

Objętość zasobnika ciepłej wody o pełnej akumulacyjności w zależności od jej zużycia dobowego

Volume of a hot water storage tank with full thermal capacity in relation to daily water consumption

JERZY NEJRANOWSKI, WŁADYSŁAW SZAFLIK

DOI 10.36119/15.2022.2.4

W artykule określono zależność pomiędzy pojemnością zasobnika ciepłej wody o pełnej akumulacyjności a jej zużyciem dobowym. W tym celu wykorzystano pomiary zmienności zużycia wody w czasie doby dla ośmiu budynków w okresach ponad 30 dniowych. Z pomiarów wynika, że wartości średnie jednostkowej objętości zasobnika o pełnej akumulacyjności oraz jednostkowego dobowego poboru ciepłej wody w niewielkim stopniu zależą od liczby mieszkańców i praktycznie nie zmieniają się wraz z jej wzrostem (wielkością instalacji). Stwierdzono, że występuje wyraźna zależność pomiędzy dobowym zużyciem ciepłej wody w budynku a wymaganą pojemnością zasobnika o pełnej akumulacyjności. Określono zależność liniową pomiędzy zużyciem wody w budynku a pojemnością zasobnika o pełnej akumulacyjności. Umożliwi to ustalenie wymaganej pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia w budynkach o różnej liczbie mieszkańców i założeniu określonego jednostkowego poboru ciepłej wody.

Słowa kluczowe: instalacje ciepłej wody, charakterystyka poboru ciepłej wody

The paper determines the relationship between the capacity of a hot water storage tank with full thermal and daily water consumption. For this purpose, measurements of water consumption distribution during a day for eight buildings in periods exceeding 30 days were used. The measurements show that the average volume of hot water storage tank (HWST) with full thermal capacity and of the daily hot water consumption depend only slightly on the number of residents and virtually do not change with its growth (the size of the installation). It was found that there is a clear correlation between daily hot water consumption in the building and the required volume of HWST at full thermal capacity. The linear relationship between water consumption in the building and the required volume of HWST at full thermal capacity has been determined. Results allow to determine the required volume of the HWST in buildings with different numbers of residents at hot water consumption with a different probability of exceeding and at assuming a determined unit hot water consumption.

Keywords: domestic hot water installations, characteristics of hot water consumption

Oznaczenia:

K – godzinowy współczynnik nierównomierności rozbioru ciepłej wody [–]

n – liczba mieszkańców, [–]

$S_{V_{zo}}$ – odchylenie standardowe względnej pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności, [godz.],

V_b – pobór dobowy wody, [m³/d],

V_z – pojemność zasobnika, [m³],

V_{zo} – pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności, [m³],

V_{zoo} – aproksymowana pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności, [m³],

V'_{zo} – względna pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności, [godz.],

z_a – wartość zmiennej losowej określona z tablic zestandaryzowanego rozkładu normalnego dla wartości dystrybuanty a ,

φ – współczynnik akumulacyjności, zdefiniowany jako stosunek pojemności V_z zastosowanego zasobnika do pojemności zasobnika o pełnej akumulacji V_{zo} , [–].

Wstęp

Do określenia objętości zasobników oraz objętości podgrzewaczy pojemnościowych w układach przygotowania ciepłej wody zasilających instalacje budynków mieszkalnych wielorodzinnych, istotna jest

znajomość wymaganej objętości zasobnika. Dotychczas przyjmowano, że objętość ta zależy przede wszystkim od liczby mieszkańców budynku i charakteru poboru ciepłej wody. Przy stosowaniu wodomierzy mieszkaniowych, armatury o zmniejszonym wypływie oraz powszechnym montażu automatycznych pralek i zmywarek zmniejszyła się ilość i przebieg zużycia ciepłej wody w czasie jej poboru. Wpływa to na wymaganą objętość zasobnika lub podgrzewacza pojemnościowego ciepłej wody użytkowej (c.w.). W dostępnej literaturze dotyczącej instalacji wodociągowych w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych autorzy nie spotkali się z analizą tego zagadnienia w obecnych warunkach [1, 3, 5].

