



POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I GEODEZJI
Katedra Sieci i Instalacji Budowlanych

Nr albumu: **D-173**

mgr inż. Łukasz Jaworski

ROZPRAWA DOKTORSKA

***Rozwiązanie problemów hydraulicznych
i termodynamicznych w kotłowniach hybrydowych przez
połączenie szeregowe***

Promotor główny:

Prof. dr hab. inż. Alexander Shkarovskiy

Promotor pomocniczy:

dr inż. Magdalena Orłowska

KOSZALIN, 2022

SPIS TREŚCI

ZESTAWIENIE STOSOWANYCH SYMBOLI	4
STRESZCZENIE	6
SŁOWO WSTĘPNE	8
1. CZĘŚĆ TEORETYCZNA - STUDIUM.....	11
1.1. Przyczyny powodujące konieczność oddzielenia hydraulicznego	11
1.2. Układ technologiczny kotłowni	14
1.3. Parametry czynnika grzejnego.....	15
1.4. Rozdzielenie hydrauliczne obiegu pierwotnego od wtórnego.....	16
1.5. Teoretyczne zagadnienie układu cieplnego ze sprzęgłem hydraulicznym – model matematyczny	20
1.6. Przegląd stosowanych rozdzielaczy hydraulicznych.....	26
1.6.1. Pionowe rozdzielacze hydrauliczne.....	26
1.6.2. Pionowy rozdzielacz hydrauliczny z włączem rewizyjnym.....	26
1.6.3. Sprzęgło hydrauliczne - kolektor	27
1.6.4. Wartownik.....	29
1.6.5. Rozdzielacze hydrauliczne systemu ZORT-System.....	31
1.6.6. Rozwiązanie eksperymentalne	39
1.7. Podsumowanie części studialnej, teza pracy	40
2. CEL I ZAKRES PRACY	42
3. METODY BADAŃ.....	43
3.1. Badanie eksperymentalne wizualizacji przepływów w warunkach laboratoryjnych	43
3.1.1. Obliczenia konstrukcyjne sprzęgła termo-hydraulicznego....	45
3.1.2. Budowa oraz zasada działania sprzęgła termo- hydraulicznego.....	48
3.1.3. Tok postępowania przeprowadzania prób wizualnych na stanowisku badawczym.....	51
3.1.4. Model matematyczny	53
3.2. Badanie parametrów czynnika grzewczego w warunkach działalności świadczącej usługi noclegowe.....	56
3.2.1. Stan istniejący układu hybrydowego	56
3.2.2. Pomiar temperatury na zasileniu i powrocie oraz przepływów dla czterech obiegów grzewczych w warunkach rzeczywistych	59
4. WYNIKI BADAŃ.....	64
4.1. Wyniki badań eksperymentalnych.....	65
4.2. Wyniki badań w warunkach rzeczywistych	81
5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ.....	99
5.1. Metody analizy danych.....	118
5.2. Pomiary w trakcie pracy I obiegu na obieg II i IV	119

5.2.1.	<i>Analiza różnic w trakcie pracy I obiegu na obieg II i IV</i>	119
5.2.2.	<i>Analiza moderacji w trakcie pracy I obiegu na obieg II i IV</i>	124
5.3.	<i>Pomiary po zakończeniu pracy I obiegu na obieg II, III i IV</i>	127
5.3.1.	<i>Analiza różnic po zakończeniu pracy I obiegu na obieg II, III i IV.....</i>	127
5.3.2.	<i>Analiza moderacji po zakończeniu pracy I obiegu na obieg II, III i IV.....</i>	132
5.4.	<i>Niepewność pomiarów</i>	137
5.4.1.	<i>Analiza błędów pomiarowych.....</i>	138
6.	PODSUMOWANIE	150
7.	WNIOSKI.....	151
	SPIS TABEL	152
	SPIS RYSUNKÓW.....	155
	LITERATURA.....	160

ZESTAWIENIE STOSOWANYCH SYMBOLI

a, b, c, d, e – wymiary geometryczne charakteryzujące położenie rur i ścianek działowych sprzęgła termo-hydraulicznego, mm lub m

$c.o$ – centralne ogrzewanie

$c.w.u$ – ciepła woda użytkowa

c_p – ciepło właściwe wody, kJ/(kg · K)

Δt – różnica temperatury na zasilaniu i powrocie do kotła w warunkach obliczeniowych, K

D – średnia rozdzielacza, mm lub m

d – średnica głównej rury zasilającej do rozdzielacza, mm lub m

df – stopnie swobody

F – wartość analizy wariancji

G – masowe natężenie przepływu wody, kg/h

h – odległość między króćcami sprzęgła, mm lub m

H – przegroda zawirowująca

H_{nom} – nominalna wysokość podnoszenia pompy, mH₂O

L – długość całkowita obudowy sprzęgła termo-hydraulicznego

M – średnia,

N – liczba obserwacji

OZE – Odnawialne źródła energii

p – poziom istotności

P – strefa przepływów

Q – zapotrzebowanie na moc, kW

Q_{nom} – nominalny wydatek pompy, m³/h

Q_k – moc cieplna kotła, kW

R – segment sprzęgła termo-hydraulicznego

r_s – wartość korelacji Spearmana

S – płyta sitowa

SD – odchylenie standardowe

t – temperatura czynnika grzewczego, °C

$\dot{V}$ – objętościowe natężenie przepływu wody, m³/h

$\dot{V}_{PK}$ – wydatek pompy w obiegu pierwotnym, m³/h

$\dot{V}_{PO}$ – wydatek pompy w obiegu wtórnym, m³/h

w – prędkość przepływu wody w sprężgle, m/s

Z – strefa mieszania

η_p^2 – wielkość efektu

ρ – gęstość wody liczona jako średnia temperatura czynnika w danym obiegu w warunkach obliczeniowych, kg/m³

STRESZCZENIE

Niniejsza praca doktorska przedstawia problem równoważenia hydraulicznego i termodynamicznego w kotłowni hybrydowej z obiegami grzewczymi o zróżnicowanym i zmiennym w czasie zapotrzebowaniu na ciepło, prezentację istniejących dostępnych sprzęgieł hydraulicznych oraz nowatorskie opracowanie szeregowego sprzęgła termo-hydraulicznego wraz z przypisanym do niego modelem matematycznym. Dodatkowo przeprowadzono analizę porównawczą wyników badań w warunkach rzeczywistych i modelowych. Zastosowano analizę różnic średnich oraz ocenę moderacji.

Badania zostały dokonane w dwóch etapach; w warunkach laboratoryjnych zrealizowanych na Politechnice Koszalińskiej, na Wydziale Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji przy ulicy Śniadeckich 2 oraz w warunkach rzeczywistych przeprowadzonych w hotelu Services&Bistro zlokalizowanym w Koszalinie przy ulicy Dworcowej 5A.

Układy cieplne hybrydowe z kilkoma obiegami grzewczymi, charakteryzują się przeważnie zapotrzebowaniem na czynnik grzewczy o bardzo urozmaiconych parametrach, do tego zmieniających się w sposób skrajnie nieregularny. Tymi parametrami wpływającymi na moc każdego odbiornika są temperatura i przepływ wody grzewczej.

Obecnie na rynku istnieje wiele dostępnych typów sprzęgieł hydraulicznych. Jednak w układach hybrydowych z obiegami grzewczymi i zasilającymi połączonych szeregowo mogą okazać się nieskuteczne.

Zauważono, że systemy cieplne w pełni zautomatyzowane mogą paradoksalnie przyczyniać się do pogarszania sprawności tych układów, a tym samym zwiększania kosztów eksploatacyjnych. Właśnie trudny do przewidzenia charakter tych zmian, zainicjował ideę równoważenia za pomocą szeregowego sprzęgła hydraulicznego i potrzebę opracowania rozwiązania.

Słowa kluczowe: kotłownie hybrydowe, sprzęgło termo-hydrauliczne, równoważenie obiegów grzewczych, model matematyczny, logika temperaturowa, temperatura wody grzewczej, przepływ strumienia wody

ABSTRACT

This dissertation presents the problem of hydraulic and thermodynamic balancing in a hybrid boiler station with heating and supply circuits of varied and time-varying heat demand, a presentation of the existing available hydraulic distributors and an innovative development of a serial thermo-hydraulic distributor with a mathematical model. Additionally, a comparative analysis of the test results in real and model conditions was carried out. Analysis of mean differences and evaluation of moderation were applied.

The research was conducted in two stages: in laboratory conditions at Koszalin University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Environment and Geodesy at 2 Śniadeckich Street and in real life carried out at the Services & Bistro Hotel in Koszalin at 5A Dworcowa Street.

Hybrid thermal systems with several heating circuits are mostly characterized by the demand for a heating medium with very diversified parameters, which also change in an extremely irregular manner. The parameters influencing the power of each receiver are the temperature and flow of the heating water.

Currently, there are numerous types of hydraulic distributors available on the market. However, in hybrid systems with heating and supply circuits connected serially, they may turn out to be ineffective.

It has been noticed that fully automated thermal systems may paradoxically contribute to the deterioration of the efficiency of these systems, and thus increase operating costs. It was the unpredictable nature of these changes that initiated the idea of balancing with a serial hydraulic distributor and the need to develop a solution.

Keywords: hybrid boiler station, thermo-hydraulic distributor, balancing heating circuits, mathematical model, temperature logic, heating water temperature, water stream flow

SŁOWO WSTĘPNE

W myśl obowiązujących przepisów europejskich oraz państwowych [34][36][48][49][50][52] obecnie dąży się do tworzenia budynków o niskim zużyciu energii, czyli takich, które osiągają standard niskoenergetyczny. W obiektach nowobudowanych oraz przebudowywanych, instalacje wewnętrzne powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość energii cieplnej niezbędnej do wykorzystania w budynkach, zgodnie z jego przeznaczeniem, była utrzymywana na racjonalnie niskim poziomie poprzez zwiększanie dodatkowo udziału *OZE*, których główną zaletą jest zmniejszanie emisji gazów cieplarnianych.

W ostatnich latach stworzono wiele systemów grzewczych opartych na ekonomizacji procesu przygotowania oraz dostawy ciepła do odbiorców, minimalizacji strat, jak zarówno kosztów zużycia energii. Istotę planowanej energooszczędnej gospodarki w nowoczesnych instalacjach grzewczych stanowią odpowiednie sprecyzowane kryteria projektowe oraz założenia jakościowe. Kryteria projektowe obejmują; rodzaj i ilość źródła bądź źródeł ciepła, sposób dystrybucji ciepła, rodzaj urządzeń grzewczych oraz system regulacji. Założenia jakościowe uwzględniają; specyfikę układów, które wymagają obniżoną bądź podwyższoną temperaturę czynnika grzewczego, okresowe przegrzewy w układzie *c.w.u.*, kojarzenie ciepła ze źródeł podstawowych i alternatywnych oraz wykorzystywanie ciepła strumienia powracającego z układu przy braku rozbioru. W tak sprecyzowanym systemie gospodarowania energią cieplną, w układach technologicznych zauważyć można coraz to nowsze; bufory ciepła, pionowe rozdzielacze hydrauliczne, rozdzielacze hydrauliczne systemu ZORT oraz mini węzłki do przygotowania *c.w.u.* Choć mimo licznych przykładów skutecznego ich zastosowania, zwłaszcza w budownictwie mieszkaniowym, mogą pojawić się paradoksalnie nowe problemy związane z ich kompleksową eksploatacją [43].

Do najczęstszych problemów w trakcie eksploatacji nowych instalacji można zaliczyć:

- przegrzanie lub niedogrzanie budynków, co w przypadku przegrzania prowadzi do zwiększenia kosztów za energię,
- zbyt długi czas oczekiwania nagrzewania pomieszczeń po porannym rozruchu instalacji,

- brak zapewnienia wymaganego komfortu cieplnego, mimo zastosowania urządzeń o wymaganej mocy cieplnej,
- zbyt duże wahania temperatury powietrza w pomieszczeniach spowodowane niewłaściwą pracą zaworów regulacyjnych lub nieodpowiednią różnicą temperatury wody zasilającej a powrotnej,
- zbyt niska temperatura *c.w.u* podczas jej rozbioru,
- obniżenie sprawności źródła lub źródeł ciepła poprzez niedostateczne wykorzystanie energii cieplnej w obwodach odbiorczych zawartej w strumieniu powrotnym, które wynika ze specyfiki układu opartego na konieczności obniżenia jego temperatury bezpośrednio przed kotłem lub kotłami [4][43].

Problemy te są powiązane z zastosowaniem coraz doskonalszych materiałów izolujących termicznie nowopowstających budynków mieszkalnych oraz z udoskonaleniem układów instalacyjnych o małym zładzie, a tym samym, o małej bezwładności cieplnej, wyposażonych w niezbędną automatykę i nadrzędną armaturę [43]. Próby rozwiązania wymienionych problemów często prowadzą się do wymiany grzejników na mniejszą moc, pomp, podwyższenia temperatury wody zasilającej, a nawet do zmiany ustawień całego systemu sterowania. Jednak takie zabiegi są często nieskuteczne. Innym sposobem, znacznie poważniejszym, może być wykonanie równoważenia hydraulicznego poprzez montaż w instalacji, tzw. armatury równoważącej, której celem jest regulacja przepływów czynnika w poszczególnych jej częściach, zgodnych z przepływami obliczeniowymi. Czasami takie rozwiązanie nie gwarantuje jednak pełnej skuteczności [4].

Coraz częściej w budownictwie mieszkaniowym stosuje się instalacje hybrydowe, składające się z co najmniej dwóch niezależnych źródeł ciepła, którym pierwszym jest źródło na paliwo tradycyjne (szczególnie gazowe), a drugim instalacje *OZE*. Kotłownia hybrydowa składająca się z tych źródeł może być bardziej zadowalająca pod względem jej sprawności, ekonomiczności, ekologiczności oraz niezawodności w zaopatrzeniu odbiorców w ciepło [40]. Problemem jednak takich układów hybrydowych, szczególnie z obiegami grzewczymi i zasilającymi o zróżnicowanych parametrach pracy w czasie, jest zapewnienie prawidłowego zrównoważenia tych obiegów pod względem hydraulicznym (natężenia przepływu) i termodynamicznym (temperatury na zasileniu i powrocie).

Pragnę podziękować wszystkim, którzy pomagali mi podczas badań w warunkach laboratoryjnych oraz rzeczywistych oraz wspierali radą. Szczególne podziękowania składam moim promotorom za pomoc i radę podczas tworzenia rozprawy, a także pracownikom Katedry Sieci i Instalacji Budowlanych.

1. CZĘŚĆ TEORETYCZNA - STUDIUM

1.1. Przyczyny powodujące konieczność oddzielenia hydraulicznego

Największym problemem eksploatacyjnym każdej nowej bądź przebudowywanej instalacji jest zapewnienie prawidłowego funkcjonowania wszystkich składowych jej elementów pod względem hydraulicznym i termodynamicznym. Zadaniem każdego kompleksowego systemu grzewczego jest dostarczanie odpowiedniej mocy odbiorcom poprzez utrzymywanie odpowiedniego natężenia i temperatury czynnika grzewczego, szczególnie w czasie zmian zapotrzebowania na ciepło. Zmiany w instalacji centralnego ogrzewania są raczej płynne, jednak takim szokiem hydraulicznym, np. po przerwie nocnej, jest uruchomienie kotła(ów). W przypadku instalacji ciepłej wody, takim szokiem jest każde uruchomienie podgrzewacza *c.w.u.* Zbyt zmienne zapotrzebowanie na moc każdego odbiornika, szczególnie w rozbudowanych instalacjach, wiąże się często z dużymi skokami natężenia przepływu czynnika grzewczego. Utrzymywanie stanu pracy kotłów pod względem hydraulicznym i termicznym w takim przypadku staje nader trudne. Częste załączanie i wyłączanie kotłów może prowadzić do pogorszenia ich sprawności, a czasem do ich trwałego uszkodzenia. Zbyt niska sprawność urządzeń wiąże się z nadmiernym zużyciem paliwa oraz energii elektrycznej. Duże zmiany ciśnienia oraz strumienia masowego nie powinny zatem wpływać bezpośrednio na ten układ [41].

Rozróżnia się oddzielenie obiegów instalacyjnych jako całkowite (stałe) oraz częściowe (dynamiczne). Takie oddzielenie zapobiega zakłóceniom wywołanym przez zmiany nakładających się na siebie strumienia objętości i ciśnienia. Całkowite oddzielenie obiegu pierwotnego (kotłowego) od wtórnego (grzewczego) realizowane jest poprzez wymiennik ciepła, np. typu JAD. Cynniki grzewcze obu obiegów nie mieszają się. Rozwiązanie z wymiennikiem ciepła ma uzasadnienie wówczas wtedy, kiedy nie dochodzi do zbyt dużych wahań hydraulicznych po stronie odbiorczej. Z kolei częściowe oddzielenie obiegów dokonywane jest poprzez urządzenia zwane rozdzielaczami hydraulicznymi bądź sprzęgłami hydraulicznymi. Inne spotykane nazwy tego urządzenia to; wartownik, rozdzielacz termo-hydrauliczny, przekładnia,

przełącznik, reduktor hydrauliczny, komora ciśnienia, zwrotnica hydrauliczna, bezpiecznik hydrauliczny, flaszka termiczna lub wyrównywacz ciśnienia. Porównując ceny obu urządzeń, wymiennik ciepła, np. typu JAD, stanowi znaczny procent kosztów inwestycyjnych niż standardowe sprzęgło hydrauliczne [21][41]. Według literatury [47] oddzielenie obiegów grzewczych od obiegów pierwotnych poprzez sprzęgło powinno być realizowane w układach o mocy kotłów powyżej 120 kW.

Technologia centralnego ogrzewania w budynkach wielorodzinnych, biurowych, użyteczności publicznej itp., coraz częściej charakteryzuje się zróżnicowanymi parametrami pracy instalacji *c.o.*, *c.w.u.*, wentylacji bądź klimatyzacji. Głównym warunkiem prawidłowego funkcjonowania tych instalacji pod względem hydraulicznym jest wyeliminowanie wzajemnego wpływu na siebie strumieni wody wywoływane głównie pracą pomp [41]. Ekonomiczny dobór liczby i parametrów urządzeń, głównie takich jak kotły, pompy, zawory regulacyjne itp., jest możliwy wtedy, kiedy nastąpi oddzielenie układu technologicznego na obieg pierwotny i wtórny [23][47]. Pierwsze informacje w polskim czasopiśmie naukowym, z 1997r., które dotyczą problemów z poprawnym rozwiązaniem pod względem hydraulicznym wówczas powstających instalacji, zawarte są w artykule [15].

Układ hydrauliczny kotłowni może być podzielony na dwa praktycznie niezależne obiegi grzewcze; pierwotny i wtórny. Obieg pierwotny składa się z jednego lub kilku źródeł ciepła. Jeżeli są to kotły gazowe, to w zależności od zapotrzebowania na ciepło, mogą być uruchamiane bądź wyłączane z pracy, a przy palnikach dwustopniowych lub modulowanych mogą zmieniać się ich stopnie pracy. Załączanie i wyłączenie kotłów, a zarazem pomp lub zmianę ich prędkości obrotowej, powoduje skoki zmian strumienia objętości wody w całym obiegu. Obieg wtórny składa się z jednego lub częściej kilku obiegów instalacyjnych. Ruch czynnika wywołany jest przez pracę pomp obiegowych zainstalowanych na każdym obiegu grzewczym. Zapotrzebowania na ciepło w różnych obiegach instalacyjnych w danym czasie są różne. Często wymagane są inne parametry czynnika. Po stronie wtórnej, zmiany objętości strumienia wody mają charakter płynny z uwagi na stosowaną regulację jakościową dostarczanej mocy cieplnej realizowaną najczęściej poprzez zawory trójdrogowe [13].

Duża nierównomierność strumieni wody w obu obiegach jest szczególnie zauważalna w układach z dwoma lub większą ilością kotłów oraz gdy objętość zładu całej instalacji, zazwyczaj z wieloma obiegami grzewczymi charakteryzującymi się zmiennymi parametrami w czasie (temperatury i przepływu) jest duża i wynosi co najmniej $15 \text{ dm}^3/\text{kW}$ mocy cieplnej. W obiegu pierwotnym natężenie przepływu wody będzie zmieniać się skokowo, ponieważ zależęć będzie to od załączania lub wyłączania pomp wbudowanych w kocioł lub zainstalowanych przy źródle ciepła na zasileniu lub powrocie. Z kolei w obiegu wtórnym zmiana strumienia wody wywoływana jest przez pracę pomp lub zaworów mieszających zamontowanych w poszczególnych obiegach. Zmiany te są zazwyczaj płynne [18].

Nierównomierność strumieni wody może być również w instalacjach *c.o* z ogrzewaniem podłogowym wyposażonych w jeden kocioł. Natężenie przepływu wody w obiegu ogrzewania podłogowego z uwagi na małą wartość Δt może być znaczne w stosunku do całej instalacji. W takiej sytuacji należy zrównoważyć różnicę strumieni wody w tych obiegach poprzez wbudowanie w instalacji sprzęgła hydraulicznego lub zaworu czterodrogowego [18][41].

Zastosowanie rozdzielacza hydraulicznego wpływa ekonomicznie na eksploatację instalacji, ponieważ istnieje możliwość regulacji i sterowania każdego obiegu kotłowego i wtórnego [47]. Oddzielenie obiegów za pomocą sprzęgła dodatkowo umożliwia; łatwy dobór pomp oraz zaworów regulacyjnych, uzyskanie niezależności obiegów grzewczych poprzez ich hydrauliczne „odprężanie”, dostarczanie właściwego strumienia masowego do kotłów i odbiorników, brak wzajemnego wpływu obwodów grzewczych, odpowietrzenie i odmulanie [31][46][47].

Zalecane jest stosowanie sprzęgieł hydraulicznych nie tylko w instalacjach nowobudowanych, ale również w przebudowywanych [18]. Stare instalacje charakteryzują się najczęściej dużymi pojemnościami zładów grzewczych. W takim przypadku celowe jest stosowanie sprzęgieł hydraulicznych [47]. Istnieje możliwość stosowania nawet kilka sprzęgieł hydraulicznych pojedynczo dla indywidualnych instalacji w budynkach zasilanych ze wspólnej kotłowni o dużej mocy [15].

W dzisiejszych czasach coraz bardziej poszukuje się wydajnych i ekonomicznych systemów zaopatrzenia w ciepło charakteryzujących się zróżnicowanymi parametrami pracy. Wszelkie wymogi wysokiego komfortu

funkcjonalności stawiane są przede wszystkim w nowopowstających budynkach mieszkalnych, przemysłowych i publicznych. Jest to zadanie skomplikowane, jeśli w całym systemie ogrzewania obiegi grzewcze gwałtownie różnią się parametrami pracy [1][44]. Z tego tytułu, jednym z głównych obiecujących obszarów badań jest opracowywanie i wdrażanie ulepszonych metod akumulacji i dystrybucji ciepła.

1.2. Układ technologiczny kotłowni

Układ technologiczny kotłowni, którego głównym zadaniem jest bezpieczne wytwarzanie i dostarczanie odpowiedniej ilości ciepła do odbiorników w obiekcie, składa się głównie z układu hydraulicznego, układu doprowadzania paliwa, układu odprowadzania spalin i układu automatyki. Zadaniem układu hydraulicznego jest dostarczanie odpowiedniej ilości czynnika do poszczególnych odbiorników charakteryzujących się zazwyczaj zróżnicowanymi parametrami pracy. Układ ten obejmuje kotły, sprzęgła hydrauliczne, podgrzewacze, przewody rozprowadzające, zawory, filtry itp. Układ doprowadzania paliwa obejmuje dostarczanie odpowiedniej ilości paliwa do paleniska bądź palnika natomiast układ odprowadzania spalin obejmuje głównie przewody odprowadzające spaliny na zewnątrz. Zadaniem układu automatyki jest zapewnienie optymalnego działania wszystkich wymienionych układów technologicznych kotłowni głównie poprzez sterowniki oraz czujniki [18]. Podział urządzeń hydraulicznych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podział urządzeń hydraulicznych w kotłowni [18]

Urządzenia przekazujące ciepło i energię	Urządzenia regulacyjne	Urządzenia kontrolno-pomiarowe	Urządzenia zabezpieczające
• Kotły • Wymienniki ciepła • Podgrzewacze c.w.u. • Pompy • Sprzęgła hydrauliczne	• Zawory mieszające • Zawory przełączające • Regulatory przepływu • Regulatory temperatury • Regulatory ciśnienia	• Termometry • Manometry • Wodowskazy • Czujniki temperatury • Czujniki ciśnienia • Ciepłomierze • Przepływomierze	• Zawory bezpieczeństwa • Naczynia wzbiorcze • Urządzenia zabezpieczające przed opróżnianiem się kotła z wody • Zawory odcinające • Zawory zwrotne • Zawory odpowietrzające • Zawory spustowe • Odmulacze • Tłumiki hałasu

Elementy układu hydraulicznego kotłowni można podzielić na cztery grupy [18]:

- urządzenia przekazujące ciepło i energię – służą do przetwarzania i przekazania strumienia energii – do tej grupy ich zalicza się różnego rodzaju sprzęt hydrauliczne,
- urządzenia regulacyjne – służą do optymalnego rozprowadzania strumienia energii do odbiorników,
- urządzenia kontrolno-pomiarowe – służą do kontrolowania i odczytywania parametrów pracy kotłowni,
- urządzenia zabezpieczające – zapewniają bezawaryjną pracę kotłowni.

Pewnym paradoksem jest fakt, iż wysoki poziom automatyzacji nowoczesnych instalacji jest przyczyną pojawiania się problemów związanych z ustaleniami parametrów czynnika grzejjego [41].

1.3. Parametry czynnika grzejjego

Kotłownia grzewcza powinna być tak zaprojektowana, aby w szczycie największego zapotrzebowania na moc odbiorników, była zdolna do ich pokrycia [51]. W obliczeniach obciążeń cieplnych pomieszczeń przyjmuje się obliczeniowe temperatury powietrza zewnętrznego dla okresu zimowego określone dla poszczególnych stref klimatycznych [28][29][30]. Dla tak określonych obciążeń cieplnych, projektuje się odbiorniki, które pozwalają na pokrycie wymaganej mocy. Medium grzewcze dostarczane do każdego odbiornika w instalacji, w zależności od chwilowej mocy zapotrzebowania, powinno posiadać odpowiednią temperaturę na zasileniu i powrocie oraz właściwy przepływ.

Należy pamiętać, że dla ustalonych parametrów czynnika grzewczego uzyskuje się wymaganą moc urządzenia. Na przykład, producent grzejników *Heat & Style* podaje w kartach katalogowych trzy wartości mocy dla tego samego typu grzejnika (SPL22-600x800-VP-WS): dla parametrów 90/70/20 osiąga moc 1504 W, dla 75/65/20 osiąga 1180 W, a dla 55/45/20 osiąga 614 W. Zatem dostosowanie parametrów temperaturowych czynnika grzejjego w instalacji w danym czasie jest niezwykle ważne z uwagi na komfort cieplny oraz ekonomię zużycia energii cieplnej na ten cel. Niedostosowanie tych parametrów wiąże się z niedogrzewaniem lub przegrzewaniem pomieszczeń, co w przypadku przegrzania prowadzi do zwiększenia kosztów za energię.

Ważnym parametrem czynnika grzejnego wpływającym na ten fakt jest również przepływ. Aby poszczególne odbiorniki mogły osiągnąć wymaganą moc przy założonym spadku temperatury (np. 10 K), należy zapewnić dla każdego odbiornika odpowiedni strumień masowy wody. Prędkość przepływu czynnika grzejnego w instalacjach centralnego ogrzewania nie powinna przekraczać 1 m/s ze względu na szумы. Na przykład, jeżeli instalacja centralnego ogrzewania wykonana jest z przewodów miedzianych, to dla średnic do 22 mm, prędkość przepływu nie powinna przekraczać 0,3 m/s, a dla średnic większych od 28 mm, prędkość nie powinna przekraczać 0,5 m/s. W oparciu o projektowe prędkości ustala się dopuszczalne przepływy medium. Odpowiednie dostosowanie czynnika grzejnego pod względem temperatury oraz natężenia w danym czasie umożliwia uzyskanie właściwej mocy odbiornika [14].

1.4. Rozdzielenie hydrauliczne obiegu pierwotnego od wtórnego

Rozdzielenie hydrauliczne obiegu pierwotnego od wtórnego można zrealizować poprzez wbudowanie w instalacji [18]:

- sprzęgieł hydraulicznych, tj.:
 - pionowy rozdzielacz hydrauliczny, w skrócie PRH (zwany czasami „hydrauliczną wajchą”, z niemieckiego „Hydraulische Weiche”),
 - rozdzielacz systemu ZORT-System,
- spięcie rozdzielaczy zasilającego i powrotnego,
- czterodrogowych zaworów mieszających.

Pionowy rozdzielacz hydrauliczny to urządzenie, którego głównym zadaniem jest hydrauliczne oddzielenie obiegu pierwotnego od wtórnego celem zrównoważenia różnic strumieni wody w tych obiegach [15][18][27][41]. Zapewnia ono pełną niezależność, ponieważ chwilowy strumień wody w obiegu pierwotnym nie zależy od strumienia wody w obiegu wtórnym [23]. Przykładową tabelę doborową sprzęgła hydraulicznego firmy *Flamco* przedstawia tabela nr 2, natomiast wygląd zewnętrzny rys. 1.



Rys. 1. Wygląd zewnętrzny sprzęgła hydraulicznego firmy Flamco [31]

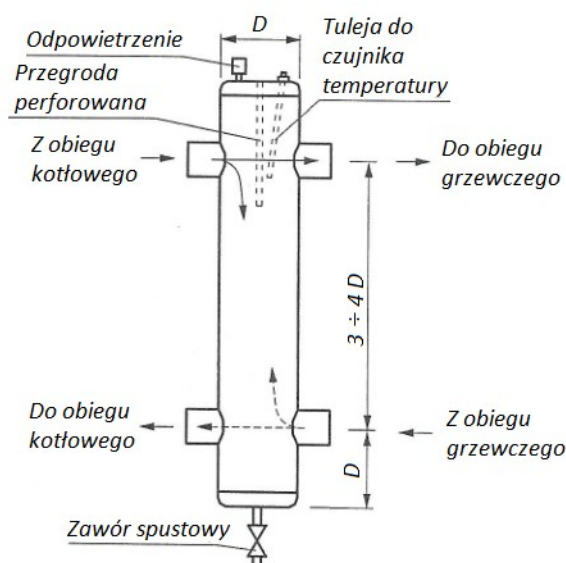
Tabela 2. Tabela doborowa sprzęgła hydraulicznego firmy Flamco [31]

Typ sprzęgła	Rozmiar króćców	Rozstaw króćców	Wysokość całkowita	Ciśnienie maks.	Przepływ maks.	Moc znamionowa przy $\Delta T=20$ K
	" / DN	[mm]	[mm]	[bar]	[m ³ /h]	[kW]
FlexBalance	1	250/290	600	6	3,5	80
FlexBalance	1¼	300/340	670	6	4,5	104
FlexBalance	1½	300/340	670	6	6,0	138
FlexBalance	2	350/400	745	6	9,0	207
FlexBalance	50	490	900	10	15	345
FlexBalance	65	635	1045	10	17	390
FlexBalance	80	745	1340	10	30	690
FlexBalance	100	965	1585	10	55	1260
FlexBalance	125	1180	2065	10	80	1850
FlexBalance	150	1430	2585	10	120	2750
FlexBalance	200	1860	3355	10	200	4600
FlexBalance	250	2340	4136	10	350	8000
FlexBalance	300	2790	4586	10	500	11500
FlexBalance	350	3060	5360	10	600	13800
FlexBalance	400	3500	6115	10	800	18400

W Europie rozdzielacze hydrauliczne zaczęto stosować już w latach siedemdziesiątych XX wieku [38]. Na rynku polskim pojawiły się one nieco później. Pierwsze informacje w polskim czasopiśmie naukowym, z 1995r., które dotyczą rozdzielaczy hydraulicznych, można znaleźć w artykule [23].

Pionowy rozdzielacz hydrauliczny zbudowany jest najczęściej z pionowej rury zaślepionej z obu stron, wyposażoną w dwie pary króćców przyłączeniowych, odpowietrznik oraz zawór spustowy. Rozdzielacz hydrauliczny powinien być tak zwymiarowany, aby uzyskać minimalny spadek ciśnienia (teoretycznie zerowy) przy przepływie obliczeniowym pomiędzy

wlotem a wylotem urządzenia. Zmniejszona prędkość wody w PRH sprzyja wydzielaniu się pęcherzyków powietrza oraz sedymentacji zanieczyszczeń z całej instalacji. Związku z tym, najczęściej rozdzielacz wyposażony jest w górnej części automatyczny odpowietrznik, natomiast w dolnej, w zawór szlamowy. Praca takiego zaworu może być ręczna bądź automatyczna. Proces odmulania jest szczególnie ważny w układach otwartych z uwagi na częste pojawianie się szlamu powstającego głównie z procesów korozyjnych. Dzięki takiemu rozwiązaniu PRH zabezpiecza pompy, kotły itp. przed uszkodzeniem [22]. Wewnątrz pionowego rozdzielacza hydraulicznego zamocowana jest perforowana przegroda, której zadaniem jest uspokajanie strumieni wody grzewczej. Za przegrodą może być umieszczony czujnik temperatury. Warto zauważyć to, że kolejność uruchomienia kotła lub kolejnego stopnia palnika zależy od temperatury czynnika w sprężle w strefie pomiaru, a nie temperatury wody na wylocie z danego kotła. PRH powinien być tak zaprojektowany, aby nie było teoretycznie spadku ciśnienia między wlotem a wylotem urządzenia [18][23][37][41]. Jeżeli jest wymagany wysoki stopień efektywności pozbywania się pęcherzyków powietrza i zanieczyszczeń, sprężła hydrauliczne typu *Flamco FlexBalance Plus* wyposażone są dodatkowo wewnątrz w kosze wypełnione pierścieniami *Pall'a* ze stali szlachetnej umożliwiając w ten sposób skuteczniejszą separację gazów i zanieczyszczeń. Dodatkowo sprężło tego typu wyposaża się w separator powietrza zamiast standardowego odpowietrznika [31]. Przekrój poprzeczny typowego pionowego rozdzielacza przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny PRH [18]

Średnicę D rozdzielacza określa się poprzez określenie prędkości przepływu wody wewnątrz urządzenia w przedziale od 0,1 m/s do 0,15 m/s. Przyjęta średnica D urządzenia w stosunku do króćców przyłączeniowych jest na tyle duża, że można przyjąć, iż stanowi on zerowy punkt ciśnienia w instalacji (uwzględniając ciśnienie dynamiczne). Dzięki temu umożliwia swobodne ukierunkowanie strumieni wody w PRH [18][23][41]. Strata ciśnienia dla sumarycznego przepływu wszystkich obiegów jest bardzo mała i dlatego jakakolwiek zmiana przepływu, choć w jednym obiegu, nie wywołuje zauważalnych zmian w pozostałych obiegach wyposażonych praktycznie we własną pompę [38].

Z uwagi na zalecaną małą prędkość strumieni wody, PRH spełnia również funkcję odmulacza. Odpowiednia odległość między króćcami przyłączeniowymi urządzenia ($3 \div 4D$) zapewnia prawidłowe wymieszanie się strumieni wody, a tym samym odpowiednie uwarstwienie pola temperaturowego. Odległość między króćcami może być krótsza i mieścić się w zakresie $1,6 \div 2,5D$. W przypadku większej mocy cieplnej kotłowni, warunek ten pozwala na ograniczenie nadmiernej wysokości PRH [27][41]. Aby zapewnić prawidłowy proces odmulania, króćce powrotne powinny być usytuowane w odległości co najmniej wartości średnicy D od dna urządzenia. Sumaryczna powierzchnia otworów w przegrodzie umieszczonej wewnątrz urządzenia powinna odpowiadać powierzchni przyłączeniowego króćca [27][41].

Średnicą sprzęgła hydraulicznego można określić ze wzoru 1 na moc cieplną kotła [47]:

$$Q_K = \dot{V}_K \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t \text{ [kW]} \quad (1)$$

w którym:

- $\dot{V}_K$ – objętościowe natężenie przepływu przez kocioł [m^3/h],
- ρ – gęstość wody liczona jako średnia temperatura czynnika w danym obiegu w warunkach obliczeniowych [kg/m^3],
- c_p – ciepło właściwe wody [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$],
- Δt – różnica temperatury na zasilaniu i powrocie do kotła w warunkach obliczeniowych [K].

Znając moc cieplną kotła można wyliczyć objętościowe natężenie przepływu przez kocioł $\dot{V}_K$, a następnie określić przekrój poprzeczny komory sprężła F przy założonej prędkości przepływu wody w sprężle $w = 0,1 \div 0,15$ m/s [47]:

$$\dot{V}_K = \frac{Q_K}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta t} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (2)$$

$$F = \frac{\dot{V}_K}{w} \text{ [m}^2\text{]} \quad (3)$$

Przykładowo, dla $Q_K=140$ kW, $\Delta t=15$ K, to $\dot{V}_K \approx 12$ m³/h. Dla prędkości $w = 0,15$ m/s, to $F = 0,02$ m². Średnica sprężła D_S będzie wynosiła zatem 0,16 m. Średnicę króćców sprężła określa się dla prędkości maksymalnej 1 m/s. Dla prędkości 0,60 m/s, $D_K=0,08$ m. Zakładając odległość między króćcami $h=3D$, h będzie wynosiło 0,50 m.

Sprężło hydrauliczne może być zastosowane zarówno w układach otwartych oraz w zamkniętych. Naczynie wzbiornicze przeponowe może być podłączone bezpośrednio do sprężła [22].

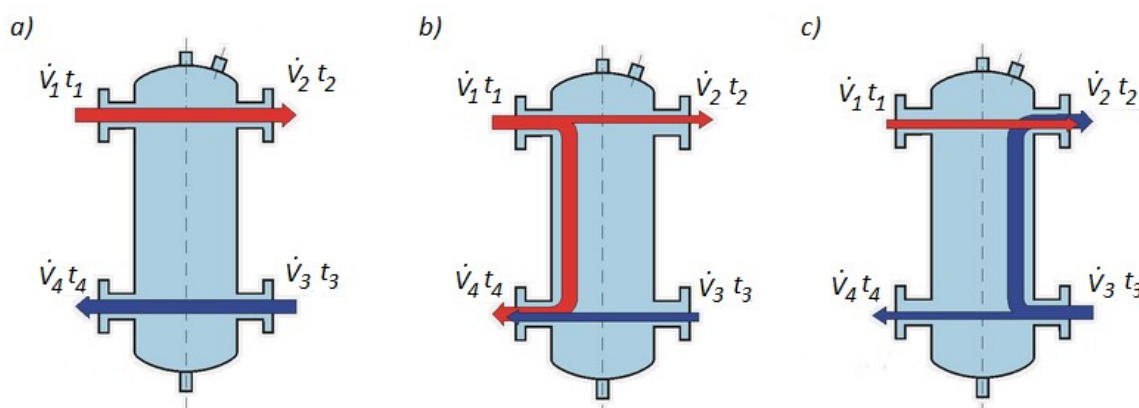
W przypadku niepoprawnego doboru średnicy sprężła, np. zbyt małe, urządzenie straci swoje wszystkie zalety [38]. Układ technologiczny będzie zachowywał się tak, jakby nie był wyposażony w sprężło. Zatem, nie uzyska się prawidłowego funkcjonowania wszystkich składowych jej elementów pod względem hydraulicznym oraz termodynamicznym.

