i wybranej losowo doby przedstawionej na rysunku wykazały, że bezwzględna różnica wartości średniej wszystkich zarejestrowanych wyników, od połowy pierwszej godziny do połowy szesnastej godziny poboru oraz określone dla 31 wartości z wybranej próby, wynosi poniżej $0,0036 \text{ dm}^3/\text{s}$, czyli ok. 1,7% wartości średniej.

Dla danego obiektu uśrednienie wartości z okresu pomiarowego przeprowadzono tworząc zbiór będący sumą wartości wybranych z poszczególnych dni, a następnie wykonując jego porządkowanie i wybór próby miarodajnej analogicznie jak dla pojedynczej doby.

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

7.2. Sprawdzenie zgodności rozkładu teoretycznego z danymi pomiarowymi dla poborów w czasie doby i w okresie pomiarów

Dysponując parametrami rozkładu dla pojedynczych dni, dni roboczych (środy), sobót i niedziel, a także wszystkich dni z okresu pomiarów sprawdzono zgodność rozkładu teoretycznego z danymi pomiarowymi. Wyniki przedstawiono na wykresach 7.2.-7.12 gdzie naniesiono krzywą teoretyczną o parametrach estymowanych z danych pomiarowych oraz wartości wynikające z pomiarów.

Przeanalizowano również możliwość zastosowanie testu Kołmogorowa do sprawdzenia hipotezy, że przyjęty rozkład z parametrami estymowanymi z próby odpowiada wynikom uzyskanym z pomiarów. Liczebność pomiarów w analizowanym okresie (piętnaście i pół godzin każdej doby) wynosi 10080 więc dopuszczalna wartość krytyczna testu przy poziomie istotności 0,05, w tym przypadku wynosi 1,35%. Oszacowany błąd pomiaru poboru wynosi 2,5%. Z tego względu zrezygnowano z stosowania tego testu.

Ponieważ przy określeniu przepływów w instalacji interesują nas wartości największe zdecydowano się na określeniu własnego kryterium zgodności.

W poniższych tabelach 7.1 do 7.4, dla prawdopodobieństwa przekroczenia poniżej 10%, (dla ośmiu największych wartości w danej próbce pomiarowej) przedstawiono maksymalne różnice (D_{max}) wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego z pomiarów i odpowiadającej jej wartości dystrybucyjnej teoretycznej wynikającej z modelu. Założono, że dopuszczalna różnica nie powinna przekraczać wartości 5% (dwukrotna wartość błędu pomiarowego oszacowana dla układu pomiarowego).

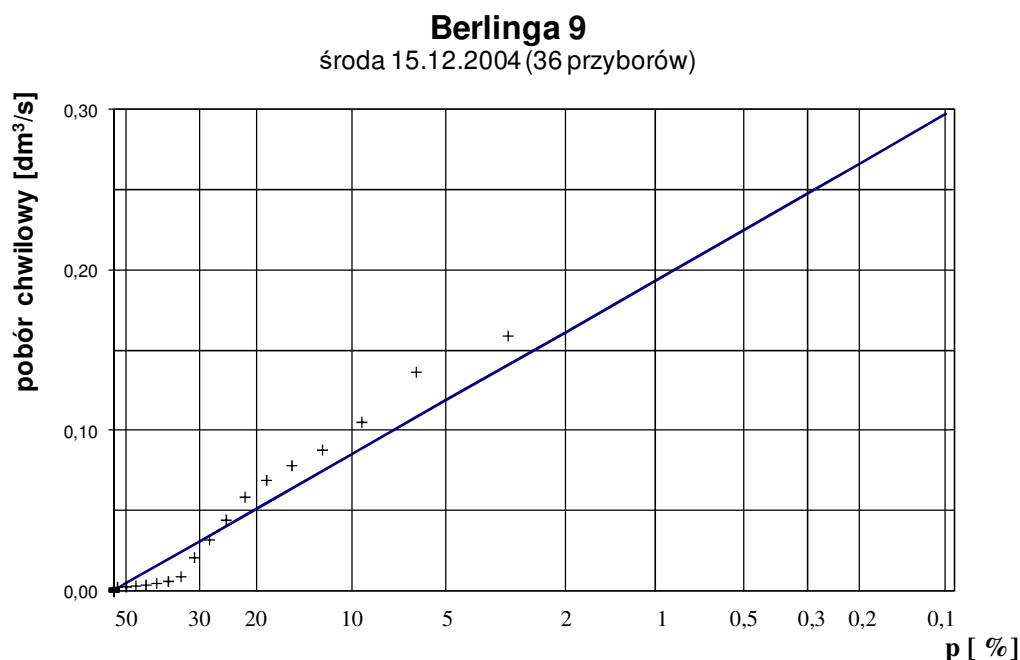
Uzyskane parametry rozkładu w poszczególnych obiektach dla wybranych dni oraz wyniki przyjętego testu zgodności w tych dniach przedstawiono w tabeli 7.1.

Na rysunkach od 7.2 do 7.4 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych wynikających z przyjętego złożonego rozkładu Bernoulliego i parametrów rozkładu uzyskanych z pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla losowo wybranych dni w poszczególnych obiektach.

W tabeli 7.2 przedstawiono parametry rozkładu uzyskane na podstawie wyników uśrednionych dla dni roboczych (środy) oraz podano wartość maksymalnej różnicy pomiędzy wartościami pomierzonymi i estymowanymi. Na rysunkach od 7.5 i 7.6 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.

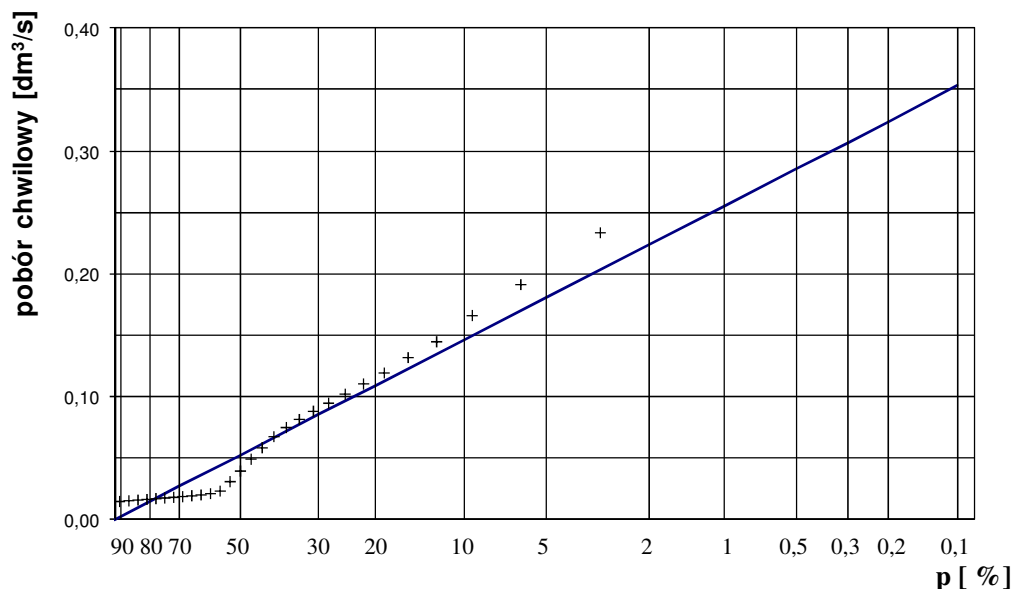
Tabela 7.1. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego określone na podstawie pomiarów oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego z pomiarów i odpowiadającej jej wartości dystrybuanty teoretycznej wynikającej z modelu (D_{max}) dla wybranych dni z okresu pomiaru

Budynek	Liczba przyb.	Wybrane dni				
		Data pomiaru	Parametry			Różnica
	N	$dd-mm-rrrr$	P	λ	$\dot{v}_j$	D_{max}
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%
Boh. Wa-wy 83	84	10-04-2002	0,023	18,0	0,055	3,1%
Cegielskiego 5	96	06-11-2002	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	06-03-2002	0,027	30,6	0,033	2,8%
Przyjaciół Żoł 86	240	18-09-2002	0,017	20,8	0,048	2,5%
Przyjaciół Żoł 82	291	08-01-2003	0,024	31,0	0,032	2,8%



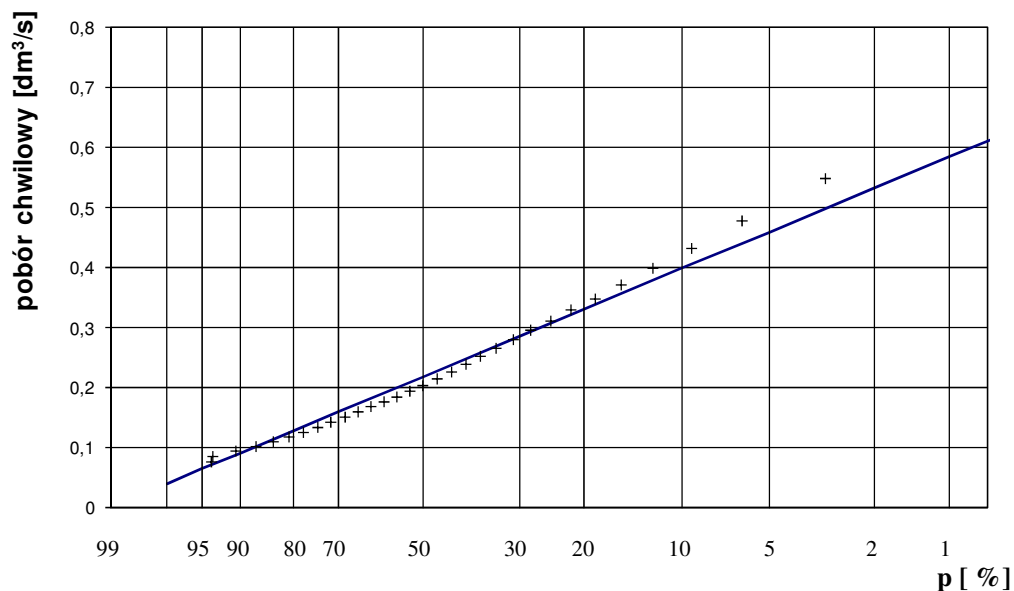
Rys. 7.2 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla obiektu najmniejszego w wybranym dniu roboczym, wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 2,4\%$