dr inż. Jerzy Nejrzanowski <https://orcid.org/0000-0002-1836-2937>, prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik <https://orcid.org/0000-0003-3767-8766> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ciepłownictwa; Szczecin; Adres do korespondencji/ Corresponding author: Wladyslaw.Szaflik@zut.edu.pl

Objętość zasobnika w Polsce wyznaczano na podstawie przyjętej wartości współczynnika akumulacyjności ϕ i tak zwanej „pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} ”. Pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności rozumiano jako objętość wody jaką należy zgromadzić w zasobniku, aby przy strumieniu ładowania odpowiadającemu poborowi średniemu dobowemu, uzupełniła ona chwilowe braki związane z nierównomiernością jej poboru.

W artykule przedstawiono analizę dotyczącą objętości takiego zasobnika na podstawie wyników wielodobowych pomiarów poboru ciepłej wody w budynkach o liczbie mieszkańców większej od 50.

Objętość zasobnika o pełnej akumulacyjności

Wzór stosowany w Polsce [8], w którym wykorzystywano pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności do doboru zasobnika ciepłej wody, został opracowany ponad 40 lat temu przez profesora Mańkowskiego [4] i ma on postać:

$$V_z = \phi \cdot V_{zo} \quad (1)$$

Objętość zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} określano z przedstawionej poniżej zależności [4]:

$$V_{zo} = 90 \cdot n \cdot \lg K \quad (2)$$

We wzorze tym występującą wartość „90” wyznaczono empirycznie [4]. Wartość współczynnika nierównomierności godzinowej K w funkcji liczby mieszkańców (użytkowników instalacji) podano w [4, 6, 8]. Wartości tego współczynnika dla tej samej liczby mieszkańców podane w normie [6] są mniejsze niż w normatywie [8].

Na podstawie wartości współczynnika akumulacji ϕ i średniego zapotrzebowania na ciepło określano wydajność cieplną podgrzewaczy ciepłej wody lub wymienników ciepłej wody węzłów ciepłych. Obecnie metoda ta raczej nie jest stosowana. Wynika to z faktu, że aktualnie charakterystyka poboru ciepłej wody w czasie doby jest inna niż była 50 lat temu, zmienił się sposób korzystania z niej i zmniejszyło się jej zużycie. Godzinowy współczynnik nierównomierności rozbioru ciepłej wody K związany jest z wielkością instalacji ciepłej wody [6, 8]. W normie [6] i wytycznych [8] zależał on od liczby mieszkańców (użytkowników instalacji).

Autorzy w prezentowanym artykule skoncentrowali się na określeniu pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności. W następnym zamierzają przedstawić

metodę doboru podgrzewaczy pojemnościowych, lub układów zasobnikowych z obiegiem ładowania dla budynków wielorodzinnych zamieszkałych przez ponad 50 lokatorów.

Charakterystyka pomiarów

Pomiary poboru ciepłej wody (średnich pięciosekundowych) przeprowadzono w sześciu węzłach ciepłych zasilających budynki mieszkalne wielorodzinne o zróżnicowanej liczbie mieszkańców, różnym terminie zasiedlenia mieszkań oraz zlokalizowane w różnych dzielnicach miasta. Mieszkania we wszystkich budynkach wyposażone były w wanny, umywalki i zlewozmywaki, a ich instalacje – w wodomierze mieszkaniowe ciepłej i zimnej wody. Średnie zaludnienie mieszkań wynosiło niewiele ponad trzy osoby na mieszkanie.

Dane o poszczególnych budynkach uzyskane z administracji Spółdzielni Mieszkaniowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe dane budynków, w których przeprowadzono pomiary
Table 1. Basic information on studied buildings

Lp.	Obiekt	Liczba mieszkań m	Liczba mieszkańców M	Liczba punktów poboru N	N/m
1	Budynek 3	28	93	84	3,00
2	Budynek 4	32	114	96	3,00
3	Budynek 5	36	109	108	3,00
4	Budynek 6	50	186	160	3,20
5	Budynek 7	80	254	240	3,00
6	Budynek 8	97	210	291	3,00
Suma		323	966	979	Średnia = 3,03

Pobór ciepłej wody określano na podstawie pomiaru ilości wody zimnej dopływającej do węzła ciepłej wody (c.w.). Zimna woda dostarczana była z miejskiego wodociągu, a ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej.