1.5. Teoretyczne zagadnienie układu cieplnego ze sprężłem hydraulicznym – model matematyczny

Wyróżnia się trzy przypadki rozkładu strumienia objętości czynnika grzewczego w PRH [13][15][18][27][31][41][43][52][53]:

- a) strumień objętości wody grzewczej w obiegu pierwotnym i wtórnym są równe,
- b) strumień objętości wody grzewczej w obiegu pierwotnym jest większy niż w obiegu wtórnym,
- c) strumień objętości wody grzewczej w obiegu pierwotnym jest mniejszy niż w obiegu wtórnym.

Kierunki strumienia objętości wody grzewczej w PRH przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Kierunki przepływu w PRH[55]

Strumienie objętości wody grzewczej w obu stronach nie są zazwyczaj jednakowe, tak jak to przedstawia rys. 3 a). Taka faza pracy możliwa jest tylko w warunkach obliczeniowych, przy obliczeniowej temperaturze zewnętrznej, np. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zatem, dla danego przypadku można zapisać:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \quad (4)$$

$$\dot{V}_3 = \dot{V}_4 \quad (5)$$

$$t_1 = t_2 \quad (6)$$

$$t_3 = t_4 \quad (7)$$

gdzie:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \dot{V}_3 = \dot{V}_4 = \dot{V} \quad (8)$$

$$\dot{V}_1 + (-\dot{V}_4) = \dot{V}_2 + (-\dot{V}_3) \quad (9)$$

$$t_1 = t_2 > t_3 = t_4 \quad (10)$$

Rys. 3 b) przedstawia kierunek przepływu w urządzeniu z góry do dołu. Gdy strumień objętości w obiegu pierwotnym jest większy niż w obiegu wtórnym, nadmiar wody grzewczej wraca z powrotem do kotła bądź kotłów. Występuje przykładowo w czasie przemykania bądź zamykania zaworów trójdrogowych po stronie odbiorczej ciepło. Następuje zwiększenie temperatury wody powrotnej, co w rezultacie jest korzystne dla większości kotłów niekondensacyjnych przed wykraplananiem się pary wodnej ze spalin. W takim

przypadku sprzęgło hydrauliczne działa jak zawór trójdrogowy mieszający, jednak spadek ciśnienia jest pomijalnie mały w stosunku do spadku ciśnienia na zaworze trójdrogowym. Zatem, dla danego przypadku można zapisać:

$$\dot{V}_1 > \dot{V}_2 \quad (11)$$

$$\dot{V}_3 < \dot{V}_4 \quad (12)$$

$$t_1 = t_2 \quad (13)$$

$$t_3 < t_4 \quad (14)$$

Rys. 3 c) przedstawia kierunek przepływu z dołu do góry. Jest to tak zwany przepływ wsteczny. Występuje przykładowo w momencie rozruchu instalacji *c.o.*, np. po nocnej przerwie. Gdy strumień objętości w obiegu pierwotnym jest mniejszy niż w obiegu wtórnym, nadmiar wody grzewczej powracającej wpływa do obiegów grzewczych. Wówczas temperatura wody zasilającej po stronie obiegu grzewczego stopniowo obniża się, co w konsekwencji dochodzi do niepotrzebnego uruchomienia kotła lub kolejnego stopnia jego palnika. Zatem, dla danego przypadku można zapisać:

$$\dot{V}_1 < \dot{V}_2 \quad (15)$$

$$\dot{V}_3 > \dot{V}_4 \quad (16)$$

$$t_1 > t_2 \quad (17)$$

$$t_3 = t_4 \quad (18)$$

Z tego powodu, prawidłowe funkcjonowanie pionowego rozdzielacza hydraulicznego uznaje się wtedy, gdy strumień objętości w obiegu pierwotnym jest większy niż w obiegu wtórnym o około 20÷30% [15][18][27][31][47][52].

$$\sum \dot{V}_{PK} = (1,2 \div 1,3) \sum \dot{V}_{PO} \quad (19)$$

w którym:

- $\sum \dot{V}_{PK}$ – suma wydatku pompy/pomp w obiegu pierwotnym [m^3/h],
- $\sum \dot{V}_{PO}$ – suma wydatku pompy/pomp w obiegu wtórnym [m^3/h].

Zatem wydatek pompy w obiegu pierwotnym można wyznaczyć ze wzoru:

$$\dot{V}_{PK} = \frac{(1,2 \div 1,3)Q_k \cdot 3600}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta t} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (20)$$

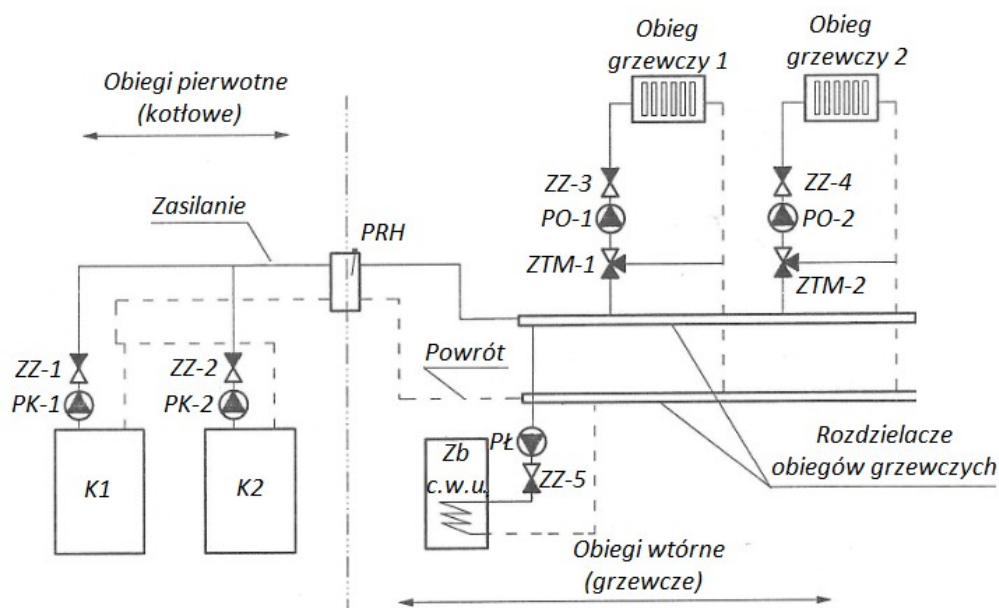
w którym:

- Q_k – moc cieplna kotła [kW],
- ρ – gęstość wody liczona jako średnia temperatura czynnika w danym obiegu w warunkach obliczeniowych [kg/m^3],
- c_p – ciepło właściwe wody [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$],
- Δt – różnica temperatury na zasilaniu i powrocie do kotła w warunkach obliczeniowych [K].

Warto zwrócić uwagę na to, że prawidłowe działanie sprzęgła hydraulicznego jest uzależnione od odpowiedniej ilości strumienia wody w obiegu pierwotnym i wtórnym [46]. Jeżeli wartość strumienia w obiegu wtórnym zdecydowanie przekracza wartość strumienia w obiegu pierwotnym, to przepływ wody w urządzeniu z góry do dołu może nie być uzyskany.

Wydatek pompy w obiegu grzewczym $\dot{V}_{PO}$ określa się ze wzoru (19), lecz bez współczynnika (1,2 ÷ 1,3). Wysokość podnoszenia pompy w kotle H_{PK} określa się poprzez uwzględnienie oporów liniowych i miejscowych w obiegu pierwotnym, natomiast wysokość podnoszenia pompy w danym obiegu grzewczym H_{PO} oblicza się poprzez określenie oporów liniowych i miejscowych do najbardziej niekorzystnego punktu [18][27][52].

Uproszczony schemat technologiczny z pionowym rozdzielaczem hydraulicznym przedstawiono na rys 4.



OZNACZENIA:

PRH - Pionowy rozdzielacz hydrauliczny
 K1, K2 - Kotły
 PK-1, PK-2 - Pompy kotłowe
 PO-1, PO-2 - Pompy obiegowe
 PŁ - Pompa ładująca Zb c.w.u.
 Zb c.w.u. - Zbiornik ciepłej wody użytkowej
 ZTM-1, ZTM-2 - Zawory trójdrogowe mieszające
 ZZ-1÷ZZ-5 - Zawory zwrotne

Rys. 4. Schemat technologiczny z PRH [1]

Zastosowanie PRH w instalacjach powoduje rozdział nośnika ciepła w taki sposób, że często następuje podwyższenie temperatury wody powracającej do kotła bądź kotłów. Jest to problematyczne dla kotłów kondensacyjnych, ponieważ nie da się zawsze uzyskać rozptywu wody zasilającej bez wymieszania z wodą powrotną do kotła [53]. Powoduje to obniżenie sprawności kotła kondensacyjnego, zwłaszcza, gdy obniżenie temperatury spalin o 1 K poniżej temperatury punktu spalin powoduje wzrost sprawności kotła od 0,46% do 0,59%. Problem taki obserwuje się szczególnie w kaskadach z kotłami kondensacyjnymi wyposażonych we własne pompy. Mimo to, stosowanie sprzęgieł hydraulicznych w takich układach zalecane jest przez niektórych producentów.

Wg literatury [12][13], przy odpowiednim zwymiarowaniu układu technologicznego z kotłami kondensacyjnymi o małej pojemności grzewczej lub o małej różnicy temperatury zasilania i powrotu obiegów, można zastosować pionowe sprzęgło hydrauliczne, ale gdy suma wydajności pomp obiegów pierwotnych i wtórnych byłyby tożsame. Układ technologiczny mógłby być

wyposażony w kotły z własną wbudowaną pompą lub jedną dla wszystkich kotłów (preferowane rozwiązanie). W obiegu pierwotnym należałoby zastosować pompę obiegu kotłowego o zmiennej prędkości obrotowej. Wydajność pompy musiałaby spadać przy wzroście temperatury czynnika powracającego do kotła w stosunku do temperatury czynnika powracającego z instalacji. Kotły mogłyby pracować przy niewielkim obciążeniu. Regulacja pracy pompy miałaby być ustalana na podstawie odczytów z dwóch czujników temperatury poprzez regulator. Pierwszy czujnik miałby być zamontowany przed sprzęgłem, na przewodzie powracającym z instalacji, drugi zaś za sprzęgłem, na przewodzie powracającym do kotła. W przypadku wzrostu temperatury czynnika powracającego do kotła w stosunku do temperatury czynnika powracającego do instalacji, regulator miałby wysyłać sygnał zmniejszający wydajność pompy kotłowej. Jak podaje literatura [12][13], taka regulacja gwarantowałaby zabezpieczenie sprzęgła przed strumieniem wstecznym oraz kotła kondensacyjnego przed wodą powracającą o podwyższonej temperaturze, co znacznie poprawiłoby sprawność kotłowni.

Nie tylko układ z sprzęgłem hydraulicznym zapewnia podwyższenie temperatury wody powracającej do źródła ciepła. Taki proces można zaobserwować w układach [52]:

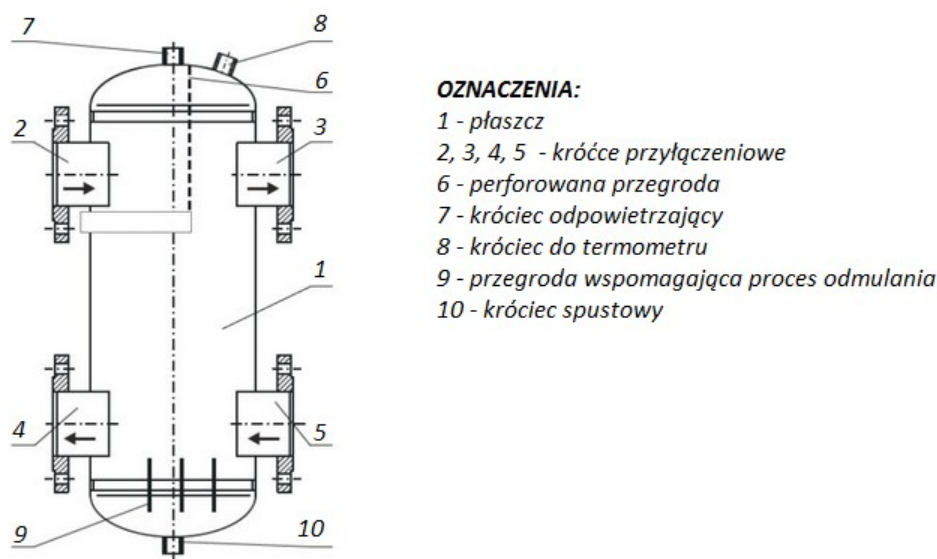
- z indywidualnymi pompami mieszającymi kotłów,
- z indywidualnymi pompami mieszającymi kotłów oraz zaworami regulacyjnymi,
- z indywidualnymi pompami w obiegu pierwotnym oraz zaworami regulacyjnymi,
- ze wspólną pompą mieszającą do kilku kotłów,
- ze wspólną pompą mieszającą do kilku kotłów oraz zaworem regulacyjnym,
- ze wspólną pompą obiegu kotłowego oraz przewodem upustowym,
- ze wspólną pompą obiegu kotłowego oraz zaworem regulacyjnym.

Należy pamiętać, że każde źródło ciepła w układach ze sprzęgłami hydraulicznymi pracujące w instalacji typu zamkniętego musi posiadać co najmniej jeden zawór bezpieczeństwa. Jeśli układ technologiczny jest typu otwartego, takim zabezpieczeniem jest naczynie otwarte [41].

1.6. Przegląd stosowanych rozdzielaczy hydraulicznych

1.6.1. Pionowe rozdzielacze hydrauliczne

Na rynku istnieje wiele firm produkujących standardowe pionowe rozdzielacze hydrauliczne. Można wymienić takie jak: „Afriso”, „Elterm”, „Keller”, „Termen” i „Terwat”. Rozdzielacze hydrauliczne tego typu występują w wykonaniu pionowym, o przekroju cylindrycznym, które mogą być montowane w układach z jednym bądź kilkoma kotłami. Podstawowym wyposażeniem takich urządzeń to; przegroda perforowana, króciec do podłączenia odpowietrznika, tuleja dla termometru bądź czujnika termometru oraz króciec odmulający. Wyróżnia się różne modyfikacje tego typu sprzęgła, np. z króćcami kołnierзовymi albo gwintowanymi, z izolacją termiczną lub bez, itp. Budowę wewnętrzną standardowego PRH firmy („Termen” typu SP) przedstawiono na rys. 5.



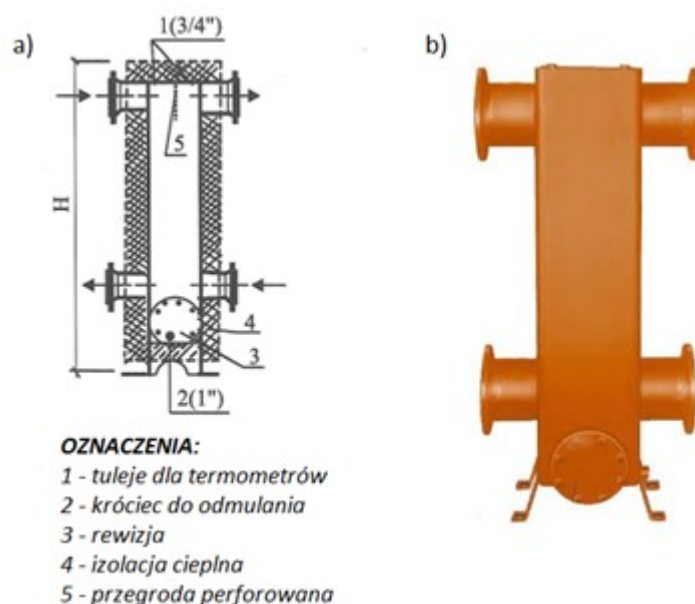
Rys. 5. Budowa wewnętrzna standardowego PRH[31]

Rozdzielacze tego typu są powszechnie stosowane.

1.6.2. Pionowy rozdzielacz hydrauliczny z włączem rewizyjnym

Rozdzielacze hydrauliczne firmy „MAGRA” również są urządzeniami pionowymi, lecz o kwadratowym przekroju [41]. Podstawowym wyposażeniem urządzenia to; przegroda perforowana, tuleje dla termometrów bądź czujników termometrów oraz zawór odmulający. Urządzenie różni się od standardowych sprzęgła hydraulicznych tym, że posiada włącz rewizyjny. Może być również

wyposażony w prefabrykowaną izolację cieplną. Odpowietrznik można zamontować przed lub za urządzeniem. Budowę, zdjęcie urządzenia wraz z tabelą doborową sprzęgła firmy „MAGRA” przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. a) budowa wewnętrzna, b) wygląd zewnętrzny PRH firmy „MAGRA”[41][61]

Tabela 3. Typ WST PRH firmy „MAGRA”[41][61]

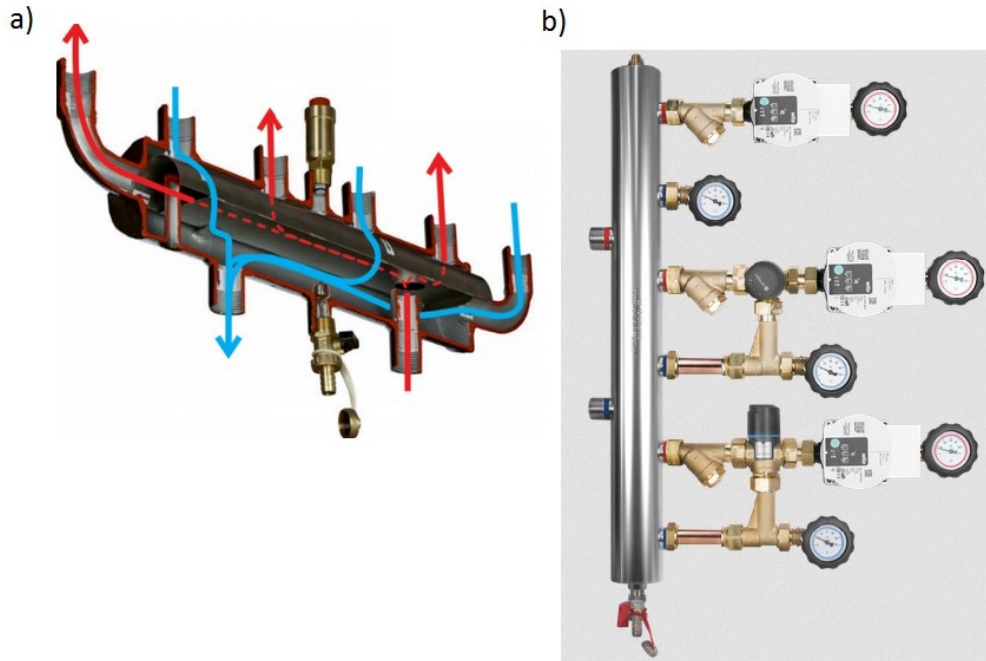
Typ WST	Strumień objętości wody [m ³ /h]	Moc obiegu pierwotnego [kW] przy $\Delta t = 20$ K	Wymiary		
			Komora [mm]	Króćce [mm]	H [mm]
60–21	1,5	35	60/60	21	375
60–34	3,0	70	60/60	34	500
80–34	4,5	105	80/80	34	500
80–54	7,0	163	80/80	54	750
120	8	186	120/120	65	1400
160	12	279	160/160	80	1400
200	20	465	200/200	100	1560
250	38	883	250/250	125	1600
300	60	1395	300/300	150	1650
350	90	2092	350/350	200	1700
400	120	2790	400/400	250	1750
450	170	3952	450/450	250	1850
500	225	5231	500/500	300	2050
550	280	6510	550/550	350	2250
600	340	7905	600/600	400	2450

Rozdzielacze tego typu są coraz rzadziej stosowane.

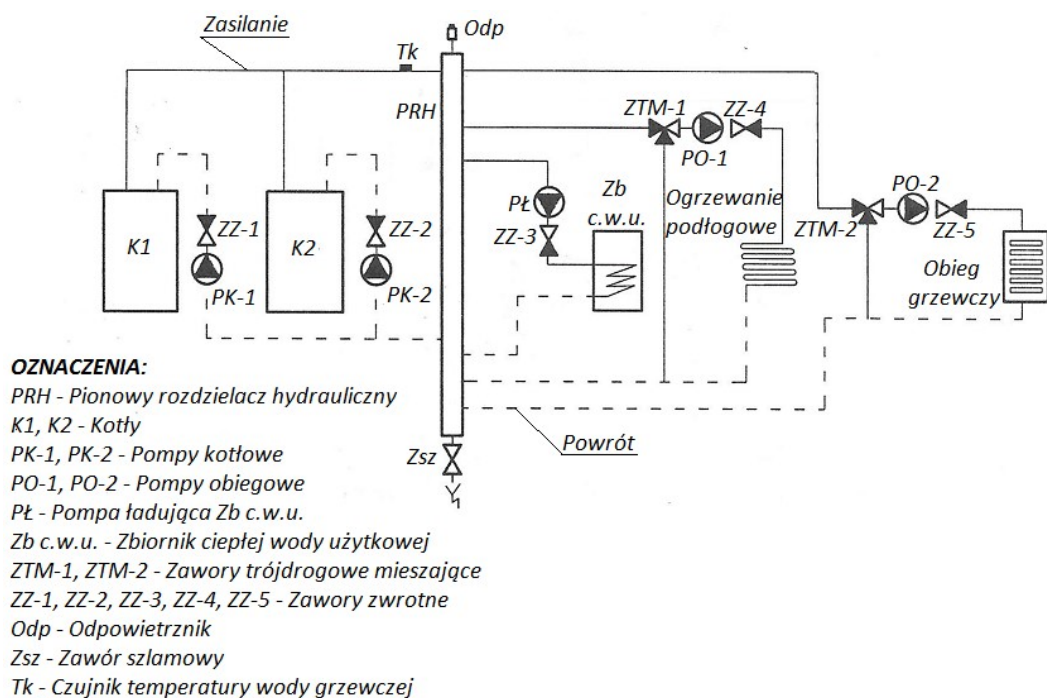
1.6.3. Sprzęgło hydrauliczne - kolektor

W swojej bogatej ofercie firmy, tj. „Afriso” czy „Elterm” posiadają takie urządzenia, które pełnią zarówno funkcję klasycznego sprzęgła hydraulicznego, jak i kolektora. Różnica między standardowym wykonaniem a tego typu jest

taka, iż do kolektora można podłączyć kilka obiegów grzewczych tworzących tzw. grupę pompową. Na rys. 7 a) przedstawiono sprzęgło rozdzielacz typu *SKE 40 3D* firmy „Elterm”, a na rys. 7 b) grupę pompową BPS z rozdzielaczem firmy „Afriso”.



Rys. 7. a) sprzęgło-rozdzielacz typu *SKE 40 3D* firmy „Elterm” [62], b) grupa pompowa BPS z rozdzielaczem firmy „Afriso” [59]



Rys. 8. PRH w bezpośrednim połączeniu z obiegami grzewczymi [18]

Sprzęgła tego typu to urządzenia będące kombinacją sprzęgła hydraulicznego oraz rozdzielacza. Produkowane są najczęściej na dwa lub trzy obiegi grzewcze. Króćce od strony obiegów grzewczych mają uniwersalny rozstaw 125 mm pozwalający podłączyć grupy pompowe większości producentów. Sprzęgła tego typu przeznaczone są do kompaktowych kotłowni domów jednorodzinnych. Ponadto poziome sprzęgło – kolektor typu *SKE 40 3D* może być zainstalowane nad kotłem stojącym lub pod kotłem wiszącym. W ofercie firmy „*Elterm*” dostępne są sprzęgła o mocy maksymalnie 40 kW ($\Delta T = 15$ K). Urządzenie ma ochronę w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej na poziomie wzoru użytkowego. Elementem charakterystycznym takich typu sprzęgieł jest kierownica przepływu, która w znacznym stopniu redukuje wymieszanie strumieni wody zasilającej oraz powrotnej. Jest wykonana ona ze stali nierdzewnej i skonstruowana tak, aby czynnik zasilający i powrotny (zarówno z kotła, jak i z obiegów grzewczych) nie miały możliwości krzyżowania i mieszania się [62].

Niektóre typy sprzęgieł nie posiadają kierownicy przepływu. Różnicą między sprzęgłami z kierownicą przepływu a sprzęgłami bez, jest sposób połączenia obiegów zasilających. W pierwszym przypadku zasilenie z powrotem obiegu grzewczego łączone są na przemian, natomiast w drugim przypadku króćce zasilające, jak i powrotne, łączone są jedna za drugim w rzędzie [18].

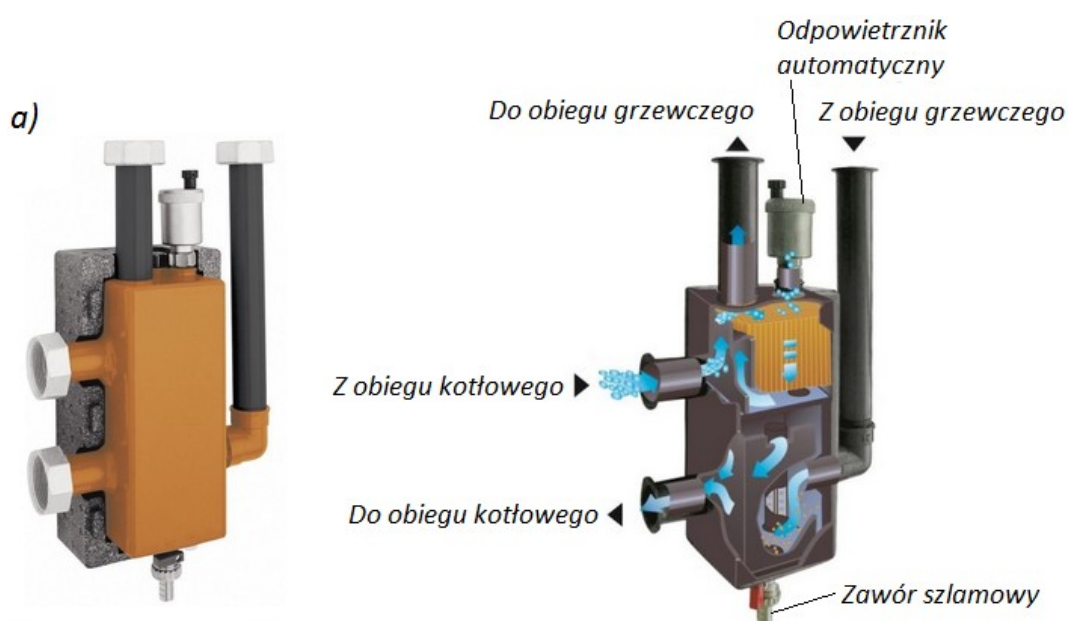
W takich urządzeniach, jak w klasycznych PRH, panuje zasada równoległego sprzęgania obwodów hydraulicznych. Pewną wadą sprzęgieł tego typu jest to, iż im więcej obiegów grzewczych, tym dłuższy gabaryt urządzenia. Dlatego producenci sprzęgieł proponują swoim klientom modułowe rozwiązania na dwa bądź ewentualnie trzy obiegi grzewcze.

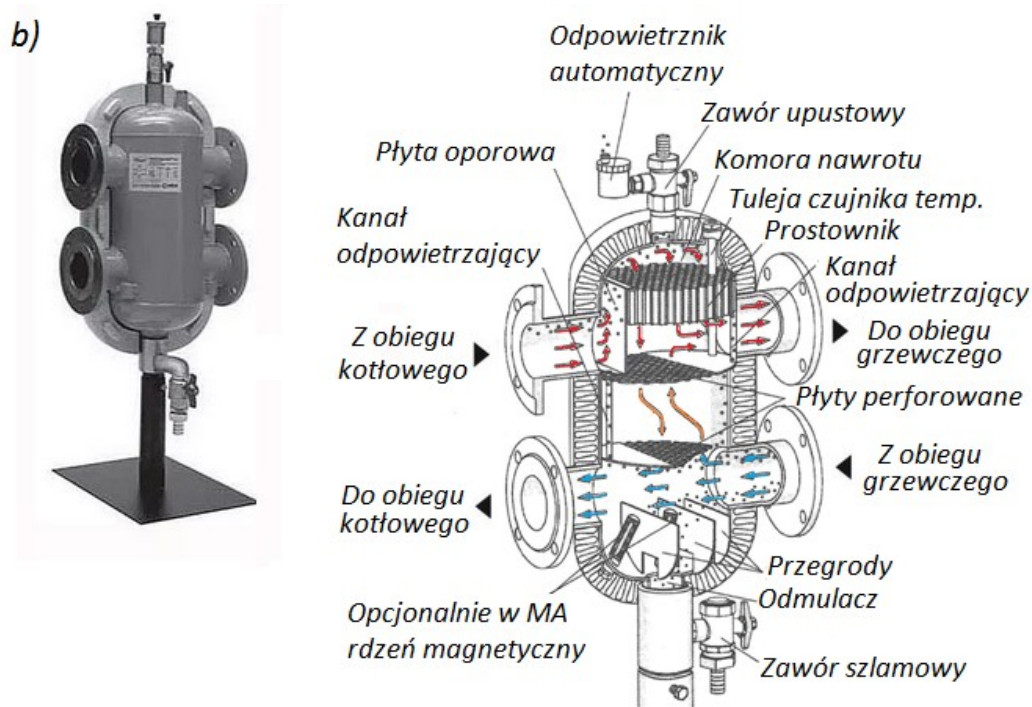
1.6.4. Wartownik

Rozdzielacz hydrauliczny firmy „*Meibes*” w materiałach firmowych nosi nazwę „wartownik” lub „zwrotnica termo-hydrauliczna”. Z uwagi na swą specyficzną budowę, urządzenie zapewnia większą skuteczność działania niż klasyczne PRH. Prędkość przepływu wody w „wartowniku” przyjmuje się równą 0,1 m/s. Zasada wymiarowania jest również podobna, tzn. wolny przekrój płyt perforowanych powinien być trzy razy większy od króćca przyłączeniowego. Kierunek strumienia wody może być na wprost przez rozdzielacz do instalacji i do kotłów lub z częściowym rozdzieleniem strumieni (podobnie jak w PRH).

Dzięki swojej specyficznej budowie, urządzenie pozwala na lepsze uwarstwienie wody grzewczej o różnej temperaturze przy zachowaniu mniejszej całkowitej swej wysokości niż w przypadku PRH. Jest to spowodowane poprzez umieszczone wewnątrz płyty oporowe i perforowane, które ograniczają mieszanie się strumieni. Odpowiednie usytuowanie płyt powoduje to, iż droga strumienia wody (w kształcie litery *S* pomiędzy zasilaniem a powrotem) zwiększa się. Montaż urządzenia z uwagi na swe gabaryty jest bardziej praktyczniejsze. Budowa wewnętrzna urządzenia pozwala również na bardzo dobre usuwanie powietrza oraz osadu. Poprzez pionowe pływy oporowe umieszczone w górnej części urządzenia, przepływająca woda burzy się, czego efektem jest jednocześnie zmniejszenie prędkości i ciśnienia dynamicznego. Zmniejszenie ciśnienia przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej temperatury wody zapewnia spadek rozpuszczalności tlenu w wodzie. W komorze nawrotnej zaburzony strumień ulega uspokojeniu, po czym kierowany jest przez prostownik w kształcie „plastra miodu”. W dolnej części urządzenia proces odmulania jest dodatkowo wspomagane specjalnymi wkładkami magnetycznymi. Poprzez górny i dolny zawór spustowy ze złączką do węża urządzenie można przepłukać [15][41].

Na rys. 9 przedstawiono 2 typy wartowników firmy „Meibes” o korpusie stalowym o maksymalnym ciśnieniu pracy 6 bar. Wartownik typu *K* przedstawia podpunkt a), wartownik typu *MK* podpunkt b).





Rys. 9. Wartowniki firmy „Meibes”; a) typu K, b) typu MK[27]

Podstawową różnicą między tymi dwoma typami urządzeń jest to, że wartownik typu *K* nie ma możliwości wkładów magnetycznych. Przy $\Delta t = 20\text{ K}$, wartowniki typu *K* stosowane są dla mocy cieplnej 50 kW, 70 kW natomiast wartowniki typu *MK* dla mocy od 135 kW ÷ 2300 kW. Różne są też ich średnice przyłączy. Wartownik typu *K* są produkowane o średnicy przyłączy od DN25 ÷ DN32, natomiast wartowniki typu *MK* od DN50 ÷ DN200, które dodatkowo wyposażone są na podporze teleskopowej [27].

Koszty „wartownika” są większe w stosunku do klasycznych rozdzielaczy hydraulicznych. Z uwagi na swą specyficzną budowę, urządzenie umożliwia skuteczniejsze odpowietrzanie i odmulanie przy większych instalacjach. Instalowanie osobnych separatorów powietrza w instalacji nie jest konieczne. Zatem, tak jak podaje producent, nakłady finansowe mogą być w tym przypadku opłacalne [15][41].

1.6.5. Rozdzielacze hydrauliczne systemu ZORT-System

Zupełnie inną zasadą działania charakteryzują się rozdzielacze ZORT-System niż klasyczne rozdzielacze hydrauliczne. Podstawową różnicą jest to, że wszystkie obiegi pierwotne i wtórne podłączone są do jednego naczynia, innymi słowy, strumienie wody z obiegu pierwotnego i wtórnego mieszane są

w jednym urządzeniu jednocześnie[15][18][41]. W Polsce urządzenia typu ZORT-System są rzadziej spotykane od PRH.

Wyróżnić można trzy typy urządzenia ZORT-System [24][25]:

- ZORT-Centrała – temperatura wody powrotnej do źródła ciepła powinna być nie mniejsza niż 40°C. Rozwiązanie przeznaczone przede wszystkim dla kotłów opalanych olejem, gazem, biomasą itp.,
- ZORT-Multi – temperatura wody powrotnej do źródła ciepła może być mniejsza niż 40°C. Rozwiązanie przeznaczone przede wszystkim dla kotłów kondensacyjnych, węzłów cieplnych, pomp ciepła itp.,
- ZORT-Stacja pośrednia – temperatura wody powrotnej do źródła ciepła może być nadzwyczaj niska, np. 8°C, przy jednoczesnej wysokiej temperaturze wody zasilającej, np. 70°C. Źródłem ciepła może być kocioł kondensacyjny, pompa ciepła, wymiennik ciepła itp. Istnieje możliwość zespolenia kilka źródeł ciepła o różnych parametrach pracy.

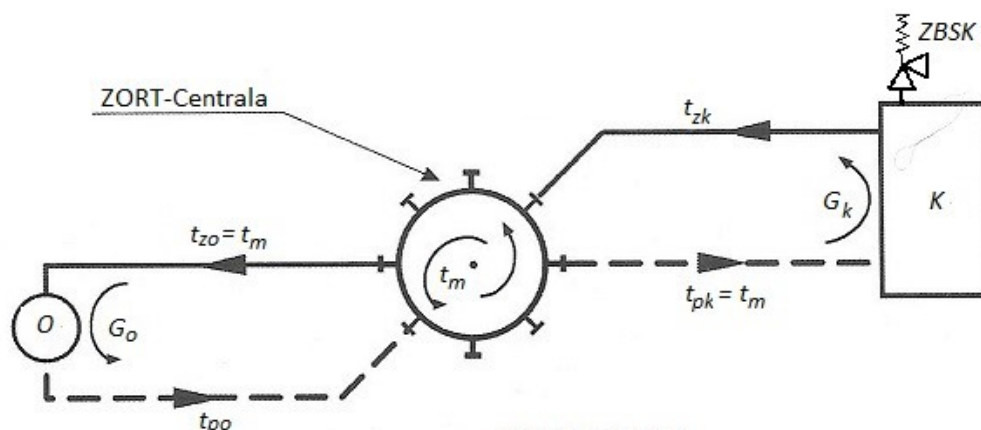
Rozdzielacze ZORT-System są chronione patentem.