Wilków Morskich 7
środa 19.06.2002 (47 przyborów)



Rys. 7.3 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla obiektu małego w wybranym dniu roboczym, wartość maksymalnej różnicy $D_{\max} = 2,7\%$

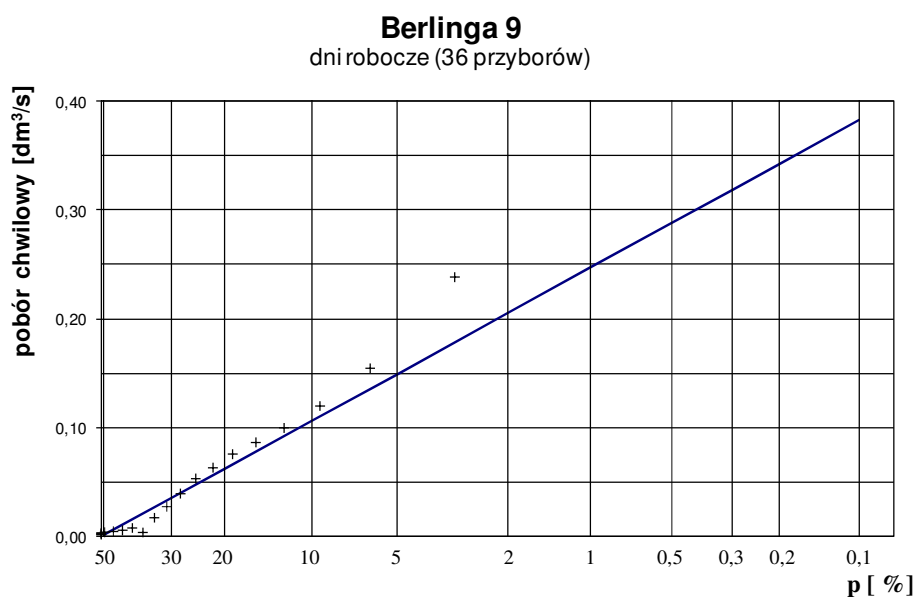
Przyjaciół Żołnierza 82
środa 08.01.2003 (291 przyborów)



Rys. 7.4 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi dla obiektu największego w wybranym dniu roboczym, wartość maksymalnej różnicy $D_{\max} = 2,8\%$

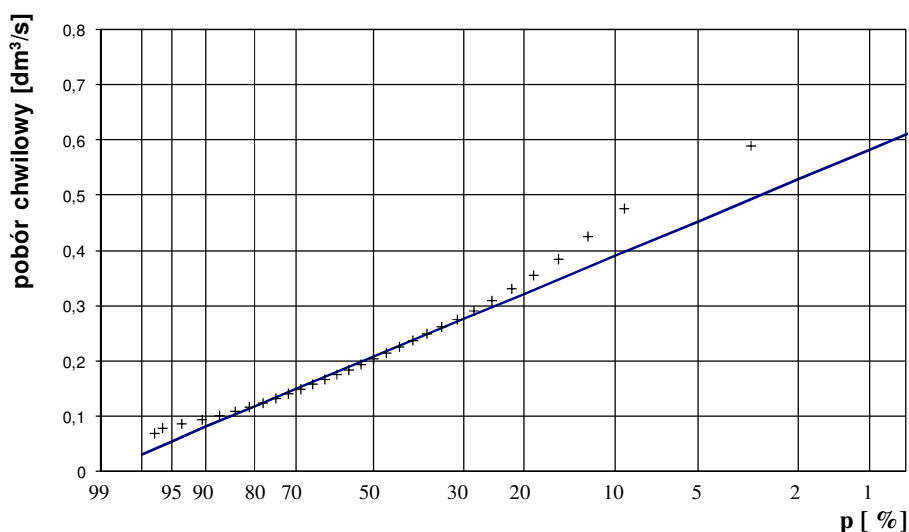
Tabela 7.2. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego określone na podstawie pomiarów oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego z pomiarów i odpowiadającej jej wartości dystrybuanty teoretycznej wynikającej z modelu (D_{max}) dla dni roboczych (środy) z okresu pomiaru

Budynek	Liczba przyb.	Środy			
		Parametry			Różnica
	N	P	λ	$\hat{v}_j$	D_{max}
Berlinga 9	36	0,020	21,4	0,047	2,8%
Wilków 7	47	0,034	28,8	0,035	3,9%
Boh. Wa-wy 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 Żoł 86	240	0,015	17,4	0,057	3,7%
Przyjaciół Żoł 82	291	0,022	29,0	0,034	5,8%
Średnia		0,022	23,7	00,044	3,3%



Rys. 7.5 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi w dni robocze (środy) dla obiektu najmniejszego, wartość maksymalnej różnicy pomiędzy wartością pomierzoną a estymowaną $D_{max} = 2,8\%$

Przyjaciół Żołnierza 82
dni robocze (291 przyborów)



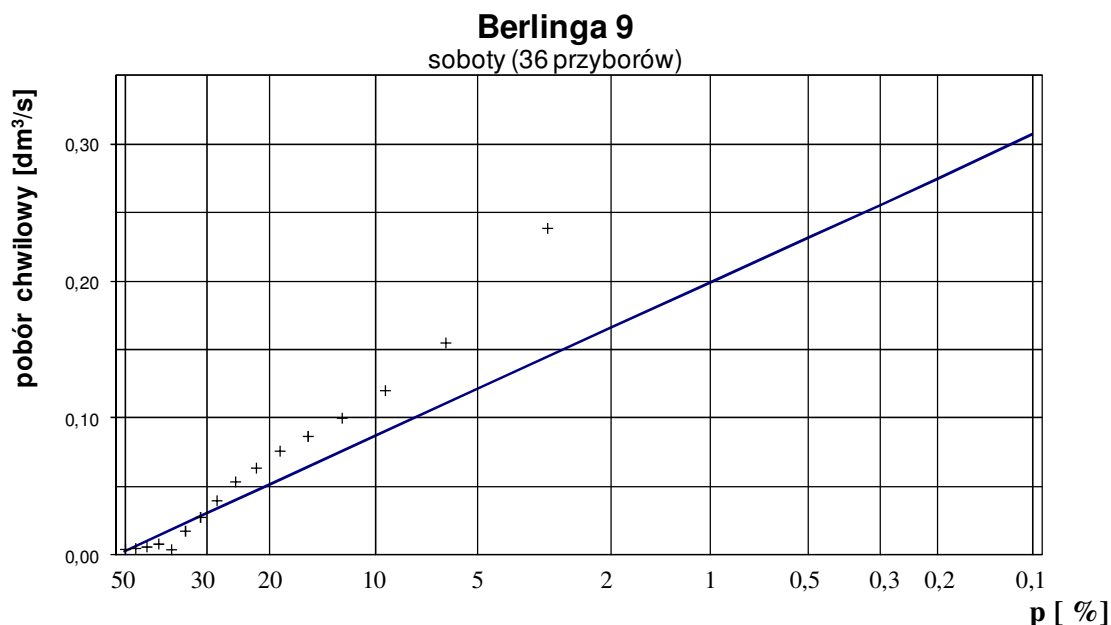
Rys. 7.6 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi w dni robocze (środy) dla obiektu największego, wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 5,8\%$

Uzyskane parametry rozkładu wybrane dla sobót i niedziel w poszczególnych obiektach oraz wynik testu zgodności przedstawiono w tabeli 7.3.

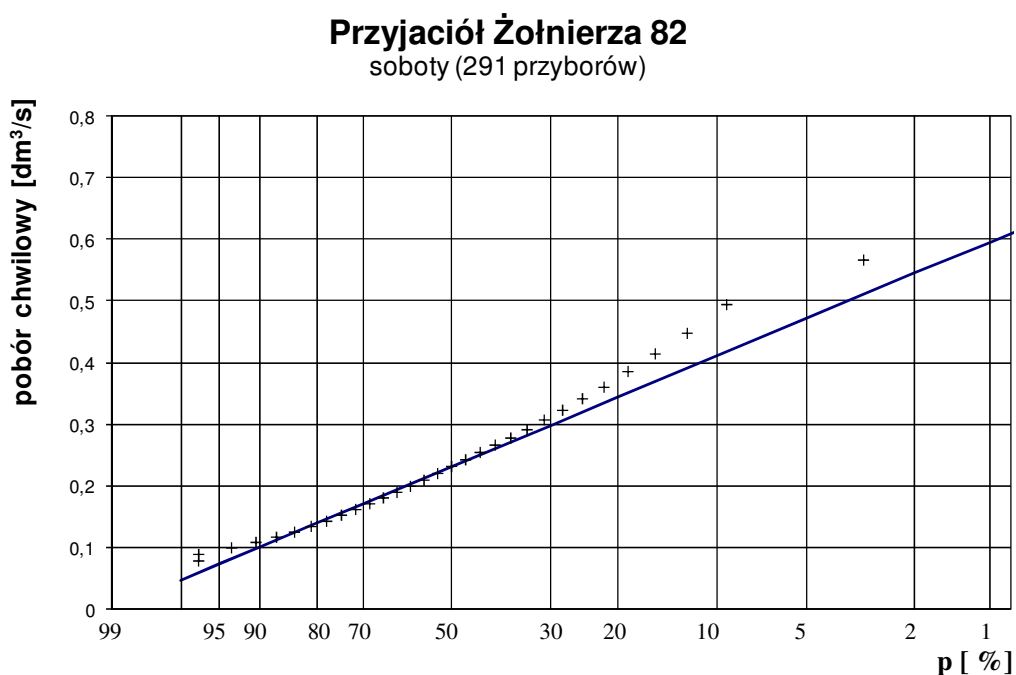
Tabela 7.3. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego określone na podstawie pomiarów oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego z pomiarów i odpowiadającej jej wartości dystrybucyjnej teoretycznej wynikającej z modelu (D_{max}) dla sobót i niedziel