W trakcie pomiarów instalacje c.w. były sprawne a cyrkulacja działała poprawnie. Układy regulacji temperatury c.w. w węzłach ciepłych funkcjonowały prawidłowo. Okresowo kontrolowano prawidłowość dostawy ciepła do węzła c.w. i ciepłej wody do instalacji w budynku. Pomiary prowadzono przy zachowaniu istniejącej regulacji ukła-

dów hydraulicznych instalacji ciepłej wody oraz węzłów ciepłych.

Pobór ciepłej wody mierzono za pomocą przenośnego przepływomierza ultradźwiękowego z rejestratorem do pomiarów przepływów szybkozmiennych cieczy typu UNIFLOW 1010EP3 firmy Controlotron. Oszacowany błąd względny pomiarów wynikający z właściwości przepływomierza i zastosowanego sposobu pomiaru nie przekraczał 2,5% [5].

Pomiary prowadzono we wszystkie dni tygodnia (robocze, wolne i świąteczne) przez co najmniej 30 dób. Rejestracja wyników odbywała się co pięć sekund z zapisem w formie cyfrowej umożliwiającą analizy w arkuszu kalkulacyjnym [5].

Wyniki pomiarów

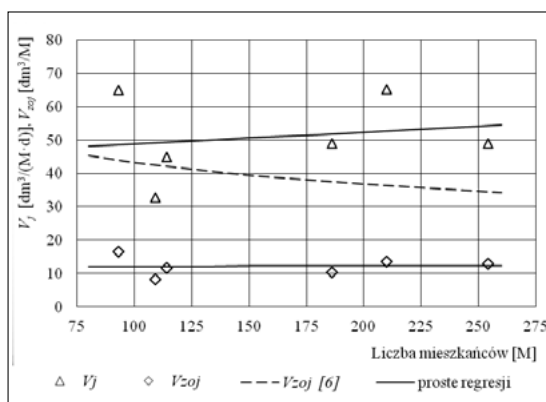
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów zużycia ciepłej wody w badanych budynkach w okresie pomiarowym dla poszczególnych dób określono dobo-

wą pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności i dobowy pobór ciepłej wody.

Objętość zasobnika o pełnej akumulacyjności wyznaczono poprzez określenie sumy maksymalnej i minimalnej różnicy pomiędzy krzywą sumową rzeczywistego poboru ciepłej wody w dobie oraz prostą odpowiadającą sumie poboru średniego w tej dobie.

Dla poszczególnych budynków obliczono średnie dobowe zużycie ciepłej wody i średnią pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności, następnie przeliczono je na jednego mieszkańca. Otrzymane

Rys 1. Średnia pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności i średni dobowy pobór ciepłej wody przypadający na jednego mieszkańca w zależności od liczby mieszkańców w budynku i pojemność zasobnika obliczona z zależności (2) [K według PN-92/B-01706 [6]]
Fig. 1. Average volume of a tank with a full thermal capacity and average daily hot water consumption per resident in relation to the number of residents in the building and tank capacity calculated from relation (2) [K was determined according to PN-92/B-01706 [5]]



wartości w zależności od liczby mieszkańców w budynku, przedstawiono na rysunku 1.

Z rysunku 1. wynika, że linie trendu wartości średniej jednostkowej objętości zasobnika o pełnej akumulacyjności oraz dobowego poboru wody w niewielkim stopniu zależą od liczby mieszkańców – wraz ze wzrostem liczby mieszkańców rosną.