Rozdzielacz typu ZORT-Centrała to w zasadzie proste naczynie, o niewielkich rozmiarach, w którym następuje dobre wymieszanie się czynnika grzewczego zasilającego z kotła o temperaturze t_{zk} i natężeniu przepływu G_k z czynnikiem powrotnym z obiegów grzewczych o temperaturze t_{po} i natężeniu przepływu G_o dzięki umieszczonym wewnątrz zawirowywaczy. Uzyskana temperatura mieszaniny t_m po wymieszaniu odpowiada najwyższej wymaganej temperaturze obliczeniowej zasilającego dany obieg grzewczy t_{zo} i powrotnego do kotła t_{pk} . Zasadę działania rozdzielacza ZORT-System przedstawiono na rys 10.

$$t_m = t_{zo} = t_{pk} \quad (21)$$

$$t_m \neq t_{zk} \neq t_{po} \quad (22)$$

Temperatura mieszaniny t_m w naczyniu musi odpowiadać żądanym wymaganiom obiegu grzewczego o najwyższych parametrach, którym najczęściej stanowi obieg *c.o.* W zależności od potrzeb użytkowników uwzględniony może być również priorytet *c.w.u.*



OZNACZENIA:

- K - kocioł
- O - obieg grzewczy
- ZBSK - Zawór bezpieczeństwa sprężynowy kątowy
- t_{zk} - temperatura zasilania z kotła
- t_{pk} - temperatura powrotu do kotła
- t_{zo} - temperatura zasilania obiegu grzewczego
- t_{po} - temperatura powrotu obiegu grzewczego
- t_m - temperatura mieszanki
- G_k - natężenie przepływu obiegu kotłowego
- G_o - natężenie przepływu obiegu grzewczego

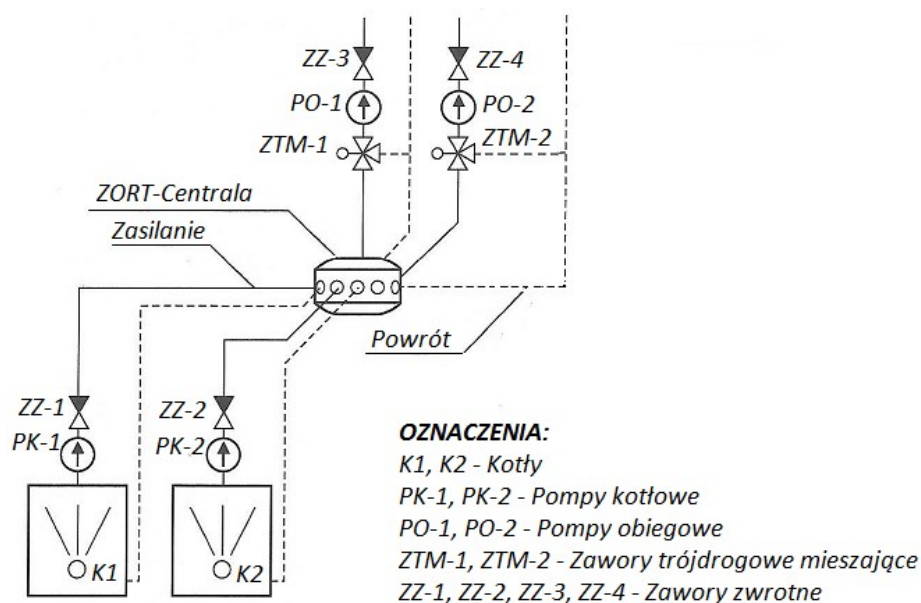
Rys. 10. Zasada działania rozdzielacza ZORT-System [41]

Temperaturę wody w pozostałych obiegach o niższych parametrach uzyskuje się poprzez mieszanie w zaworach trójdrogowych wody zasilającej z ZORT-Centrala z wodą powrotną z danego obiegu. Temperatura wody powrotnej z ZORT-Centrali do kotła $t_{pk} = t_m$ jest stosunkowo wysoka i w wielu przypadkach nie potrzeba zastosowania dodatkowych urządzeń mieszających w celu jej podwyższenia [41]. Jest to rozwiązanie odpowiednie szczególnie dla kotłów niekondensacyjnych.

Kolejność podłączenia obiegów hydraulicznych do naczynia nie ma znaczenia. Liczba obiegów w zasadzie może być dowolna. Standardowo naczynia wykonane są w trzech rodzajach [24]:

- typ C – do czterech obiegów (8 przyłączy),
- typ B – do sześciu obiegów (12 przyłączy),
- typ D – do ośmiu obiegów (16 przyłączy).

Naczynia ZORT-Centrala, dla większej mocy, mogą być wykonane na specjalne zamówienie. Niewykorzystane króćce można również zaślepić [15][18][41]. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza jednostopniowego ZORT-Centrala przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza jednostopniowego ZORT-Centrala[41]

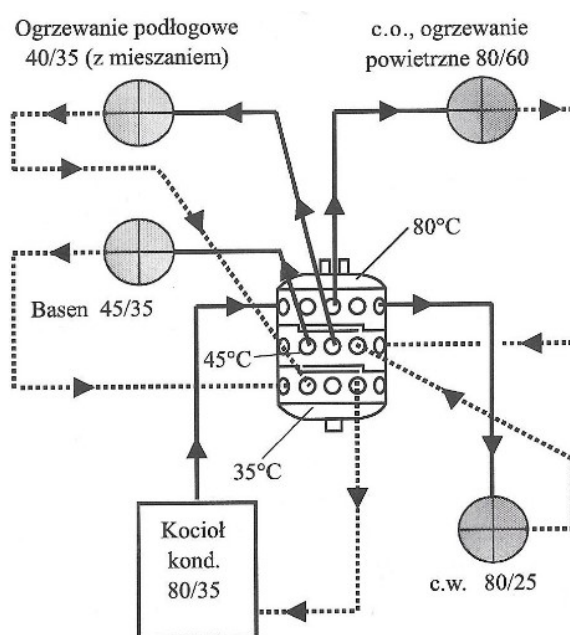
Temperatura zasilania w pozostałych obiegach jest regulowana poprzez zawory trójdrogowe regulacyjne (mieszające). Warunkiem prawidłowego funkcjonowania systemu jest właściwy dobór pomp kotłowych. Ich wydajność nie może przekraczać dopuszczalnego maksymalnego przepływu strumieni przez kocioł. Do doboru pomp, Δt między zasilaniem a powrotem przyjmują się równą 10 K [15][18][41].

Z uwagi na konstrukcję i zasadę działania, urządzenie ZORT-Centrala spełnia funkcję zarówno kolektora zasilającego i powrotnego. Dzięki temu instalacja grzewcza staje się prostsza i tańsza. Eliminowane są koszty związane z redukcją liczby zaworów, kształtek itp. ZORT-Centrala może być zainstalowana praktycznie wszędzie, tzn. na ścianie, na suficie, na podłodze, nad kotłami itp. Podstawową wadą tego urządzenia jest to, iż nie zapewnia ono centralnego odpowietrzenia i odmulania. Jednak taki problem trzeba rozpatrywać indywidualnie [15][18][41].

Rozwiązanie ZORT-Centrala umożliwia uzyskiwanie wysokiej temperatury wody powrotnej do kotłów bez stosowania dodatkowych urządzeń podwyższających temperaturę. Naczynie ZORT-Centrala sprawdza się szczególnie w układach z kotłami tradycyjnymi opalanych gazem, olejem, jak również z nowoczesnymi źródłami ciepła na paliwo stałe [41]. System ZORT-Centrala w porównaniu ze standardowymi rozdzielaczami hydraulicznymi jest zdecydowanie droższy [18].

W porównaniu z PRH, System ZORT-Centrała może pracować z różną liczbą kotłów opalanych różnymi paliwami [24].

Odmianą systemu ZORT-Centrała jest system ZORT-Multi, który zapewnia wymaganą niską temperaturę powrotu, co jest korzystne dla układów z kotłami kondensacyjnymi, z pompami ciepła czy z węzłami ciepłowniczymi [18]. Podstawową różnicą między urządzeniem ZORT-Multi, a ZORT-Centrała jest konstrukcja, która w przypadku ZORT-Multi jest wzbogacona o dodatkowe turbulizatory, tworząc w ten sposób stopnie (strefy) charakteryzujące się określoną temperaturą mieszaniny. Liczba stopni zależy od zapotrzebowania różnorodnych obiegów grzewczych. Podobnie jak ZORT-Centrała, może być zainstalowany praktycznie wszędzie, tzn. na ścianie, na suficie, na podłodze, nad kotłami itp. [41]. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza trójstopniowego ZORT-Multi przedstawiono na rys. 12. Rozróżnić można cztery obiegi o różnych parametrach pracy. Do prawidłowego zaprojektowania układu w systemie ZORT-Multi stosuje się najczęściej programy komputerowe producenta prezentowanego urządzenia.

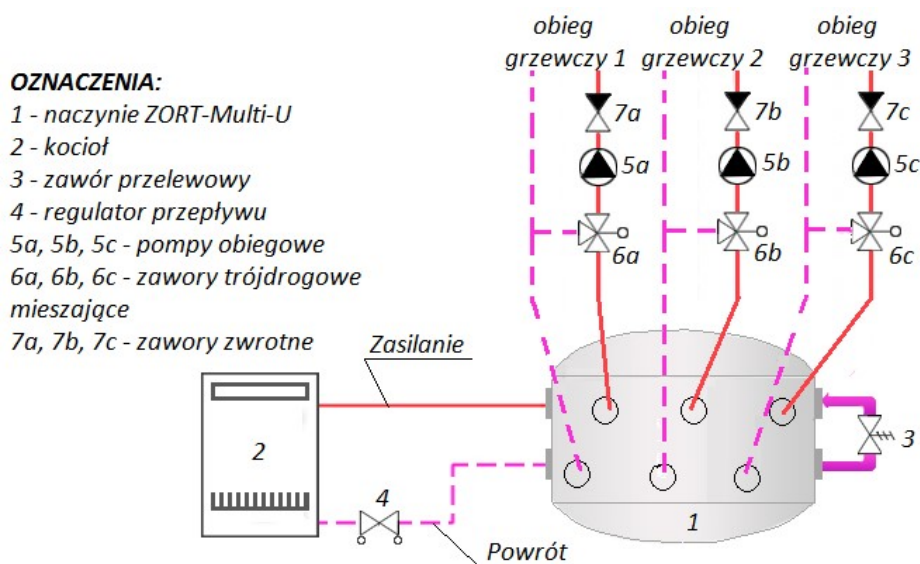


Rys. 12. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza trójstopniowego ZORT-Multi[41]

Przegrody wewnątrz urządzenia umożliwiają przepływ wody między nimi. Każdy stopień może być połączony z kilkoma obiegami, choć zasilanie danego obiegu nie musi być realizowane ze stopnia o najwyższej temperaturze. To samo dotyczy wody powracającej z danego obiegu. Powrót może następować do innego stopnia o niższej temperaturze niż zasilanie. Każdy stopień

charakteryzuje się określoną temperaturą mieszaniny mas strumienia przepływającego między danymi stopniami oraz mas strumieni podłączonych przyłączy. Temperatura mieszaniny najniższego stopnia jest zarazem temperaturą wody powrotnej do kotła. Wydajność pomp ustalana jest w ogólnie przyjęty sposób, przy uwzględnieniu obliczeniowego Δt [15][41].

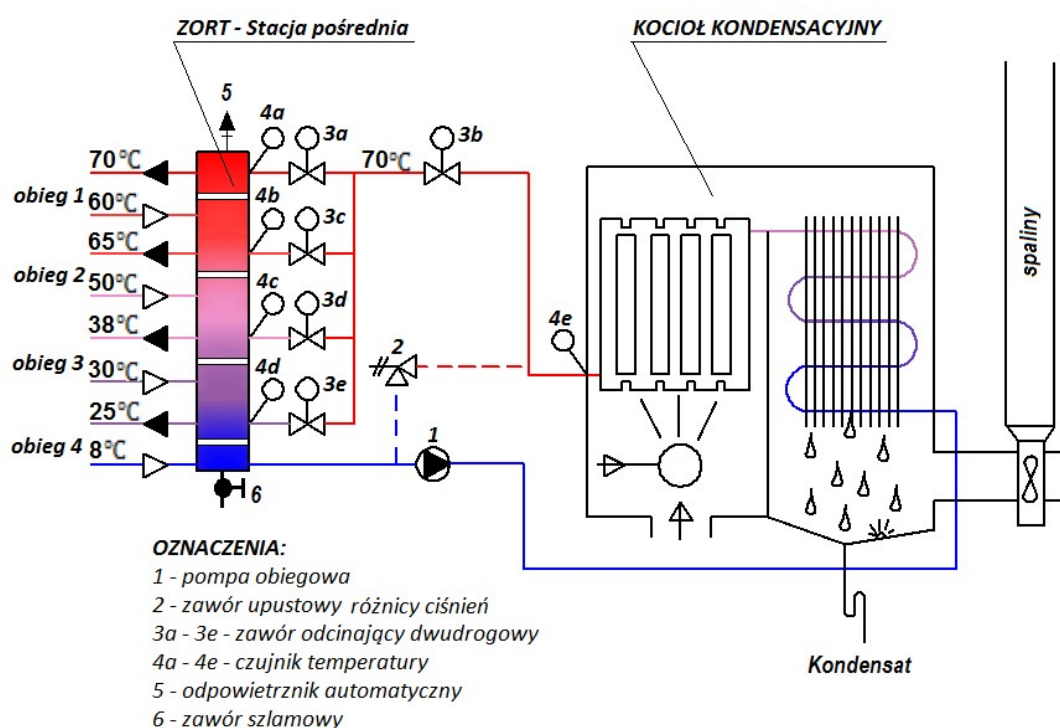
Układ technologiczny z systemem ZORT-Multi umożliwia współpracę kotła kondensacyjnego z kotłem tradycyjnym. W takim przypadku powrót do kotła tradycyjnego będzie realizowane ze stopnia pośredniego, a powrót dla kotła kondensacyjnego ze stopnia najniższego [15][41]. Udoskonaloną wersją systemu ZORT-Multi jest system ZORT-Multi-U, w którym zamiast pompy obiegowej w obiegu pierwotnym przewidziano regulator przepływu na powrocie i zawór przelewowy na pięciu stopni naczynia. Celem tego rozwiązania jest uzyskiwanie jak chłodniejszego powrotu. Zadaniem regulatora przepływu jest ograniczanie strumienia objętości wody powrotnej do źródła ciepła, natomiast zadaniem zaworu przelewowego jest utrzymywanie stałego określonego ciśnienia o około 10 daPa większego w stosunku do obliczeniowego spadku ciśnienia w obiegu pierwotnym. System przeznaczony jest przede wszystkim dla układów z kotłami kondensacyjnymi, z pompami ciepła czy z węzłami ciepłowniczymi [15][41]. Schemat ZORT-Multi-U bez pompy kotłowej w obiegu pierwotnym przedstawiono na rys.13.



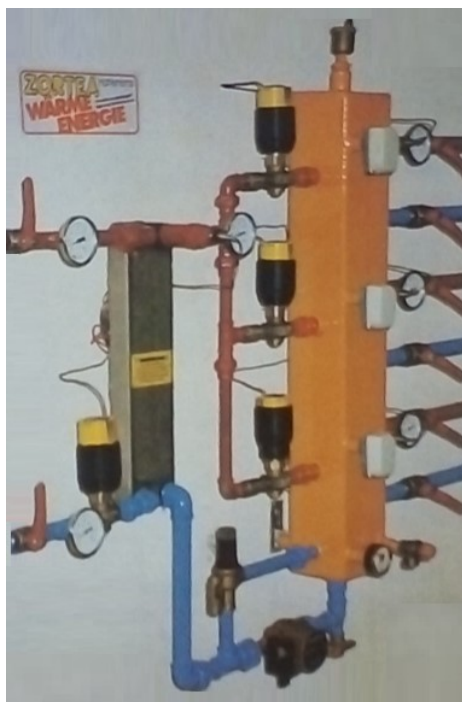
Rys. 13. Schemat ZORT-Multi-U bez pompy kotłowej w obiegu pierwotnym [41]

Trzecim typem rozdzielacza z rodziny ZORT-System jest ZORT-Stacja pośrednia. Rozwiązanie umożliwia uzyskiwanie dużej różnicy temperatury między zasilaniem a powrotem, np. $\Delta t = 60^{\circ}\text{C}$, przy jednoczesnym uzyskiwaniu

bardzo niskiej temperatury wody powracającej do źródła ciepła, np. 8°C. Rozdzielacz ZORT-Stacja pośrednia, podobnie jak ZORT-Multi, nadaje się szczególnie w układach z kotłami tradycyjnymi opalanych gazem, olejem, jak również w węzłach cieplnych. Może być także zastosowany w układach chłodniczych. Układ zapewnia połączenie również kilka źródeł ciepła o różnych parametrach pracy. ZORT-Stacja pośrednia, podobnie jak ZORT-Multi, jest naczyniem mieszającym z kilkoma stopniami, oddzielone między sobą nieruchomymi turbulizatorami zapewniającymi dobre wymieszanie wody. Do każdego stopnia można podłączyć kilka obiegów grzewczych o określonej temperaturze zasilania. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość utrzymywania w danym stopniu wody o określonej temperaturze. W przypadku zbyt niskiej temperatury następuje otwarcie zaworu dwudrogowego poprzez sygnał z czujnika temperatury i domieszanie strumienia gorącą wodą. Rozdzielacz ZORT-Stacja pośrednia jest wykonywana na indywidualne zamówienie [25]. Schemat połączenia obiegów za pomocą naczynia ZORT-Stacji pośredniej przedstawiono na rys. 14. Zdjęcie urządzenia przedstawia rys. 15.



Rys. 14. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza ZORT-Stacji pośredniej[25]



Rys. 15. ZORT-Stacja pośrednia w małym obiekcie współpracująca z wymiennikiem płytowym[25]

Rysunek 14 przedstawia schematycznie połączenie kotła kondensacyjnego z rozdzielaczem ZORT-Stacja pośrednia. Temperaturę mieszaniny i strumień gorącej wody dopływającej, który może dopływać do danego stopnia, określa się przede wszystkim za pomocą programów komputerowych opracowanych przez producenta ZORT. Temperatury ustala się z układu równań bilansów cieplnych dla poszczególnych stopni, które zależą od strumieni wody dopływającej oraz odpływającej do obiegów grzewczych i wody przepływającej w górę i w dół między stopniami. Utrzymanie temperatury w danym obiegu nie zależy od centralnej regulacji pogodowej, ponieważ układ wyposażony jest w indywidualną regulację. Obieg pierwszy może zasilać zbiornik c.w.u. o temperaturze zasilania równej 70°C . W czasie zasilania zbiornika c.w.u. woda powrotna o temperaturze 60°C wraca do rozdzielacza i podlega wymieszaniu z wodą przepływającą w urządzeniu. Mieszanina o określonej temperaturze, np. 65°C , może zasilać instalację grzejnikową c.o. W przypadku uzyskania w tej strefie zbyt niskiej temperatury mieszaniny dochodzi do otwarcia zaworu dwudrogowego (3c) i doprowadzenia gorącego strumienia o temperaturze 70°C . Regulacja temperatury gorącym strumieniem jest możliwa dla każdej strefy. Mieszanina o żądanej temperaturze zasila kolejny obieg charakteryzujący się niższą wymaganą temperaturą od wcześniejszych. Trzeci obieg może być przeznaczony, np. do podgrzewania podłogowego, natomiast czwarty, np. do

podgrzewania podjazdu do garażu. Połączenie obiegów grzewczych do rozdzielacza od najbardziej wymagających pod względem temperatury zasilania do najmniej pozwala na wykorzystanie ciepła z wody powracającej z poszczególnych obiegów. W konsekwencji jej temperatura może wynosić nawet 8°C [25]. Przy omawianiu schematu warto zwrócić uwagę na charakter pracy każdego zaworu dwudrogowego. Ich praca jest dwustanowa; albo są całkowicie otwarte umożliwiając przepływ czynnika grzewczego albo zamknięte, zatrzymując go. Zawory te zmieniają wielkość objętościowego strumienia wody, co przyczynia się do zmiany ciśnienia za poszczególnym zaworem [18].

ZORT-stacja pośrednia może również współpracować nawet z wymiennikiem ciepła (rysunek 15). Takie rozwiązanie ma zastosowanie głównie w małych obiektach, w których instalacje wewnętrzne po stronie odbiorczej charakteryzują się małymi wahaniami hydraulicznymi [25].

ZORT-stacja pośrednia, podobnie jak PRH, wyposażony jest w górnej części urządzenia w odpowietrznik automatyczny, natomiast w dolnej w zawór szlamowy [25].

System ZORT-stacja pośrednia, oprócz zapewnienia hydraulicznego oddzielenia obiegu pierwotnego od wtórnego, pozwala na [25]:

- uzyskiwanie niskiej temperatury powrotu, co wpływa na wzrost sprawności całego układu, a mianowicie; w kotłowniach z pompami ciepła, w węzłach ciepłowniczych, w systemach chłodniczych, w kotłowniach z kotłami kondensacyjnymi, które współpracują z innymi źródłami ciepła, jak np. z kotłami tradycyjnymi,
- duże wykorzystanie ciepła (energii pierwotnej) oraz małą emisyjną zanieczyszczeń szczególnie z kotłów tradycyjnych i w efekcie uzyskanie niższych kosztów eksploatacyjnych.

1.6.6. Rozwiązanie eksperymentalne

Do wymienionej grupy powszechnie stosowanych rozdzielaczy hydraulicznych można również wyodrębnić rozwiązanie eksperymentalne charakteryzujące się szeregowym połączeniem obiegów grzewczych i zasilających. Jednak w praktyce inżynierskiej takie rozwiązania są nieliczne, rzadko spotykane. Głównym powodem tego może być niewystarczająca baza teoretyczna, która do tej pory nie została ściśle określona. Napotkany nietypowy układ technologiczny z szeregowym połączeniem obiegów grzewczych

i zasilających w hotelu Services&Bistro zlokalizowanym w Koszalinie wykazał spory potencjał do opracowania rzetelnego zagadnienia równoważenia hydraulicznego i termodynamicznego, co stanowi znamię odkrycia naukowego. Podjęto decyzję o wyborze zasady połączenia szeregowego, jego udoskonaleniu i optymalizacji pracy jako głównego kierunku badań niniejszej pracy doktorskiej.

1.7. Podsumowanie części studialnej, teza pracy

Przeprowadzone studium obejmuje przyczyny powodujące konieczność rozdzielania hydraulicznego, układ technologiczny kotłowni, parametry czynnika grzejącego, rozdzielanie hydrauliczne obiegu pierwotnego od wtórnego, teoretyczne zagadnienie układu cieplnego ze sprzęgłem hydraulicznym – model matematyczny oraz przegląd stosowanych rozdzielaczy hydraulicznych.

Na podstawie przeprowadzonego studium można stwierdzić, że w powszechnie stosowanych rozdzielaczach typu PRH czy ZORT-System stosuje się zasadę równoległego sprzęgania obwodów hydraulicznych. W przypadku PRH, obwody zachowują niezależność termodynamiczną, z kolei urządzenia ZORT-System stanowią punkt zerowy pod względem hydraulicznym i termodynamicznym. Tam gdzie obciążenia cieplne różnią się i zmieniają nierównomiernie w czasie, powszechna zasada równoległego sprzęgania obwodów hydraulicznych w jeden układ może być nie do końca skuteczna. Pionowe rozdzielacze hydrauliczne (PRH, „wartowniki” i inne) zapewniają wyłącznie równoważenie hydrauliczne przy tej samej temperaturze zasilania obiegów równej temperaturze zasilania od źródła ciepła. Rozdzielacze typu ZORT wyrównują temperaturę wszystkich strumieni powracających do sprzęgła i ta temperatura jest taka sama do zasilania tych obiegów. Jedynie wielosekcyjne urządzenia ZORT-Multi i ZORT-Stacja pośrednia pozwalają łączyć zróżnicowane pod względem termicznym obiegi, jednak zmienność zapotrzebowania ciepła powoduje stosowanie dodatkowych urządzeń regulacyjnych.

Wstępna analiza wykazała, że szeregowo sprzężenie obwodów zużycia energii cieplnej ze stopniowo malejącą temperaturą zasilania obwodów jest szczególnie korzystne w przypadku zastosowania wydajnych kondensacyjnych źródeł ciepła. W porównaniu z równoległymi systemami, obwód szeregowy umożliwić może uzyskiwanie gwarantowanych parametrów wody powrotnej ze

źródła ciepła przez dłuższy czas podczas gwałtownych i nieprzewidywalnych wahań obciążenia cieplnego. Szeregowe połączenie obwodów pozwala dodatkowo uniknąć wzajemnych sprzeczności hydraulicznych i termodynamicznych bądź przynajmniej złagodzić te sprzeczności.

Kotłownie hybrydowe z obiegami grzewczymi i zasilającymi, charakteryzującymi się często zróżnicowanymi parametrami pracy, potrzebują innowacyjnych rozwiązań technologicznych do ich poprawnego równoważenia zarówno pod względem hydraulicznym i termodynamicznym. Na podstawie przedstawionych wniosków, sformowano następującą tezę pracy:

Skuteczne równoważenie hydrauliczne i termodynamiczne w kotłowniach hybrydowych z obiegami grzewczymi o różnych parametrach pracy może być realizowane za pomocą szeregowego sprzęgła termo-hydraulicznego.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Badania zostały dokonane w dwóch etapach; w warunkach laboratoryjnych zrealizowanych na Politechnice Koszalińskiej, na Wydziale Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji przy ulicy Śniadeckich 2 oraz w warunkach rzeczywistych przeprowadzonych w hotelu Services&Bistro zlokalizowanym w Koszalinie przy ulicy Dworcowej 5A.

I etap – obejmował wykonanie prób wizualnych przepływów w autorskim sprzęgle termo-hydraulicznym w warunkach ustalonych. Badania przeprowadzono przy udziale wody wodociągowej oraz barwników. Zrealizowano cztery serie doświadczeń za pomocą których określono procesy mieszania barwionych przepływów przy zmiennych natężeniach za pomocą pomp. Dobrano minimalną wysokość przegrody zawirowującej celem osiągnięcia wymieszania łączących się zabarwionych strumieni w całej strefie mieszania urządzenia. Termodynamiczne procesy przemiany mieszania strumieni są właściwe tylko wtedy, kiedy są zgodne z klasycznym równaniem $\dot{m}_m = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$. Proporcja barwiących odczynów była zawsze 1:1. Przy określonych proporcjach masowych natężeń przepływów uzyskiwano mieszaniny o określonych i oczekiwanych zabarwieniach, które w dużym prawdopodobieństwie odzwierciedlają temperatury mieszaniny wpływającej do kolejnego segmentu sprzęgła i do kolejnego obiegu zasilającego. Udowodniono, iż w autorskim sprzęgle termo-hydraulicznym istnieją zależności parametrów mieszających się mas wody, które można określić za pomocą równań matematycznych (34), (35), (36) i (37). Głównym celem tego badania było określenie minimalnej powierzchni wolnej w przekroju poprzecznym urządzenia między strefą mieszania a strefą przepływów, aby z jednej strony umożliwić prawidłowy proces wymieszania strumieni, a drugiej, nie doprowadzić do dodatkowych oporów hydraulicznych w samym sprzęgle, co mogłoby wykluczyć ideę działania urządzenia. Przeprowadzono również próbę w sprzęgle bez płyt sitowych i przegród zawirowujących, co stanowi w przybliżeniu odpowiednik istniejącego sprzęgła w kotłowni hybrydowej.

II etap – obejmował monitorowanie zmian i odczyt wybranych parametrów czynnika grzewczego w sezonie grzewczym (od 04.10.2021r. do 21.04.2022r.) w kotłowni hybrydowej z obiegami grzewczymi i zasilającymi o zróżnicowanych parametrach pracy. Zebrane dane podano ocenie pod kątem

zależności parametrów, tj. temperatury i przepływów na proces przemian termodynamicznych w istniejącym sprzęgle.

3. METODY BADAŃ

Metody prowadzenia badań były podyktowane oczekiwanymi efektami. Postępowanie metod zachodziło w sposób zorganizowany oraz systematyczny w celu możliwości rozwiązania postawionego problemu badawczego, uwzględniając aspekt ekonomiczny oraz możliwość zastosowania i powtarzania tegoż postępowania w analogicznych przypadkach. Przy rozwiązaniu postawionego problemu badawczego posłużono się głównie metodą eksperymentalną oraz statystyczną. W tym celu wybudowano stanowisko badawcze w warunkach laboratoryjnych i dokonano pomiarów parametrów czynnika w warunkach rzeczywistych (w warunkach działalności świadczącej usługi noclegowe). Przyjęty sposób postępowania jest adekwatny i wystarczającym celem rozwiązania problemu badawczego.

3.1. Badanie eksperymentalne wizualizacji przepływów w warunkach laboratoryjnych

Próby wizualne przeprowadzono na stanowisku badawczym, specjalnie zaprojektowanym i wybudowanym do tego celu. Stanowisko składa się głównie z; stalowego prototypu sprzęgła termo-hydraulicznego z szybą ciśnieniową PN10 od frontu, z włączem otwieralnym po przeciwnej stronie i króćcami gwintowanymi, pięciu pomp obiegowych cyrkulacyjnych typu 25/40-180 firmy CIRCULA o trzech trybach pracy ($Q_{nom1} = 1 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom1} = 3 \text{ mH}_2\text{O}$, $Q_{nom2} = 2,2 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom2} = 4,0 \text{ mH}_2\text{O}$, $Q_{nom3} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom3} = 4,5 \text{ mH}_2\text{O}$), czterech rotametrów tworzywowych ciśnieniowych dla każdego obiegu typu PT PS31 BSP o zakresie $400\text{-}4000 \text{ dm}^3/\text{h}$ PN10 firmy AEA TECHNIQUE (klasa dokładności 1,6), zaworów kulowych gwintowanych odcinających i czerpalnych o PN30 firmy CALIDO, odpowietrzników automatycznych firmy AFRISO, manometru tarczowego o zakresie $0\div 4 \text{ bar}$, o średnicy tarczy 63 mm, serii 111.10 firmy WIKA (klasa dokładności 1,6), lejków tworzywowych, złączek, kształtek, rur miedzianych twardych 35 i 15 oraz węzłów elastycznych ogrodowych.

Instalację zamontowano na przewoźnym regale. Po wybudowaniu, stanowisko poddano próbie ciśnieniowej wg „*Warunków technicznych wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych cz. II - instalacje sanitarne i przemysłowe*”. Stanowisko zapewniało powtarzalność procesu badawczego, odpowietrzenie z każdego obiegu, a tym samym z całej instalacji, wprowadzenia zabarwionej substancji grawitacyjnie podczas istniejącego nadciśnienia oraz odprowadzenie wody do kanalizacji poprzez zachowane spadki rur (2‰). Nadciśnienie podczas prób eksperymentalnych wynosiło 1,5 bar. Zdjęcie stanowiska badawczego przedstawia rysunek 16.



Rys. 16. Stanowisko badawcze do badań eksperymentalnych. Opracowanie własne

Ponieważ proces mieszania się strumieni w poszczególnych komorach urządzenia ma charakter powtarzalny i przewidywalny, różniący się wyłącznie natężeniami przepływów, stwierdzono, iż wszystkie możliwe warianty mieszania się przepływów zostaną przedstawione wyłącznie w pierwszym segmencie przy wykorzystaniu barwnika koloru niebieskiego na wlocie do sprzęgła i czerwonego na wylocie z obiegu 1, które po wymieszeniu w proporcji 1:1 tworzą mieszaninę koloru fioletowego, zgodnie z założeniem:



Przebieg mieszania barwionych przepływów zrealizowano przy zmiennych charakterystykach pomp. Podczas prób wizualnych dokonano pomiarów natężenia przepływów płynów na za pomocą rotametrów. Dla pierwszej i drugiej serii pompa **4a** i **4b** (oznaczenia na schemacie, rys. 21.) miały taką samą wydajność; $G_z = G_{p1}$. Pompy ustawiono w 3 trybie pracy ($Q_{nom3} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom3} = 4,5 \text{ mH}_2\text{O}$). W trzeciej i czwartej serii wydajności pomp różniły się celowo. W trzeciej serii wydajność pompy **4a** była mniejsza od pompy **4b**, dla którego można zapisać $G_z < G_{p1}$, natomiast w czwartej serii wydajność pompy **4a** była większa od pompy **4b**, gdzie $G_z > G_{p1}$. W trzeciej serii pompę **4a** ustawiano w 1 trybie ($Q_{nom2} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom2} = 3,0 \text{ mH}_2\text{O}$), a pompę **4b** w 3 trybie pracy ($Q_{nom3} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom3} = 4,5 \text{ mH}_2\text{O}$), natomiast w czwartej serii wydajności tych pomp zamieniono.

3.1.1. Obliczenia konstrukcyjne sprzęgła termo-hydraulicznego

Obliczenia konstrukcyjne sprzęgła termo-hydraulicznego dokonano na postawie obowiązującej powszechnej zasadzie wymiarowania PRH oraz autorskich założeń. Przypominając, zasada ta polega wpierw na określeniu wielkości średnicy rozdzielacza **D** w funkcji średnicy przewodu dopływowego **d** od źródła ciepła. Przy tym zakłada się, że średnia prędkość wody w urządzeniu nie powinna przekraczać $0,10 \div 0,15 (0,20) \text{ m/s}$, natomiast prędkość wody w króćcu dolotowym powinno mieścić się w zakresie $0,7 \div 0,9 \text{ m/s}$ [18]. Wobec tego, warunek optymalnego wymiarowania powinien wynosić $D \geq 3d$ [42].

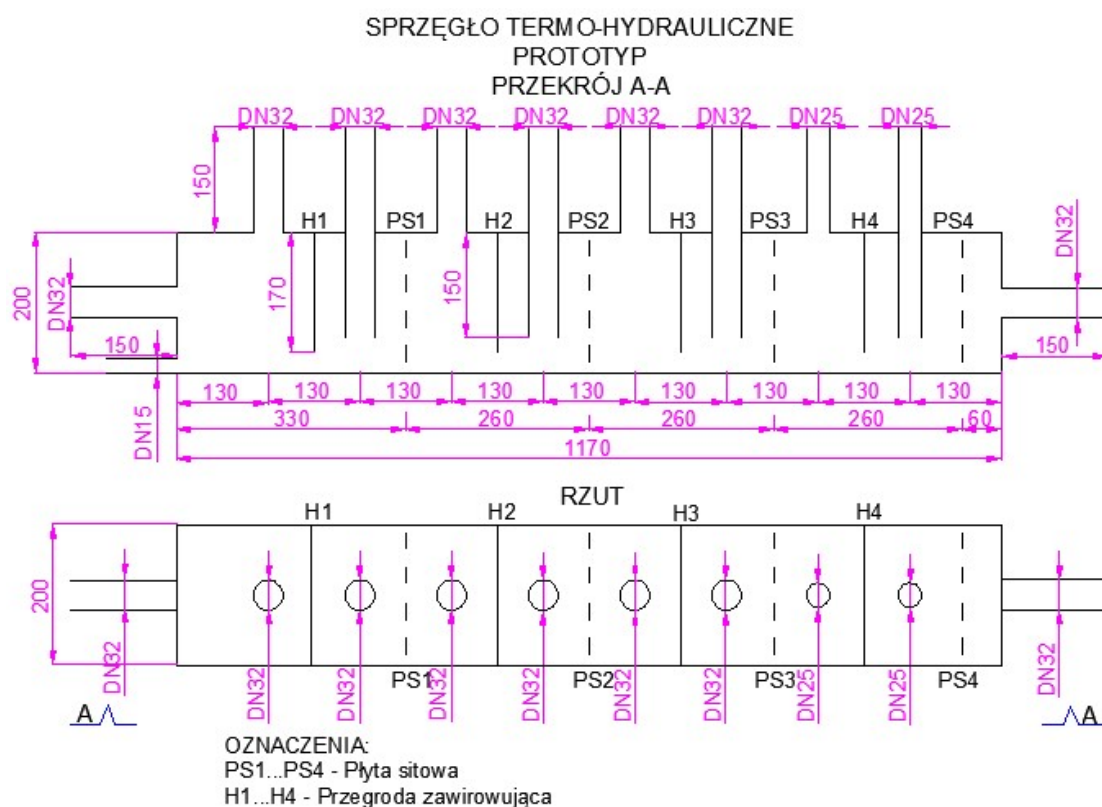
Rozpatrywany przypadek różni się od standardowych rozdzielaczy pionowych tym, iż sprzęgło działa szeregowo i posiada wbudowane przegrody zawirowujące i płyty sitowe. Te różnice spowodowały to, iż stosunek D/d został czterokrotnie zwiększony. Założono, że wielkość **D** będzie stanowić boczną ścianę przekroju poprzecznego urządzenia.

Standardowo przyjmuje się, że odległość między króćcami przyłączeniowymi powinien wynosić $(3 \div 4)d$. To zapewnia skuteczne wymieszanie się strumieni, jak również prawidłowe uwarstwienie pola temperaturowego [18]. W sprzęgle termo-hydraulicznym nie zachodzi uwarstwienie, jednak z uwagi na dobre mieszanie się strumieni, taki stosunek jest

poprawny. Dla króćców przyłączeniowych; DN32 i DN25 przyjęto jednolitą odległość 130 mm. Wyróżnia się 8 króćców pionowych; z czego 6 o DN32 i 2 o DN25, dwa poziome o DN32 i jeden spustowy o DN15. Z uwagi na znaczne różnice prędkości mas wodnych w rurach a sprzęgle oraz skuteczne zachowanie mieszania się strumieni w strefie mieszania, długość poszczególnego króćca powrotnego powinien być równy wysokości przegrody zawirowującej. Przyjęte średnice króćców są tożsame z króćcami przyłączeniowymi istniejącego wymiennika w warunkach rzeczywistych.

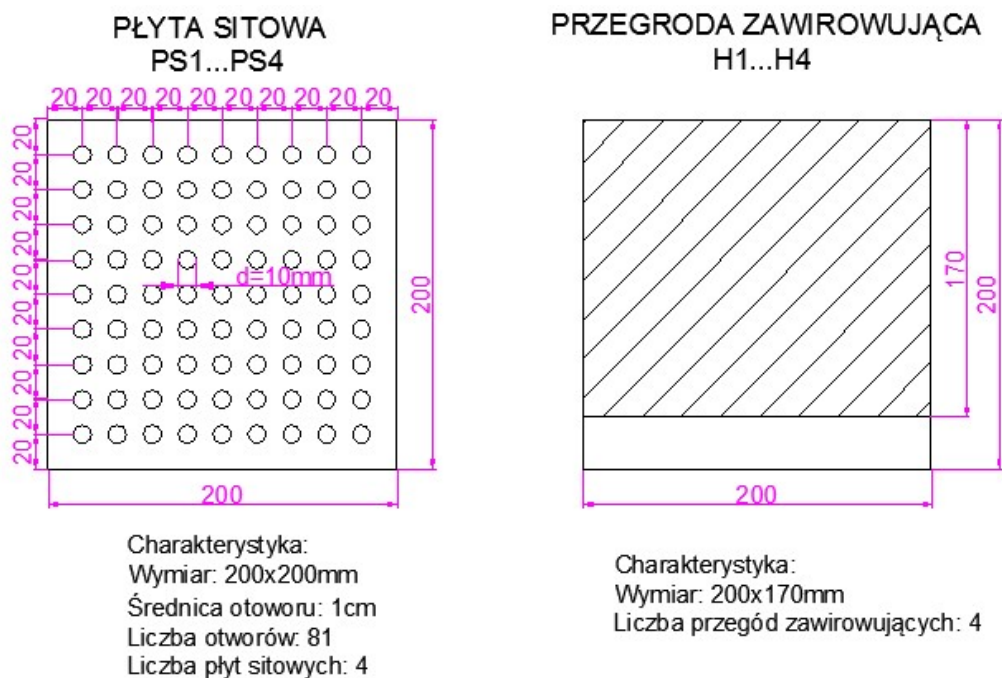
Przeprowadzono następnie wymiarowanie otworów perforacji płyty sitowej oraz wysokość przegrody zawirowującej. Zgodnie z zasadą, przekrój perforacji w świetle powinien być ok. trzykrotnie większy od króćca wlotowego [42]. Biorąc pod uwagę pole przekroju króćca poprzecznego DN32, które wynosi ok. 1000 mm^2 , wymagana minimalna powierzchnia perforacji powinna wynieść ok. 3000 mm^2 . Jednak z uwagi na potencjalne powstawanie oporu hydraulicznego w sprzęgle, stosunek ten został zwiększony o $1/3$, czyli do ok. 4000 mm^2 .