Budynek	Liczba przyb.	Soboty				Niedziele			
		Parametry			Różnica	Parametry			Różnica
	N	P	λ	$\hat{v}_j$	D_{max}	P	λ	$\hat{v}_j$	D_{max}
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%
Boh. Wa-wy 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 Żoł 86	240	0,022	23,8	0,042	2,8%	0,024	24,1	0,042	2,8%
Przyjaciół Żoł 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%

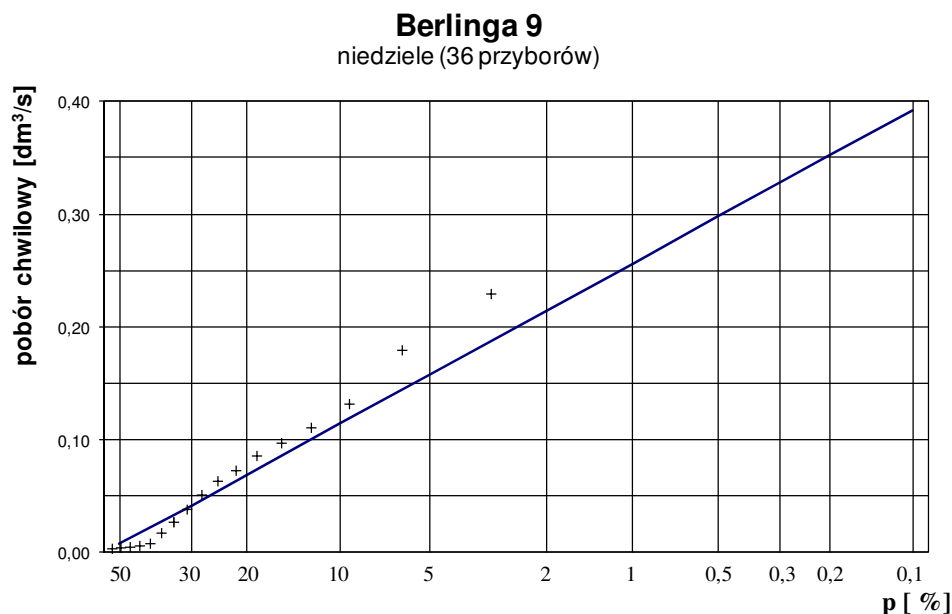
Na rysunkach od 7.7 do 7.10 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych wynikających z przyjętego złożonego rozkładu Bernoulliego i parametrów uzyskanych z pomiarów w wybranych obiektach wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi dla wszystkich sobót i niedziel.



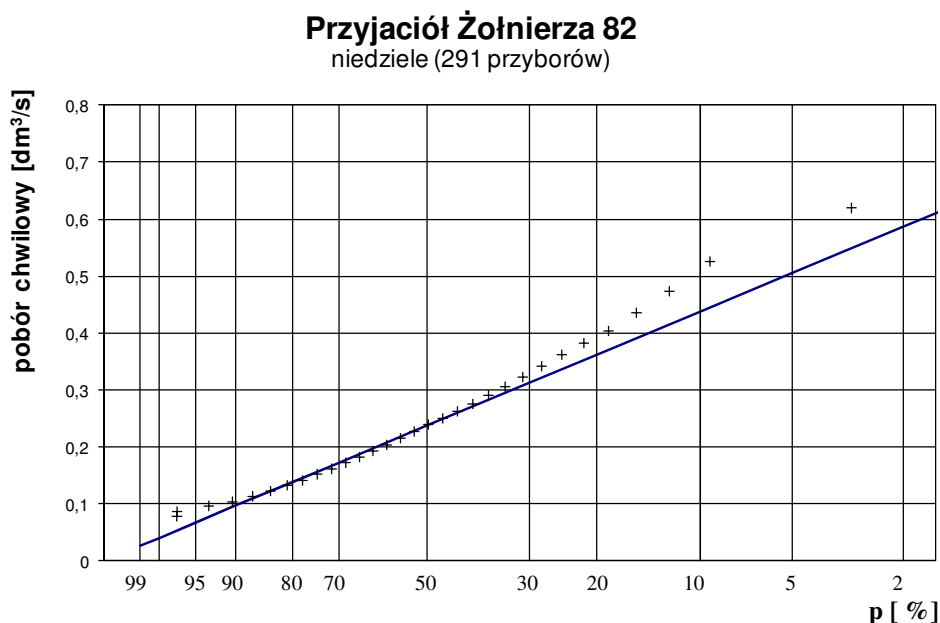
Rys. 7.7 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi w soboty dla obiektu najmniejszego, wartość maksymalnej różnicy $D_{\max} = 4,3\%$



Rys. 7.8 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi w soboty dla obiektu największego, wartość maksymalnej różnicy $D_{\max} = 3,0\%$



Rys.7.9 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony rozkładem złożonym Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi w niedziele dla obiektu najmniejszego, wartość maksymalnej różnicy $D_{\max} = 3,3\%$



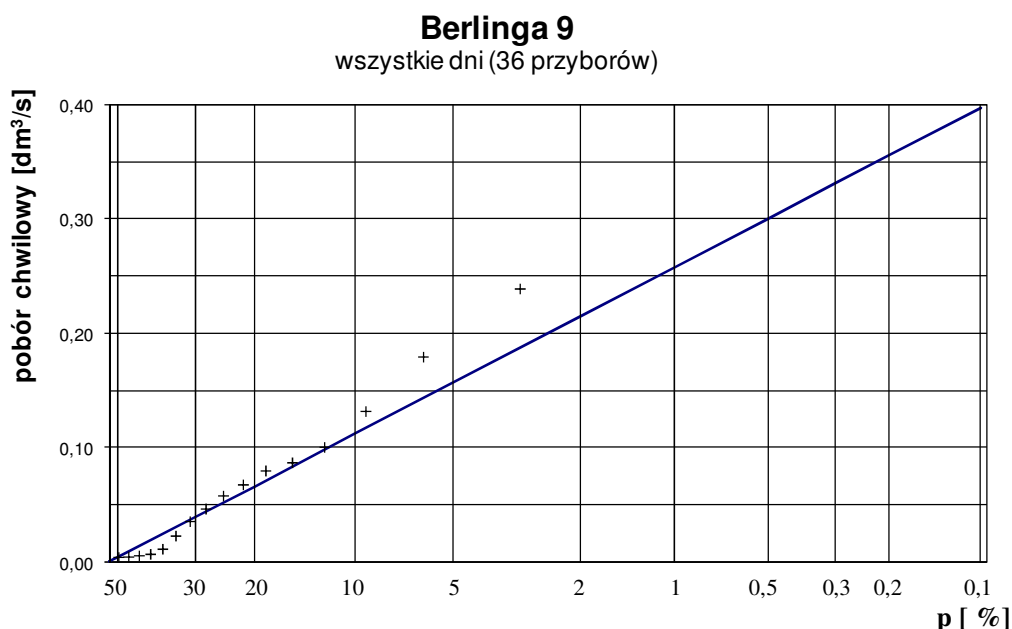
Rys. 7.10 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi w niedziele dla obiektu największego, wartość maksymalnej różnicy $D = 2,5\%$

Parametry rozkładu 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 7.4.

Tabela 7.4. Parametry złożonego rozkładu Bernoulliego określone na podstawie pomiarów oraz maksymalna różnica wartości prawdopodobieństwa przekroczenia określonego z pomiarów i odpowiadającej jej wartości dystrybucji teoretycznej wynikającej z modelu (D_{max}) dla wszystkich dni razem

Budynek	Liczba przyb.	Wszystkie dni			Różnica
	N	P	λ	$\dot{v}_j$	D_{max}
Berlinga 9	36	0,021	20,9	0,048	2,8%
Wilków 6	47	0,035	25,7	0,039	2,9%
Boh. 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%

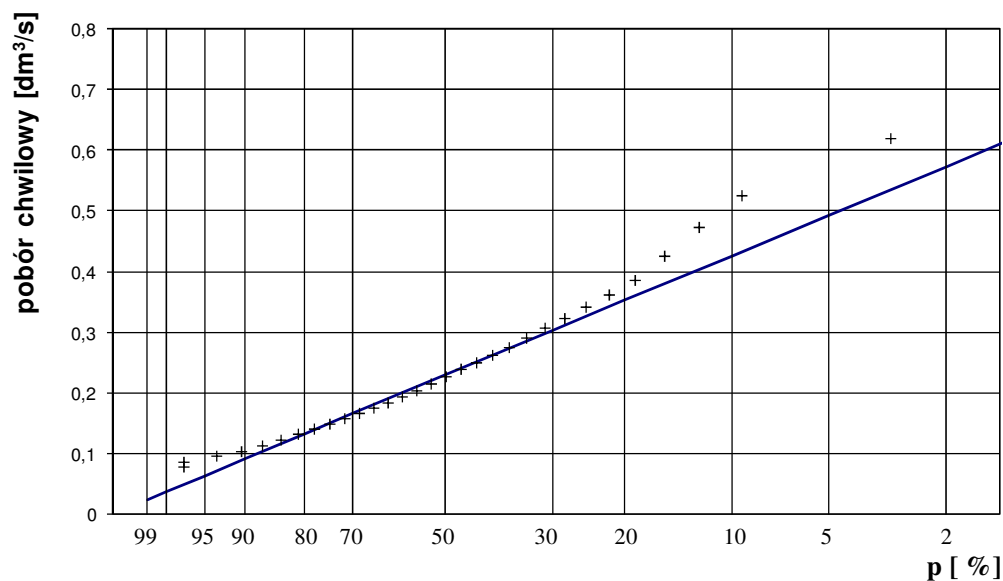
Na rysunkach 7.11 i 7.12 przedstawiono wykresy teoretycznych krzywych prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych wynikających z przyjętego złożonego rozkładu Bernoulliego i parametrów rozkładu uzyskanych z pomiarów w wybranych obiektach wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi dla wszystkich dni z okresu pomiarów.