Z przebiegu linii trendu wynika, że dla mniejszych instalacji (90 punktów poboru) średnie dobowe zużycie c.w. wynosiło około $48 \text{ dm}^3/(\text{M} \cdot \text{d})$, a dla dużych instalacji (250 punktów poboru) zużycie to wynosi około $54 \text{ dm}^3/(\text{M} \cdot \text{d})$. Ze względu na niewielką liczbę punktów na rysunku tym nie pokazano przedziałów ufności.

Pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności dla poboru średniego w przeliczeniu na jednego mieszkańca praktycznie jest stała i wynosi około $11 \text{ dm}^3/\text{M}$.

Następnie przeanalizowano wpływ dobowego zużycia wody V_d na pojemność zasobnika o pełnej akumulacji V_{zo} . Aby możliwe było określenie wpływu

Analiza wyników pomiarów

Następnie przeanalizowano zauważony związek pomiędzy objętością zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zoa} a poborem dobowym wody w budynku V_d . Na początku określono równanie prostej regresji, ma ono postać:

$$V_{zoa} = a V_d + b = 0,2184 V_d + 0,0968 \quad (3)$$

Ponieważ parametr b ma stosunkowo niewielką wartość określono równanie prostej przechodzącej przez początek układu, wygląda ono następująco:

$$V_{zoa} = a' V_d = 0,2303 V_d \quad (4)$$

Następnie obliczono różnice pomiędzy określoną dla poszczególnych dób pojemnością zasobnika a wartościami określonymi z powyższej funkcji.

Poniżej na rysunku 3 pokazano wszystkie określone punkty oraz prostą

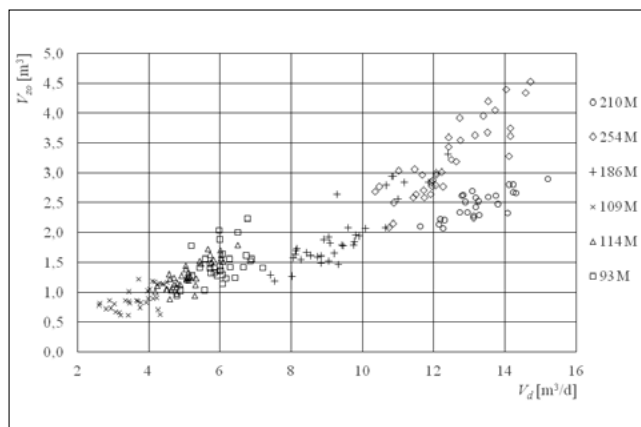
dobry to tym większy jest rozrzut wartości pojemności zasobnika względem prostej regresji i przyjętej prostej.

Z analizy wykresów wynika, że można dokonać przedstawienia pojemności zasobnika o pełnej akumulacji poprzez odniesienie jej do rozbioru dobowego:

$$V'_{zo} = \frac{V_{zo}}{V_d} \quad [d] \quad (5)$$

$$\Delta V'_{zo} = \frac{V_{zo} - V_{zoa}}{V_d} \quad [d] \quad (6)$$

Na rysunku 4 pokazano, określone na podstawie wyników pomiarów, poszczególne względne pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności V'_{zo} oraz różnice pomiędzy określonymi dla poszczególnych dób względnymi pojemnościami zasobnika o pełnej akumulacyjności a wartościami określonymi z przyjętej funkcji $V_{zo} - V_{zoa}$ w zależności od wielkości poboru dobowego ciepłej wody V_d . Można zauważyć, że dla obu grup danych rozrzut wartości pojemności



Rys 2.

Pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} dla poszczególnych badanych budynków (o różnej liczbie mieszkańców M) określona na podstawie pomiarów w zależności od pobranej ilości ciepłej wody w budynku w ciągu doby