Zadecydowano, iż w celu zachowania symetrii, zastosowano 81 otworów perforacji o średnicy 10 mm dla każdej płyty sitowej. W celu zachowania skutecznego podziału przepływów przed przegrodą zawirowującą i za nią oraz skutecznego mieszania się strumieni w strefie mieszania, wysokość przegrody powinna wynosić 170 mm. W trakcie badań okazało się, że przegroda o wstępnej wysokości 130 mm, którą podano w artykule [8], nie spełnia należycie swojego zadania, związku z tym, zastosowano przegrodę o ostatecznej wysokości 170 mm. Zaobserwowano, iż, przegroda zawirowująca powinna być tak zwymiarowana, aby powierzchnia wolna w przekroju poprzecznym urządzenia powinna być równa lub przybliżona, lecz nie mniejsza od wymaganej minimalnej powierzchni wolnej w przekroju poprzecznym urządzenia, tj. 4000 mm^2 . Przyjęta wysokość przegrody równa 170 mm stanowi 85% zakrycia w przekroju poprzecznym urządzenia. Gdy byłaby to wysokość równa do wymaganej minimalnej powierzchni wolnej, to zakrycie wynosiłoby 90%. Prototyp sprzęgła termo hydraulicznego przedstawiono na rys. 17.



Rys. 17. Sprzęgło termo-hydrauliczne – prototyp. Opracowanie własne

Płytę sitową i przegrodę zawirowującą przedstawiono na rys. 1.



Rys. 18. Płyta sitowa i przegroda zawirowująca. Opracowanie własne

Dla tak skonstruowanego sprzęgła termo-hydraulicznego przyporządkowano wewnątrz obliczone wcześniej płyty sitowe i przegrody

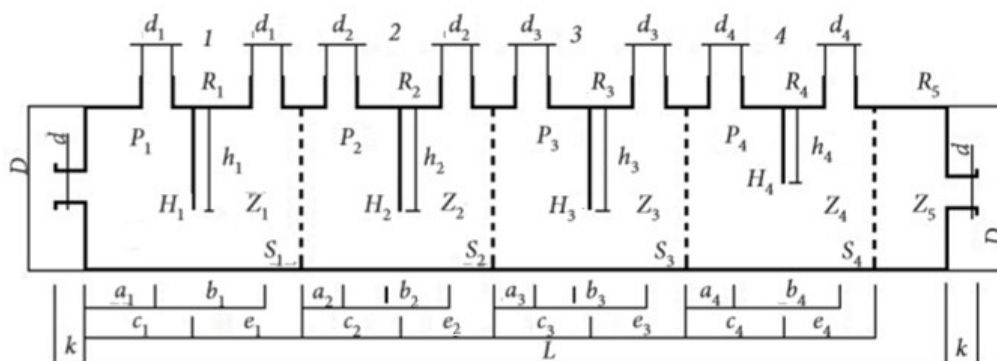
zawierające celem zachowania prawidłowości działania urządzenia zgodnie z założeniem. Pomiędzy pionowymi króćcami zasilającymi a powrotnymi zamontowano przegrody zawierające, natomiast pomiędzy pionowymi króćcami powrotnymi a zasilającymi kolejne obiegi, płyty sitowe. W ten sposób można wyodrębnić w sprzęgle poszczególne strefy. Wyróżnić można 5 segmentów; pierwszy segment o długości 330 mm, drugi, trzeci i czwarty o długości 260 mm, natomiast piąty o długości 60 mm.

3.1.2. Budowa oraz zasada działania sprzęgła termo-hydraulicznego

Budowę wewnętrzną szeregowego sprzęgła termo-hydraulicznego przedstawiono na rysunku 19. Ten rodzaj urządzenia stanowi geometrycznie obliczony element przestrzeni hydraulicznej całego systemu zaopatrzenia w ciepło obiektu, który łączy obwody grzewcze szeregowo. Oznacza to, że obiegi te uporządkowane są względem urządzenia od największych obliczeniowych parametrów temperaturowych pracy do najmniejszych. Część przepływu o szacowanym natężeniu i temperaturze kierowana jest do danego obwodu funkcjonalnego systemu integralnie połączonego z segmentem urządzenia, natomiast pozostała część strumienia mieszana jest ze zwrotnym strumieniem czynnika wchodzącym do tego samego segmentu. Temperaturę mieszaniny ustala się, a przepływ swobodnie wchodzi do kolejnego segmentu urządzenia. Obiegi grzewcze mogą mieć różne zapotrzebowanie na moc. Taka konfiguracja obiegów hydraulicznych jest logiką temperaturową, która polega na stopniowym obniżaniu temperatury zasilania połączonych systemów grzewczych. Z punktu widzenia eksploatacyjnego, urządzenie zapewnia wysoką jakość zaopatrzenia obiegów grzewczych, niską temperaturą powrotu, a zarazem wysoką sprawność niskotemperaturowych źródeł ciepła oraz optymalne wykorzystanie wtórnych źródeł ciepła, takich jak instalacja solarna, płaszcze wodne oraz ciepło odpadowe [1].

Urządzenie może być wykonane w kształcie rury lub prostopadłościanu, w którym króćce przyłączeniowe od głównego źródła d umocowane są poziomo, natomiast króćce odgałęzionych obiegów $d_1 \div d_4$ pionowo w górnej części. Sprzęgło termo-hydrauliczne podzielone jest na segmenty $R_1 \div R_5$ oddzielone między sobą siatkową przegrodą $S_1 \div S_4$. Dodatkowo w segmentach $R_1 \div R_4$ umocowane są przegrody $H_1 \div H_4$ o określonych długościach $h_1 \div h_4$. Wysokość turbulentnych przegród zależy od natężenia przepływu czynnika oddzielonego

w segmencie, tj. $H_i=f(G_{zi})$. Umożliwia to skuteczne rozwiązanie funkcji technologicznych segmentu oraz minimalizuje opór hydrauliczny. Ważnym również czynnikiem wymiarowym jest długość urządzenia L , która wzrasta wraz z liczbą kolejnych obwodów grzewczych.

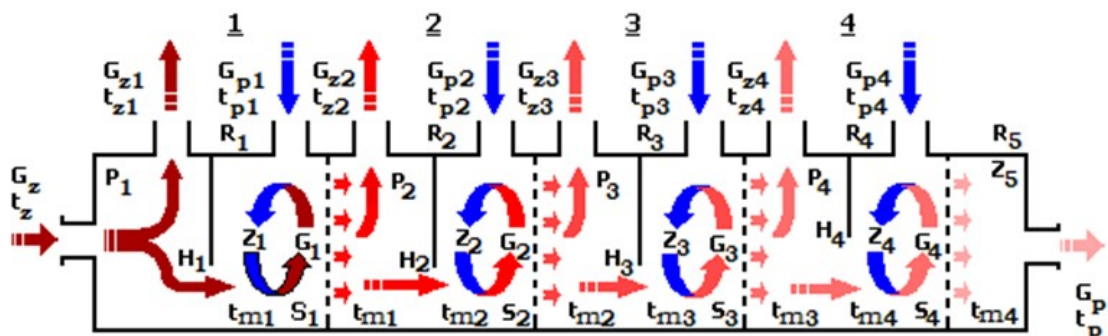


OZNACZENIA:

- D - średnica obudowy
- d - średnica rur łączących z głównym źródłem ciepła
- k - długość rur łączących z głównym źródłem ciepła
- $d_1 \div d_4$ - średnica odgałęzionych połączeń rurowych
- $R_1 \div R_5$ - segment sprężki
- $P_1 \div P_4$ - strefa przepływów
- $h_1 \div h_4$ - wysokość przegrody
- $H_1 \div H_4$ - przegroda
- $Z_1 \div Z_5$ - strefa mieszania
- $S_1 \div S_4$ - siatkowa przegroda
- $a_1 \div a_4, b_1 \div b_4, c_1 \div c_4, d_1 \div d_4, e_1 \div e_4$ - wymiary geometryczne charakteryzujące położenie rur i ścianek działowych
- L - długość całkowita obudowy
- 1, 2, 3, 4 - obiegi grzewcze

Rys. 19. Budowa wewnętrzna sprężki termo-hydraulicznego [1]

Urządzenie może być lekko nachylone celem możliwości odpowietrzenia i odmulania. Średnicę sprężki określa się w zależności od średnicy rury zasilającej od źródła ciepła, w której prędkość wody powinna wynosić $0,7 \div 0,9$ m/s. Tak jak w PRH czy rozdzielaczach ZORT-System, prędkość wody grzewczej w samym urządzeniu nie powinna przekraczać $0,10 \div 0,15(0,20)$ m/s. Stosunek średnicy obudowy rozdzielacza D do średnicy rur łączących z głównego źródła ciepła d powinien wynosić co najmniej $D > 3d$. Przegrody zwiększają turbulentność i intensywność wyrównania temperatury, natomiast siatkowa przegroda między segmentami służy jako prostownica do wyrównania i uspokajania strumienia. Powierzchnia perforacji płyt sitowych Si , oddzielających segmenty rozdzielacza, nie powinna być mniejsza niż $3\pi d^2/4$ [1]. Schemat sprężki termo-hydraulicznego w cyklu pracy przedstawiono na rysunku 20.



Rys. 20. Sprzęgło termo-hydrauliczne w cyklu pracy[1]

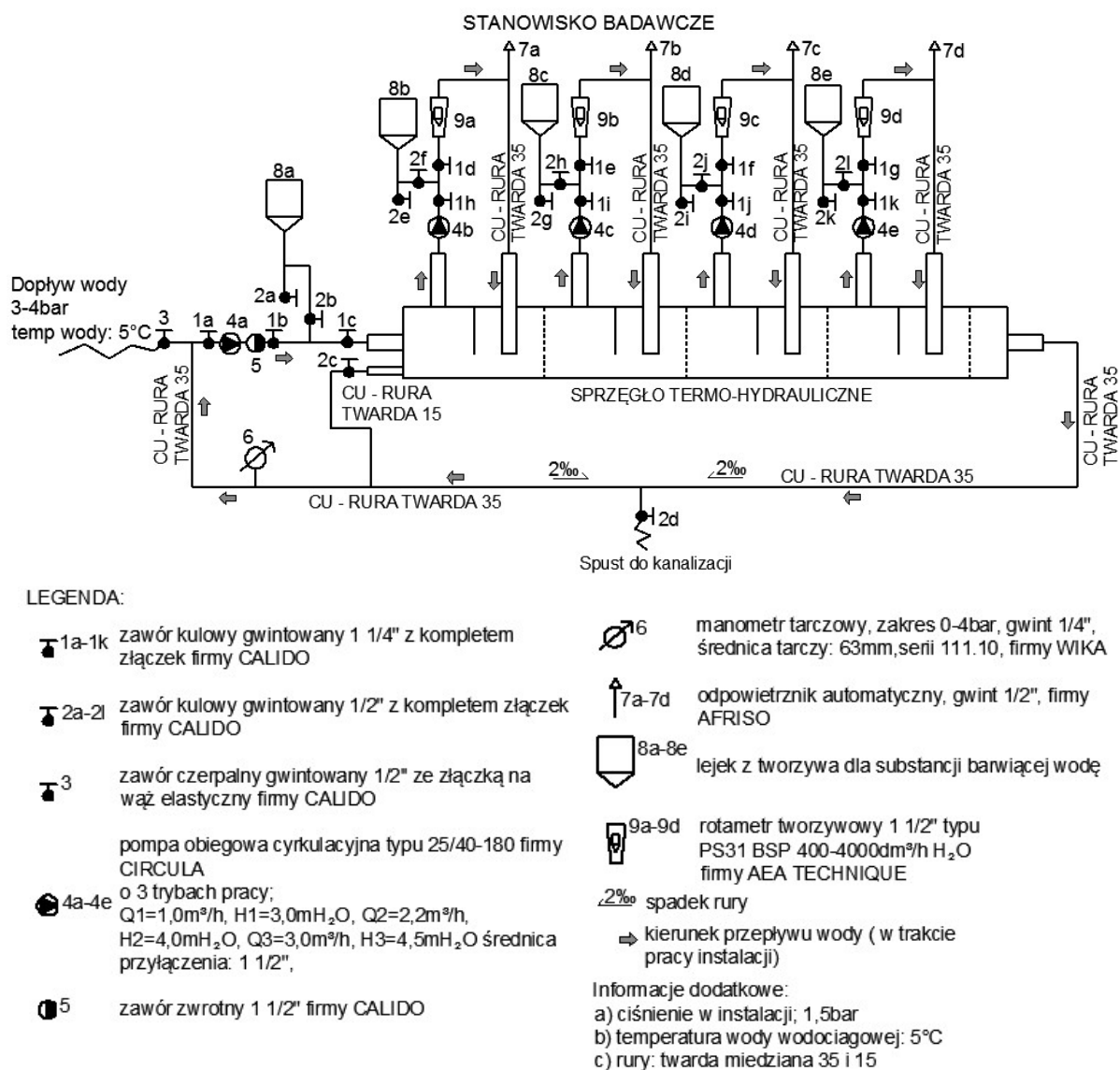
Zasada działania urządzenia jest dość złożona. Do pierwszego segmentu sprzęgła R_1 wpływa woda grzewcza z rury od źródła ciepła o masowym natężeniu przepływu G_z i o temperaturze t_z . Przepływ dzieli się na część zasilającą obwód 1 o parametrach G_{z1} i $t_{z1}=t_z$ oraz na część przepływu o natężeniu G_z-G_{z1} . Czynnik ten o tej samej temperaturze, co czynnik zasilający, przepływa wokół przegrody H_1 i miesza się z czynnikiem powrotnym już schłodzonym z obwodu 1, o masowym natężeniu przepływu $G_{p1}=G_{z1}$ i temperaturze t_{p1} . W ten sposób powstaje przepływ mający temperaturę mieszaniny t_{m1} i o masowym natężeniu przepływu $G_1=G_z$ opuszczający pierwszy segment urządzenia. Zadaniem przegrody H_1 jest podzielenie przestrzeni hydraulicznej (segmentu R_1) zarówno na strefę przepływów P_1 i strefę mieszania Z_1 . W strefie przepływów P_1 generowany jest przepływ, który zasila obwód 1 z masowym natężeniem przepływu G_{z1} proporcjonalnym do obliczonego zapotrzebowania na moc tego obwodu. Kiedy pozostała część strumienia omija przegrodę H_1 , dochodzi do turbulencji przepływu z czynnikiem chłodzącym powracającym do strefy mieszania. Poprzez wymieszanie ustala się temperatura mieszaniny t_{m1} . Zadaniem siatkowej przegrody S_1 , o odpowiedniej perforacji, jest wyrównywanie parametrów z masowym natężeniem przepływu G_1 , zanim jeszcze wejdzie on do następnego segmentu. Takie procesy hydro- i termodynamiczne zachodzą również w kolejnych segmentach $R_2 \div R_5$. Na wylocie z urządzenia powstaje czynnik grzewczy o masowym natężeniu przepływu G_p i temperaturze t_p , który wraca do źródła ciepła [1].

W przypadku powstania zmian przepływu w obwodach, spowodowanych głównie działaniem układów regulacji automatycznej, sprzęgło termo-hydrauliczne działa tak samo jak PRH. Na przykład, jeśli przepływ zmniejsza się dla danego obwodu, część przepływu nie zaburza pracy kolejnych pomp obiegowych. Układ regulacji następnego obiegu reaguje na nadmierną ilość

ciepła, zgodnie z przyjętym algorytmem regulacji. Czynnik w danym obiegu osiąga ustaloną temperaturę poprzez np. regulację zaworów trójdrogowych mieszających, które mieszają czynnik zasilający z powrotnym. Nadmiar ciepła przekazywany jest z kolei do następnych obiegów, gdzie również następuje regulacja temperatury czynnika. Czynnik grzewczy o podwyższonej temperaturze wraca do źródła ciepła. Jeśli instalacja wyposażona jest w biwalentny zbiornik buforowy, część nadmiaru energii może być w nim gromadzona, po czym wykorzystana w przypadku chwilowego zwiększenia przepływu w danym obiegu bądź w obiegach grzewczych. W sytuacji wykorzystania nadmiaru energii cieplnej w całym systemie grzewczym źródło ciepła uruchamia się dostarczając kolejną dawkę ciepła. Aby jednak nie doprowadzać do przestoju danego obiegu, można byłoby zmienić konfigurację układu tak, aby wszystkie obiegi funkcjonowały równolegle zmieniając jedynie temperaturę na wylocie ze źródła ciepła. W takim przypadku należałoby zastosować źródło o regulowanej mocy. W układach ze sprzęgłem szeregowym zaleca się stosowanie buforów ciepła bądź zbiorników buforowych biwalentnych, celem gromadzenia nadmiaru energii cieplnej. Zaletą szeregowego sprzęgła termo-hydraulicznego jest równoległe rozwiązanie zagadnień równoważenia hydraulicznego i termodynamicznego [1][14].

3.1.3. Tok postępowania przeprowadzania prób wizualnych na stanowisku badawczym

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 21.



Rys. 21. Schemat stanowiska badawczego. Opracowanie własne

W celu zrealizowania wizualizacji przebiegu mieszania się strumieni, instalację wpierw wypełniono wodą wodociągową poprzez otwarcie zaworu 3. Przed napełnieniem instalacji, zawory 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2j, 2k, 2l zamknięto. Podczas napełniania następowało odpowietrzanie poprzez odpowietrzniki automatyczne 7a, 7b, 7c, 7d, związku z czym, korygowano wartość nadciśnienia odczytywanego na manometrze 6 zaworem 3, aż do osiągnięcia stabilizacji i żądanej wartości nadciśnienia w instalacji, która może mieścić się w zakresie od 0,7, 0,8 do 2 bar [58]. Przyjęto, iż nadciśnienie podczas prób wynosić będzie 1,5 bar. Ponieważ proces realizowano w jednym segmencie sprzęgła, przygotowano czynniki barwiące w dwóch menzurkach o pojemności równej 500 ml, całkowicie wypełnione wodą wodociągową do końca skali. Do każdego danego naczynia z wodą dodano kilka kropel (4, 6) barwników do wody

firmy *Blueway* w buteleczkach z kroplomierzami o pojemności 150 ml każda, koloru niebieskiego i czerwonego. Dobrane barwniki po wymieszaniu tworzą odmienny i oczekiwany kolor fioletowy (dla $G_z = G_{pl}$), co umożliwiło przeprowadzenie prawidłowej wizualizacji procesu w określonych wariantach. Ponieważ badanie przeprowadzono w pierwszym segmencie (od lewej), zawory **1b**, **1c** oraz **1d**, **1h** zamknięto, a zawory **2a**, **2b** i **2e**, **2f** powoli otwierano celem swobodnego usunięcia wody wodociągowej z części instalacji. Następnie zawory **2a** i **2e** zamknięto oraz wiano przygotowane wcześniej odczynniki barwiące osobno do poszczególnego obiegu poprzez lejki **8a** i **8b**. Zawory **2b** i **2f** ponownie zamknięto, a zawory **1b**, **1c** oraz **1d**, **1h** otworzono (następuje niewielki spadek ciśnienia w instalacji, który nie ma wpływu jednak na proces badawczy). Uruchomiono pompy **4a** i **4b** ustawione na określonych trybach pracy i dokonano wizualizacji procesu mieszania się strumieni. Po wykonanym procesie zabarwioną wodę opróżniono ze sprzęgła poprzez otwarcie zaworu **2c** oraz z całej instalacji do kanalizacji poprzez otwarcie zaworu spustowego **2d**. Proces wizualizacji przeprowadzono dla określonych wariantów ($G_z = G_{pl}$, $G_z < G_{pl}$ i $G_z > G_{pl}$) zgodnie z przyjętym tokiem postępowania. Podczas prowadzenia badań eksperymentalnych odczytano wartości przepływów dla czterech obiegów za pomocą rotametrów tworzywowych **9a**, **9b**, **9c**, **9d**.

3.1.4. Model matematyczny

Sprzęgło termo-hydrauliczne zostało tak zaprojektowane, aby mieszanie czynników zachodziło wyłącznie w strefie mieszania Z_i , w których procesy fizyko-chemiczne zachodzą pod stałym ciśnieniem ($p = const$), czyli w warunkach izobarycznych. Ponieważ mieszanie strumieni zachodzi przy stałym ciśnieniu, strumień ciepła $\dot{Q}_i$ [J/s] jest iloczynem strumienia masy G_i [kg/s] i entalpii h [J/kg] czynnika. Można przyjąć, iż entalpia właściwa jest iloczynem ciepła właściwego c_p [J/(kg · K)] oraz temperatury t_i . Jeżeli przyjmiemy $c_p = const$, co jest słuszne dla wody technologicznej w warunków stałego ciśnienia, to entalpia układu zamkniętego h jest zależna tylko od temperatury t_i , która ulega zmianie wyłącznie na wskutek dostarczania lub odprowadzania ciepła. Zatem, materialne strumienie czynników G_i można rozpatrywać jako fizyczne strumienie ciepła $\dot{Q}_i$ [3][6][10][32][36][41].

Dla układu idealnego suma przyrostów zmian masy oraz suma przyrostów ciepła czynników są równe zeru [36][41][45]. Zatem można zapisać:

$$\sum_{i=1}^n G_i + \sum_{i=1}^n \Delta G_i = 0 \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^n \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^n \Delta \dot{Q}_i = 0 \quad (24)$$

$$G_z = G_l = G_2 = G_3 = G_4 = G_p \quad (25)$$

$$t_z = t_{z1} ; t_{m1} = t_{z2} ; t_{m2} = t_{z3} ; t_{m3} = t_{z4} ; t_{m4} = t_p \quad (26)$$

$$G_{z1} = G_{p1} ; G_{z2} = G_{p2} ; G_{z3} = G_{p3} ; G_{z4} = G_{p4} \quad (27)$$

Relacja pomiędzy ciepłem a temperaturą ma postać [36]:

$$\dot{Q}_i = G_i c_p t_i \quad (28)$$

w którym:

- $\dot{Q}_i$ – strumień i-tego ciepła w [J/s],
- G_i – masowe natężenie i-tego przepływu w [kg/s],
- c_p – ciepło właściwe wody grzewczej w [J/(kg · K)],
- t_i – temperatura i-tej substancji w [K].

Dla strefy Z_I różniczkowy bilans ciepła można zapisać:

$$\begin{aligned} d\dot{Q}_1 &= G_{z1} c_p dt \\ \dot{Q}_1 &= G_{z1} c_p \int_{t_{p1}}^{t_{m1}} dt = G_{z1} c_p \Big|_{t_{p1}}^{t_{m1}} = G_{z1} c_p (t_{m1} - t_{p1}) \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} d\dot{Q}_2 &= (G_z - G_{z1}) c_p dt \\ \dot{Q}_2 &= (G_z - G_{z1}) c_p \int_{t_z}^{t_{m1}} dt = (G_z - G_{z1}) c_p \Big|_{t_z}^{t_{m1}} = \\ &= (G_z - G_{z1}) c_p (t_{m1} - t_z) \end{aligned} \quad (30)$$

$$\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 = 0 \quad (31)$$

$$\dot{Q}_1 = -\dot{Q}_2$$

$$G_{z1}c_p(t_{m1} - t_{p1}) = -(G_z - G_{z1})c_p(t_{m1} - t_z) \quad (32)$$

Ponieważ zależność ciepła właściwego od temperatury dla wody technologicznej jest niewielka (przyjęto $c_p = \text{const}$), t_{m1} będzie wynosiło:

$$t_{m1} = \frac{G_{z1}t_{p1} + (G_z - G_{z1})t_z}{G_{z1} + (G_z - G_{z1})} \quad (33)$$

Ponieważ $G_1 = G_{z1} + G_z - G_{z1}$, czyli $G_1 = G_z$, równanie temperatury po wymieszaniu t_{m1} w strefie mieszania Z_1 po przekształceniu będzie miało postać:

$$t_{m1} = t_z - \frac{G_{z1}}{G_1}(t_z - t_{p1}) \quad (34)$$

Analogicznie dla strefy mieszania Z_2 można zapisać:

$$t_{m2} = t_{m1} - \frac{G_{z2}}{G_2}(t_{m1} - t_{p2}) \quad (35)$$

Dla strefy mieszania Z_3 można zapisać:

$$t_{m3} = t_{m2} - \frac{G_{z3}}{G_3}(t_{m2} - t_{p3}) \quad (36)$$

A dla strefy mieszania Z_4 można zapisać:

$$t_{m4} = t_{m3} - \frac{G_{z4}}{G_4}(t_{m3} - t_{p4}) = t_p \quad (37)$$

Uzyskana temperatura mieszania po wymieszaniu się strumieni jest nieodwracalna, tzn. podzielenie wymieszanego strumienia na dwa pierwotne przepływy dopływające nie spowoduje powrotu temperatur tych strumieni do swoich wartości początkowych przed wymieszaniem.

3.2. Badanie parametrów czynnika grzewczego w warunkach działalności świadczącej usługi noclegowe

Pomiary wybranych parametrów czynnika grzewczego, między innymi temperatury na zasileniu i powrocie oraz przepływów dla czterech obiegów grzewczych w warunkach rzeczywistych przeprowadzono w hotelu Services&Bistro zlokalizowanym w Koszalinie przy ulicy Dworcowej 5A.

3.2.1. Stan istniejący układu hybrydowego

Obiekt posiada wielobiegowy układ cieplny, który wymaga dostosowywania czynnika grzewczego o bardzo urozmaiconych parametrach zmieniających się w sposób skrajnie nieregularny. Taki właśnie charakter pracy układu przyczynił się do opracowania idei zrównoważenia obiegów za pomocą nowatorskiego urządzenia, które nazwano szeregowym sprzęgłem termohydraulicznym.

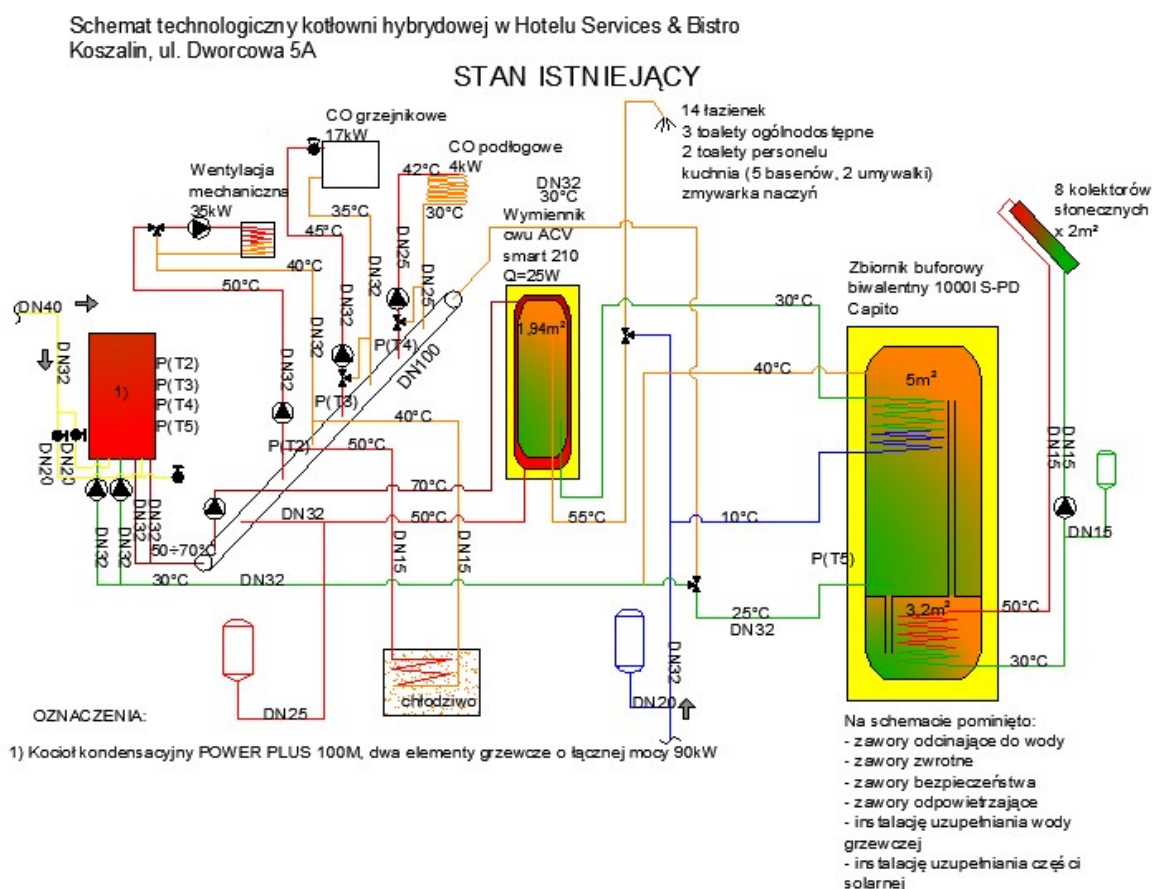
Układ cieplny charakteryzuje się przede wszystkim tym, iż obiegi grzewcze podłączone są szeregowo względem siebie, usytuowane od największego wymaganego zakresu temperaturowego czynnika grzewczego do najmniejszego. Wyróżnić można 4 obiegi grzewcze:

- I obieg – ciepła woda użytkowa o parametrach czynnika grzewczego 70/50°C oraz o mocy zapotrzebowania $Q = 25$ kW,
- II obieg – wentylacja mechaniczna o parametrach czynnika grzewczego 50/40°C oraz o mocy zapotrzebowania $Q = 35$ kW,
- III obieg – ogrzewanie grzejnikowe o parametrach czynnika grzewczego 45/35°C oraz o mocy zapotrzebowania $Q = 17$ kW,
- IV obieg – ogrzewanie podłogowe o parametrach czynnika grzewczego 42/30°C oraz o mocy zapotrzebowania $Q = 4$ kW.

Kotłownia hybrydowa znajduje się w piwnicy. Schemat istniejącej kotłowni hybrydowej przedstawiono na rys. 22. W schemacie pominięto szereg typowych urządzeń, tj. zaworów odcinających, zwrotnych, bezpieczeństwa, odpowietrzających, instalację uzupełniania wody grzewczej oraz instalację uzupełniania części solarnej. Instalację można podzielić na obwody oraz układy:

- obwód wytwarzania energii cieplnej,
- obwody systemów wewnętrznych zużywające ciepło,
- pośrednie układy magazynowania, dystrybucji oraz wymienników ciepła,

- układ chłodzenia obiegu wentylacji mechanicznej.



Rys. 22. Schemat technologiczny kotłowni hybrydowej w Hotelu Services & Bistro.
Opracowanie własne

Schemat kotłowni można podzielić również na cztery główne zespoły:

1. Główne źródło ciepła – kocioł gazowy kondensacyjny typu POWER PLUS 100M firmy BERETTA z dwoma elementami grzewczymi pracujące w kaskadzie o łącznej mocy 90 kW, z funkcją regulacji mocy i zakresu temperatury czynnika grzewczego,
2. Układ solarny jako pomocnicze źródło ciepła – 8 kolektorów słonecznych o powierzchni 2 m² każdy. W okresie letnim układ staje się głównym źródłem ciepła, szczególnie do wytwarzania ciepłej wody.
3. Układ magazynowania ciepła – stanowi zbiornik buforowy biwalentny o pojemności 1000 dm³ typu S-PD firmy Capito.
4. Układ podgrzania i magazynowania c.w.u. – płaszczowy wymiennik firmy ACV typu smart 210 o mocy $Q=25$ kW.

Obieg przygotowania ciepłej wody użytkowej służy do dostarczania ciepłej wody do czternastu łazienek, trzech toalet ogólnodostępnych, dwóch

toalet dla personelu oraz kuchni, w której znajduje się pięć basenów, dwie umywalki oraz zmywarka do mycia naczyń. Obieg wentylacji mechanicznej służy do nagrzewania jadalni znajdującej się na parterze oraz niektórych pomieszczeń w piwnicy. Trzeci obieg dostarcza energię cieplną do grzejników znajdujących się praktycznie w każdym pomieszczeniu hotelu. Instalacja ogrzewania podłogowego zasila szczególnie łazienki.

Rolę sprzęgła szeregowego stanowi obecnie wymiennik, który zbudowany jest z rury stalowej nierdzewnej o średnicy DN100 oraz dospawanych 8 króćców pionowych, z czego 6 o DN32 i 2 o DN25 oraz dwóch króćców poziomych o DN32. Wymiennik jest w pozycji pochylonej celem jego odmulania i odpowietrzania. Urządzenie wewnątrz nie jest wyposażone w dodatkowe elementy, w samym sprzęgle króćce zanurzone są do połowy średnicy rury. Istniejący wymiennik podczas pracy przedstawiono na rys. 23.



Rys. 23. Istniejący wymiennik podczas pracy. Opracowanie własne

W poszczególnych obiegach znajdują się następujące pompy:

- I obieg – ciepła woda użytkowa, 70/50°C, $Q=25$ kW – pompa obiegowa firmy LFP, typu 25POR40C, o wydajności nominalnej $2,5$ m³/h i wysokości podnoszenia 4 mH₂O, o trzech trybach pracy,
- II obieg – wentylacja mechaniczna, pompa obiegowa firmy Grundfos, typu Alpha2 15-40 130 o wydajności nominalnej $2,5$ m³/h i wysokości podnoszenia 4 mH₂O, z funkcją AUTOADAPT umożliwiającą stałe dostosowywanie wydajności pompy do faktycznego zapotrzebowania na ciepło,

- III obieg – ogrzewanie grzejnikowe, pompa obiegowa firmy Grundfos, typu Alpha2 25-40 180 o wydajności nominalnej 2,5 m³/h i wysokości podnoszenia 4 mH₂O, z funkcją AUTOADAPT umożliwiającą stałe dostosowywanie wydajności pompy do faktycznego zapotrzebowania na ciepło,
- IV obieg – ogrzewanie podłogowe, pompa obiegowa firmy Grundfos, typu Alpha2 25-40 150 o wydajności nominalnej 2,5 m³/h i wysokości podnoszenia 4 mH₂O, z funkcją AUTOADAPT umożliwiającą stałe dostosowywanie wydajności pompy do faktycznego zapotrzebowania na ciepło.
- Układ złożony z dwóch pomp UP 20-45 N 150 o wydajności nominalnej 2,0 m³/h i wysokości podnoszenia 3,2 mH₂O przed kotłem POWER PLUS 100M. Kotły POWER PLUS nie są wyposażone we własne pompy obiegowe.

Regulację przepływów w II, III i IV obiegu powodują zamontowane na pionach głównych trójdrogowe zawory mieszające z siłownikami podłączonymi pod główny system sterowania. Grzejniki dodatkowo wyposażone są w ręczne oraz automatyczne zawory termostatyczne.

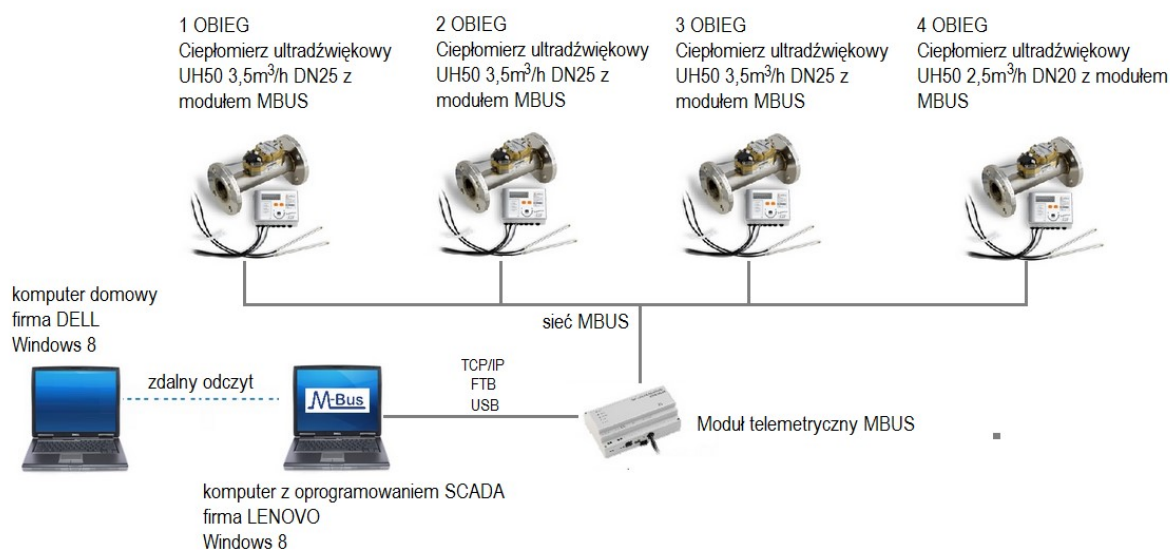
System automatyki kotłowni zakłada równoległą pracę trzech obiegów grzewczych, tj. wentylacji mechanicznej, CO grzejnikowego i CO podłogowego. Na czas uruchomienia obiegu ciepłej wody użytkowej, obieg CO grzejnikowy jest wyłączany. W zależności od temperatury zewnętrznej, system reguluje temperaturę czynnika grzewczego co ma przejaw na moc odbiorników.

Główną wadą istniejącego układu hybrydowego w trakcie pracy (w sezonie grzewczym) to niekontrolowany przyrost temperatury czynnika grzewczego na wlocie do każdego obiegu grzewczego oraz w układzie kocioł – sprzęgło – bufor – kocioł.

3.2.2. Pomiar temperatury na zasileniu i powrocie oraz przepływów dla czterech obiegów grzewczych w warunkach rzeczywistych

Pomiar wybranych parametrów czynnika grzewczego, między innymi temperatury na zasileniu i powrocie oraz przepływów dla czterech obiegów grzewczych dokonano na podstawie systemu pobierającego dane *online* w czasie rzeczywistym. System zdalnego odczytu danych stworzonego przy współpracy z firmą ANTAP Grupa Sp. z o.o., który składał się głównie z czterech ciepłomierzy ultradźwiękowych typu UH50, modułu telemetrycznego MBUS, komputera z oprogramowaniem SCADA zlokalizowanego w kotłowni

hybrydowej oraz komputera domowego. Schemat zdalnego odczytu przedstawiono na rys. 24.