Rys. 7.11 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi w niedzielę dla obiektu najmniejszego, wartość maksymalnej różnicy $D_{max} = 2,8\%$

Przyjaciół Żołnierza 82

wszystkie dni (291 przyborów)



Rys. 7.12 Wykresy teoretycznej krzywej prawdopodobieństwa poborów pięciosekundowych określony złożonym rozkładem Bernoulliego z parametrami określonymi na podstawie pomiarów wraz z naniesionymi danymi pomiarowymi uzyskanymi w niedziele dla obiektu dużego, wartość maksymalnej różnicy $D_{\max} = 3,3\%$)

7.3. Podsumowanie

W tabelach od 7.1 do 7.4 przedstawiono wartości parametrów złożonego rozkładu Bernoulliego uzyskane na podstawie zebranych danych pomiarowych dla poszczególnych obiektów w analizowanych rodzajach dni. Na rysunkach od 7.2 do 7.12 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 rodzajów dni, 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 danych pomiarowych 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.

8. Prognozowanie rozbiorów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych

8.1. Wprowadzenie

Zmienna losowa o rozkładzie dwumianowym będąca sumą dwóch niezależnych zmiennych losowych o tym samym prawdopodobieństwie wystąpienia pojedynczego zdarzenia P oraz danej liczbie prób Bernoulliego jest również zmienną losową o rozkładzie dwumianowym i tym samym prawdopodobieństwie wystąpienia pojedynczego zdarzenia oraz sumie prób Bernoulliego poszczególnych układów. Jest to twierdzenie o dodawaniu dla rozkładu dwumianowego [24]. Twierdzenie to dotyczy również złożonego rozkładu Bernoulliego, pod warunkiem, że parametry dodawanych rozkładów muszą być identyczne. Przedstawione powyżej właściwości złożonego rozkładu dwumianowego mogą być użyte do określania rozkładu poborów ciepłej wody dla instalacji złożonej z dowolnej liczby punktów czerpalnych.

Przy modelowaniu chwilowego poboru ciepłej wody z instalacji w budynku wielorodzinnym, można przyjąć założenie, że prawdopodobieństwo otwarcia każdego punktu czerpalnego i wartość parametru λ (odwrotność wartości średniego poboru z pojedynczego punktu czerpalnego) jest takie same, wtedy parametr N rozkładu określający sumę prób Bernoulliego będzie równy liczbie punktów czerpalnych w modelowanej instalacji.

8.2. Wartości średnie parametrów rozkładu uzyskane z pomiarów

W tabeli 8.1 zebrano wartości średnie parametrów złożonego rozkładu Bernoulliego określone na podstawie pomiarów dla analizowanych rodzajów dni oraz odpowiadające im średnie wartości maksymalnej różnicy wartości pomierzonej i estymowanej przyjętego testu.

Tabela 8.1. Wartości średnie parametrów złożonego rozkładu Bernoulliego określone na podstawie pomiarów dla analizowanych rodzajów dni oraz odpowiadające im wartości maksymalnej różnicy wartości pomierzonej i estymowanej

Rodzaj dni	Wartości średnie parametrów			Wartość średnia maksymalnej różnicy
	P	λ	$\hat{v}_j$	
-				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 zauważyć, że dla analizowanych rodzajów dni uzyskane z pomiarów metodą momentów parametry złożonego rozkładu Bernoulliego różnią się w niewielkim stopniu. Z analizy przedstawionej w poprzednim rozdziale pracy wynika brak związku pomiędzy rodzajem dnia a poborami maksymalnymi.

W związku z powyższym do modelowania poborów chwilowych przyjęto parametry rozkładu uzyskane dla wszystkich dni z okresu pomiarowego.

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.

Dla określenia zakresu zmienności tych 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 przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ i liczbie stopni swobody $n=7$ wynosi $t = 2,3646$. Wyniki obliczeń zakresu zmienności parametrów P i λ przedstawiono w Tabeli 8.2.

Tabela 8.2 Wyniki obliczeń przedziałów zmienności parametrów P i λ przy zastosowaniu testu t-Studenta dla pomiarów z wszystkich dni w analizowanych obiektach

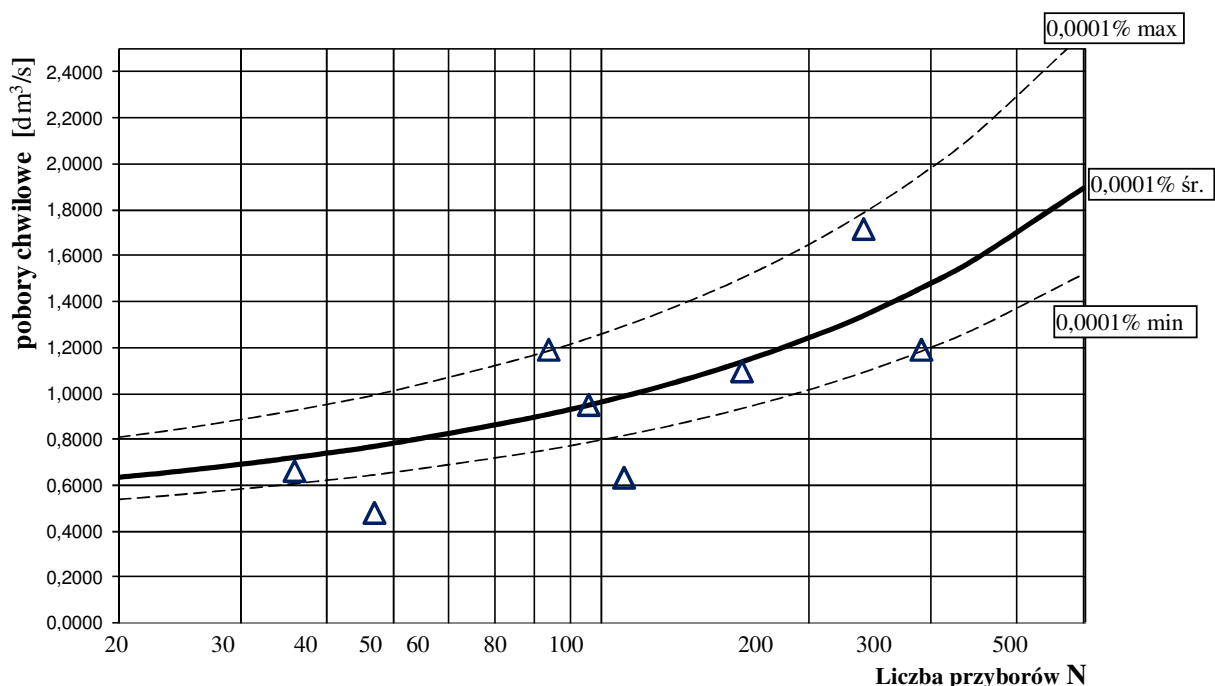
Oznaczenie	$\bar{P}$	$S_{\bar{P}}$	$t \times S_{\bar{P}}$	$\bar{P}_{max}$	$\bar{P}_{min}$
Wartość	0,0240	0,00189	0,00447	0,0285	0,0195
Oznaczenie	$\bar{\lambda}$	$S_{\bar{\lambda}}$	$t \times S_{\bar{\lambda}}$	$\bar{\lambda}_{max}$	$\bar{\lambda}_{min}$
Wartość	23,238	1,608	3,803	27,041	19,435

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

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

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

Za pomocą opracowanego programu komputerowego, 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 modelowania przedstawiono na rysunku 8.1.



Rys. 8.1 Zmienność poborów chwilowych pięciosekundowych o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001% określona ze złożonego rozkładu Bernoulliego wraz z poborami maksymalnymi z okresu pomiarów (trójkąty)

Na rysunku 8.1 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% max 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%.

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 wynosi 11520. Przy pomiarze trwającym minimum 30 dni parametry rozkładu wyznaczane były z ok. 350 tysięcy wartości i tym samym wartość największa z pomiarów występowała z prawdopodobieństwem mniejszym niż 3×10^{-6} . W metodach klasycznych (Huntera,

Šopenskiego) obliczenia wykonywano przy założonym prawdopodobieństwie przekroczenia 2 lub 5 procent, gdyż analizy dotyczyły pojedynczej godziny o maksymalnym poborze w ciągu doby a nie całego okresu pomiarowego złożonego z minimum 30 dób.

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

8.3. Możliwość wykorzystania pomiarów eksploatacyjnych

Analizując proces poboru wody z instalacji w budynkach mieszkalnych wydaje się, że prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpального w instalacji wody jest związane z dostępem mieszkańców do nich. Ponieważ wyposażenie mieszkań w punkty czerpalne ciepłej wody i ich zasiedlenie we wszystkich badanych obiektach jest jednakowe wydaje się, że prawdopodobieństwo otwarcia pojedynczego punktu czerpального 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. 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 zastosowaną w instalacjach objętych pomiarami.

Przyjmując, że wartość średnia $\dot{v}_{sr}$ z pomiarów odpowiada wartości oczekiwanej i korzystając z zależności 4.14 można zapisać

$$\dot{v}_{sr} = \frac{Np}{\lambda} \quad (8.1)$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{Np}{\dot{v}_{sr}} \quad (8.2)$$

Wykorzystując dane z pomiarów o poborach dobowych dla kilku przykładowych dni

wyznaczono wartość średnią poboru i określono parametry λ według zależności 8.2.

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 8.3. (wartości poborów podano w dm^3/s).