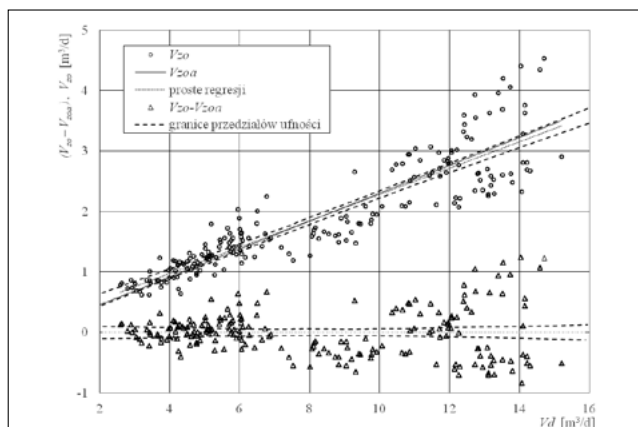
Fig. 2. Volume of a tank with a full thermal capacity V_{zo} for individual buildings (with a different number of inhabitants, M) based on measurements in relation to the daily hot water consumption in the building

poboru V_d na pojemność zasobnika V_{zo} niezależnie od liczby mieszkańców przeanalizowano uzyskane wyniki dla wszystkich obiektów i wszystkich badanych dni (dób). Na rysunku 2 przedstawiono objętości zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} w zależności od ilości pobranej wody w czasie doby V_d dla analizowanych budynków.

Na rysunku można zauważyć, że wymagana objętość zasobnika rośnie proporcjonalnie do ilości pobieranej wody w budynku i bardziej jest związana z ilością pobranej ciepłej wody w czasie doby niż z liczbą mieszkańców w budynku.

regresji i prostą przechodzącą przez początek układu. Zaproponowana zależność mieści się w przedziale ufności prostej regresji przy współczynniku ufności 0,95. Przebieg prostych wynikających z równania (3) i (4) jest do siebie zbliżony.

Przedstawiono również różnice pomiędzy tak określonymi pojemnościami zasobnika o pełnej akumulacyjności a wartościami określonymi z przyjętej funkcji aproksymującej również w zależności od wartości poboru dobowego ciepłej wody. Można zauważyć, że obie otrzymane grupy wyników charakteryzują się tym, że im wyższy pobór ciepłej wody w czasie



Rys 3.

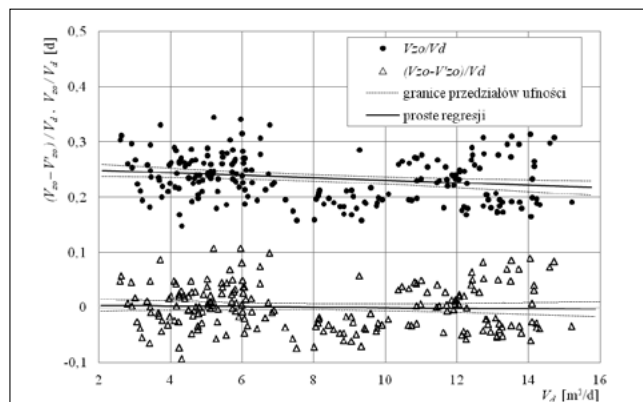
Pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} oraz różnice pomiędzy pojemnością zasobnika określoną dla poszczególnych dób i przyjętej funkcji, w zależności od pobranej ilości ciepłej wody w budynku w ciągu doby V_d
Fig. 3. Volume of a tank with a full thermal capacity V_{zo} and the differences between the volume of a tank determined for individual days and from the adopted function in relation to hot water consumption in the building during the day V_d

zasobnika względem linii trendu jest podobny.

Prosta regresji dla względnych różnic pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności oraz określonej na podstawie przyjętej funkcji praktycznie pokrywa się z osią Ox . Przyjęto więc, że względne różnice pojemności zasobnika nie zależą od wartości dobowego poboru. Obliczono średnie odchylenie kwadratowe, wynosi ono:

$$S'_{V_d} = 0,04039$$

W celu obliczenia analizowanej wartości o określonym prawdopodobieństwie



Rys 4.

Pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} oraz różnice pomiędzy pojemnością zasobnika określoną dla poszczególnych dni oraz z przyjętej funkcji odniesione do poboru średniego dobowego ciepłej wody w zależności od pobranej ilości ciepłej wody w budynku w ciągu doby V_d Fig. 4. Volume of a tank with a full thermal capacity V_{zo} and the differences between the volume of a tank determined for individual days and from the adopted function related to the average daily hot water consumption in relation to hot water consumption in the building during the day V_d

wraz z niższymi, w zależności od liczby mieszkańców budynku, można wykorzystać zależność dotyczącą standaryzowania rozkładu normalnego [2]:

$$V_{zo}(V_d, \alpha) = (\alpha' + z_\alpha S'_{V_d}) V_d \quad (7)$$

Gdzie wartość poboru jednostkowego ciepłej wody można np. przyjąć w zależności od prawdopodobieństwa występowania wraz z niższymi. Do jego określenia można wykorzystać złożony rozkład Poissona [7].

Na rysunku 5 pokazano wykresy pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} o różnym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi w funkcji poboru dobowego V_d określone na podstawie zależności (7).

Podsumowanie

Można przyjąć, że pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności w niewielkim stopniu zależy od liczby mieszkańców. Z przeprowadzonej analizy wyników wykonanych pomiarów można wysnuć

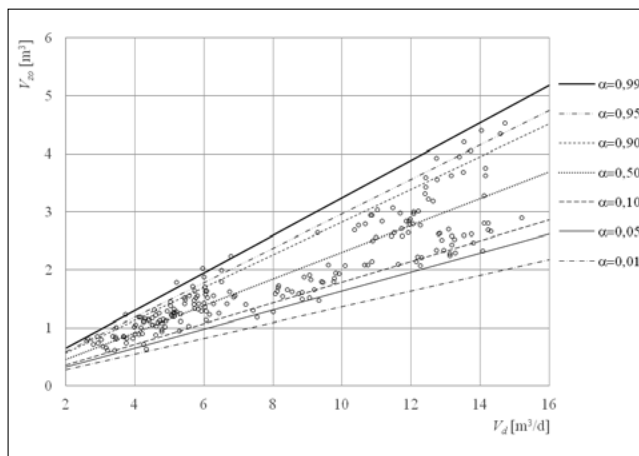
wniosek, że wartości objętości zasobnika o pełnej akumulacyjności zależą przede wszystkim od wielkości poboru dobowego.

Występuje wyraźna zależność pomiędzy dobowym zużyciem ciepłej wody w budynku a wymaganą pojemnością zasobnika o pełnej akumulacyjności.

W artykule określono zależność liniową pomiędzy zużyciem wody w budynku a wymaganą pojemnością zasobnika o pełnej akumulacyjności. Umożliwia to ustalenie wymaganej pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności w budynkach o różnej liczbie mieszkańców przy założeniu określonego prawdopodobieństwa występowania poboru ciepłej wody i określonego prawdopodobieństwa zapotrzebowania na pojemność zasobnika o pełnej akumulacyjności.

BIBLIOGRAFIA

- [1] American Water Works Association, Sizing water service lines and meters M22, Third Edition, Denver, AWWA 2014.
- [2] Benjamin J. R., Cornell C. A.: Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna



Rys.5.

Wykresy pojemności zasobnika o pełnej akumulacyjności V_{zo} o różnym prawdopodobieństwie występowania wraz z niższymi w funkcji poboru dobowego V_d wraz z danymi z pomiarów Fig. 5. Volume of a tank with a full thermal capacity V_{zo} with different probability of occurrence along with lower as a function of daily consumption V_d along with measurement data

i teoria decyzji dla inżynierów, WNT, Warszawa 1977.

- [3] 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> dostęp dnia 18.12.2021.
- [4] Mańkowski S.: Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej. Arkady, Warszawa, 1981.
- [5] Nejrzanowski J.: Określenie poborów chwilowych ciepłej wody użytkowej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych dla potrzeb wymiarowania układów jej przygotowania. Rozprawa doktorska WBIA ZUT w Szczecinie. Szczecin 2018.
- [6] PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu,
- [7] Szaflik W.: Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych. Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa, 2011.
- [8] Zarządzenie nr 47 Ministra Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 10 sierpnia 1974 roku w sprawie wytycznych projektowania instalacji centralnej ciepłej wody w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym. Dziennik Budownictwa nr 6 z dnia 12.10.1974.