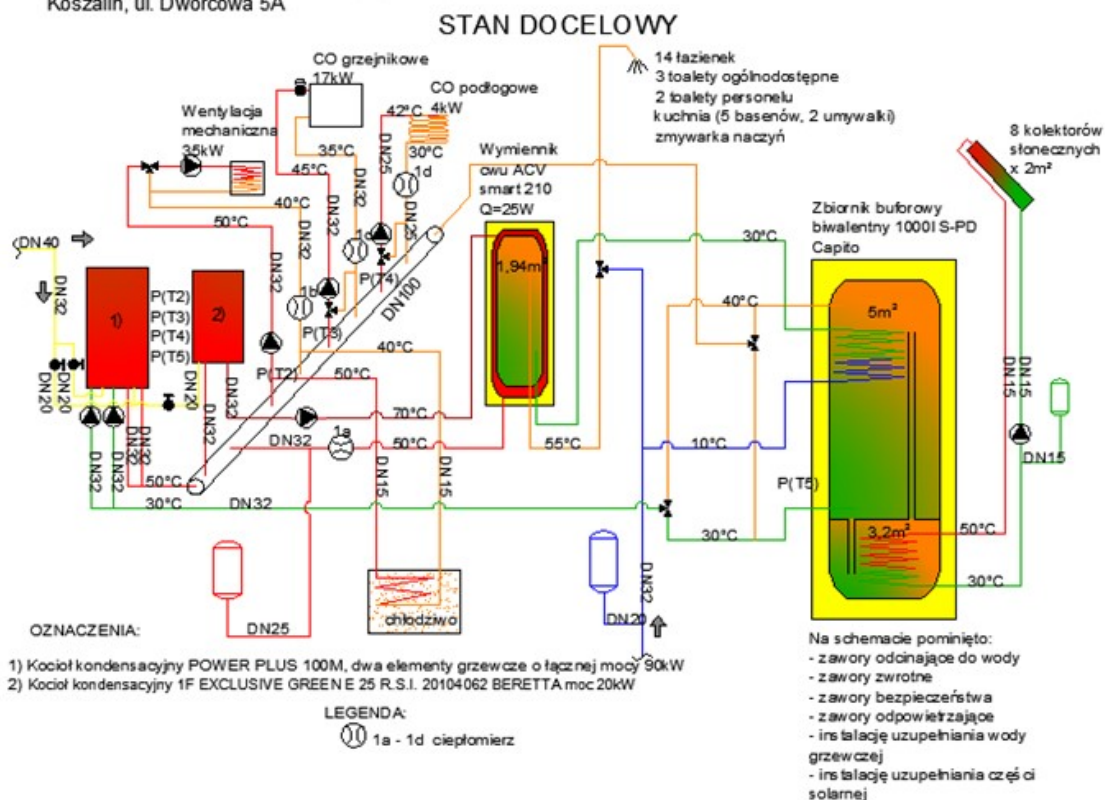


Rys. 24. Schemat zdalnego odczytu danych pomiarowych w warunkach rzeczywistych.
Opracowanie własne

System umożliwiał pobieranie danych poprzez moduł telemetryczny MBUS MoT umożliwiającą komunikację za pośrednictwem sieci *ethernet* z ciepłomierzami wyposażonymi w łącze MBUS. Komunikacja z urządzeniem realizowana była poprzez protokół TCP jako połączenie z określonym adresem IP i numerem portu. Dane odczytane z ciepłomierzy zapisywane były na komputerze zlokalizowanym na obiekcie, w plikach w formacie DBF, jako standardowe pliki baz danych otwieralnych między innymi przez program Microsoft Excel. Jeden plik zawierał dane pomiarowe z każdego dnia zapisywane z częstotliwością co 5 minut. Poprzez oprogramowanie narzędziowe AnyDesk umożliwiające zdalne sterowanie systemem operacyjnym, dokonywano pobierania plików na komputer domowy w dogodnym okresie czasu.

Na poczet badań naukowych, na każdym obiegu grzewczym (na powrotach) zamontowano ciepłomierze ultradźwiękowe z parą czujników temperatury Pt500. Schemat technologiczny kotłowni hybrydowej w hotelu Services & Bistro wraz z urządzeniami pomiarowymi przedstawiono na rys. 25.

Schemat technologiczny kotłowni hybrydowej w Hotelu Services & Bistro
Koszalin, ul. Dworcowa 5A



Rys. 25. Schemat technologiczny kotłowni hybrydowej w hotelu Services & Bistro wraz z urządzeniami pomiarowymi. Opracowanie własne

Dla poszczególnych obiegów zamontowano:

- I obieg – ciepła woda użytkowa, 70/50°C, $Q = 25 \text{ kW}$ – ciepłomierz ultradźwiękowy UH50 o nominalnym przepływie $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$, z króćcami o DN25 z modułem MBUS, typu ULTRAHEAT T550, firmy ANTAP,
- II obieg – wentylacja mechaniczna, 50/40°C, $Q = 35 \text{ kW}$ – ciepłomierz ultradźwiękowy UH50 o nominalnym przepływie $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$, z króćcami o DN25 z modułem MBUS, typu ULTRAHEAT T550, firmy ANTAP,
- III obieg – ogrzewanie grzejnikowe, 45/35°C, $Q = 17 \text{ kW}$, ciepłomierz ultradźwiękowy UH50 o nominalnym przepływie $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$, z króćcami o DN25 z modułem MBUS, typu ULTRAHEAT T550, firmy ANTAP,
- IV obieg – ogrzewanie podłogowe, 42/30°C, $Q = 4 \text{ kW}$ – ciepłomierz ultradźwiękowy UH50 o nominalnym przepływie $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, z króćcami o DN20 z modułem MBUS, typu ULTRAHEAT T550, firmy ANTAP.

Każdy ciepłomierz składał się z trzech elementów połączonych ze sobą w funkcjonalną całość: z przelicznika wskazującego, przetwornika przepływu oraz pary czujników temperatury Pt500 (czujniki na zasileniu zamontowano

przed układami mieszającymi, a czujniki na powrocie bezpośrednio na wlocie do sprężgła). Przetwornik przepływu dostarczał wynik pomiaru strumienia masy. Czujniki temperatury zamontowano na rurociągu zasilającym i powrotnym, które wskazywały wysokość temperatury czynnika grzewczego.

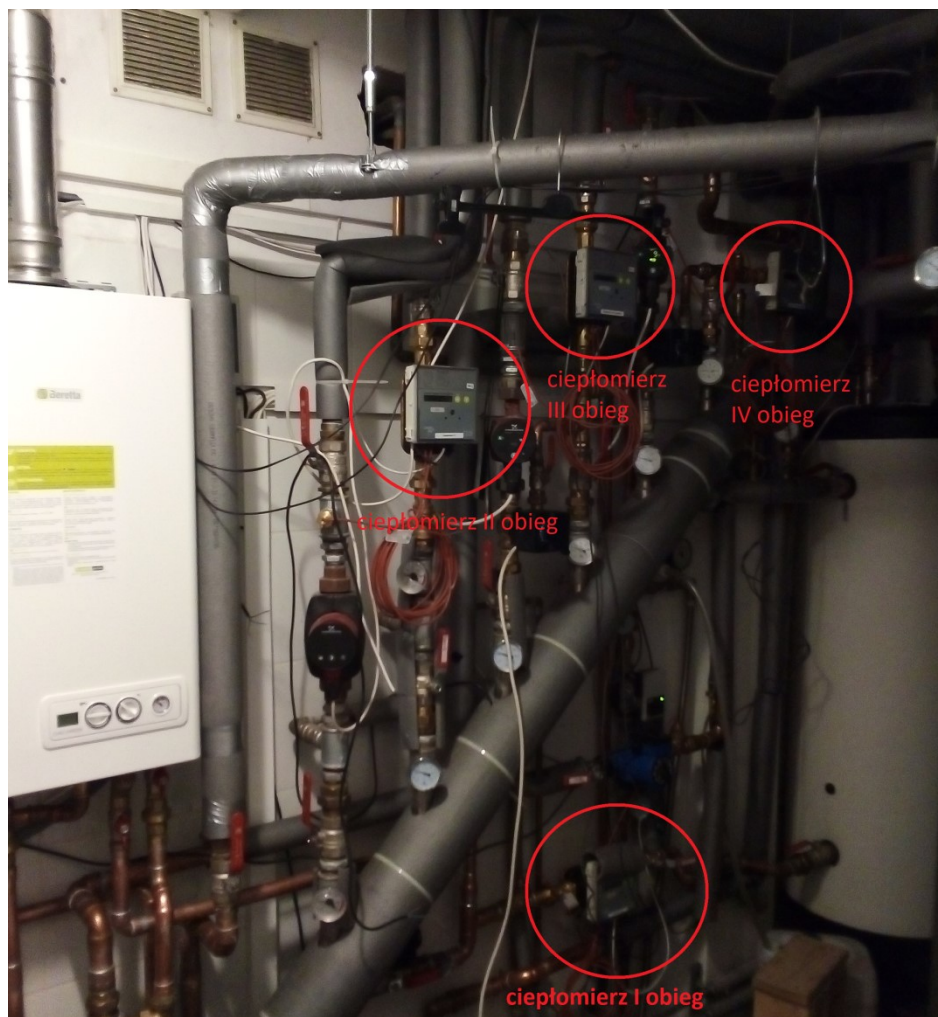
Do badań w warunkach rzeczywistych dobrano celowo ciepłomierze ultradźwiękowe ULTRAHEAT T550 (UH50) firmy ANTAP z certyfikatem zgodności z dyrektywą MID z uwagi na ich dużą dokładność i przede wszystkim niezawodność pomiarów, co było niezmiernie ważne do uzyskiwania prawidłowych wyników badawczych.

Cechy charakterystyczne ciepłomierzy ULTRAHEAT T550 (UH50):

- bardzo dokładna ultradźwiękowa metoda pomiaru przepływu,
- całkowicie metalowa konstrukcja przetwornika bez elementów ruchomych,
- dynamika pomiarów wg EN 1434 – 1:100, całkowita dynamika pomiarów – 1:1000,
- zasilanie z baterii o 16-sto letniej żywotności, lub z zasilaczy sieciowych,
- autodiagnostyka urządzenia, sygnalizacja błędów 60 rejestrów miesięcznych
- dziennik zdarzeń (ostatnie 96 stanów),
- dataLogger (opcja) – rozszerzona rejestracja danych do monitorowania systemu (rejestry godzinowe, dobowe, miesięczne i roczne),
- dwa porty komunikacyjne do montażu modułów rozszerzających (montaż modułów bez konieczności zerwania plomb legalizacyjnych i użycia narzędzi),
- złącze do odczytu za pomocą głowicy optycznej (zgodne z EN62056-21:2002),
- ultradźwiękowy pomiar przepływu -klasa dokładności 2 (wg PN EN 1434),
- certyfikat zgodności z dyrektywą MID DE-07-MI004-PTB010.

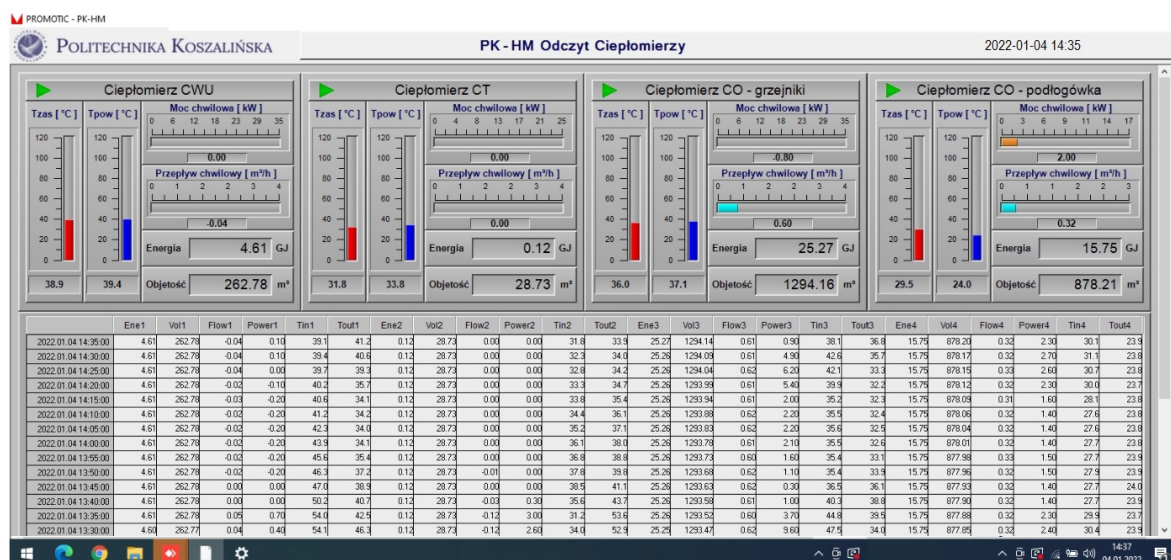
Oprócz ciepłomierzy zamontowano kocioł kondensacyjny typu EXCLUSIVE GREEN 25 o zakresie mocy 5-20 kW firmy BERETTA wyposażony w pompę z synchroniczną modulacją PWM (GRUNDFOS UMP 3 FLEX AS 15-70 ustawioną w trzecim trybie pracy o wydajności nominalnej 2,70 m³/h i wysokości podnoszenia 2,5 mH₂O) jako dodatkowe źródło ciepła służące wyłącznie do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Zgodnie z algorytmem automatyki, ten kocioł kondensacyjny uruchamia się tylko wtedy, gdy układ solarny nie jest w stanie zapewnić wymaganej temperatury ciepłej wody. Kocioł BERETTA zastępuje

w ten sposób istniejący główny kocioł POWER PLUS 100M. Umożliwia to niepotrzebne uruchamianie głównego kotła o znacznie większej mocy. Montaż kotła traktuje się jako rozwiązanie techniczne. Kotłownię wraz urządzeniami pomiarowymi przedstawiono na rys. 26.



Rys. 26. *Kotłownia hybrydowa wraz z urządzeniami pomiarowymi oraz kotłem. Opracowanie własne*

Na komputerze w obiekcie zainstalowano oprogramowanie pod nazwą PK – HM umożliwiające odczyt i rejestrację danych z ciepłomierzy. Wizualizację oprogramowania podczas badań przedstawiono na rys. 27.



Rys. 27. Wizualizacja oprogramowania PK – HM. Stan na 2022-01-04 14:35. . Opracowanie własne

Z ciepłomierzy odczytywane były różne parametry; przepływ chwilowy w [m^3/h], temperatura zasilania i powrotu w [$^{\circ}\text{C}$], moc chwilowa w [kW], objętość w [m^3] oraz energia w [GJ].

System pomiarowy na cele badawcze cechował się prostotą, dużą dokładnością pomiarową oraz niezawodnością pomiarów.

4. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań w warunkach rzeczywistych zostały przedstawione w tabelce nr 8, a warunkach laboratoryjnych na rysunkach 28÷49 (zdjęciach) wykonanych podczas badań eksperymentalnych oraz w tabelkach nr 4, 5, 6, 7.

Efekty badań naukowych uzyskano na podstawie monitoringu zmian wybranych parametrów czynnika grzewczego, między innymi temperatury na zasilaniu i powrocie oraz przepływów w sezonie grzewczym (od 04.10.2021r. do 21.04.2022r.) w kotłowni hybrydowej dla każdego obiegu grzewczego i zasilającego o zróżnicowanym charakterze pracy oraz wizualizacji przepływów na stanowisku badawczym ze sprzęgiem termo-hydraulicznym w warunkach ustalonych.

4.1. Wyniki badań eksperymentalnych

Wyniki badań eksperymentalnych czterech serii przedstawiają zdjęcia fotograficzne. Proces wizualizacji przepływów przedstawiono w czasie dziesięciu sekund, w odstępach co jedną sekundę.

Konstrukcja sprzęgła termo-hydraulicznego została tak zaprojektowana, aby w strefach mieszania Z_i zapewniać skuteczne wymieszanie się strumieni, tworząc nowe mieszaniny o znanych temperaturach t_{mi} , wyznaczanych za pomocą równań termodynamicznych. Aby skutecznie doprowadzić do wymieszania się dwóch strumieni w całej komorze mieszania, należy zachować w każdym segmencie odpowiednią wysokość przegród zawirowujących. Ponieważ każdy segment jest tym samym modułem, wysokości każdej płyty są sobie równe. Ostateczna dobrana wysokość przegród zawirowujących dla danego sprzęgła wynosi 170 mm. Tak jak wspomniano, przegroda zawirowująca powinna być tak zwymiarowana, aby powierzchnia wolna w przekroju poprzecznym urządzenia winna być przybliżona, lecz nie mniejsza od wymaganej minimalnej powierzchni wolnej w przekroju poprzecznym urządzenia. Niespełnienie tego kluczowego kryterium wiąże się z uzyskiwaniem niedostatecznego wymieszania się strumieni. W trakcie badań wizualnych zaobserwowano tę zależność, szczególnie, kiedy sprzęgło było pozbawione przegród zawirowujących i płyt sitowych. Przy zastosowaniu przegrody o wysokości 130 mm i większych (150 mm), nie zachodziło mieszanie w całej strefie mieszania, lecz tylko w jej niewielkiej części, a to przeczy z założeniami modelu procesu mieszania. Reasumując, prawidłowa konstrukcja hydrauliczna sprzęgła, a szczególności jego segmentu, powinna umożliwić mieszanie czynników w całej strefie mieszania, aby uzyskać jednolitą temperaturę mieszaniny za płytą sitową w całym przekroju poprzecznym urządzenia. Wówczas wyznaczanie temperatury mieszaniny zgodnie z założeniami termodynamicznymi i hydraulicznymi jest słuszne. Im większe natężenie danego strumienia podczas mieszania, tym większy jego wpływ na temperaturę t_m . Zatem można powiedzieć, że temperatura mieszaniny t_m jest funkcją zależną od mas strumienia zasilającego i powrotnego z danego obiegu oraz od ich temperatur. Suma dopływających strumieni masy równa się strumieniowi masy wymieszanego wg:

$$G_1 t_1 + G_2 t_2 = (G_1 + G_2) t_3 = G_3 t_m \quad (38)$$

gdzie t_3 wyznacza się ze wzoru:

$$t_m = \frac{G_1 t_1 + G_2 t_2}{G_1 + G_2} = \frac{G_1 t_1 + G_2 t_2}{G_3} \quad (39)$$

Jeżeli masy strumieni dopływających i mieszających się są sobie równe, wówczas temperaturę mieszaniny t_m można wyznaczyć ze średniej arytmetycznej temperatur tych strumieni:

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (40)$$

Na początku zbadano, czy sprzęgło termo-hydrauliczne wraz z przegrodami zawirowującymi o wysokości 170 mm i płytami sitowymi nie stwarza dodatkowych oporów hydraulicznych dla każdego obiegu, co w samej rzeczy wykluczałoby sens sprzęgła hydraulicznego. Z tego względu, dla danego przypadku, wysokość przegrody zawirowującej nie może być większa od 170 mm. Wartości odczytano z 4 rotametrów **9a**, **9b**, **9c**, **9d** przy równoległym uruchomieniu pomp **4a**, **4b**, **4c**, **4d** i **4e** o znanych wydajnościach nominalnych. Ustawiono wpięrow wszystkie pompy w pierwszym trybie pracy ($Q_{nom1}=1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom1}=3,0 \text{ mH}_2\text{O}$), potem w drugim ($Q_{nom2}=2,2 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom2}=4,0 \text{ mH}_2\text{O}$), a na końcu w trzecim ($Q_{nom3}=3,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom3}=4,5 \text{ mH}_2\text{O}$). Odczyty z rotametrów podano w tabeli nr 4.

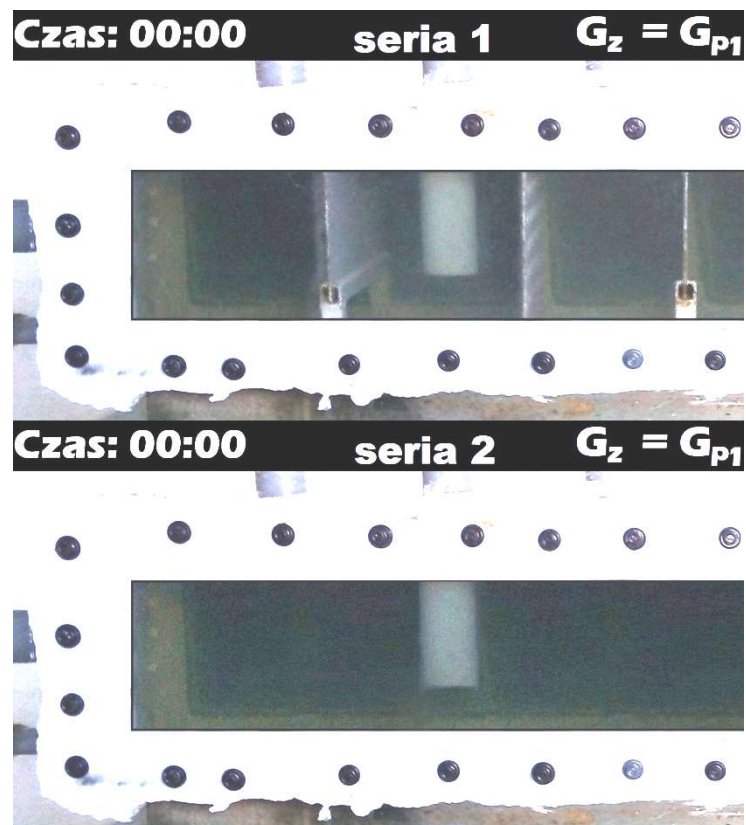
Tabela 4. Odczyty natężeń przepływów z czterech obiegów przy równoległej pracy pomp.
Opracowanie własne

	Rotametr 9a Obieg 1	Rotametr 9b Obieg 2	Rotametr 9c Obieg 3	Rotametr 9d Obieg 4
1 tryb pracy pomp	900 dm ³ /h	900 dm ³ /h	900 dm ³ /h	900 dm ³ /h
2 tryb pracy pomp	2100 dm ³ /h	2100 dm ³ /h	2100 dm ³ /h	2100 dm ³ /h
3 tryb pracy pomp	2800 dm ³ /h	2800 dm ³ /h	2800 dm ³ /h	2800 dm ³ /h

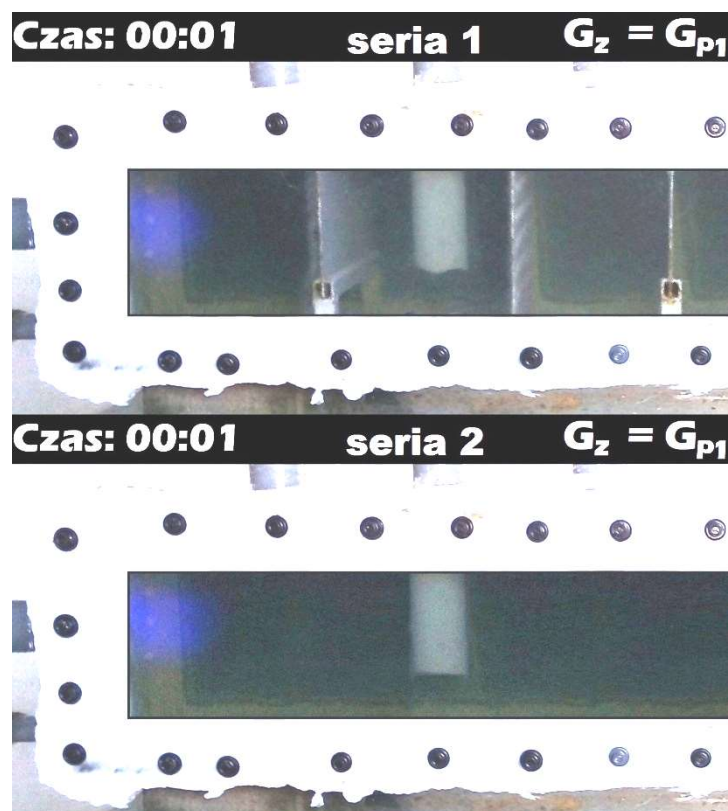
Na podstawie uzyskanych danych, można powiedzieć, że sprzęgło termo-hydrauliczne, tak jak standardowe PRH, nie stwarza dodatkowych oporów

hydraulicznych, ponieważ wartości przepływów z każdego obiegu są takie same. Przejawem tworzenia się dodatkowych oporów hydraulicznych przez sprzęgło o nieprawidłowej konstrukcji jest przede wszystkim zmiana wartości przepływów, najczęściej o tendencji spadkowej dla każdego kolejnego segmentu, podczas równoległej pracy pomp o tej samej wydajności. Rzeczywiste wartości natężeń pomp odczytanych z rotametrów nie są równe wartościom nominalnym, głównie z uwagi na powstające straty miejscowe i liniowe (poza sprzęgłem).

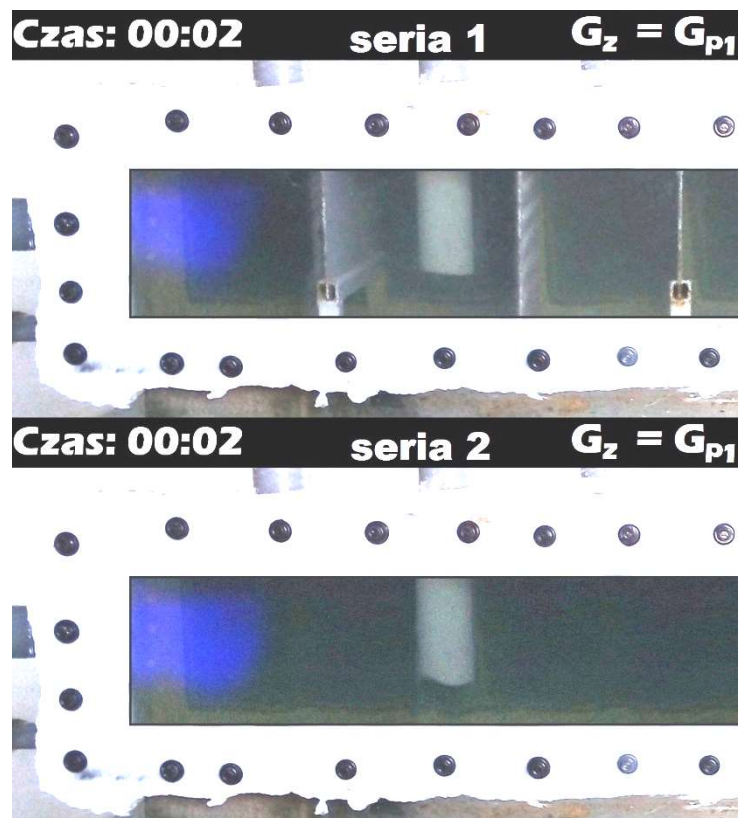
Po tej części badawczej przystąpiono do wizualizacji przepływów przy określonych parametrach pracy pomp. W pierwszej i drugiej serii wydajności pomp były równe, tj. $G_z = G_{p1}$ (3 tryb pracy pomp; $Q_{nom3} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom3} = 4,5 \text{ mH}_2\text{O}$). W pierwszej serii zastosowano przegrody zawirowujące o długości 170 mm i płyty sitowe, natomiast w drugiej celowo już nie. W celu porównania, pierwszą i drugą serię zestawiono razem i przedstawiono na rysunkach 28÷38. W trzeciej i czwartej serii wydajności pomp różniły się celowo. Dla trzeciej serii przeprowadzono wizualizację zgodnie z równaniem $G_z < G_{p1}$, a dla czwartej odwrotnie, tj. $G_z > G_{p1}$. W trzeciej serii pompę **4a** ustawiano w 1 trybie ($Q_{nom2} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom2} = 3,0 \text{ mH}_2\text{O}$), a pompę **4b** w 3 trybie pracy ($Q_{nom3} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{nom3} = 4,5 \text{ mH}_2\text{O}$), natomiast w czwartej serii wydajności tych pomp zamieniono. Natężenie przepływów odczytano z rotametrów. Trzecią i czwartą serię zestawiono na rysunkach 39÷49.



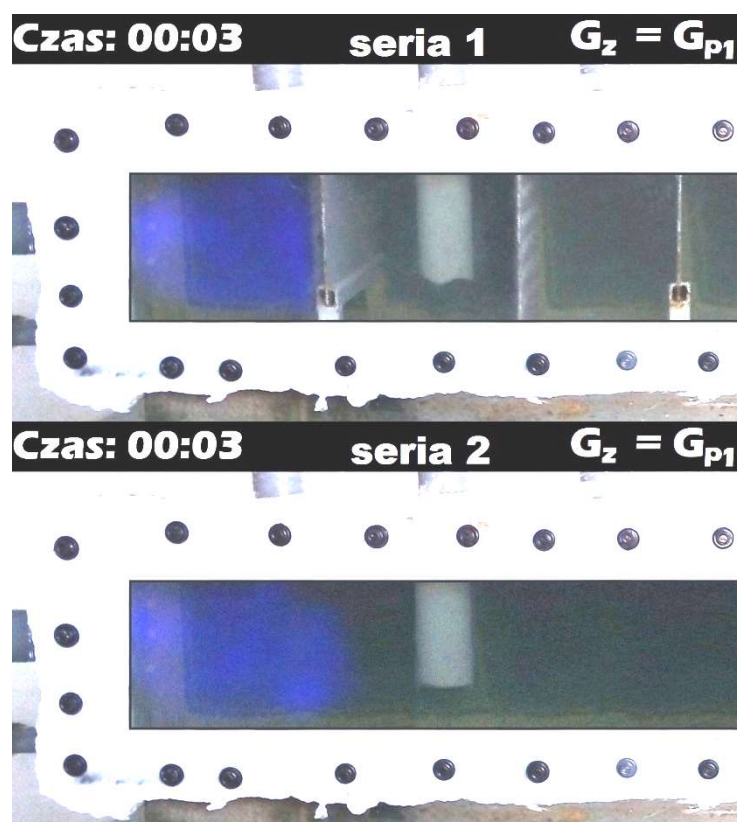
Rys. 28. Seria 1 i 2 w czasie 00:00. Opracowanie własne



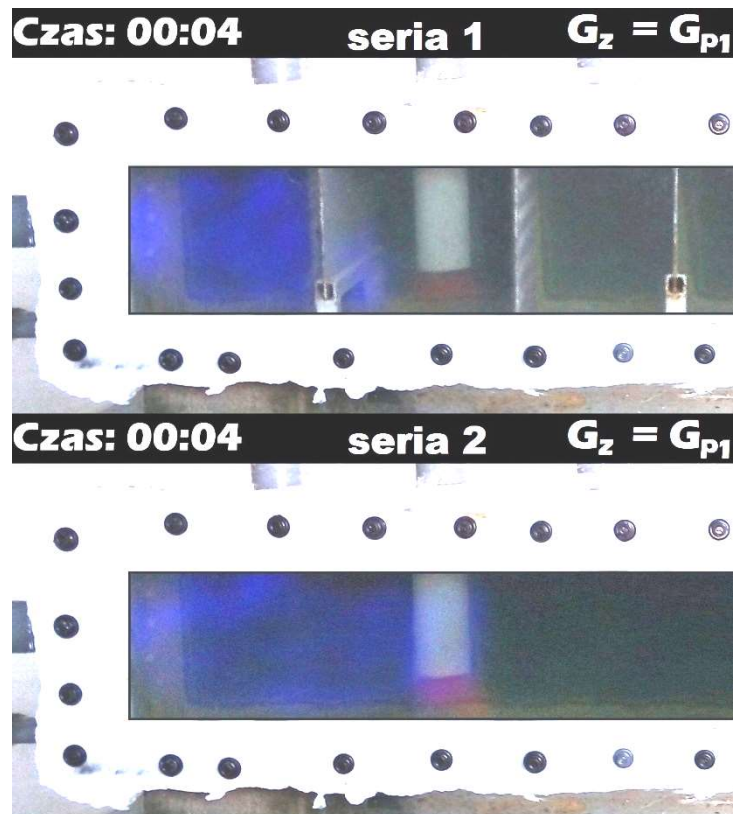
Rys. 29. Seria 1 i 2 w czasie 00:01. Opracowanie własne



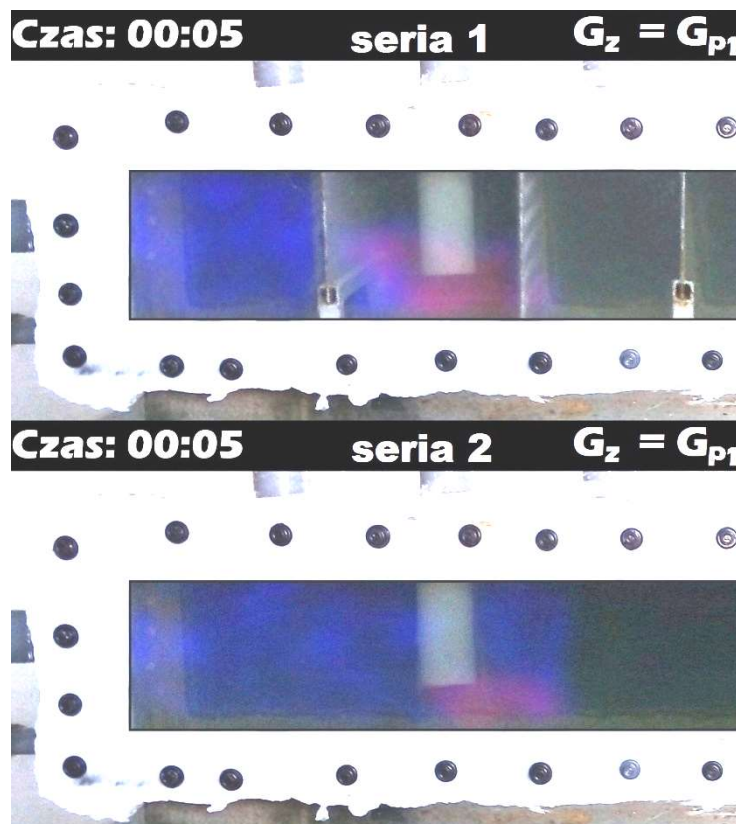
Rys. 30. Seria 1 i 2 w czasie 00:02. Opracowanie własne



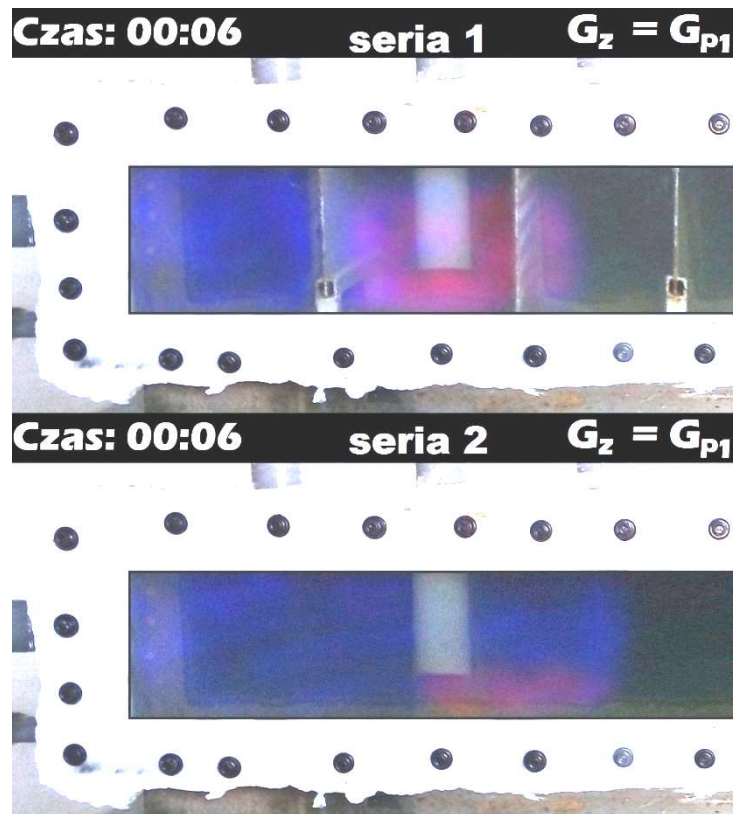
Rys. 31. Seria 1 i 2 w czasie 00:03. Opracowanie własne



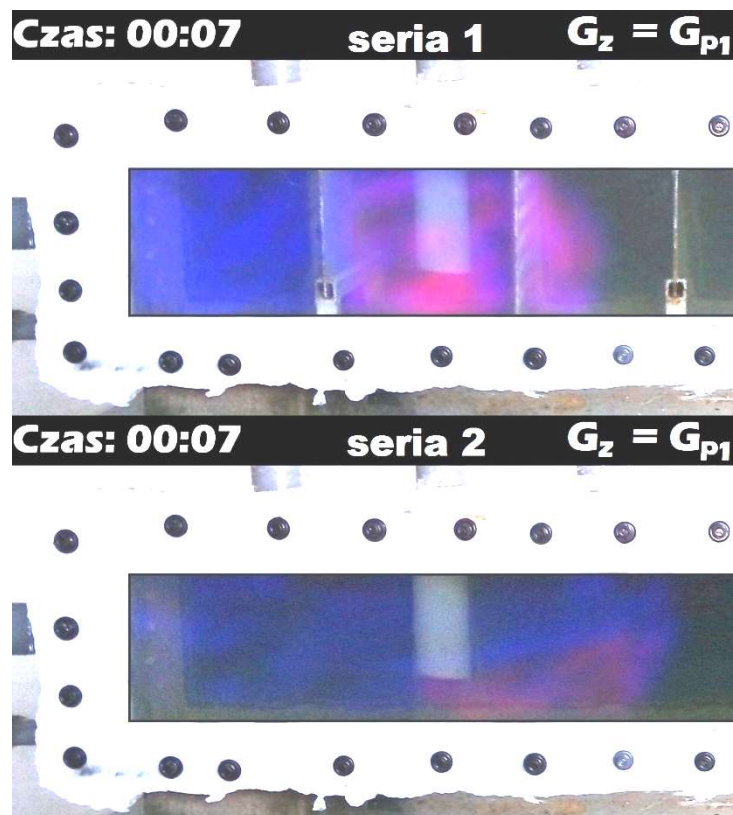
Rys. 32. Seria 1 i 2 w czasie 00:04. Opracowanie własne