Tabela 8.3. 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 z pomiaru dobowego		Pobory z modelu dla uzyskanych parametrów z pomiarów dobowych			Pobory z modelu dla parametrów średnich z całości pomiarów $\lambda=23,24$		
–	szt.	dd-mm-rrrr	$\dot{v}_{srd}$	$\dot{v}_{maxp}$	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			

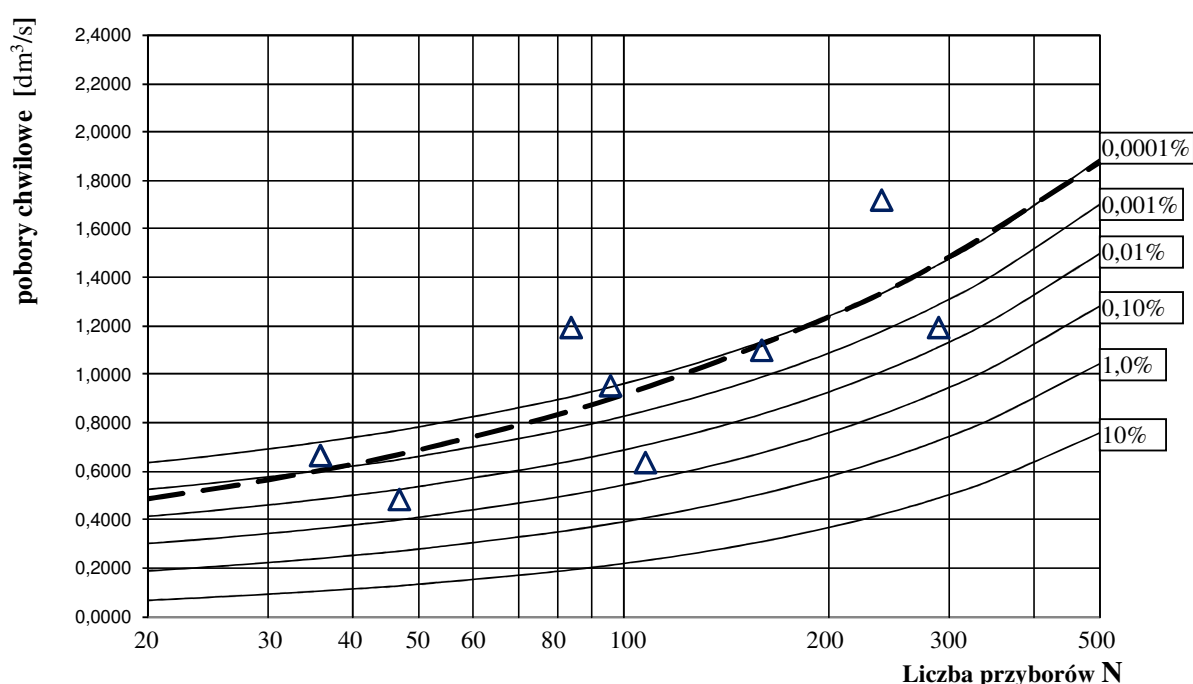
Analizując wyniki zebrane w tabeli 8.3 można stwierdzić, że dla obiektu najmniejszego $N=36$ przyborów, średnia wartość poboru maksymalnego odpowiada niemal dokładnie wartościom uzyskanym z modelu dla parametrów P i λ średnich z całego okresu pomiarów przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,1%, a przy 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 $N=108$ 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%. Zaś 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%, natomiast przy przyjęciu stałego prawdopodobieństwa $P=0,024$ i parametru λ określonego z pomiarów dobowych, oscyluje wokół wartości otrzymanych przy prawdopodobieństwie przekroczenia 0,1%.

Z zestawionych w tabeli 8.3 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 modelować przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia. Umożliwia to dostosowanie modelu do zmiany **wydajności jednostkowej** przyborów stosowanych w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych.

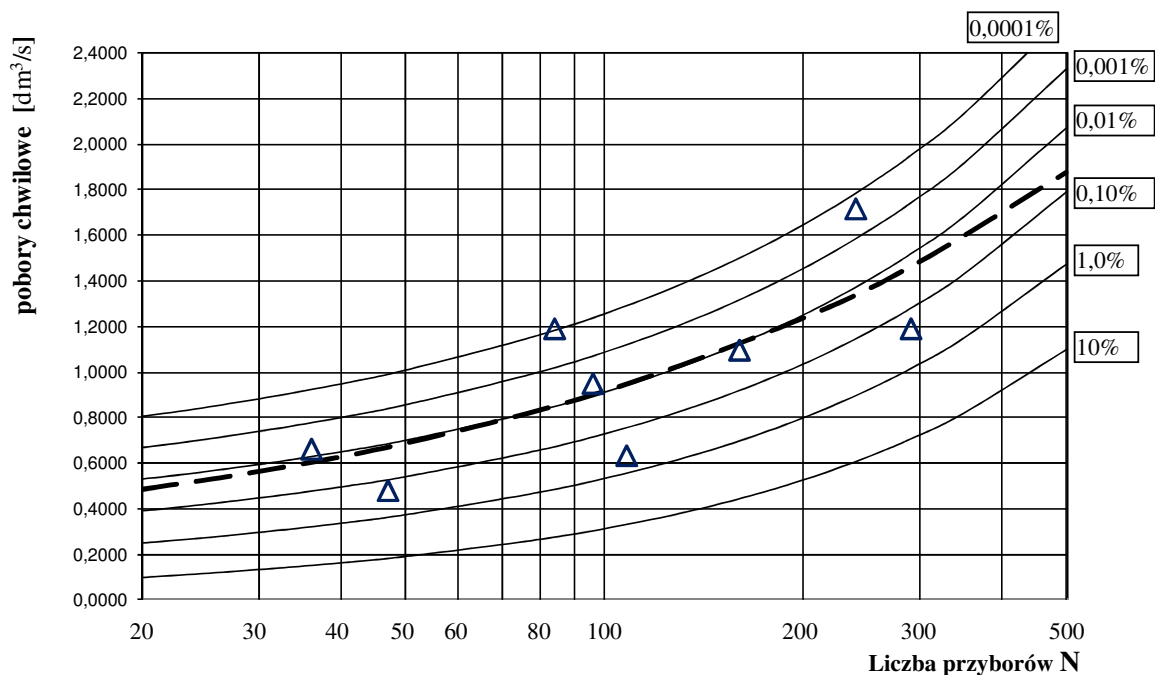
8.4. Określenie rozbiorów chwilowych o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i ich analiza

Przyjmując średnie wartości parametrów modelu P i λ oraz wartości tych parametrów dla górnej granicy przedziału ufności (Tabela 8.2), generujące wyższe 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 rysunkach 8.2., a dla górnych wartości generujących przepływy największe na rysunku 8.3.



Rys. 8.2 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 krzywą aproksymującą pomierzone pobory maksymalne (linia przerywana)

Z rysunku 8.2 wynika, że wartości poborów otrzymane z modelu dla średnich wartości parametrów P i λ oraz założonym prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001% odpowiadają krzywej aproksymującej pomierzone pobory maksymalne (linia przerywana na wykresie 8.3 o równaniu $\dot{m} = 0,0776 \times \sqrt{N} + 0,142$ [dm³/s]). Wartości zarejestrowanych poborów maksymalnych znajdują się powyżej krzywej o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,1%. W przypadku dwóch obiektów (25%) zarejestrowane na nich wartości maksymalne znajdują się ponad krzywą o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001%.

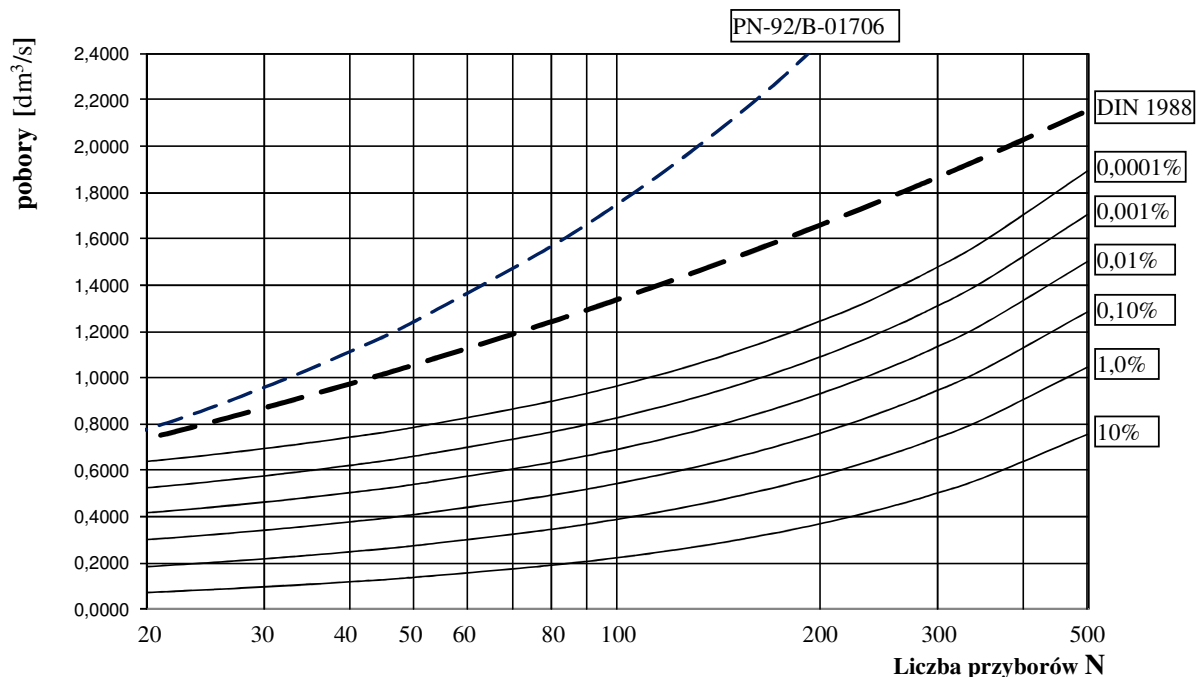


Rys. 8.3 Pobory chwilowe pięciosekundowe o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia określone ze złożonego rozkładu Bernoulliego, przy parametrach P i λ dla górnej granicy przedziału ufności 0,05, generujących wyższe wartości poborów, wraz z poborami maksymalnymi z okresu pomiarów (trójkąty), oraz krzywą aproksymującą pomierzone pobory maksymalne (linia przerywana)