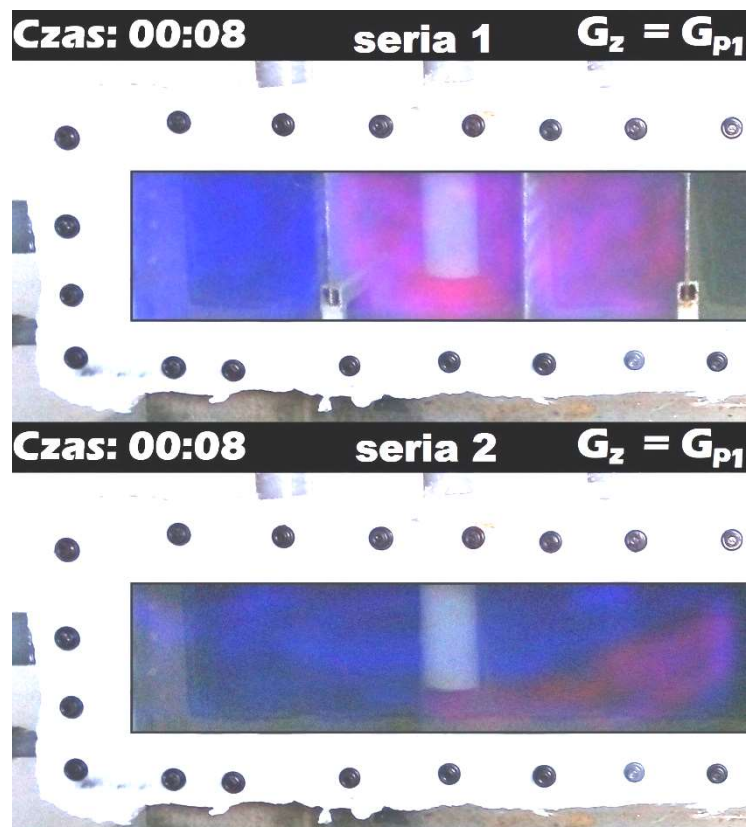
Rys. 33. Seria 1 i 2 w czasie 00:05. Opracowanie własne



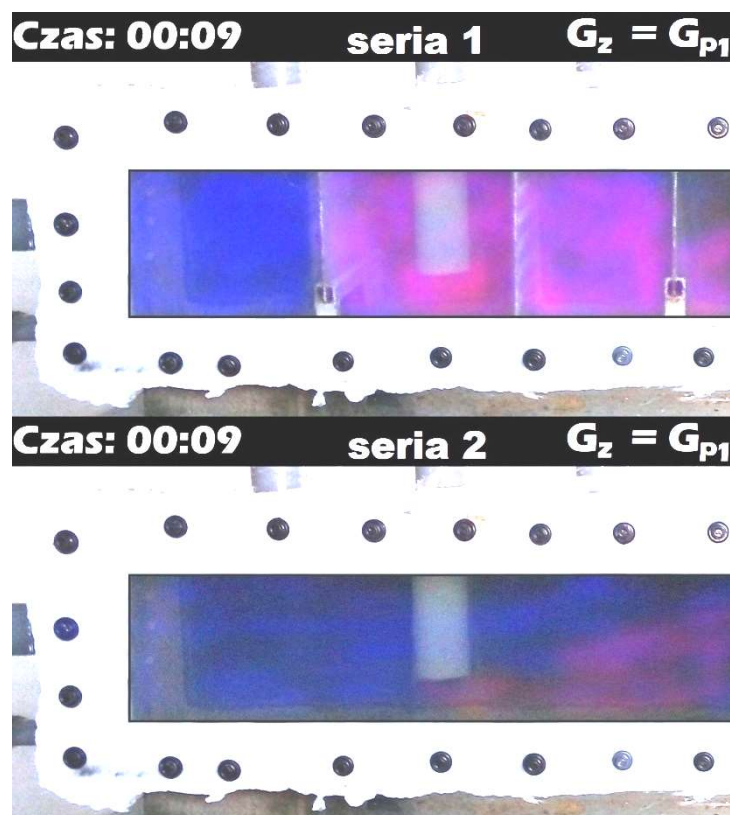
Rys. 34. Seria 1 i 2 w czasie 00:06. Opracowanie własne



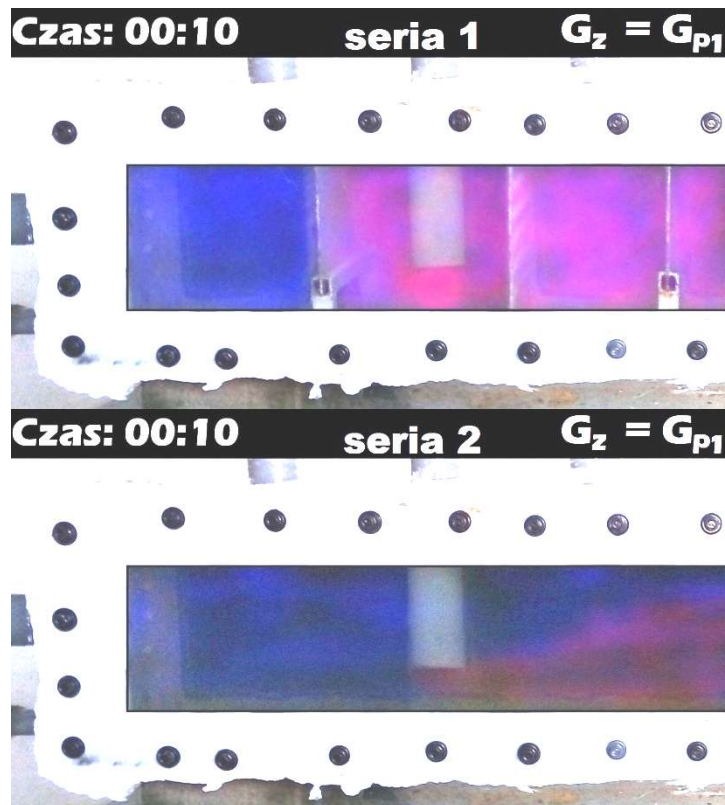
Rys. 35. Seria 1 i 2 w czasie 00:07. Opracowanie własne



Rys. 36. Seria 1 i 2 w czasie 00:08. Opracowanie własne

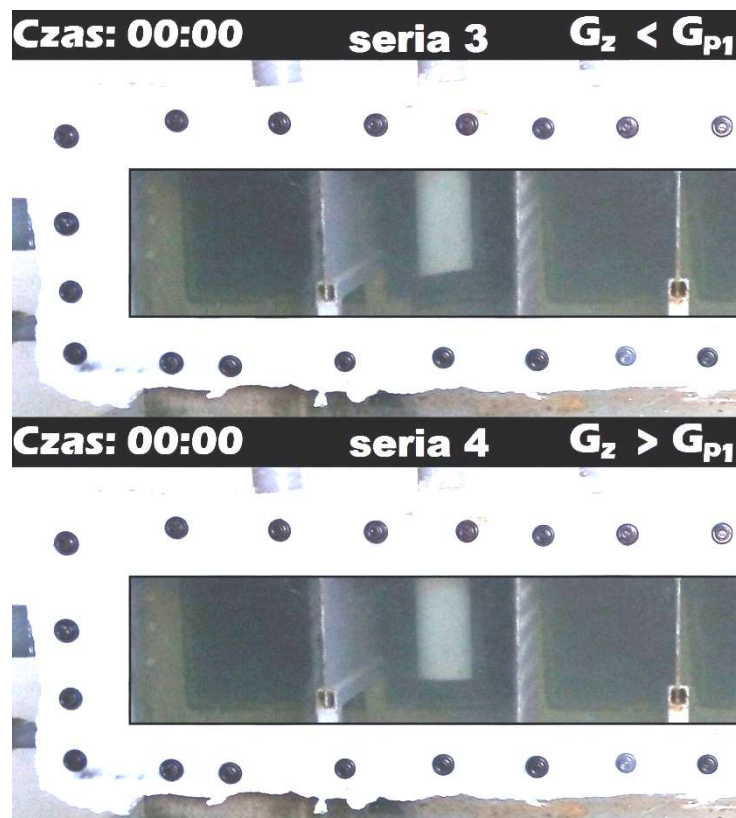


Rys. 37. Seria 1 i 2 w czasie 00:09. Opracowanie własne

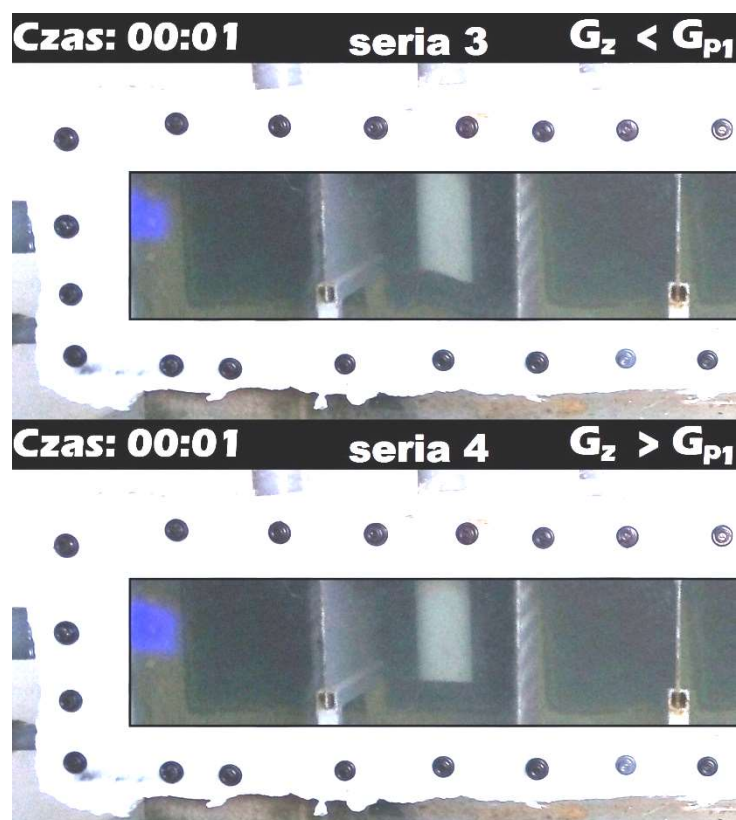


Rys. 38. *Seria 1 i 2 w czasie 00:10. Opracowanie własne*

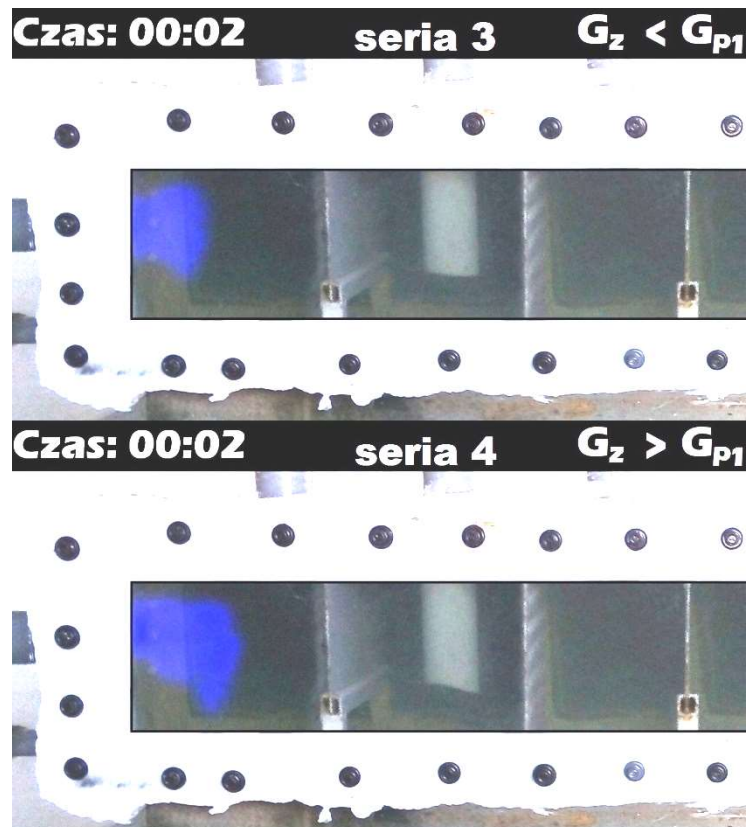
Na podstawie fotografii, można powiedzieć, że w pierwszej serii mieszanie zachodzi prawidłowo, ponieważ odbywało się w całej komorze mieszania, czego efektem jest uzyskanie przeważającego fioletowego odcienia mieszaniny wpływającej do kolejnego segmentu. W drugiej serii mieszanie jest nieprawidłowe, ponieważ zachodziło tylko w dolnej części sprzęgła. Zauważyć można dwa odrębne strumienie, jeden koloru niebieskiego, a drugi koloru czerwono-fioletowego.



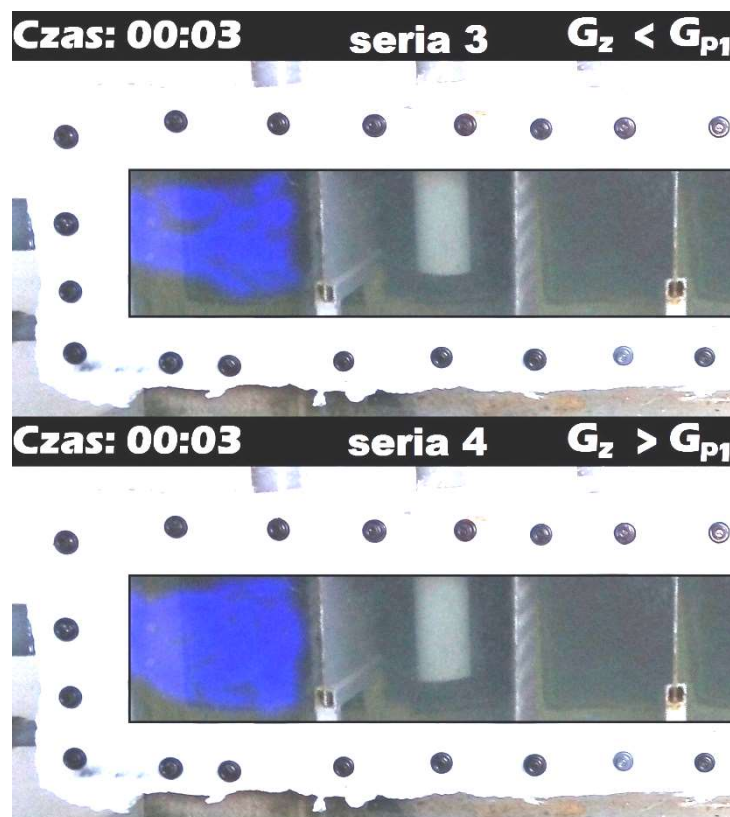
Rys. 39. Seria 3 i 4 w czasie 00:00. Opracowanie własne



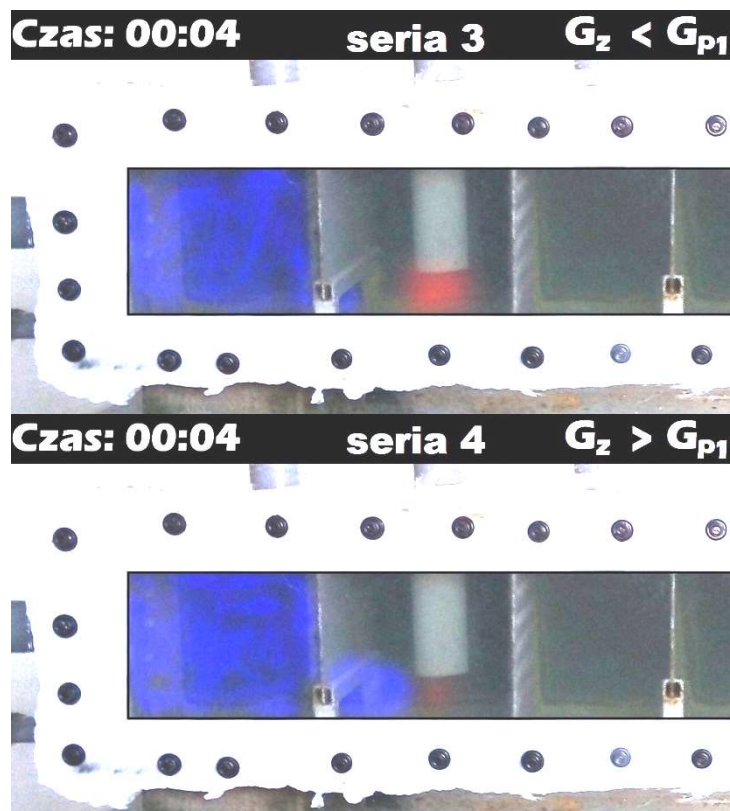
Rys. 40. Seria 3 i 4 w czasie 00:01. Opracowanie własne



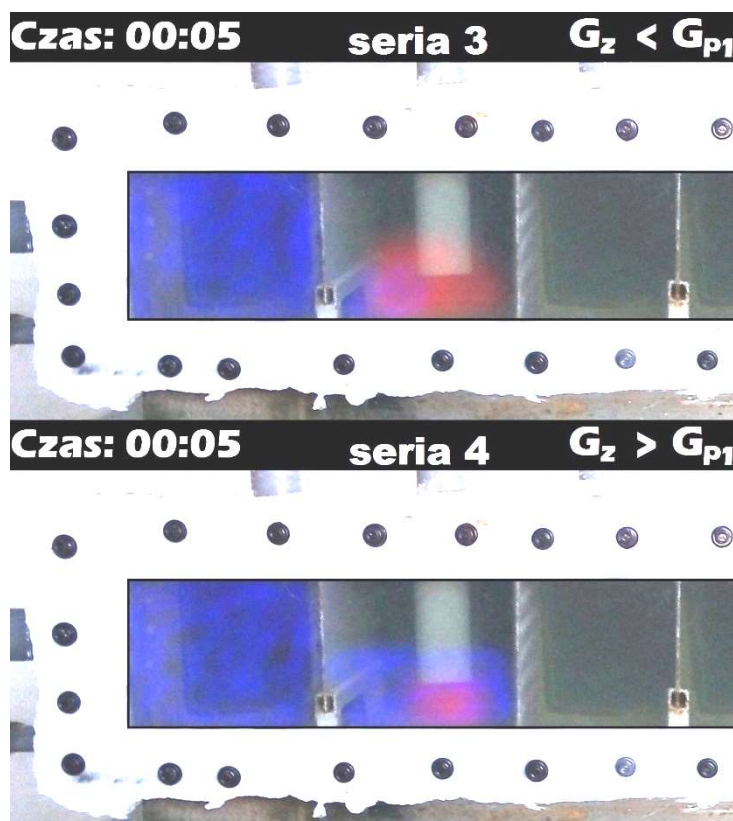
Rys. 41. Seria 3 i 4 w czasie 00:02. Opracowanie własne



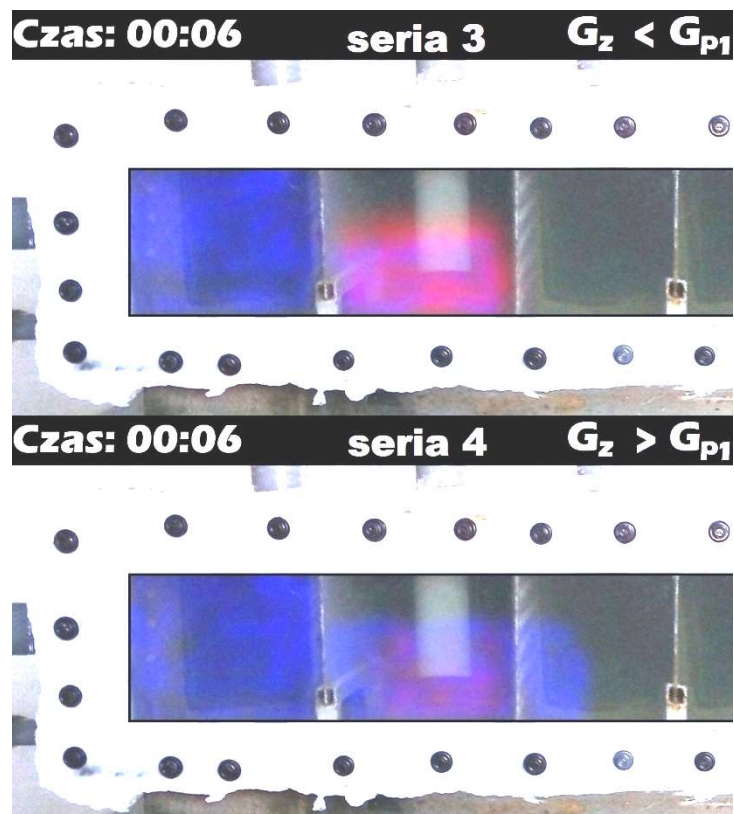
Rys. 42. Seria 3 i 4 w czasie 00:03. Opracowanie własne



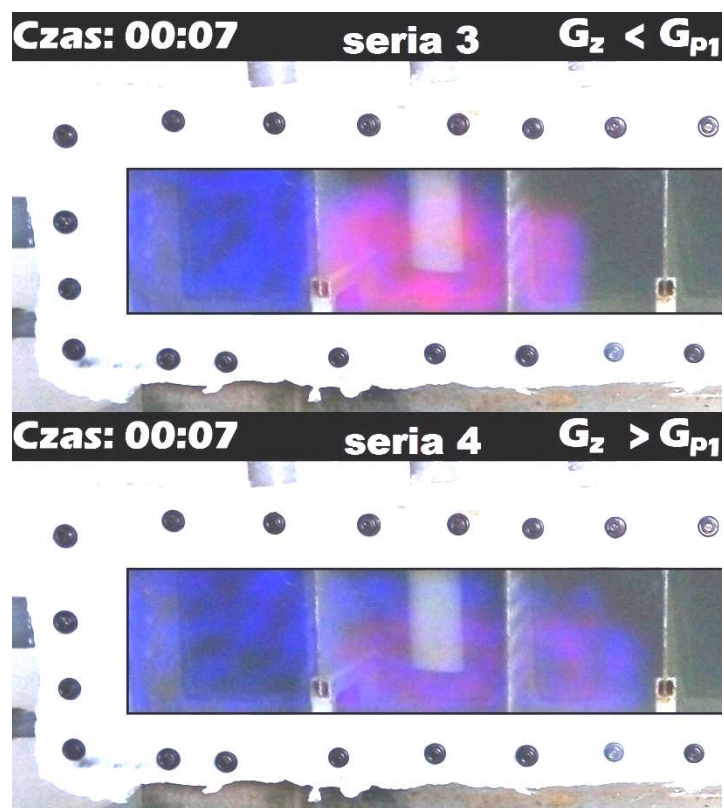
Rys. 43. Seria 3 i 4 w czasie 00:04. Opracowanie własne



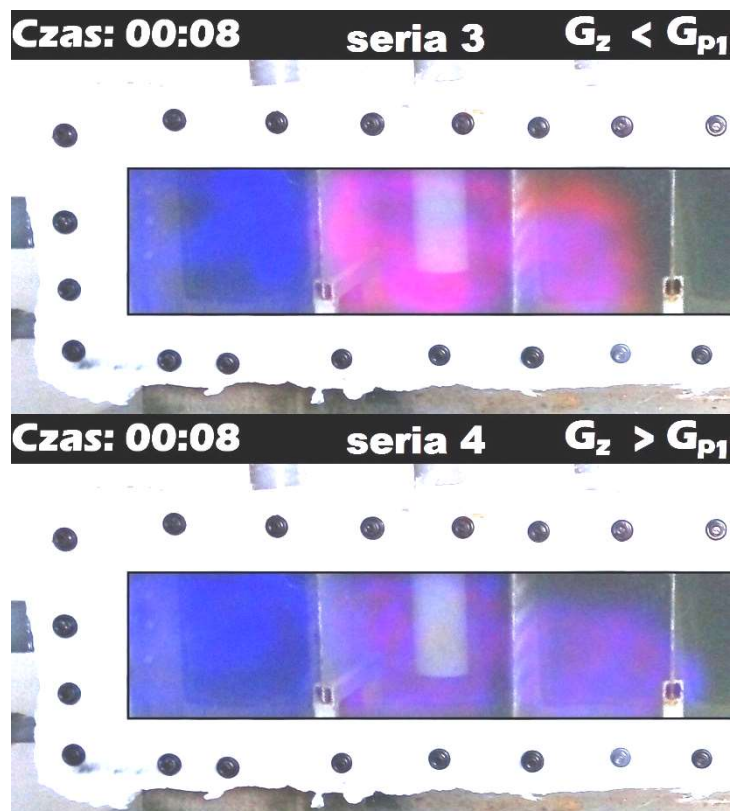
Rys. 44. Seria 3 i 4 w czasie 00:05. Opracowanie własne



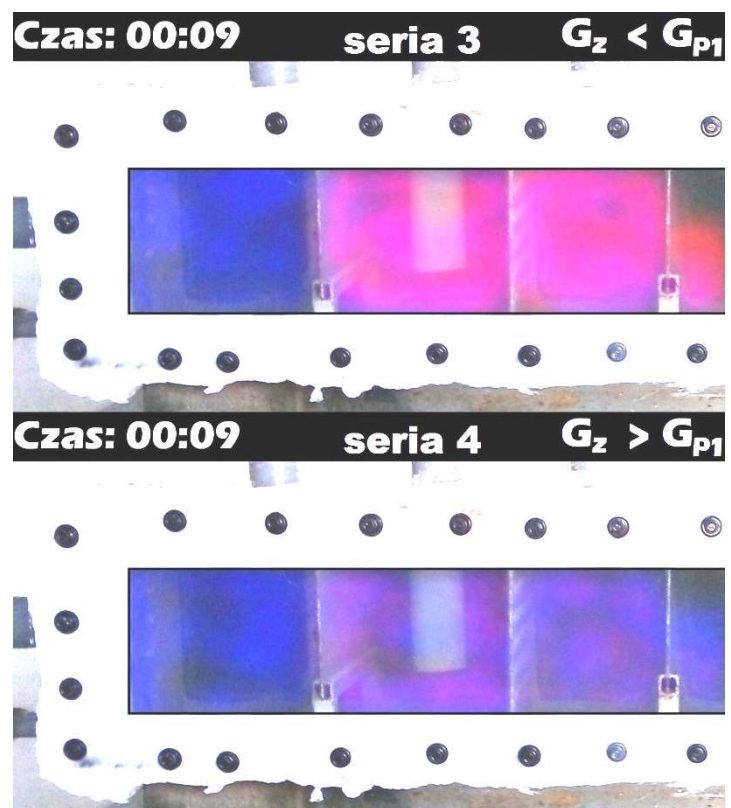
Rys. 45. Seria 3 i 4 w czasie 00:06. Opracowanie własne



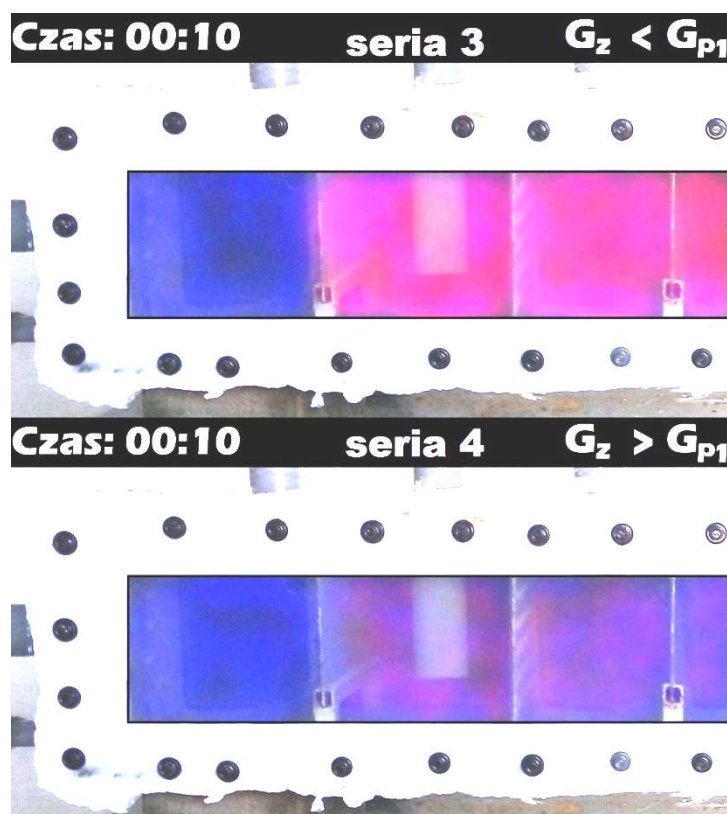
Rys. 46. Seria 3 i 4 w czasie 00:07. Opracowanie własne



Rys. 47. Seria 3 i 4 w czasie 00:08. Opracowanie własne



Rys. 48. Seria 3 i 4 w czasie 00:09. Opracowanie własne



Rys. 49. Seria 3 i 4 w czasie 00:10. Opracowanie własne

Trzecia i czwarta seria przedstawia prawidłowe mieszanie strumieni, lecz o zmiennych natężeniach przepływów. Zauważyć można, iż w trzeciej serii, w drugiej komorze powstała mieszanina o przebijającej czerwonym odcieniu, natomiast w czwartej serii mieszanina o przeważającej barwie niebieskiej.

W celu sprawdzenia uzyskanych efektów wizualnych dla tych serii, przeprowadzono pobocznie próby porównawcze intensywności barw badanej mieszaniny z intensywnością barwy wzorca. Odcień wzorca jest liniowy i zależy od masy wodnej i intensywności zabarwienia. W tym celu sporządzono dwa wzorce dla równań $G_z < G_{p1}$ i $G_z > G_{p1}$. Na podstawie znajomości rzeczywistych wydajności pomp, do pierwszej menzurki wzorcowej wiano 280 g wcześniej przygotowanego czynnika barwiącego koloru czerwonego i 90 g czynnika koloru niebieskiego. Uzyskano mieszaninę o przebijającym czerwonym odcieniu. Natomiast do drugiej menzurki wzorcowej wiano 280 g czynnika barwiącego koloru niebieskiego i 90 g czynnika koloru czerwonego uzyskując w ten sposób wzorec o przeważającej barwie niebieskiej. Uzyskane wzorce porównywano z uzyskiwanymi barwami mieszaniny w sprzęgle. Czynniki barwiące sporządzone do badań eksperymentalnych przygotowano osobno w dwóch menzurkach o pojemności równej 500 ml,

całkowicie wypełnione wodą wodociągową do końca skali, do których wlano osobno kilka kropel (5,6) barwnika niebieskiego i czerwonego.

W praktyce inżynierskiej procesy mieszania strumieni mas wodnych zachodzą najczęściej przy różnych natężeniach i temperaturach.

W tabelkach 5, 6 i 7 przedstawiono przykładowe temperatury mieszanin, które można wyliczyć w oparciu o znane natężenia przepływów i ich przyjęte temperatury.

Tabela 5. Przykładowe temperatury mieszanin dla warunku $G_Z = G_{Pl}$ przy prawidłowym mieszaniu. Opracowanie własne

G_z	2,80 m ³ /h			
t_1	50°C	60°C	70°C	80°C
G_{pl}	2,80 m ³ /h			
t_2	40°C	50°C	60°C	70°C
$G_z + G_{pl}$	5,60 m ³ /h			
t_m	45°C	55°C	65°C	75°C

Tabela 6. Przykładowe temperatury mieszanin dla warunku $G_Z < G_{Pl}$ przy prawidłowym mieszaniu. Opracowanie własne

G_z	0,90 m ³ /h			
t_1	50°C	65°C	73°C	80°C
G_{pl}	2,80 m ³ /h			
t_2	40°C	50°C	62°C	75°C
$G_z + G_{pl}$	3,70 m ³ /h			
t_m	42,4°C	53,6°C	64,7°C	76,2°C

Tabela 7. Przykładowe temperatury mieszanin dla warunku $G_Z > G_{Pl}$ przy prawidłowym mieszaniu. Opracowanie własne

G_z	2,80 m ³ /h			
t_1	50°C	65°C	73°C	80°C
G_{pl}	0,90 m ³ /h			
t_2	40°C	50°C	62°C	75°C
$G_z + G_{pl}$	3,70 m ³ /h			
t_m	47,6°C	61,4°C	70,3°C	78,8°C

4.2. Wyniki badań w warunkach rzeczywistych

Wyniki pomiarów z czterech obiegów grzewczych zestawiono w tabelce nr 8. W tabeli zaprezentowano tylko te dane, które przedstawiają istotę problemu badawczego. Przedstawiono wyniki pomiarów przepływu chwilowego w [m^3/h] oraz temperatury zasilania i powrotu w [$^{\circ}\text{C}$]. Temperatury na zasilaniu były odczytywane bezpośrednio przed zaworami trójdrogowymi mieszającymi, natomiast temperatury powrotu przy sprężgle. Przepływy wywołane pracą pompy w poszczególnym obiegu w tabeli odróżniono kolorami. Pompy w całym okresie badawczym uruchamiane były w chwili zapotrzebowania na ciepło po stronie odbiorników zgodnie z przyjętą funkcją systemu sterowania.

Spektrum problemów hydraulicznych i termodynamicznych w istniejącym sprężgle zaobserwowano podczas pracy wszystkich obiegów grzewczych w czasie niskich temperatur zewnętrznych odnotowanych w poszczególnych dniach, tj. 7.12.21r. (najmniejsza temp. zewnętrzna.; -8°C), 21.12.21r. (-7°C), 25.12.21r. (-7°C), 26.12.21r. (-8°C), 27.12.21r. (-10°C), 28.12.21r. (-8°C), 11.01.22r. (-7°C). Konfiguracja systemu sterowania sprowadzała się do uruchomienia I obiegu i chwilowego wyłączenia III obiegu grzewczego. Wtenczas obiegi II i IV nie wyłączały się. Podczas uruchomienia kotła i nagrzewania wody grzewczej do temperatury 60°C , dochodziło równocześnie do rozprowadzania czynnika grzewczego o stosunkowo wysokiej temperaturze do wszystkich kolejnych obiegów i układu kocioł – sprężgło – bufor ciepła – kocioł. Powodowało to nadmierny przyrost i długoczasowe utrzymywanie temperatury czynnika grzewczego w tym układzie oraz zmniejszenie sprawności działania kotła kondensacyjnego na wskutek zbyt wysokiej temperatury powrotu.

Powodem problemów hydraulicznych i termodynamicznych w sprężgle jest niezrównoważenie różnicy temperatur czynnika grzewczego dla kolejnych obiegów i układu kocioł – sprężgło – bufor ciepła – kocioł zgodnie z pierwotną koncepcją. Różnice te względem obiegów grzewczych nie są znaczne. Przeważnie przyrost temperatury czynnika grzewczego po nagrzewaniu pierwszego obiegu grzewczego i każdego kolejnego jest zbyt wysoki. Średnia temperatura czynnika grzewczego na zasilaniu między II a III obiegiem wynosiła tylko $1,97^{\circ}\text{C}$, a między III a IV $6,22^{\circ}\text{C}$. Przyrost temperatury czynnika bezpośrednio na wlocie do obiegów, po zakończeniu pracy 1 obiegu, był również wysoki. Dla drugiego obiegu wynosiła $13,7^{\circ}\text{C}$, dla trzeciego $16,5^{\circ}\text{C}$, a dla czwartego $13,8^{\circ}\text{C}$. Ten nagły wzrost temperatury i spadek do temperatury około

45°C w sprzęgle utrzymywał się średnio 30 minut. Problem zbliżonych wartości temperatur jest związany z procesem mieszania, które zachodzi w sprzęgle w sposób nieokreślony.

Dla temperatur zewnętrznych wynoszącej około -2°C i wyżej, obiegi grzewcze pracowały nierównolegle, a dane pomiarowe były statystycznie nieistotne. Związku z tym, nie zawarto tych danych w niniejszej pracy.

Wyniki badań pomiarowych odczytywano co 5 minut. Obieg pierwszy działał w sposób cykliczny. Nagrzewanie zbiornika ciepłej wody trwało zazwyczaj 7-15 minut, średnio 5 razy na dobę. Było to uzależnione szczególnie od ilości klientów w hotelu oraz od chwilowej efektywności instalacji solarnej.

W trakcie całego okresu badawczego układ technologiczny kotłowni i system pomiarowy nie uległy awarii. Zdalnie monitorowano układ cieplny, biorąc pod uwagę możliwość pojawienia się błędów pomiarowych spowodowanych przez sam system pomiarowy. Związku z tym, co pewien czas, dokonywano bezpośredniej obserwacji pracy układu celem weryfikacji działania systemu pomiarowego.

Zakończenie badań w warunkach rzeczywistych było spowodowane głównie wzrostami temperatury zewnętrznej, które wpłynęły na zmianę pracy kotłowni hybrydowej.

Tabela 8. Wyniki badań w warunkach rzeczywistych. Opracowanie własne

07.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
07.12.2021 03:10:00	-0,01	44,40	40,30	1,35	45,20	31,20	1,20	40,10	29,20	0,35	34,50	25,40
07.12.2021 03:15:00	-0,01	44,30	40,60	1,35	43,20	31,40	1,21	39,80	28,70	0,35	32,20	25,30
07.12.2021 03:20:00	-0,01	44,40	40,10	1,36	43,10	32,10	1,25	39,80	28,90	0,35	34,20	25,40
07.12.2021 03:25:00	-0,01	44,30	39,70	1,35	44,50	30,10	1,24	43,20	28,90	0,35	34,50	25,60
07.12.2021 03:30:00	-0,01	44,20	39,70	1,35	45,10	31,40	1,26	39,70	30,10	0,35	40,20	25,30
07.12.2021 03:35:00	-0,02	44,10	39,90	1,35	44,60	31,50	1,26	38,90	29,80	0,35	36,50	25,40
07.12.2021 03:40:00	-0,03	43,80	39,90	1,35	43,20	35,60	1,25	40,10	29,70	0,35	36,70	25,10
07.12.2021 03:45:00	-0,01	43,40	40,10	1,36	43,20	31,40	1,20	41,20	29,90	0,35	36,80	25,60
07.12.2021 03:50:00	2,53	49,70	42,00	1,37	44,50	30,10	0,02	40,10	30,10	0,34	35,40	24,90
07.12.2021 03:55:00	2,53	59,80	52,50	1,34	48,50	31,40	0,02	39,70	30,20	0,35	35,40	25,70
07.12.2021 04:00:00	0,05	56,30	51,50	1,35	58,70	31,50	1,20	57,40	29,80	0,35	49,50	25,40
07.12.2021	0,05	54,90	46,70	1,32	57,40	45,20	1,21	56,40	34,50	0,35	48,70	30,20

04:05:00												
07.12.2021 04:10:00	0,06	54,30	45,10	1,32	56,20	44,20	1,20	55,10	34,60	0,35	47,50	29,80
07.12.2021 04:15:00	0,01	52,90	44,20	1,28	53,40	41,30	1,19	52,10	34,50	0,35	46,60	29,90
07.12.2021 04:20:00	0,00	49,40	42,50	1,25	51,70	38,40	1,17	49,80	34,60	0,32	44,20	28,80
07.12.2021 04:25:00	-0,01	48,80	40,80	1,20	49,80	36,20	1,15	47,90	33,50	0,29	42,30	28,70
07.12.2021 04:30:00	-0,01	49,00	39,20	1,30	45,20	34,10	1,20	44,10	33,40	0,28	40,20	27,60
07.12.2021 04:35:00	-0,01	47,80	37,90	1,31	43,10	34,20	1,18	42,20	33,00	0,28	38,70	27,50
07.12.2021 04:40:00	-0,04	47,30	38,80	1,32	43,10	32,10	1,19	39,80	31,50	0,29	34,20	27,60
07.12.2021 04:45:00	-0,04	47,00	39,50	1,33	44,50	30,10	1,24	39,70	28,90	0,30	34,50	25,60
07.12.2021 04:50:00	-0,02	47,10	40,20	1,34	44,50	30,10	1,24	39,70	28,90	0,35	34,50	25,60
07.12.2021 06:10:00	-0,04	43,70	42,50	1,34	45,10	31,40	1,26	39,70	30,10	0,35	35,60	25,30
07.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
07.12.2021 06:15:00	-0,01	43,60	42,30	1,35	43,10	32,10	1,25	39,80	28,90	0,35	34,20	25,40
07.12.2021 06:20:00	-0,03	43,50	42,50	1,35	45,10	31,40	1,26	39,70	30,10	0,35	34,20	25,40

07.12.2021 06:25:00	2,61	51,30	43,90	1,35	43,10	32,10	0,02	40,00	30,20	0,35	34,20	25,40
07.12.2021 06:30:00	2,60	58,80	51,20	1,35	50,20	31,40	0,02	39,80	29,80	0,35	34,20	25,40
07.12.2021 06:35:00	0,06	56,00	51,70	1,36	57,80	31,40	1,21	56,20	29,70	0,35	48,70	25,30
07.12.2021 06:40:00	0,06	55,50	46,00	1,37	56,60	44,60	1,20	55,90	35,60	0,35	48,90	31,20
07.12.2021 06:45:00	0,06	55,20	44,50	1,34	56,10	44,70	1,21	54,30	34,70	0,35	47,50	31,00
07.12.2021 06:50:00	0,08	55,80	42,60	1,36	54,20	43,90	1,21	53,70	34,80	0,35	46,50	30,50
07.12.2021 06:55:00	0,07	56,60	40,90	1,37	53,10	44,10	1,20	51,80	34,90	0,35	45,50	30,40
07.12.2021 07:00:00	0,07	56,90	40,30	1,31	51,80	42,80	1,21	50,90	33,70	0,35	44,30	29,80
07.12.2021 07:05:00	0,07	56,90	40,20	1,30	50,80	42,20	1,21	49,80	32,50	0,35	42,20	29,20
07.12.2021 07:10:00	0,05	57,30	40,30	1,27	48,80	38,70	1,19	45,80	32,50	0,35	40,10	27,40
07.12.2021 07:15:00	0,00	53,10	39,70	1,16	45,20	35,40	1,14	40,10	29,20	0,35	34,50	25,40
07.12.2021 07:20:00	0,00	47,60	38,30	1,24	43,20	31,40	1,18	39,80	28,70	0,28	32,20	25,30
07.12.2021 07:25:00	-0,01	46,60	37,10	1,26	43,20	31,40	1,15	39,70	30,10	0,26	34,50	25,40
07.12.2021 07:30:00	0,00	47,80	36,60	1,30	43,20	31,40	1,16	39,70	30,10	0,28	32,20	25,30
07.12.2021 07:35:00	-0,03	47,20	37,80	1,37	45,20	31,20	1,20	40,10	29,20	0,35	34,50	25,40
07.12.2021 07:40:00	0,00	47,00	39,10	1,35	43,20	31,40	1,21	39,80	28,70	0,35	34,50	25,40

07.12.2021 07:45:00	-0,01	46,60	39,90	1,34	45,20	31,20	1,20	39,80	28,90	0,35	32,20	25,30
07.12.2021 07:50:00	0,00	45,80	40,00	1,36	43,20	31,40	1,21	43,10	28,90	0,35	34,50	25,40
07.12.2021 07:55:00	-0,01	45,00	39,80	1,37	45,20	31,20	1,20	42,50	29,20	0,35	40,10	25,30
07.12.2021 08:00:00	-0,01	44,20	38,80	1,35	43,20	31,40	1,21	39,80	28,70	0,35	32,20	25,30
07.12.2021 08:05:00	-0,02	43,70	39,10	1,36	45,20	31,20	1,20	40,10	29,20	0,35	34,50	25,40
07.12.2021 08:10:00	-0,01	43,20	38,60	1,37	43,20	31,40	1,21	39,80	28,70	0,35	32,20	25,30
21.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
21.12.2021 23:25:00	2,50	59,80	52,30	1,52	45,10	31,40	0,01	38,50	28,70	0,35	35,70	24,40
21.12.2021 23:30:00	-0,01	56,20	52,20	1,46	58,70	31,05	1,41	54,30	29,80	0,36	47,70	25,60
21.12.2021 23:35:00	-0,02	53,20	49,80	1,46	56,40	46,60	1,45	52,20	34,50	0,36	45,50	29,80
21.12.2021 23:40:00	-0,02	51,30	47,70	1,50	52,10	44,30	1,43	49,80	34,40	0,36	42,80	28,80
21.12.2021 23:45:00	-0,01	43,90	40,40	1,50	48,80	41,00	1,43	47,60	32,10	0,36	39,90	29,50
21.12.2021 23:50:00	-0,01	43,70	40,00	1,37	44,10	35,30	1,25	41,40	33,20	0,29	35,60	28,80
21.12.2021 23:55:00	-0,02	43,70	39,90	1,25	44,50	30,20	1,15	38,50	28,70	0,25	35,60	24,40

25.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
25.12.2021 00:00:00	-0,02	43,00	40,70	1,46	43,20	31,40	1,42	42,10	29,80	0,36	31,60	25,00
25.12.2021 00:05:00	-0,02	42,90	40,40	1,50	43,20	31,20	1,42	38,90	30,10	0,36	34,50	25,40
25.12.2021 00:10:00	2,57	45,60	37,90	1,51	44,60	31,40	0,01	38,90	29,90	0,36	31,60	25,40
25.12.2021 00:15:00	2,50	59,20	51,90	1,52	44,60	31,20	0,01	38,50	28,70	0,36	34,50	25,40
25.12.2021 00:20:00	0,05	58,60	53,30	1,52	58,70	31,40	1,43	56,60	29,80	0,36	49,90	25,30
25.12.2021 00:25:00	0,08	58,40	53,10	1,46	56,60	46,00	1,43	52,20	35,50	0,36	48,50	31,20
25.12.2021 00:30:00	0,08	58,50	52,20	1,46	54,40	44,40	1,45	51,10	34,50	0,36	48,60	30,20
25.12.2021 00:35:00	0,06	57,50	50,60	1,50	52,30	43,30	1,32	49,90	33,60	0,36	45,80	29,90
25.12.2021 00:40:00	0,00	53,20	48,80	1,28	49,90	40,90	1,32	47,70	32,50	0,29	44,90	28,60
25.12.2021 00:45:00	-0,01	51,00	45,60	1,26	48,80	40,50	1,29	46,90	32,80	0,25	42,50	26,50
25.12.2021 00:50:00	-0,01	49,50	42,10	1,30	45,60	36,90	1,31	42,50	30,20	0,35	40,30	25,30
25.12.2021 00:55:00	-0,03	47,70	40,20	1,50	44,60	31,40	1,43	38,90	29,80	0,36	34,50	25,40
25.12.2021 01:00:00	0,00	47,00	38,50	1,51	44,60	31,20	1,42	38,90	29,80	0,36	34,50	25,40

25.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
25.12.2021 02:15:00	-0,02	42,60	39,70	1,45	44,60	31,50	1,45	38,90	29,80	0,36	31,60	25,00
25.12.2021 02:20:00	2,49	46,80	39,40	1,46	44,60	31,40	0,01	37,80	29,50	0,36	34,50	25,40
25.12.2021 02:25:00	2,52	58,70	51,10	1,46	45,20	31,50	0,01	37,50	28,60	0,36	31,60	25,40
25.12.2021 02:30:00	0,05	57,20	53,90	1,50	57,40	31,40	1,43	54,40	29,80	0,36	48,80	25,40
25.12.2021 02:35:00	0,07	57,40	52,20	1,51	55,40	47,70	1,43	52,50	35,60	0,36	47,70	30,10
25.12.2021 02:40:00	0,07	57,80	51,40	1,52	52,90	45,20	1,45	52,40	34,20	0,35	45,60	30,20
25.12.2021 02:45:00	0,08	56,20	50,40	1,52	51,80	42,50	1,43	51,90	33,30	0,36	42,00	29,80
25.12.2021 02:50:00	0,02	54,50	49,80	1,53	49,80	38,80	1,43	50,20	33,20	0,36	39,90	28,60
25.12.2021 02:55:00	0,00	49,80	42,60	1,50	45,60	36,90	1,43	45,50	30,40	0,36	34,50	28,20
25.12.2021 03:00:00	-0,01	48,60	40,80	1,54	44,60	31,40	1,43	39,50	29,80	0,35	34,50	28,40
25.12.2021 03:05:00	0,00	49,80	39,30	1,45	45,20	31,50	1,28	40,10	29,80	0,24	32,20	25,30
25.12.2021 03:10:00	-0,01	49,00	39,70	1,28	44,60	31,40	1,27	38,90	29,80	0,22	34,50	25,40
25.12.2021 03:15:00	-0,02	48,50	40,70	1,29	45,20	31,20	1,29	43,50	29,80	0,23	36,60	25,30

25.12.2021 03:20:00	-0,03	48,00	41,00	1,47	44,60	31,50	1,42	38,00	29,70	0,36	34,50	25,40
25.12.2021 03:25:00	-0,01	48,00	41,40	1,47	45,20	31,20	1,42	38,30	29,80	0,36	34,50	25,40
25.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
25.12.2021 04:45:00	-0,01	44,30	43,40	1,47	43,20	31,50	1,45	38,40	29,80	0,36	31,60	25,00
25.12.2021 04:50:00	-0,03	44,20	43,30	1,46	44,60	31,40	1,46	39,00	29,80	0,36	38,90	25,40
25.12.2021 04:55:00	-0,03	44,10	43,50	1,46	44,60	31,20	1,42	38,90	29,70	0,36	34,50	25,40
25.12.2021 05:00:00	-0,02	43,90	43,30	1,46	43,20	31,50	1,42	39,00	29,80	0,36	32,20	25,30
25.12.2021 05:05:00	2,55	58,90	51,40	1,47	44,60	31,50	0,01	38,80	29,50	0,35	34,50	25,30
25.12.2021 05:10:00	0,01	57,50	54,60	1,54	56,20	31,40	1,43	55,40	29,80	0,35	47,70	25,40
25.12.2021 05:15:00	0,04	55,60	50,20	1,50	53,20	42,20	1,43	52,20	35,40	0,36	46,50	31,20
25.12.2021 05:20:00	0,00	51,90	46,30	1,34	49,80	39,90	1,45	48,80	33,50	0,32	42,20	30,90
25.12.2021 05:25:00	-0,01	49,00	44,10	1,16	45,20	36,80	1,25	42,30	33,60	0,27	39,80	27,70
25.12.2021 05:30:00	-0,02	49,00	42,10	1,20	44,60	31,50	1,30	39,40	29,70	0,29	34,50	27,80
25.12.2021 05:35:00	0,00	47,20	42,00	1,32	45,20	31,40	1,32	39,50	29,80	0,32	34,50	25,40

25.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
25.12.2021 07:25:00	-0,03	43,40	39,60	1,51	44,60	31,40	1,45	38,80	29,80	0,36	31,60	25,00
25.12.2021 07:30:00	-0,02	43,50	40,50	1,51	44,60	31,40	1,43	43,50	29,80	0,35	31,60	25,00
25.12.2021 07:35:00	-0,01	43,50	40,70	1,52	44,60	31,20	1,43	37,10	29,80	0,36	34,50	25,30
25.12.2021 07:40:00	2,61	46,90	40,40	1,52	45,20	31,40	0,01	36,50	29,50	0,36	32,20	25,40
25.12.2021 07:45:00	2,56	59,60	51,10	1,49	44,60	31,40	0,01	36,20	29,30	0,36	32,20	25,40
25.12.2021 07:50:00	0,06	58,10	51,90	1,49	57,70	31,20	1,45	56,60	36,20	0,36	49,50	25,40
25.12.2021 07:55:00	0,08	58,80	46,70	1,34	55,60	45,50	1,43	54,10	34,10	0,36	48,50	29,90
25.12.2021 08:00:00	0,08	58,80	45,00	1,29	52,20	44,30	1,30	52,20	34,20	0,36	44,50	29,50
25.12.2021 08:05:00	0,03	56,00	44,20	1,15	50,90	42,80	1,24	52,30	34,20	0,27	42,10	29,10
25.12.2021 08:10:00	0,00	50,50	42,70	1,21	49,90	39,50	1,32	49,50	35,60	0,29	40,20	26,80
25.12.2021 08:15:00	0,00	48,60	40,70	1,33	44,60	36,40	1,33	43,20	29,70	0,28	34,50	25,40
25.12.2021 08:20:00	-0,01	48,90	39,40	1,34	45,20	31,20	1,43	39,50	29,80	0,32	34,50	25,40
26.12.2021r.												

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
26.12.2021 04:35:00	-0,02	41,50	40,20	1,46	45,20	31,20	1,45	39,80	28,90	0,36	34,20	25,40
26.12.2021 04:40:00	-0,02	41,50	39,60	1,50	45,20	31,20	1,43	39,70	28,90	0,37	34,50	25,60
26.12.2021 04:45:00	-0,02	41,40	39,50	1,51	43,20	31,40	1,43	43,20	30,10	0,36	34,20	25,40
26.12.2021 04:50:00	-0,03	41,40	39,80	1,46	43,10	32,10	1,45	38,90	29,80	0,36	41,10	25,60
26.12.2021 04:55:00	2,55	45,30	37,70	1,50	45,20	31,20	0,02	39,50	29,40	0,36	36,50	25,30
26.12.2021 05:00:00	2,52	58,70	51,30	1,51	43,20	31,40	0,02	39,40	29,30	0,36	36,50	25,40
26.12.2021 05:05:00	0,04	56,30	51,90	1,52	56,20	32,10	1,45	54,10	28,90	0,36	48,50	25,10
26.12.2021 05:10:00	0,04	51,60	45,90	1,52	54,20	46,20	1,43	52,30	34,90	0,37	45,50	30,20
26.12.2021 05:15:00	0,05	52,20	43,30	1,46	52,10	44,10	1,43	51,20	34,20	0,36	44,40	29,70
26.12.2021 05:20:00	0,01	51,40	42,30	1,28	49,90	42,50	1,17	49,50	33,50	0,36	42,60	28,40
26.12.2021 05:25:00	0,00	47,20	40,80	1,23	49,30	41,10	1,23	48,60	33,60	0,28	39,90	27,40
26.12.2021 05:30:00	-0,01	47,40	39,30	1,32	45,20	39,50	1,31	46,60	32,50	0,29	38,80	27,20
26.12.2021 05:35:00	-0,01	46,80	38,40	1,32	44,50	36,50	1,32	40,10	29,70	0,28	37,60	25,40
26.12.2021	-0,01	45,30	37,70	1,31	45,10	31,40	1,31	39,70	30,10	0,30	32,20	25,30

05:40:00												
26.12.2021 05:45:00	-0,01	44,90	37,20	1,34	44,60	31,50	1,32	38,90	29,80	0,32	34,50	25,40
26.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
26.12.2021 06:55:00	-0,02	41,20	40,70	1,50	45,20	31,20	1,43	39,40	28,90	0,36	35,60	25,30
26.12.2021 07:00:00	-0,02	41,20	41,50	1,51	43,20	31,40	1,43	40,40	30,10	0,36	35,60	25,30
26.12.2021 07:05:00	-0,04	41,20	41,90	1,50	43,10	32,10	1,43	40,70	29,80	0,36	39,90	25,30
26.12.2021 07:10:00	2,59	46,60	38,90	1,51	44,50	30,10	0,01	39,40	29,50	0,37	36,50	25,40
26.12.2021 07:15:00	2,59	59,80	52,50	1,52	45,20	31,20	0,01	39,20	28,30	0,36	36,70	25,10
26.12.2021 20:45:00	-0,04	56,20	51,20	1,52	57,40	31,20	1,45	56,40	28,90	0,36	48,80	25,60
26.12.2021 20:50:00	-0,04	53,40	49,80	1,46	56,20	42,20	1,43	54,40	35,20	0,31	47,50	30,10
26.12.2021 20:55:00	-0,04	51,20	48,50	1,27	52,50	43,30	1,28	52,10	36,20	0,29	45,60	29,90
26.12.2021 21:00:00	-0,05	48,50	43,20	1,24	51,10	38,40	1,15	49,50	34,40	0,28	43,20	28,60
26.12.2021 21:05:00	-0,06	45,60	40,10	1,29	45,10	35,60	1,21	46,20	34,60	0,32	40,20	28,60
26.12.2021 21:10:00	-0,05	42,20	41,10	1,24	44,60	31,50	1,31	40,10	30,10	0,32	34,50	25,40

26.12.2021r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
26.12.2021 21:25:00	-0,05	40,20	37,20	1,50	44,50	30,10	1,45	38,00	30,10	0,36	35,40	25,70
26.12.2021 21:30:00	-0,05	40,10	37,00	1,51	45,20	31,20	1,43	37,70	31,20	0,36	35,40	25,70
26.12.2021 21:35:00	2,65	44,20	36,60	1,52	45,20	31,20	0,01	37,40	31,20	0,36	34,50	25,40
26.12.2021 21:40:00	2,63	58,20	50,80	1,52	43,20	31,40	0,01	37,20	30,20	0,36	32,20	25,30
26.12.2021 21:45:00	0,01	58,90	55,20	1,46	57,50	31,20	1,45	54,20	30,50	0,36	50,20	25,40
26.12.2021 21:50:00	-0,05	53,60	48,80	1,51	55,50	45,30	1,43	52,30	35,50	0,36	47,80	32,20
26.12.2021 21:55:00	-0,05	48,50	43,20	1,50	52,20	44,20	1,43	51,10	35,20	0,36	46,30	29,80
26.12.2021 22:00:00	-0,04	51,20	48,50	1,17	50,60	42,80	1,32	50,60	34,20	0,22	43,50	28,60
26.12.2021 22:05:00	0,00	47,20	40,80	1,16	48,50	37,70	1,24	47,50	32,60	0,23	40,20	28,60
26.12.2021 22:10:00	-0,01	47,40	37,50	1,21	45,20	36,40	1,24	42,30	32,50	0,24	38,80	27,30
26.12.2021 22:15:00	0,05	51,10	43,30	1,25	45,20	31,20	1,23	37,50	29,80	0,21	34,20	24,90
27.12.2021r.												

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
27.12.2021 21:55:00	-0,06	42,10	47,70	1,46	45,60	30,20	1,45	38,00	29,80	0,33	35,60	25,50
27.12.2021 22:00:00	-0,06	41,70	47,90	1,50	44,50	31,20	1,43	39,80	28,70	0,33	38,30	24,40
27.12.2021 22:05:00	2,54	59,80	52,30	1,46	44,50	30,20	0,05	38,50	28,40	0,34	35,60	24,40
27.12.2021 22:10:00	0,01	59,70	51,20	1,50	58,80	30,20	1,45	58,20	29,80	0,33	52,10	25,50
27.12.2021 22:15:00	0,01	56,20	49,80	1,46	57,40	46,50	1,43	56,20	34,10	0,34	48,80	31,20
27.12.2021 22:20:00	0,01	53,20	48,80	1,46	56,60	44,20	1,45	52,30	34,10	0,34	46,50	30,30
27.12.2021 22:25:00	0,02	51,00	47,70	1,50	52,30	43,50	1,43	52,10	33,60	0,34	45,20	29,50
27.12.2021 22:30:00	0,01	49,80	45,50	1,38	50,80	42,10	1,22	49,20	32,30	0,24	42,80	29,30
27.12.2021 22:35:00	0,01	49,90	44,50	1,27	49,90	40,60	1,21	48,30	32,60	0,23	41,90	28,80
27.12.2021 22:40:00	0,01	45,20	40,10	1,15	48,30	39,90	1,26	47,50	32,10	0,31	40,30	28,30
27.12.2021 22:45:00	0,03	41,00	39,80	1,21	43,10	38,50	1,23	44,40	30,20	0,31	39,90	27,70
27.12.2021 22:50:00	0,01	39,90	39,80	1,25	42,10	32,50	1,24	38,00	29,80	0,32	35,60	25,90
27.12.2021 22:55:00	0,01	37,60	36,60	1,26	43,10	30,60	1,34	40,20	28,70	0,32	31,90	25,90
28.12.2021r.												

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
28.12.2021 08:00:00	-0,06	39,50	38,90	1,50	43,20	31,40	1,43	40,10	29,70	0,34	31,60	25,30
28.12.2021 08:05:00	2,59	58,60	49,10	1,46	43,20	31,50	0,06	40,10	28,50	0,33	34,50	25,40
28.12.2021 08:10:00	0,00	58,70	55,00	1,50	58,20	31,50	1,45	56,20	29,80	0,33	48,70	25,40
28.12.2021 08:15:00	0,03	56,50	51,70	1,46	56,20	48,50	1,43	54,50	35,40	0,33	47,50	32,10
28.12.2021 08:20:00	-0,01	51,30	45,90	1,50	56,10	46,50	1,43	53,20	35,30	0,34	45,60	32,20
28.12.2021 08:25:00	-0,03	50,20	44,50	1,46	54,20	46,20	1,45	52,30	34,50	0,34	45,20	30,50
28.12.2021 08:30:00	-0,05	46,20	46,50	1,50	52,30	45,50	1,43	52,10	34,60	0,34	44,50	30,40
28.12.2021 08:35:00	-0,06	45,10	47,50	1,50	49,80	44,90	1,45	51,60	34,70	0,34	43,20	29,50
28.12.2021 08:40:00	-0,05	45,20	48,10	1,27	49,60	43,90	1,17	51,00	34,50	0,22	40,10	28,50
28.12.2021 08:45:00	-0,05	45,20	48,50	1,23	48,50	43,80	1,22	49,80	33,20	0,23	38,50	28,10
28.12.2021 08:50:00	-0,06	45,30	49,00	1,29	47,30	42,50	1,24	49,50	33,60	0,34	38,30	28,50
28.12.2021 08:55:00	-0,05	45,50	49,40	1,31	44,60	43,20	1,25	47,60	34,20	0,32	36,50	29,40
28.12.2021 09:00:00	-0,05	45,30	43,70	1,32	44,60	40,20	1,26	46,50	32,40	0,29	32,20	28,40
28.12.2021	-0,05	44,80	42,00	1,32	44,60	38,50	1,34	42,20	32,80	0,32	34,50	25,40

09:05:00												
28.12.2021 09:10:00	-0,04	44,40	41,30	1,34	44,60	31,20	1,34	42,10	32,90	0,32	32,20	25,40
28.12.2021 09:15:00	-0,04	43,90	40,20	1,36	45,20	31,40	1,26	38,90	29,80	0,33	34,50	25,30
28.12.2021 09:20:00	-0,03	43,60	39,60	1,34	38,90	31,50	1,38	38,90	36,60	0,33	38,80	25,40
28.12.2021 09:25:00	-0,03	43,20	39,30	1,34	44,60	31,50	1,39	38,90	29,80	0,33	32,20	25,40
11.01.2022r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
11.01.2022 05:50:00	-0,04	40,10	39,60	1,35	44,60	31,20	1,20	38,90	28,90	0,35	34,50	25,40
11.01.2022 05:55:00	-0,05	40,00	41,90	1,35	45,20	31,50	1,20	42,50	29,80	0,35	40,10	25,40
11.01.2022 06:00:00	-0,06	39,60	42,90	1,35	43,20	31,40	1,21	40,10	29,70	0,35	38,80	25,30
11.01.2022 06:05:00	2,54	46,20	36,20	1,35	43,20	31,40	0,05	40,10	29,80	0,35	34,50	25,40
11.01.2022 06:10:00	2,54	58,00	51,00	1,35	45,20	31,20	0,05	40,10	29,70	0,35	34,50	25,40
11.01.2022 06:15:00	0,04	57,60	53,20	1,35	56,20	31,40	1,21	54,10	28,90	0,35	51,00	25,40
11.01.2022 06:20:00	0,03	52,40	47,20	1,35	54,10	45,60	1,20	52,30	36,20	0,27	49,80	32,10
11.01.2022 06:25:00	0,06	52,20	43,50	1,18	52,20	42,30	1,17	52,10	35,20	0,24	48,50	30,20

11.01.2022 06:30:00	0,01	52,60	41,80	1,19	49,80	40,10	1,14	47,40	34,90	0,29	45,30	30,10
11.01.2022 06:35:00	0,00	48,60	40,00	1,24	48,50	40,10	1,14	45,60	33,80	0,31	44,10	29,60
11.01.2022 06:40:00	0,01	47,30	38,10	1,25	44,60	38,40	1,21	45,30	34,90	0,32	38,80	28,50
11.01.2022 06:45:00	0,00	45,10	36,90	1,26	43,20	31,40	1,21	40,10	29,70	0,32	32,20	25,40
11.01.2022r.												
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]
11.01.2022 06:50:00	2,55	45,20	35,70	1,36	43,20	31,40	1,25	40,10	29,70	0,36	31,60	25,00
11.01.2022 06:55:00	2,58	59,60	52,10	1,35	43,20	31,40	0,05	40,20	29,80	0,37	34,50	25,40
11.01.2022 07:00:00	0,02	57,70	54,40	1,35	58,40	31,50	1,20	56,20	29,80	0,35	52,10	25,30
11.01.2022 07:05:00	0,03	53,60	48,70	1,35	57,60	45,20	1,21	54,20	36,50	0,35	50,20	32,10
11.01.2022 07:10:00	0,04	52,60	43,50	1,35	53,60	44,30	1,20	53,20	34,20	0,35	49,50	31,50
11.01.2022 07:15:00	0,00	50,70	40,90	1,35	52,60	42,80	1,20	52,80	35,80	0,35	48,50	30,80
11.01.2022 07:20:00	-0,01	47,90	39,10	1,17	51,80	41,80	1,21	51,80	32,50	0,29	46,50	29,80
11.01.2022 07:25:00	-0,02	47,70	39,10	1,15	51,60	39,80	1,15	49,80	33,50	0,24	45,80	29,70
11.01.2022 07:30:00	-0,02	45,70	41,70	1,10	50,40	39,50	1,11	48,50	33,60	0,29	43,50	28,60

11.01.2022 07:35:00	-0,03	44,90	42,70	1,17	49,50	36,50	1,20	46,50	32,80	0,29	42,80	27,60
11.01.2022 07:40:00	-0,04	44,40	43,30	1,25	48,30	36,70	1,19	44,50	32,90	0,30	39,50	28,60
11.01.2022 07:45:00	-0,04	44,10	43,80	1,26	45,20	35,90	1,18	42,50	33,90	0,31	38,90	29,50
11.01.2022 07:50:00	-0,03	43,70	43,80	1,32	43,20	31,40	1,21	38,90	33,80	0,31	37,80	26,50
11.01.2022 07:55:00	-0,03	43,40	38,60	1,32	43,10	32,10	1,21	39,80	28,90	0,32	34,20	28,00
11.01.2022 08:00:00	-0,03	42,80	36,90	1,36	43,10	32,10	1,24	39,80	28,90	0,32	34,20	25,40

5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analizę wyników badań dokonano na podstawie danych rzeczywistych i modelowych. Porównanie tych wyników dokonano na podstawie analizy różnic i analizy moderacji dla dwóch wariantów, tj. wpływu I obiegu na obiegi II i IV w trakcie równoczesnego nagrzewania oraz wpływu I obiegu na obiegi II, III i IV bezpośrednio po jego wyłączeniu, w okresie do 30 minut.

Wyniki badań modelowych określono na podstawie wzorów (34), (35), (36) i (37), uwzględniając przy tym istniejącą konfigurację sterowania i funkcję pracy głównego kotła gazowego kondensacyjnego. Wyniki te zestawiono w tabelce nr 9. Założono, iż w danych modelowych temperatura podczas nagrzewania I obiegu grzewczego na zasilaniu wynosić będzie maksymalnie 60°C, a trakcie nagrzewania; II, III i IV obiegow, 45°C. Przepływy, które były charakterystyczne dla każdego obiegu grzewczego w trakcie badań pozostawiono bez zmian celem porównania wyników temperatury uzyskanych w warunkach rzeczywistych a modelowych, jak również przedstawienia wyników modelowych dla danego układu cieplnego. Dodatkowo w tabelce uwzględniono temperaturę czynnika grzewczego na wyjściu ze sprężła termo-hydraulicznego.

Sprężło termo-hydrauliczne umożliwia równoważenie hydrauliczne i termodynamiczne. W odróżnieniu do istniejącego wymiennika, rodzaj tego sprężła pozwala rozprowadzić w jednym cyklu pracy energię ciepłą po wszystkich obiegach grzewczych, przyczyniając się w ten sposób do niepotrzebnego gromadzenia tej energii w układzie kocioł – sprężło – bufor ciepła – kocioł. Z tego względu, dla modelowania przyjęto bezpośrednio po wyłączeniu pracy pierwszego obiegu temperaturę czynnika na wylocie z kotła równą 45°C. Model matematyczny sprężła pozwala na precyzyjne określenie temperatury mieszaniny, a zarazem zasilania dla każdego kolejnego obiegu grzewczego oraz czynnika grzewczego na wylocie ze sprężła. Zastosowane formuły modelu matematycznego oparte na założeniach termodynamicznych i przeprowadzonych badań laboratoryjnych, pozwalają stwierdzić, iż uzyskane wyniki należy uznać za prawidłowe. Wyniki badań modelowych przedstawiono na tabeli 9.

Tabela 9. Wyniki badań modelowych. Opracowanie własne

MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
07.12.2021r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężarki [°C]
07.12.2021 03:10:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	22,81	0,35	28,09	15,94	25,96
07.12.2021 03:15:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,21	36,02	22,81	0,35	28,02	15,87	25,90
07.12.2021 03:20:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,25	35,95	22,74	0,35	27,69	15,54	25,57
07.12.2021 03:25:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,24	36,02	22,81	0,35	27,83	15,68	25,70
07.12.2021 03:30:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,26	36,02	22,81	0,35	27,69	15,54	25,57
07.12.2021 03:35:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,26	36,02	22,81	0,35	27,69	15,54	25,57
07.12.2021 03:40:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,25	36,02	22,81	0,35	27,76	15,61	25,63
07.12.2021 03:45:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,20	35,95	22,74	0,35	28,02	15,87	25,90
07.12.2021 03:50:00	2,53	50,00	42,50	1,37	40,51	27,20	–	–	–	0,34	31,40	19,25	29,33
07.12.2021 03:55:00	2,53	60,00	52,50	1,34	50,51	37,20	–	–	–	0,35	41,59	29,44	39,47

07.12.2021 04:00:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	22,81	0,35	28,09	15,94	25,96
07.12.2021 04:05:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,21	36,22	23,01	0,35	28,22	16,07	26,10
07.12.2021 04:10:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,20	36,22	23,01	0,35	28,29	16,14	26,16
07.12.2021 04:15:00	–	–	–	1,28	45,00	31,69	1,19	36,48	23,27	0,35	28,62	16,47	26,50
07.12.2021 04:20:00	–	–	–	1,25	45,00	31,69	1,17	36,68	23,47	0,32	28,95	16,80	27,01
07.12.2021 04:25:00	–	–	–	1,20	45,00	31,69	1,15	37,01	23,80	0,29	29,42	17,27	27,66
07.12.2021 04:30:00	–	–	–	1,30	45,00	31,69	1,20	36,35	23,14	0,28	28,42	16,27	26,72
07.12.2021 04:35:00	–	–	–	1,31	45,00	31,69	1,18	36,28	23,07	0,28	28,49	16,34	26,79
07.12.2021 04:40:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,19	36,22	23,01	0,29	28,36	16,21	26,59
07.12.2021 04:45:00	–	–	–	1,33	45,00	31,69	1,24	36,15	22,94	0,30	27,96	15,81	26,14
07.12.2021 04:50:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,24	36,08	22,87	0,35	27,89	15,74	25,77
07.12.2021 06:10:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,26	36,08	22,87	0,35	27,76	15,61	25,63
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
07.12.2021r.													

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężarki [°C]
07.12.2021 06:15:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,25	36,02	22,14	0,35	27,34	16,17	25,39
07.12.2021 06:20:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,26	36,02	22,14	0,35	27,27	16,10	25,32
07.12.2021 06:25:00	2,61	50,00	42,50	1,35	40,21	27,73	–	–	–	0,35	31,79	20,62	29,83
07.12.2021 06:30:00	2,60	60,00	52,50	1,35	50,25	37,77	–	–	–	0,35	41,83	30,66	39,87
07.12.2021 06:35:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,21	35,95	22,07	0,35	27,55	16,38	25,60
07.12.2021 06:40:00	–	–	–	1,37	45,00	31,69	1,20	35,88	22,00	0,35	27,55	16,38	25,60
07.12.2021 06:45:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,21	36,08	22,20	0,35	27,68	16,51	25,73
07.12.2021 06:50:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,21	35,95	22,07	0,35	27,55	16,38	25,60
07.12.2021 06:55:00	–	–	–	1,37	45,00	31,69	1,20	35,88	22,00	0,35	27,55	16,38	25,60
07.12.2021 07:00:00	–	–	–	1,31	45,00	31,69	1,21	36,28	22,40	0,35	27,88	16,71	25,93
07.12.2021 07:05:00	–	–	–	1,30	45,00	31,69	1,21	36,35	22,47	0,35	27,95	16,78	26,00
07.12.2021 07:10:00	–	–	–	1,27	45,00	31,69	1,19	36,55	22,67	0,35	28,29	17,12	26,33

07.12.2021 07:15:00	–	–	–	1,16	45,00	31,69	1,14	37,28	23,40	0,35	29,37	18,20	27,41
07.12.2021 07:20:00	–	–	–	1,24	45,00	31,69	1,18	36,75	22,87	0,28	28,56	17,39	26,99
07.12.2021 07:25:00	–	–	–	1,26	45,00	31,69	1,15	36,61	22,73	0,26	28,63	17,46	27,18
07.12.2021 07:30:00	–	–	–	1,30	45,00	31,69	1,16	36,35	22,47	0,28	28,30	17,13	26,73
07.12.2021 07:35:00	–	–	–	1,37	45,00	31,69	1,20	35,88	22,00	0,35	27,55	16,38	25,60
07.12.2021 07:40:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,21	36,02	22,14	0,35	27,62	16,45	25,66
07.12.2021 07:45:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,20	36,08	22,20	0,35	27,75	16,58	25,80
07.12.2021 07:50:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,21	35,95	22,07	0,35	27,55	16,38	25,60
07.12.2021 07:55:00	–	–	–	1,37	45,00	31,69	1,20	35,88	22,00	0,35	27,55	16,38	25,60
07.12.2021 08:00:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,21	36,02	22,14	0,35	27,62	16,45	25,66
07.12.2021 08:05:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,20	35,95	22,07	0,35	27,62	16,45	25,67
07.12.2021 08:10:00	–	–	–	1,37	45,00	31,69	1,21	35,88	22,00	0,35	27,49	16,32	25,53
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
21.12.2021r.													

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężarki [°C]
21.12.2021 23:25:00	2,50	60,00	52,50	1,52	50,63	37,79	–	–	–	0,35	40,87	27,80	38,58
21.12.2021 23:30:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,41	35,28	20,10	0,36	24,58	11,51	22,23
21.12.2021 23:35:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	20,10	0,36	24,28	11,21	21,93
21.12.2021 23:40:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	19,84	0,36	24,16	11,09	21,81
21.12.2021 23:45:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	19,84	0,36	24,16	11,09	21,81
21.12.2021 23:50:00	–	–	–	1,37	45,00	31,69	1,25	35,88	20,70	0,29	26,40	13,33	24,50
21.12.2021 23:55:00	–	–	–	1,25	45,00	31,69	1,15	36,68	21,50	0,25	27,95	14,88	26,32
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
25.12.2021r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężarki [°C]

25.12.2021 00:00:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,42	35,28	20,98	0,36	25,13	11,85	22,74
25.12.2021 00:05:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,42	35,02	20,72	0,36	24,86	11,58	22,47
25.12.2021 00:10:00	2,57	50,00	42,50	1,51	40,36	28,06	–	–	–	0,36	31,08	17,80	28,69
25.12.2021 00:15:00	2,50	60,00	52,50	1,52	50,63	38,33	–	–	–	0,36	41,28	28,00	38,89
25.12.2021 00:20:00	–	–	–	1,52	45,00	31,69	1,43	34,88	20,58	0,36	24,66	11,38	22,27
25.12.2021 00:25:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,43	35,28	20,98	0,36	25,06	11,78	22,67
25.12.2021 00:30:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	20,98	0,36	24,92	11,64	22,53
25.12.2021 00:35:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,32	35,02	20,72	0,36	25,58	12,30	23,19
25.12.2021 00:40:00	–	–	–	1,28	45,00	31,69	1,32	36,48	22,18	0,29	27,04	13,76	25,12
25.12.2021 00:45:00	–	–	–	1,26	45,00	31,69	1,29	36,61	22,31	0,25	27,39	14,11	25,73
25.12.2021 00:50:00	–	–	–	1,30	45,00	31,69	1,31	36,35	22,05	0,35	26,98	13,70	24,66
25.12.2021 00:55:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	20,72	0,36	24,79	11,51	22,40
25.12.2021 01:00:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,42	34,95	20,65	0,36	24,80	11,52	22,41
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
25.12.2021r.													