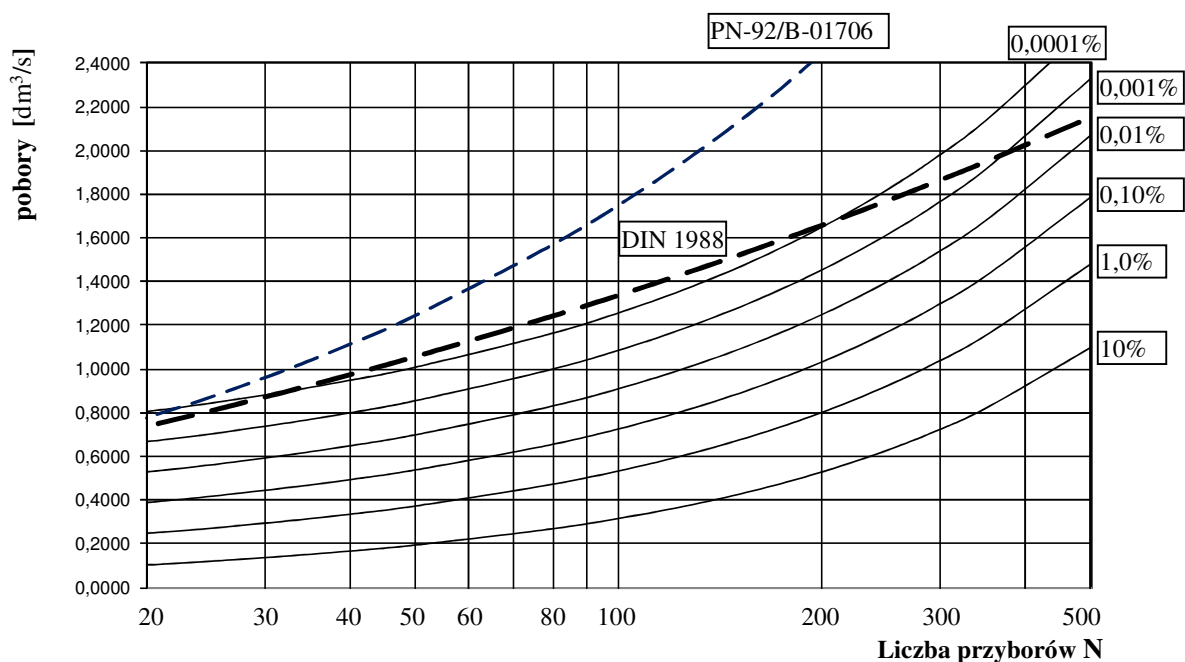
Na rysunku 8.3 przedstawiono maksymalne pomierzone wartości poborów i krzywą je aproksymującą (linia przerywana o równaniu $\dot{m} = 0,0776 \times \sqrt{N} + 0,142$ [dm³/s]) oraz wartości określone z modelu dla wartości parametrów P i λ na granicy przedziału ufności generujące największe wartości przepływów. Pomierzone wartości maksymalnych poborów w tym przypadku znajdują się poniżej krzywej o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001% max a powyżej krzywej o prawdopodobieństwie przekroczenia 1%. Krzywa aproksymująca uzyskana z pomiarów mieści się w zakresie przepływów o prawdopodobieństwie przekroczenia od 0,1% do 0,01%.

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

Na rysunku 8.4 wartości wynikające ze wspomnianych norm zestawiono z przepływami uzyskanymi z modelu dla wartości średnich parametrów P i λ . Natomiast na rysunku 8.5 wartości normowych przepływów zestawiono z wartościami uzyskanymi z modelu dla wartości parametrów P i λ na granicy przedziału ufności 0,05 generujących większe przepływy.



Rys 8.4 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 do doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych (linie przerywane)



Rys 8.5 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 wyższe wartości poborów, wraz z poborami wynikającymi z PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012 przyjmowanymi do doboru średnic przewodów instalacji wodociągowych (linie przerywane)

Na rysunku 8.4 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 o 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 z modelu niemal w całym zakresie analizowanej liczby przyborów (od 30 do 300).

Natomiast na rysunku 8.5 widać, że przy przyjęciu do modelowania wartości skrajnych parametrów P i λ generujących największe przepływy wartości przepływów otrzymane z metodyki wg PN-92/B-01706 (cieńsza linia przerywana) są większe od wartości o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001% uzyskanych z modelu. Natomiast wartości przepływów otrzymane z metodyki wg DIN 1988:2012 układają się w pobliżu krzywej przepływów uzyskanej o prawdopodobieństwie przekroczenia 0,0001%.

Porównanie wyników modelowania z wartościami maksymalnymi poborów zarejestrowanymi w czasie pomiarów na poszczególnych obiektach pokazuje dobrą ich zgodność. Dodatkowo porównanie wyników modelowania z wartościami przepływów obliczeniowych wg DIN 1988:2012 wykazuje porównywalną zmienność w całym analizowanym zakresie.

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: $\dot{m} = 0,0894 \times \sqrt{N} + 0,391$ [dm³/s].

9. Podsumowanie i wytyczne do dalszych badań

9.1. Podsumowanie i wnioski

Celem pracy było opracowanie nowego modelu poboru ciepłej wody oraz wykonanie pomiarów chwilowych poborów c.w.u. w celu identyfikacji parametrów opracowanego modelu oraz jego weryfikacji.

Aby zrealizować cel pracy dokonano przeglądu metod określania obliczeniowego strumienia poboru wody stosowanych od końca XIX wieku, koncentrując się na metodach wykorzystujących teorię prawdopodobieństwa. Z przeprowadzonych analiz literaturowych wynikało, że nie stosowano rozkładu uwzględniającego zmienność liczby czynnych punktów czerpalnych i zmienność pobieranego strumienia wody z tych punktów. W związku z tym w dysertacji opracowano rozkład uwzględniający te aspekty. Złożony jest on z rozkładu Bernoulliego określającego zmienność liczby punktów czerpalnych i wykładniczego opisującego zmienność pobieranego strumienia wody. Rozkład ten pozwala określić strumień pobieranej wody o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia. Korzystając z metody momentów określono zależności umożliwiające identyfikację parametrów tego rozkładu w oparciu o wyniki pomiarów chwilowych poborów wody (poborów pięciosekundowych), określono parametry rozkładu oraz opracowano program komputerowy umożliwiający ustalenie zgodności proponowanego rozkładu z danymi pomiarowymi i obliczenie poborów o założonym prawdopodobieństwie przekroczenia.

Następnie opracowano koncepcję pomiarów poborów chwilowych ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z węzłami ciepłej wody użytkowej, zakupiono odpowiedni przepływomierz rejestrujący do bezinwazyjnego montażu na rurociągu i wykonano całodobowe pomiary jej zużycia rejestrując pobory pięciosekundowe przez minimum 30 dób. Na podstawie danych pomiarowych dokonano identyfikacji parametrów opracowanego rozkładu i jego weryfikacji. Następnie korzystając z opracowanego programu komputerowego obliczono pobory ciepłej wody o ustalonym prawdopodobieństwie przekroczenia i przedstawiono na wykresach w funkcji liczby przyborów dla instalacji do 500 przyborów.

Na zakończenie otrzymane wyniki porównano z wartościami maksymalnych poborów zarejestrowanych w czasie pomiarów oraz z wartościami przepływów obliczeniowych ustalonych w oparciu o PN-92/B-01706 i DIN 1988:2012.

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

1. Opracowany rozkład statystyczny złożony z rozkładu dwumianowego (Bernoulliego) i rozkładu wykładniczego może służyć do określania poborów ciepłej wody o zadanym prawdopodobieństwie przekroczenia z instalacji budynków mieszkalnych wielorodzinnych.
2. Korzystając z przedstawionej w pracy metodyki określania poborów chwilowych ciepłej wody na podstawie pomiarów dobowego zużycia wody, w danym lub projektowanym budynku mieszkalnym wielorodzinnym, można dla celów projektowych dostatecznie dokładnie określić wartość poboru ciepłej wody miarodajną do określenia mocy układu jej przygotowania.

Podsumowując można stwierdzić, że cele pracy zostały zrealizowane a przyjęta teza udowodniona.

9.2. Wytyczne do dalszych badań

1. W dalszych analizach należy uwzględnić zmienny czas korzystania netto z instalacji o różnej liczbie przyborów i tym samym różnej liczbie mieszkańców. Może mieć to wpływ na uzyskanie lepszego dopasowania przedstawionego modelu do występujących przepływów chwilowych w instalacji ciepłej wody w warunkach rzeczywistych.
2. Należy przeanalizować i poddać dalszej weryfikacji sposoby określania poborów chwilowych ciepłej wody na podstawie pomiarów eksploatacyjnych dobowych, co umożliwi, przy zastosowaniu zaproponowanego modelu, 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, Third Edition, Denver, AWWA 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 Imienia Dra Adriana Baranieckiego w Krakowie, Kraków 1925.
- [5] Brix J., Heyd H., Gerlach E.: Die Wasserversorgung, Verlag, München–Berlin 1936
- [6] Brix J., Heyd H., Gerlach E.: Die Wasserversorgung, Verlag, München–Berlin 1942.
- [7] Brydak–Jeżowiecka D., Jeżowiecki J.: Nowe metody określania przepływów obliczeniowych w wewnętrznych instalacjach wodociągowych. GWiTS nr 6 1978, s. 163-166.
- [8] Brydak–Jeżowiecka D., Jeżowiecki J., Schwandt W., Przegląd modeli szczytowego poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych, COW, 1984 nr 7, s. 200-202.
- [9] Buchberger S. i inni: Peak Water Demand Study, Probability Estimates for Efficient Fixtures in Single and Multi-family Residential Buildings. IAPMO, January 2017 <http://www.iapmo.org/WEStand/Documents/Peak%20Water%20Demand%20Study%20-%20Executive%20Summary.pdf>
- [10] California Plumbing Code 2010. International Association Of Plumbing And Mechanical Officials, California Building Standards Commission. The United States 2010
- [11] Chłudow A. W.: Zaopatrzenie w ciepłą wodę, Arkady, Warszawa 1960.
- [12] Chronik des DVGW 1859-2009. Jubiläumsausgabe, GWF 2009
- [13] Chybowski B.: Instalacje ciepłej wody użytkowej, Arkady, Warszawa 1973.
- [14] CTO 02494733-5.2-01-2006. Vnutrennij vodoprovod i kanalizaciâ zdaniy.
- [15] Czaplicki S.: Określenie miarodajnych przepływów dla instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych. Dysertacja, Politechnika Gdańska 1963.
- [16] DIN 1988-3: 1988-12, Technische Regel für Trinkwasser-Installationen (TRWI) Ermittlung der Rohrdurchmesser, Technische Regel des DVGW.
- [17] DIN 1988-300: 2012-05, Technische Regel für Trinkwasser-Installationen (TRWI) Ermittlung der Rohrdurchmesser, Technische Regel des DVGW“
- [18] Dolecki J., Tabernacki J., Wymiarowanie instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych przy zastosowaniu teorii obsługi masowej, GWiTS, 1/1978, s.13-18.
- [19] DVGW–Grundlagen für die Berechnung von Hauswasserleitungen. Das Gas– und Wasserfach. Nr 44, 1932
- [20] DVGW–Richtlinien für die Berechnung der Kaltwasserleitungen in Hausanlagen. Das Gas– und Wasserfach. Heft 29, 1940
- [21] DVGW–TVR 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. PWN, Warszawa 1997.
- [24] Feller W.: Wstęp do rachunku prawdopodobieństwa tom 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. GWiTS nr 9 1952, s. 255-262.
- [28] George R. L.: The History of Plumbing. Plumbing Engineer, TMB Publishing, marzec 2001, <http://xnet.rrc.mb.ca/rcharney/History%20of%20Plumbing.pdf>, Dostęp 2009
- [29] Gołębiowski K., Hałupka Z.: Miarodajne natężenie przepływu wody w przewodach instalacji wody zimnej i ciepłej. COW, 1978, nr 10, s.270-275.
- [30] Hotłoś H., Kotowski A., Badania wielkości i nierównomierności zużycia wody w Polkowicach, GWiTS, 6/1994, 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, Nowoczesne rozwiązania w inżynierii i ochronie środowiska, Wrocław 2011
- [35] Jeżowiecki J., Nowakowski E.: Wymiarowanie przewodów instalacji wodociągowych według metody uproszczonej, Konferencja. Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych, Gliwice 2010
- [36] Jeżowiecki J. Tiukało A., Modelowanie matematyczne poboru ciepłej wody użytkowej, Prace Naukowe Inst. Inż. Chem. i Urz. Ciepłych Politechniki Wrocławskiej nr 43, seria: Monografie nr 25, Wrocław 1984.
- [37] Janota M.: Zużycie wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z indywidualnymi wodomierzami. COW ,3,4/2002, s. 16-21 I 8-11.
- [38] Janota M.: Zużycie wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z indywidualnymi wodomierzami. Materiały konferencyjne IV Forum Ciepłowników Polskich Międzyzdroje, 17–19 września 2001. Szczecin 2001, s. 185–197
- [39] Jurczak A.: Maksymalne rozbiory wody w budynkach mieszkalnych, GWiTS, 9/1979, s.271-272.
- [40] Kazakov S. P., Šopenskij L. A., Gidravličeskie harakteristiki sanitarno-tehničeskogo oborudovaniâ i rasčet setej vnutrennej kanalizacii. NIIST, zbornik № 24 Sanitarnââ tehnika M.: 1967,s. 257-277.
- [41] Kursin S. A.: Issledowanie woprosa o kolebaniach razchoda wody w žilych zdaniach Wodosnabżenie i sanitarnaja tehnika nr 2, 1936
- [42] Konen T.P.: "Modifying the Hunter method", Plumbing Engineer, 1985, Vol. 8 No.6, str.20-70
- [43] Konen T.P., Goncalves O. M.: Summary of mathematical models for the design of water distribution systems within buildings. International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings, Proceedings Annual Meeting CIB W062. 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, 13 may 2005

- [45] Mańkowski S., Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej. Warszawa, "Arkady", 1981
- [46] Materiały pomocnicze do projektowania instalacji wody zimnej, ciepłej i kanalizacji. Pod red. Jerzego Dobrzańskiego. Warszawa, COBRTI Instal BOINTIE, 1985.
- [47] Metcalf L., Eddy H. P.: Sewerage and sewage disposal. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York and London, 1930.
- [48] Meyer V.: Das „neue“ Regelwerk in der Trinkwasser-Installation. DVGW Jahresrevue Energie, Wasser-praxis 12/2011
- [49] Nejranowski J., Szaflik W.: An Application of complex Bernoulli,s distribution for modelling of usable hot water peak consumption – Złożony rozkład Bernalliego dla modelowania szczytowych rozbiorów ciepłej wody użytkowej str 8 (67 – 74) rys 4 tab 2 Katedra energetycznej techniki. Slovensko 28.09. – 01.10.2004
- [50] Nejranowski J., Szaflik W.: Badania poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe. X International Conference – Międzynarodowa Konferencja. AIR Conditioning Protection District Heating 2002. Wrocław – Szklarska Poręba 27-30 June 2002, Wydawnictwo – PZITS nr 804, s. 385-390.
- [51] Nejranowski J., Szaflik W.: Modelowanie zmienności chwilowych poborów ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych przy wykorzystaniu złożonego rozkładu Bernoulliego. IX Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XIV Krajowej Konferencji Międzyzdroje 19 – 21 września 2005r str 5 (160 –164) tab.1 rys.4.
- [52] Nejranowski J., Szaflik W.: Modelowanie zmienności poborów chwilowych c.w.u. w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym. VIII Forum Ciepłowników. Polskich. Materiały Trzynastej Krajowej Konferencji Międzyzdroje, 13-15 września 2004r str 6 (160 – 165) rys.3 tab. 2.
- [53] Nejranowski J., Szaflik W.: Pobór ciepła na potrzeby centralnej ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Ogrzewnictwo praktyczne, Termoizolacja–Ogrzewnictwo–Klimatyzacja, Nr 1 (17) styczeń 1998, Rok IV. Ogrzewnictwo praktyczne, termoizolacja, Wydawca : Dział Reklamowo-Wydawniczy TERMEDIA sp. z o.o. Poznań. Str. 5
- [54] Nejranowski J., Szaflik W.: Porównanie wybranych metod określenia przepływów obliczeniowych w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych. „Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne – projektowanie, wykonanie, eksploatacja" Wydawnictwo – Seidel-Przywecki Sp. z o. o., Warszawa 2015, s. 123-131.
- [55] Nejranowski J., Szaflik W.: Rozbiory średnie dobowe i maksymalne godzinowe w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe na podstawie rocznego cyklu pomiarów. IV Forum Ciepłowników Polskich Międzyzdroje, 18-20 września 2000, s. 204-211.
- [56] Nejranowski J., Szaflik W.: Straty ciepła układów centralnej ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Materiały II Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 22–24 września 1997, s.149–154
- [57] Nejranowski J., Szaflik W.: Variations of the five - seconds warm water consumption in the apartment buildings eq uipped with water meters. Zmienność pięciosekundowych poborów ciepłej wody użytkowej w budynkach wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze. Acta Mechanica Slovaca Kosice 3/2003 str 8 (497 - 504) rys.3
- [58] Nejranowski J., Szaflik W.: Wpływ rozwiązania węzła cieplnego na pobory chwilowe ciepłej wody użytkowej. X Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XV Krajowej Konferencji Międzyzdroje 17 – 20 września 2006r, str 6 (194 –199) tab.3 rys.5.
- [59] Nejranowski J., Szaflik W.: Zastosowanie złożonego rozkładu Bernoulliego do modelowania zmienności poborów chwilowych c.w.u. w budynkach mieszkalnych

- wielorodzinnych. XI International Conference – Międzynarodowa Konferencja AIR Conditioning Protection District Heating 2005 Wrocław – Szklarska Poręba 23-26 June. Wydawnictwo – PZITS nr 855 str 6 (441 – 446) tab. 2 rys 2.
- [60] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność chwilowych poborów c.w.u. w warunkach rzeczywistych. Materiały XI Krajowej Konferencji VI Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 16-18 września 2002, s. 175-184.
 - [61] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność dobowego poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe Materiały siódmej krajowej konferencji, II Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje 21-23 września 1998 r. Wydano pod redakcją Komitetu Naukowego Forum, Redakcja techniczna – PUIKURSOR, Szczecin, druk :SKY-Graf, Szczecin 1998
 - [62] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność maksymalnych poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej. Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego Politechnika Warszawska I Konferencja Naukowo – Techniczna. Instalacje Wodociągowe i Kanalizacyjne. Projektowanie, Wykonawstwo, Eksploatacja. Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp.z o.o. Warszawa – Dębe, maj 2004r. Str 8 (115 – 122) rys. 3
 - [63] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność pięciosekundowych poborów ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe. VII Forum Ciepłowników Polskich Materiały XII Krajowej Konferencji Międzyzdroje 15-17 września 2003 str 6 (160 - 165) rys. 2
 - [64] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja Nr1. Wydawnictwo Sigma NOT. Styczeń 1999 r. Str 7 (13-18) i (27) rys.6 tab 3
 - [65] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w cyklu dobowym w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe. Wrocław University of Technology Chair of Air-conditioning and District Heating Department of Environmental Engineering Polish Association of Sanitary Engineers and Technicians Lower Silesian Branch, The 9-th International Conference of Air Conditioning and District Heating Wrocław'98, Szklarska Poręba 04-07.06.1998, Energy Conservation in Heating, District Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems Edition PZITS Nr 756, Wrocław 1998 Wydawnictwo : ARGI, Wrocław. Str. 5
 - [66] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w cyklu rocznym w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych wyposażonych w wodomierze mieszkaniowe. Materiały III Forum Ciepłowników Polskich Międzyzdroje 20-22 września 1999 r. Wydawnictwo SKY-Graf Szczecin. Str.5 (139-143) rys 5
 - [67] Nejranowski J., Szaflik W.: Zmienność poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, na podstawie rocznego cyklu pomiarów. Prace naukowe P.S. Nr 561/ IIL/34, Szczecin 2000, s. 113-130.
 - [68] Nowak B.: Model ogólny a model wskaźników jednostkowych poboru ciepłej wody dla wielorodzinnego budownictwa mieszkalnego. COW 1997, nr 8, s. 5 - 10.
 - [69] Nowak B., Jeżowiecki J., Opracowanie zasad czasoprzestrzennej symulacji instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych. Raport Instytutu Inż. Chem. i Urządzeń Ciepłych Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988.
 - [70] Nowak B.: Zaleski J.: Ogólny model procesu poboru ciepłej wody użytkowej dla wielorodzinnego budownictwa mieszkaniowego, Archiwum Energetyki, 3-4/1993, s. 191-206.

- [71] Nowakowski E.: Metoda uproszczona wymiarowania przewodów w instalacjach do przesyłu wody, Rynek Instalacyjny 12/2011
- [72] Nowakowski E.: Obliczeniowe przepływy wody w budynkach mieszkalnych. Wybór metody, Rynek Instalacyjny 4/2011
- [73] Nowicki W.: Rożyński Z.: Projektowanie wewnętrznych instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych. Arkady, Warszawa 1964 r.
- [74] Ogrzewanie i klimatyzacja, Poradnik Recknagel-Sprenger. Pod red. Mariana Rubika. Warszawa, Arkady, 1976
- [75] Omaghomi T. O.: Analysis of Methods for Estimating Water Demand in Buildings University of Cincinnati June 25th, 2014; Ph.D. thesis.
- [76] Omaghomi T. O., Buchberger S.: Estimating water demands in buildings. 16th Water Distribution System Analysis Conference, Bari 2014. Procedia Engineering, Volume 89, 2014, Pages 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 (oryg.),
- [81] Popławski A.: Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej według nowego normatywu radzieckiego SnIP II -34-76. COW, 1978 nr 7-8.
- [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. (numer w PS 2-11-9451/12-00-00) 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, pod redakcją Bryła S., tom IV rozdz. IX, Lwów i Warszawa, 1936.
- [85] Raumberger M., Graßer H. J.: Technische Regeln der Wasser-Installation. Jahresvortrag auf der Informationsveranstaltung der Innungen für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik und der mittelfränkischen Netzbetreiber in Fürth, April 2012.
- [86] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 10 grudnia 2010 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dziennik Ustaw 2010 Nr 239, poz. 1597
- [87] Sidorski K.: Badanie maksymalnego zużycia wody w budynkach i w osiedlach mieszkaniowych. Rozprawa doktorska. Wrocław. 1976.
- [88] Sizing water service lines and meters. Manual of water supply practices – M22, Second edition, 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, GWiTS, 1-2/1981, s.30-33

- [91] Sosnowski S.: Projektowanie wewnętrznych instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych w świetle ustaleń nowego normatywu radzieckiego SNiP-II-30-76, GWiTS 1/1979
- [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, z. nr 3
- [94] Siwoń Z., Stanisławska M., Stanisławski J.: Modelowania czasów trwania poborów wody wodociągowej, GWiTS, 5/1991, 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 Aktualizirovannaâ redakciâ SNIP 2.04.01-85. Moskva 2012.
- [101] Spyšnov P. A., Šniejerov A. I.: Spravočnik po vnutriennym vodoprovodu, kanalizacii i vodostokam. Gosstrojizdat, Moskva 1954
- [102] Spysznov P. A., Proektirovanie vodoprovodov w žilyh i graždanskich zdaniach. Gosudarstvennoe Izdatielstvo Architektury i Gradostritielstva, Moskva 1951
- [103] Suligowski Z.: Analiza zużycia i zapotrzebowania na wodę w osiedlach mieszkaniowych. Zeszyty Naukowe Pol. Gdańskiej nr 327, Budownictwo Wodne nr 24, Wyd. Pol. Gdańskiej, Gdańsk 1981.
- [104] Suligowski Z.: Badania zużycia ciepłej wody użytkowej. COW, 1979, nr 7 i 8.
- [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, GWiTS, 4/1980, s.117-120
- [107] Suligowski Z.: Rozwój metod do określenia projektowych parametrów instalacji ciepłej wody użytkowej. COW, nr 1i2, 1980.
- [108] Suligowski Z.: Zużycie ciepłej wody. Archiwum Hydrotechniki, 1978, z. 3
- [109] Szaflik W.: Analiza pracy równoległego węzła c.o. i c.w.u. z priorytetem przygotowania ciepłej wody. II Forum Ciepłowników Polskich. Materiały siódmej krajowej konferencji, Międzyzdroje 21-23 września 1998. Wydano pod redakcją Komitetu Naukowego Forum, druk :SKY-Graf, Szczecin 1998 r., s. 236–242
- [110] Szaflik W.: Mathematical Model of the Process of Hot Water Consumption. Archives of Hydroengineering, Volume XL, 1993, Number 3-4, str. 3-24, Gdańsk 1994
- [111] Szaflik W.: Modelowanie poboru ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych przy użyciu teorii procesów stochastycznych. Prace Nauk. Pol. Szczecińskiej nr 501, Inst. Inż. Wodnej nr 38, Wyd. Ucz. Pol. Szczecińskiej, Szczecin 1993
- [112] Szaflik W.: Obliczanie jednostopniowych bezzasobnikowych węzłów ciepłej wody użytkowej z priorytetem jej przygotowania. IX Forum Ciepłowników Polskich. Materiały XIV Krajowej Konferencji Międzyzdroje 19 – 21 września 2005 r. s. 193 – 202 (autor).
- [113] Szaflik W.: Określenie poboru ciepłej wody do projektowania bezzasobnikowych układów do jej przygotowania. VIII Forum Ciepłowników Polskich. Materiały Trzynastej Krajowej Konferencji Międzyzdroje, 13-15 września 2004 r. s. 194 – 201

- [114] Szaflik W.: Problemy modelowania rozbioru c.w.u. w budynkach wielorodzinnych w świetle wielodobowych pomiarów zużycia ciepłej wody użytkowej. Materiały Sympozjum Naukowego organizowanego przez PAN Sekcję Ogrzewnictwa i Wentylacji KILiW „Badania w ogrzewnictwie, wentylacji i ciepłownictwie”, Szczecin-Swinoujście, 20-22.10.1988, str. 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. XI International Conference – Międzynarodowa Konferencja AIR Conditioning Protection District Heating 2005, Wrocław – Szklarska Poręba 23-26 June. Wydawnictwo – PZITS nr 855 2005 r. s. 659 – 664
- [118] Szaflik W.: Równoległe węzły c.o. i c.w.u. z priorytetem przygotowania ciepłej wody Informacja INSTAL, nr 7-8 (173-174) 1998, miesięcznik. Wydawca : Ośrodek Informacji - Technika instalacyjna w budownictwie, 02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, s. 4-8.
- [119] Szaflik W.: Stochastyczne modelowanie poboru ciepłej wody użytkowej. Informacja INSTAL - miesięcznik Nr 3 1997 r. s. 14-20
- [120] Szaflik W.: Wartości chwilowych poborów ciepłej wody użytkowej do projektowania układów jej przygotowania. I Konferencja Naukowo – Techniczna. Instalacje Wodociągowe i Kanalizacyjne. Projektowanie, Wykonawstwo, Eksploatacja. Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego Politechnika Warszawska. Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp. z o.o. Warszawa – Dębe, maj 2004 r. s. 123 – 131
- [121] Szaflik W.: Wymiarowanie i analiza pracy węzła cieplnego z priorytetem przygotowania ciepłej wody użytkowej, Wrocław University of Technology Chair of Air-conditioning and District Heating Department of Environmental Engineering Polish Association of Sanitary Engineers and Technicians Lower Silesian Branch The 9-th International Conference of Air Conditioning and District Heating Wrocław'98, Szklarska Poręba 04-07.06.1998, Energy Conservation in Heating, District Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems Edition PZITS Nr 756, Wydawnictwo: ARGI, Wrocław, Wrocław 1998 r., s. 491–496
- [122] Szaflik W.: Wyposażenie instalacji ciepłej wody w mieszkaniach w wodomierze podstawą racjonalizacji zużycia ciepłej wody. Ogrzewnictwo praktyczne. Nr 1, 1995
- [123] Szaflik W.: Zmienność czasu pojedynczego poboru ciepłej wody w gospodarstwach domowych. Materiały Sesji z okazji 45 lecia Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Szczecińskiej, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1992, str. 117-126
- [124] Šneerov A. I., Spyšnov P. A., Svešnikov I. P., Sanitarno-tehničeskoe oborudovanie zdaniy. Strojizdat, Moskwa, 1949
- [125] Šopenskij L. A.: K voprosu o metodike opredeleniâ rasčetnyh rashodov vody v setâh vodoprovodov zdaniy različnogo naznačeniâ i ih kompleksov. — Vodosnabženie i sanitarnâ tehnika, 1975, nr 12, str 4-7
- [126] Šopenskij L. A., Nekotorye voprosy opredeleniâ parametrov armatury sanitarnykh priborov i rasčet vnutrennih vodoprovodov s primeneniem ÈCVM. NIIST, sbornik № 24 Sanitarnâ tehnika M.: 1967, 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 sanitarnâ tehnika, 1980. nr 5, str. 7-10.

- [128] Šopenskij L. A., Ūr'eva I. P. Priemy vyčisleniâ rashodov v setâh vodoprovodov zdaniĭ različnogo naznačeniâ i mikrorajonov. Vodosnabženie i sanitarnaâ tehnika, 1968, nr 11, str. 4-8.
- [129] Šopenskij L. A., Kožinova A.: Soveršenstvovanie norm vodopotrebleniâ dlâ žilyh zdaniĭ. Vodosnabženie i sanitarnaâ tehnika, 1985. nr 11, str. 25–27.
- [130] Tiukało A.: Dynamika poboru ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych, praca doktorska, Politechnika Wrocławska 1982.
- [131] Tabernacki J.: Metodyka analizy powstawania zjawisk przepływu i zużycia wody w instalacjach wodociągowych budynków mieszkalnych. Pol. warszawska, Prace Naukowe, Inżynieria Sanitarna i Wodna, z. 11. Wyd. Pol. Warszawskiej. Warszawa 1990.
- [132] Webster C. J. D.: An investigation of the use of water outlets in multi – storey flats. CIB W062 Water Supply And Drainage For Buildings - Annual Meeting 1972 (Seminar - Water Demand on Buildings). The Building Services Engineer (JIHVE), nr 39, January 1972, str. 215-233.
- [133] Whipple G. C. i inni: 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, Tom I Wodociągi, Wydawnictwo Ministerstwa Odbudowy nr 21, 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 nr 48, seria: Monografie nr 26, Wrocław 1987
- [136] Zarządzenie nr 47 Min. G. T. i O. S. z dnia 10.08.1974 w sprawie wytycznych projektowania instalacji centralnej ciepłej wody w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym. Dz. Bud., 1974, nr 6, poz. 18, str. 45–50