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężarki [°C]
25.12.2021 02:15:00	–	–	–	1,45	45,00	31,69	1,45	35,35	21,57	0,36	25,36	14,70	23,44
25.12.2021 02:20:00	2,49	50,00	42,50	1,46	40,66	27,89	–	–	–	0,36	31,34	20,68	29,42
25.12.2021 02:25:00	2,52	60,00	52,50	1,46	50,55	37,78	–	–	–	0,36	41,23	30,57	39,31
25.12.2021 02:30:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	21,24	0,36	25,16	14,50	23,25
25.12.2021 02:35:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,43	34,95	21,17	0,36	25,10	14,44	23,18
25.12.2021 02:40:00	–	–	–	1,52	45,00	31,69	1,45	34,88	21,10	0,35	24,89	14,23	23,03
25.12.2021 02:45:00	–	–	–	1,52	45,00	31,69	1,43	34,88	21,10	0,36	25,03	14,37	23,11
25.12.2021 02:50:00	–	–	–	1,53	45,00	31,69	1,43	34,82	21,04	0,36	24,97	14,31	23,05
25.12.2021 02:55:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	21,24	0,36	25,16	14,50	23,25
25.12.2021 03:00:00	–	–	–	1,54	45,00	31,69	1,43	34,75	20,97	0,35	24,90	14,24	23,03
25.12.2021 03:05:00	–	–	–	1,45	45,00	31,69	1,28	35,35	21,57	0,24	26,53	15,87	25,25
25.12.2021 03:10:00	–	–	–	1,28	45,00	31,69	1,27	36,48	22,70	0,22	27,73	17,07	26,56

25.12.2021 03:15:00	–	–	–	1,29	45,00	31,69	1,29	36,42	22,64	0,23	27,53	16,87	26,30
25.12.2021 03:20:00	–	–	–	1,47	45,00	31,69	1,42	35,22	21,44	0,36	25,43	14,77	23,51
25.12.2021 03:25:00	–	–	–	1,47	45,00	31,69	1,42	35,22	21,44	0,36	25,43	14,77	23,51
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
25.12.2021r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężęła [°C]
25.12.2021 04:45:00	–	–	–	1,47	45,00	31,69	1,45	35,22	23,02	0,36	26,37	15,27	24,37
25.12.2021 04:50:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,46	35,28	23,08	0,36	26,38	15,28	24,38
25.12.2021 04:55:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,42	35,28	23,08	0,36	26,62	15,52	24,62
25.12.2021 05:00:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,42	35,28	23,08	0,36	26,62	15,52	24,62
25.12.2021 05:05:00	2,55	60,00	52,50	1,47	50,44	37,34	–	–	–	0,35	40,81	29,71	38,87
25.12.2021 05:10:00	–	–	–	1,54	45,00	31,69	1,43	34,75	22,55	0,35	26,03	14,93	24,09
25.12.2021 05:15:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	22,82	0,36	26,29	15,19	24,30
25.12.2021 05:20:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,45	36,08	23,88	0,32	27,24	16,14	25,46

25.12.2021 05:25:00	–	–	–	1,16	45,00	31,69	1,25	37,28	25,08	0,27	29,66	18,56	28,16
25.12.2021 05:30:00	–	–	–	1,20	45,00	31,69	1,30	37,01	24,81	0,29	29,08	17,98	27,47
25.12.2021 05:35:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,32	36,22	24,02	0,32	28,16	17,06	26,39
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
25.12.2021r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężęła [°C]
25.12.2021 07:25:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,45	34,95	20,59	0,36	24,54	13,02	22,47
25.12.2021 07:30:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,43	34,95	20,59	0,35	24,68	13,16	22,67
25.12.2021 07:35:00	–	–	–	1,52	45,00	31,69	1,43	34,88	20,52	0,36	24,62	13,10	22,54
25.12.2021 07:40:00	2,61	50,00	42,50	1,52	40,21	27,54	–	–	–	0,36	30,58	19,06	28,51
25.12.2021 07:45:00	2,56	60,00	52,50	1,49	50,40	37,73	–	–	–	0,36	40,96	29,44	38,89
25.12.2021 07:50:00	–	–	–	1,49	45,00	31,69	1,45	35,08	20,72	0,36	24,67	13,15	22,60
25.12.2021 07:55:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,43	36,08	21,72	0,36	25,81	14,29	23,74
25.12.2021 08:00:00	–	–	–	1,29	45,00	31,69	1,30	36,42	22,06	0,36	27,08	15,56	25,01

25.12.2021 08:05:00	–	–	–	1,15	45,00	31,69	1,24	37,35	22,99	0,27	28,44	16,92	26,89
25.12.2021 08:10:00	–	–	–	1,21	45,00	31,69	1,32	36,95	22,59	0,29	27,47	15,95	25,80
25.12.2021 08:15:00	–	–	–	1,33	45,00	31,69	1,33	36,15	21,79	0,28	26,60	15,08	24,99
25.12.2021 08:20:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,43	36,08	21,72	0,32	25,81	14,29	23,97
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
26.12.2021r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprzęgła [°C]
26.12.2021 04:35:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	21,61	0,36	25,37	13,09	23,16
26.12.2021 04:40:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	21,35	0,37	25,24	12,96	22,97
26.12.2021 04:45:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,43	34,95	21,28	0,36	25,18	12,90	22,97
26.12.2021 04:50:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	21,61	0,36	25,37	13,09	23,16
26.12.2021 04:55:00	2,55	50,00	42,50	1,50	40,44	28,92	–	–	–	0,36	31,80	19,52	29,59
26.12.2021 05:00:00	2,52	60,00	52,50	1,51	50,55	39,03	–	–	–	0,36	41,85	29,57	39,64
26.12.2021 05:05:00	–	–	–	1,52	45,00	31,69	1,45	34,88	21,21	0,36	24,97	12,69	22,76

26.12.2021 05:10:00	–	–	–	1,52	45,00	31,69	1,43	34,88	21,21	0,37	25,11	12,83	22,84
26.12.2021 05:15:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,43	35,28	21,61	0,36	25,51	13,23	23,30
26.12.2021 05:20:00	–	–	–	1,28	45,00	31,69	1,17	36,48	22,81	0,36	28,48	16,20	26,27
26.12.2021 05:25:00	–	–	–	1,23	45,00	31,69	1,23	36,81	23,14	0,28	28,41	16,13	26,69
26.12.2021 05:30:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,31	36,22	22,55	0,29	27,26	14,98	25,48
26.12.2021 05:35:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,32	36,22	22,55	0,28	27,19	14,91	25,47
26.12.2021 05:40:00	–	–	–	1,31	45,00	31,69	1,31	36,28	22,61	0,30	27,33	15,05	25,49
26.12.2021 05:45:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,32	36,08	22,41	0,32	27,06	14,78	25,10

MODELOWANIE MATEMATYCZNE

26.12.2021r.

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprężarki [°C]
26.12.2021 06:55:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	20,46	0,36	24,61	11,02	22,16
26.12.2021 07:00:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,43	34,95	20,39	0,36	24,54	10,95	22,09
26.12.2021 07:05:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	20,46	0,36	24,61	11,02	22,16

26.12.2021 07:10:00	2,59	50,00	42,50	1,51	40,29	26,66	–	–	–	0,37	30,00	16,41	27,48
26.12.2021 07:15:00	2,59	60,00	52,50	1,52	50,29	36,66	–	–	–	0,36	39,93	26,34	37,48
26.12.2021 20:45:00	–	–	–	1,52	45,00	31,69	1,45	34,88	20,32	0,36	24,33	10,74	21,88
26.12.2021 20:50:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,43	35,28	20,72	0,31	24,87	11,28	22,77
26.12.2021 20:55:00	–	–	–	1,27	45,00	31,69	1,28	36,55	21,99	0,29	27,23	13,64	25,26
26.12.2021 21:00:00	–	–	–	1,24	45,00	31,69	1,15	36,75	22,19	0,28	28,38	14,79	26,47
26.12.2021 21:05:00	–	–	–	1,29	45,00	31,69	1,21	36,42	21,86	0,32	27,61	14,02	25,43
26.12.2021 21:10:00	–	–	–	1,24	45,00	31,69	1,31	36,75	22,19	0,32	27,21	13,62	25,04

MODELOWANIE MATEMATYCZNE

26.12.2021r.

data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprzęgła [°C]
26.12.2021 21:25:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,45	35,02	21,73	0,36	25,38	12,69	23,10
26.12.2021 21:30:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,43	34,95	21,66	0,36	25,45	12,76	23,16
26.12.2021 21:35:00	2,65	50,00	42,50	1,52	40,06	27,32	–	–	–	0,36	30,38	17,69	28,10

26.12.2021 21:40:00	2,63	60,00	52,50	1,52	50,14	37,40	–	–	–	0,36	40,46	27,77	38,17
26.12.2021 21:45:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	21,99	0,36	25,65	12,96	23,36
26.12.2021 21:50:00	–	–	–	1,51	45,00	31,69	1,43	34,95	21,66	0,36	25,45	12,76	23,16
26.12.2021 21:55:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	21,73	0,36	25,52	12,83	23,23
26.12.2021 22:00:00	–	–	–	1,17	45,00	31,69	1,32	37,21	23,92	0,22	28,44	15,75	27,05
26.12.2021 22:05:00	–	–	–	1,16	45,00	31,69	1,24	37,28	23,99	0,23	29,04	16,35	27,58
26.12.2021 22:10:00	–	–	–	1,21	45,00	31,69	1,24	36,95	23,66	0,24	28,71	16,02	27,18
26.12.2021 22:15:00	–	–	–	1,25	45,00	31,69	1,23	36,68	23,39	0,21	28,51	15,82	27,18
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
27.12.2021r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprzęgła [°C]
27.12.2021 21:55:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	19,58	0,33	23,90	10,22	21,64
27.12.2021 22:00:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	19,32	0,33	23,79	10,11	21,53
27.12.2021 22:05:00	2,54	60,00	52,50	1,46	50,48	38,42	–	–	–	0,34	41,67	27,99	39,35

27.12.2021 22:10:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,45	35,02	19,32	0,33	23,64	9,96	21,38
27.12.2021 22:15:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,43	35,28	19,58	0,34	24,06	10,38	21,73
27.12.2021 22:20:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	19,58	0,34	23,90	10,22	21,58
27.12.2021 22:25:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	19,32	0,34	23,79	10,11	21,47
27.12.2021 22:30:00	–	–	–	1,38	45,00	31,69	1,22	35,82	20,12	0,24	26,24	12,56	24,60
27.12.2021 22:35:00	–	–	–	1,27	45,00	31,69	1,21	36,55	20,85	0,23	27,05	13,37	25,48
27.12.2021 22:40:00	–	–	–	1,15	45,00	31,69	1,26	37,35	21,65	0,31	27,46	13,78	25,34
27.12.2021 22:45:00	–	–	–	1,21	45,00	31,69	1,23	36,95	21,25	0,31	27,29	13,61	25,17
27.12.2021 22:50:00	–	–	–	1,25	45,00	31,69	1,24	36,68	20,98	0,32	26,95	13,27	24,76
27.12.2021 22:55:00	–	–	–	1,26	45,00	31,69	1,34	36,61	20,91	0,32	26,10	12,42	23,91
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
28.12.2021r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprzęgła [°C]
28.12.2021 08:00:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	20,80	0,34	24,85	13,85	22,98

28.12.2021 08:05:00	2,59	60,00	50,50	1,46	47,70	38,70	–	–	–	0,33	41,13	30,13	39,31
28.12.2021 08:10:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,45	35,02	20,80	0,33	24,71	13,71	22,89
28.12.2021 08:15:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,43	35,28	21,06	0,33	25,12	14,12	23,30
28.12.2021 08:20:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	20,80	0,34	24,85	13,85	22,98
28.12.2021 08:25:00	–	–	–	1,46	45,00	31,69	1,45	35,28	21,06	0,34	24,97	13,97	23,10
28.12.2021 08:30:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,43	35,02	20,80	0,34	24,85	13,85	22,98
28.12.2021 08:35:00	–	–	–	1,50	45,00	31,69	1,45	35,02	20,80	0,34	24,71	13,71	22,84
28.12.2021 08:40:00	–	–	–	1,27	45,00	31,69	1,17	36,55	22,33	0,22	28,23	17,23	27,02
28.12.2021 08:45:00	–	–	–	1,23	45,00	31,69	1,22	36,81	22,59	0,23	28,14	17,14	26,88
28.12.2021 08:50:00	–	–	–	1,29	45,00	31,69	1,24	36,42	22,20	0,34	27,60	16,60	25,73
28.12.2021 08:55:00	–	–	–	1,31	45,00	31,69	1,25	36,28	22,06	0,32	27,39	16,39	25,63
28.12.2021 09:00:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,26	36,22	22,00	0,29	27,26	16,26	25,66
28.12.2021 09:05:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,34	36,22	22,00	0,32	26,69	15,69	24,93
28.12.2021 09:10:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,34	36,08	21,86	0,32	26,55	15,55	24,79
28.12.2021 09:15:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,26	35,95	21,73	0,33	26,99	15,99	25,18
28.12.2021 09:20:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,38	36,08	21,86	0,33	26,27	15,27	24,46

28.12.2021 09:25:00	–	–	–	1,34	45,00	31,69	1,39	36,08	21,86	0,33	26,20	15,20	24,38
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
11.01.2022r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprzęgła [°C]
11.01.2022 05:50:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	22,38	0,35	27,83	14,17	25,44
11.01.2022 05:55:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	22,38	0,35	27,83	14,17	25,44
11.01.2022 06:00:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,21	36,02	22,38	0,35	27,76	14,10	25,37
11.01.2022 06:05:00	2,54	50,00	41,50	1,35	39,21	27,21	–	–	–	0,35	31,11	17,45	28,71
11.01.2022 06:10:00	2,54	60,00	51,50	1,35	49,21	37,21	–	–	–	0,35	41,11	27,45	38,71
11.01.2022 06:15:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,21	36,02	22,38	0,35	27,76	14,10	25,37
11.01.2022 06:20:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	22,38	0,27	27,83	14,17	25,99
11.01.2022 06:25:00	–	–	–	1,18	45,00	31,69	1,17	37,15	23,51	0,24	29,17	15,51	27,53
11.01.2022 06:30:00	–	–	–	1,19	45,00	31,69	1,14	37,08	23,44	0,29	29,31	15,65	27,33
11.01.2022 06:35:00	–	–	–	1,24	45,00	31,69	1,14	36,75	23,11	0,31	28,97	15,31	26,86

11.01.2022 06:40:00	–	–	–	1,25	45,00	31,69	1,21	36,68	23,04	0,32	28,43	14,77	26,24
11.01.2022 06:45:00	–	–	–	1,26	45,00	31,69	1,21	36,61	22,97	0,32	28,36	14,70	26,18
MODELOWANIE MATEMATYCZNE													
11.01.2022r.													
data / czas	Przepływ chwilowy 1 [m³/h]	Temp. na zasileniu 1 [°C]	Temp. na powrocie 1 [°C]	Przepływ chwilowy 2 [m³/h]	Temp. na zasileniu 2 [°C]	Temp. na powrocie 2 [°C]	Przepływ chwilowy 3 [m³/h]	Temp. na zasileniu 3 [°C]	Temp. na powrocie 3 [°C]	Przepływ chwilowy 4 [m³/h]	Temp. na zasileniu 4 [°C]	Temp. na powrocie 4 [°C]	Temp. na wyjściu ze sprzęgła [°C]
11.01.2022 06:50:00	2,55	50,00	41,50	1,36	39,16	27,00	1,25	30,89	16,48	0,36	21,89	8,17	19,42
11.01.2022 06:55:00	2,58	60,00	51,50	1,35	49,04	36,88	–	–	–	0,37	40,83	27,11	38,29
11.01.2022 07:00:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	21,61	0,35	27,37	13,65	24,97
11.01.2022 07:05:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,21	36,02	21,61	0,35	27,30	13,58	24,90
11.01.2022 07:10:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	21,61	0,35	27,37	13,65	24,97
11.01.2022 07:15:00	–	–	–	1,35	45,00	31,69	1,20	36,02	21,61	0,35	27,37	13,65	24,97
11.01.2022 07:20:00	–	–	–	1,17	45,00	31,69	1,21	37,21	22,80	0,29	28,50	14,78	26,51
11.01.2022 07:25:00	–	–	–	1,15	45,00	31,69	1,15	37,35	22,94	0,24	29,06	15,34	27,41
11.01.2022 07:30:00	–	–	–	1,10	45,00	31,69	1,11	37,68	23,27	0,29	29,68	15,96	27,69

11.01.2022 07:35:00	–	–	–	1,17	45,00	31,69	1,20	37,21	22,80	0,29	28,57	14,85	26,58
11.01.2022 07:40:00	–	–	–	1,25	45,00	31,69	1,19	36,68	22,27	0,30	28,11	14,39	26,05
11.01.2022 07:45:00	–	–	–	1,26	45,00	31,69	1,18	36,61	22,20	0,31	28,11	14,39	25,99
11.01.2022 07:50:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,21	36,22	21,81	0,31	27,50	13,78	25,37
11.01.2022 07:55:00	–	–	–	1,32	45,00	31,69	1,21	36,22	21,81	0,32	27,50	13,78	25,30
11.01.2022 08:00:00	–	–	–	1,36	45,00	31,69	1,24	35,95	21,54	0,32	27,02	13,30	24,82

Uwaga: Wartości pogrubione są wynikiem obliczeń modelu matematycznego. Są to wartości charakterystyczne na wejściu do sprężarki ustalone przez układ automatyki kotłowni.

Temperatury powrotu dla poszczególnego obiegu określono na podstawie średniej temperatury powrotu z poszczególnego okresu badawczego.

5.1. Metody analizy danych

Wyniki opracowano w programie Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc. 2017). Dla całości opracowania statystycznego wybrano poziom Alfa = 0,05. Do odpowiedzi na postawioną *tezę badawczą* wykorzystano analizę różnic średnich oraz ocenę moderacji. Dla pomiaru różnic między przepływem wody oraz temperatur dla obiegów grzewczych danych modelowanych i rzeczywistych wykorzystano analizy wariancji w schemacie mieszanym, gdzie czynnikiem międzygrupowym był rodzaj zastosowanej technologii wyrażony w postaci zestawu danych (rzeczywiste vs. modelowane), a czynnikiem wewnątrzgrupowym była kolejność obiegu. Czynniki wewnątrzgrupowe występowały dla sytuacji pracy obiegu pierwszego (obieg pierwszy vs. obieg drugi vs. obieg czwarty) oraz dla sytuacji po zakończeniu pracy obiegu pierwszego (obieg drugi vs. obieg trzeci vs. obieg czwarty). Analizę wariancji zawsze poprzedzało testowanie założeń tym normalności rozkładu jednorodności wariancji i dla analiz jednopoziomowych sferyczności danych. Złamanie pewnych założeń skutkowało wspieraniem analizy wariancji nieparametrycznymi testami U Manna-Whitney'a oraz testu Friedmana jak i odpowiednimi poprawkami samej analizy wariancji. W analizę różnic do oceny wielkości efektu wybrano cząstkową etę-kwadrat, dla której przyjęto interpretację zgodnie z przedziałami 0,01 – niski, 0,06 – umiarkowany, 0,14 – wysoki.

Modele moderacji także poprzedziło testowanie założeń normalności rozkładu. W analizie tej wykorzystano współczynnik korelacji rang Spearmana z uwagi na problemy z normalnością rozkładu zmiennych.

Prezentację wyników podzielono ze względu na pracę pierwszego obiegu grzewczego. W pierwszej części pokazano zestaw danych zebranych w trakcie pracy obiegu pierwszego i jego wpływu na obieg drugi i czwarty, kiedy druga część pokazywała dane zebrane po zakończeniu pracy obiegu pierwszego i jego wpływu na obieg drugi, trzeci i czwarty zgodnie z przyjętą konfiguracją sterowania kotłowni. Podsumowanie uzyskanych badań przedstawiono w tabeli 26.

5.2. Pomiary w trakcie pracy I obiegu na obieg II i IV

5.2.1. Analiza różnic w trakcie pracy I obiegu na obieg II i IV

Pomiary przepływu wody w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych oraz modelowanych były ze sobą tożsame. Z tego powodu nie można przeprowadzić między grupami danych rzeczywistych oraz modelowanych oceny różnic. Ocenie poddano jedynie pomiary przepływu wody w trakcie pracy obiegu pierwszego między kolejnymi obiegami. W analizie tej wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji z powtarzanym pomiarem.

Oceniając założenia wskazać trzeba, że dane nie spełniały założenia sferyczności danych, $W_{(2)} = 0,603$; $p < 0,001$. Wyniki poprawek oraz testu nieparametrycznego potwierdziły jednak słuszność wykorzystania analizy wariancji¹. Wyniki pokazały, że między kolejnymi obiegami istnieją istotne różnice w poziomie przepływu wody w trakcie pracy obiegu pierwszego, $F_{(2, 46)} = 13164,872$; $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,99$. Wielkość tego efektu jest bardzo wysoka. W dokładnej analizie różnic wykorzystano analizę post hoc Scheffe'a, co zaprezentowano w tabeli 10.

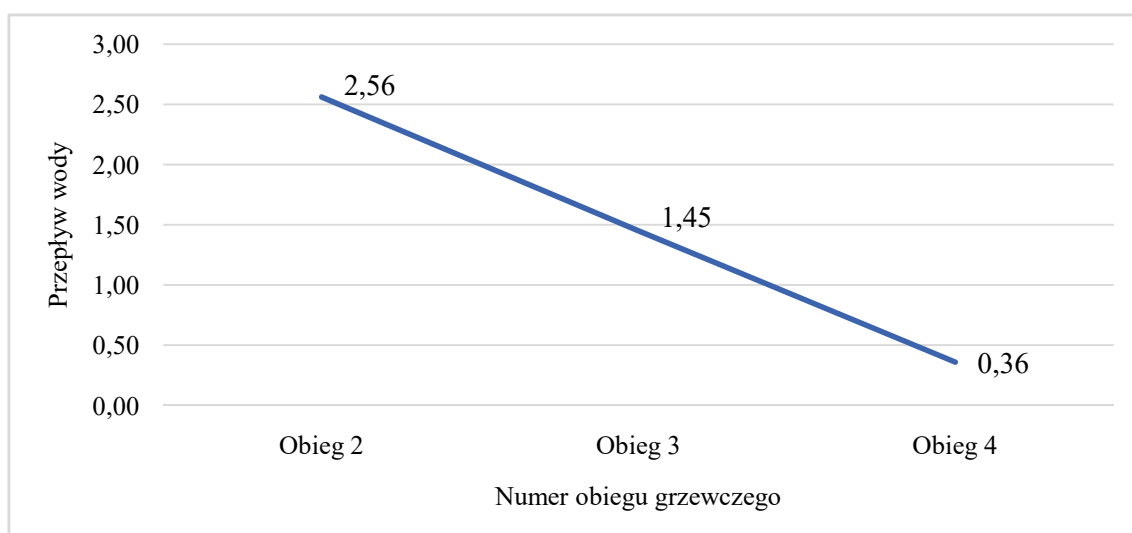
Tabela 10. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a przepływu wody wybranych obiegów w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	M	SD	Istotność porównań parami		
				1	2	3
Rzeczywiste / Modelowane $N = 24$	Obieg (1)	2,56	0,04	—	<0,001	<0,001
	Obieg (2)	1,45	0,07	<0,001	—	<0,001
	Obieg (4)	0,36	0,01	<0,001	<0,001	—

N – liczba obserwacji, M – średnia, SD – odchylenie standardowe

Wyniki wskazały, że w kolejnych obiegach przepływ wody istotnie maleje. Poziom przepływu wody w czwartym obiegu jest istotnie mniejszy niż dla obiegu drugiego i pierwszego. Dodatkowo także dla obiegu drugiego przepływ wody jest istotnie mniejszy niż dla pierwszego. Wyniki wskazano dodatkowo na rysunku 50.

¹ Wartości poprawek wynosiły odpowiednio: Greenhouse-Geissera ($F_{(1,43, 32,92)} = 0,716$, $p < 0,001$), Huynh-Feldt ($F_{(1,50 34,50)} = 0,750$, $p < 0,001$), dolna granica epsilon ($F_{(1, 23)} = 0,500$; $p < 0,001$). Wyniki nieparametrycznego testu Friedmana: $\chi^2_{(2)} = 48,000$, $p < 0,001$.



Rys. 50. Średnie wyniki przepływu wody wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych / modelowanych. Opracowanie własne

Na rysunku zauważyć można liniowy spadek przepływu wody w kolejnych obiegach w trakcie pracy obiegu pierwszego. Trzeba dodać, że przepływ wody dla danych rzeczywistych oraz modelowanych nie różnił się z uwagi na przyjęty sposób weryfikacji tych danych.

W kolejnej analizie także wykorzystano analizę wariancji w schemacie mieszanym dla czynnika międzygrupowego: rodzaj danych (rzeczywiste vs. modelowane) i czynnika wewnątrzgrupowego: kolejność obiegu (obieg pierwszy vs. obieg drugi vs. obieg czwarty). Ocenie poddano pomiar temperatury na zasileniu w trakcie pracy obiegu pierwszego. Ocena założeń wskazała, zgodnie z wynikami pokazanymi w tabeli 26, że dane nie spełniają założenia normalności rozkładu. Dodatkowo dla obiegu pierwszego ($F_{(1, 46)} = 8,019$; $p = 0,007$), drugiego ($F_{(1, 46)} = 123,340$; $p < 0,001$) oraz czwartego ($F_{(1, 46)} = 73,005$; $p < 0,001$) nie uzyskano jednorodności wariancji. Z uwagi na te wyniki analizę wariancji wspierano wynikami testów nieparametrycznych. W tabeli 11 pokazano podsumowanie analizy wariancji temperatury na zasileniu w trakcie pracy obiegu pierwszego.

Tabela 11. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Rodzaj efektu	Zmienna	F	df	p	η_p^2
Główny	Dane	2,183	1, 46	0,146	0,05
	Obieg	591,845	2, 92	<0,001	0,93
Interakcji	Dane * Obieg	0,429	2, 92	0,652	0,01

F – wartość analizy wariancji, df – stopnie swobody, p – poziom istotności, η_p^2 – wielkość efektu

Wyniki pokazały, że efekt główny zestawu danych jest statystycznie nieistotny. Oznacza to brak wyraźnych różnic między danymi modelowanymi ($M = 46,09$; $SD = 5,24$) i rzeczywistymi ($M = 44,35$; $SD = 2,44$) w poziomie temperatury na zasileniu w trakcie pracy obiegu pierwszego. Wynik ten potwierdza także wartość testu nieparametrycznego, $z = -1,247$, $p = 0,212$. Nieistotnym okazał się także efekt interakcji zestawu danych oraz kolejności obiegu temperatury na zasileniu w sytuacji pracy obiegu pierwszego. Za przedstawionym wynikiem pomiary temperatury na obiegu pierwszym, drugim i czwartym danych modelowanych nie różnią się istotnie odpowiadającym danym rzeczywistym.

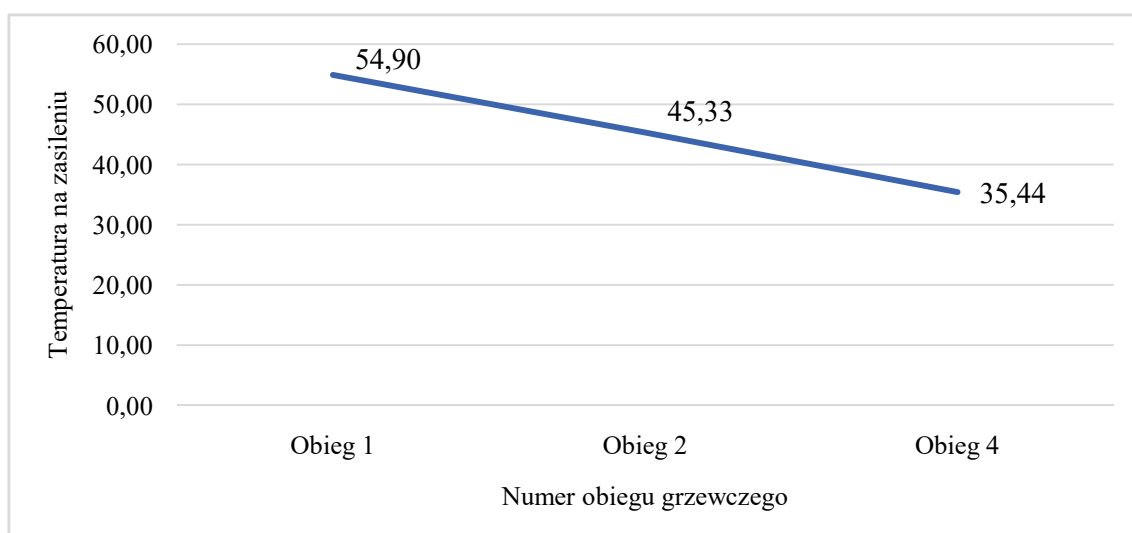
We wskazanej analizie efekt główny kolejności obiegu okazał się istotny. Wielkość efektu jest bardzo wysoka. Istnieją różnice w pomiarach temperatury kolejnych obiegach, co potwierdza także analiza nieparametryczna, $\chi^2_{F(2)} = 94,042$, $p < 0,001$. W poszukiwaniu szczegółowych różnic między pomiarami temperatury na zasileniu przeprowadzono analizę post hoc testem Scheffe'a, co prezentuje tabela 12.

Tabela 12. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a temperatury na zasileniu wybranych obiegów w trakcie pracy obiegu pierwszego zestawów danych łącznie.
Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	M	SD	Istotność porównań parami		
				1	2	3
Łącznie $N = 42$	Obieg (1)	54,90	5,76	—	<0,001	<0,001
	Obieg (2)	45,33	3,77	<0,001	—	<0,001
	Obieg (4)	35,44	4,39	<0,001	<0,001	—

N – liczba obserwacji, M – średnia, SD – odchylenie standardowe

Analiza pokazuje, że temperatura na zasileniu w trakcie pracy obiegu pierwszego istotnie maleje w kolejnych obiegach. Pomiar temperatur w obiegu czwartym jest istotnie niższy niż w obiegu drugim i pierwszym. Dodatkowo pomiar temperatury na zasileniu w obiegu drugim jest istotnie niższy niż w pierwszym. Uzyskane wartości pokazano na rysunku 51.



Rys. 51. Średnie wyniki temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych łącznie. Opracowanie własne

Zaznaczyć trzeba, że zmiana tych temperatur na zasileniu jest taka sama, podobna w przypadku danych rzeczywistych oraz modelowanych. Dla zestawu łącznego danych zauważyć można liniowy spadek temperatury na zasileniu w trakcie pracy obiegu pierwszego.

Analizie wariancji w schemacie mieszanym dla czynnika międzygrupowego: rodzaj danych (rzeczywiste vs. modelowane) i czynnika wewnątrzgrupowego: kolejność obiegu (obieg pierwszy vs. obieg drugi vs. obieg czwarty) poddano także temperaturę na powrocie w trakcie pracy obiegu pierwszego. Ocena założeń wskazała, zgodnie z wynikami pokazanymi w tabeli 26, że dane nie spełniają założenia normalności rozkładu. Dodatkowo dla obiegu pierwszego ($F_{(1, 46)} = 7,770$; $p = 0,008$, drugiego ($F_{(1, 46)} = 405,454$; $p < 0,001$) oraz czwartego ($F_{(1, 46)} = 09,119$; $p < 0,001$) nie uzyskano jednorodności wariancji. Z uwagi na te wyniki analizę wariancji wspierano wynikami testów nieparametrycznych. W tabeli 13 pokazano podsumowanie analizy wariancji temperatury na powrocie w trakcie pracy obiegu pierwszego.

Tabela 13. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Rodzaj efektu	Zmienna	F	df	p	η_p^2
Główny	Dane	0,699	1, 46	0,407	0,01
	Obieg	756,135	2, 92	<0,001	0,94
Interakcji	Dane * Obieg	5,046	2, 92	0,008	0,10

F – wartość analizy wariancji, df – stopnie swobody, p – poziom istotności, η_p^2 – wielkość efektu

Analiza pokazała, że efekt główny zestawu danych nie jest istotny statystycznie. Wielkość tego efektu jest niska. Temperatury na powrocie dla danych rzeczywistych ($M = 34,24$; $SD = 2,21$) w porównaniu z danymi modelowanymi ($M = 35,23$; $SD = 5,32$) nie różni się w sposób istotny. Wskazanie to potwierdza także nieparametryczna analiza, $z = -0,979$; $p = 0,327$. Istotnym okazał się efekt główny kolejności obiegu, którego wielkość jest także bardzo wysoka. W analizie szczegółowej wskazać można, że obieg czwarty ($M = 24,69$; $SD = 4,31$) osiągał istotnie niższe wyniki temperatury na powrocie niż obieg drugi ($M = 32,37$; $SD = 3,80$) oraz pierwszy ($M = 47,15$; $SD = 5,87$). Dla obiegu drugiego uzyskano istotnie niższe wyniki niż dla pierwszego. Analizę potwierdza także nieparametryczna analiza, $\chi^2_{(2)} = 96,000$, $p < 0,001$.

Wyniki wskazały, że istotny okazał się także efekt interakcji zestawu danych z kolejnością obiegu dla temperatury na powrocie w trakcie pracy obiegu pierwszego. Wielkość tego efektu jest wyraźnie mniejsza niż dla efektu głównego zestawu danych pozostając na poziomie umiarkowanym. W ocenie dokładnych porównań parami wykorzystano test post hoc Scheffe'a co zaprezentowane zostało w tabeli 14.

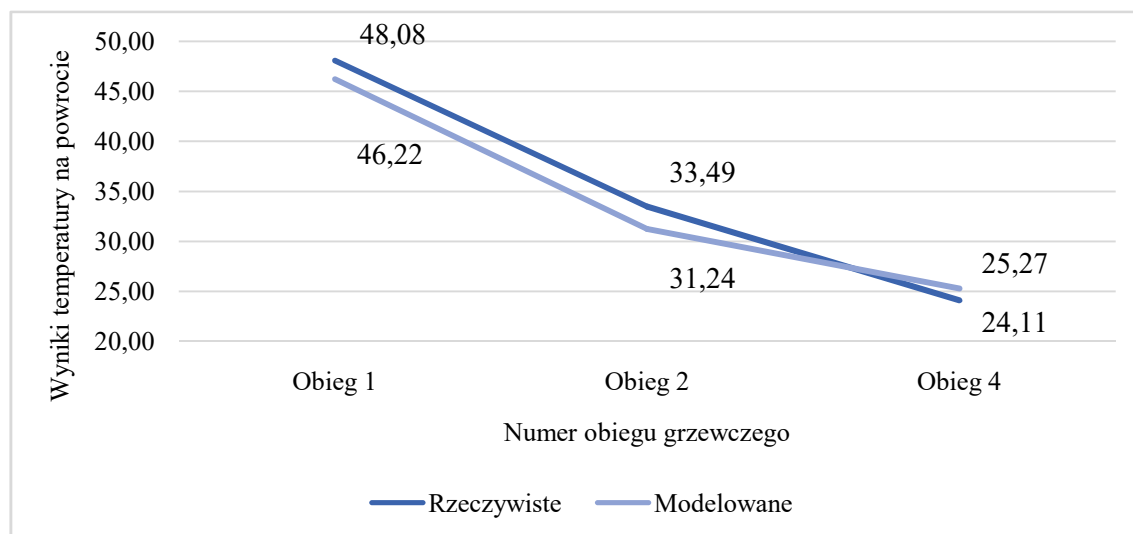
Tabela 14. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a temperatury na powrocie wybranych obiegów w trakcie pracy obiegu pierwszego zestawów danych modelowych i rzeczywistych. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	M	SD	Istotność porównań parami					
				1	2	3	4	5	6
Rzeczywiste $N = 24$	Obieg 1 (1)	46,22	6,59	—	<0,001	<0,001	0,864	<0,001	<0,001
	Obieg 2 (2)	31,24	0,46	<0,001	—	<0,001	<0,001	0,739	<0,001
	Obieg 4 (3)	25,27	0,31	<0,001	<0,001	—	<0,001	<0,001	0,981
Modelowane $N = 24$	Obieg 1 (4)	48,08	5,02	0,864	<0,001	<0,001	—	<0,001	<0,001
	Obieg 2 (5)	33,49	5,17	<0,001	0,739	<0,001	<0,001	—	<0,001
	Obieg 4 (6)	24,11	6,09	<0,001	0,000	0,981	<0,001	<0,001	—

N – liczba obserwacji, M – średnia, SD – odchylenie standardowe

Wyniki pokazały, że dla kolejnych obiegów pomiar temperatury na powrocie jest istotnie niższy od poprzednich zarówno dla danych rzeczywistych jak i modelowanych. Trzeba zauważyć jednak, że pomiary dla obiegu pierwszego nie różnią się między danymi rzeczywistymi i modelowanymi. Podobnie pary pomiarów obiegu drugiego i czwartego nie różnią dla danych rzeczywistych i modelowanych. Brak tych różnic w szczegółowym porównaniu potwierdza umiarkowaną wielkość efektu interakcji. Uzyskane w pomiarze

wartości temperatury na powrocie w trakcie pracy obiegu pierwszego pokazano na rysunku 52.



Rys. 52. Średnie wyniki temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Warto zauważyć, że zamiany temperatury na powrocie zmieniają się w podobny sposób (nieistotnie różny jak pokazała analiza) dla danych rzeczywistych oraz modelowanych.

5.2.2. Analiza moderacji w trakcie pracy I obiegu na obieg II i IV

Korelacja między pomiarami przepływu wody, temperatury na zasilaniu oraz powrocie w grupie danych rzeczywistych i modelowanych stała się podstawą do oceny moderacji zastosowanej technologii. Pierwszym w ocenie był przepływ wody, który z wykorzystaniem współczynnika Spearmana został przedstawiony w tabeli 15. Wybór współczynnika był spowodowany brakiem normalności rozkładu pokazana w całości w tabeli 26.

Tabela 15. Podsumowanie analizy moderacji zastosowanej technologii na zależności pomiarów przepływu wody w wybranych obiegach grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	Wartości korelacji pomiarów					
		Obieg 1		Obieg 2		Obieg 4	
		r_s	p	r_s	p	r_s	p
Rzeczywiste $N = 24$	Obieg 1	—		0,15	0,476	0,17	0,433
	Obieg 2	0,15	0,476	—		0,42	0,042
	Obieg 4	0,17	0,433	0,42	0,042	—	

Modelowane $N = 24$	Obieg 1	—		0,15	0,476	0,17	0,433
	Obieg 2	0,15	0,476	—		0,42	0,042
	Obieg 4	0,17	0,433	0,42	0,042	—	

N – liczba obserwacji, r_s – wartość korelacji Spearmana, p – poziom istotności

Pomiary przepływu wody dla danych modelowanych i rzeczywistych były takie same. Ocena korelacji była zatem tożsama. Zauważyć można, że jedynie obieg drugi wydaje się korelować z obiegiem czwartym w sposób dodatni i umiarkowany. Wzrost przepływu wody w obiegu drugim wiąże się ze wzrostem przepływu wody w obiegu czwartym. Obieg pierwszy dla pomiaru przepływu wody w sytuacji pracy obiegu pierwszego, nie koreluje z pozostałymi obiegami.

Ocenie moderacji zastosowanej technologii poddano także pomiary temperatury na zasileniu. W tabeli 16 pokazano współczynnik korelacji rang Spearmana wybrany z uwagi na złamane założenie normalności rozkładu (pokazany w tabeli 26).

Tabela 16. Podsumowanie analizy moderacji zastosowanej technologii na zależności pomiarów temperatury na zasileniu w wybranych obiegach grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	Wartości korelacji pomiarów					
		Obieg 1		Obieg 2		Obieg 4	
		r_s	p	r_s	p	r_s	p
Rzeczywiste $N = 24$	Obieg 1	—		0,16	0,461	0,28	0,187
	Obieg 2	0,16	0,461	—		0,08	0,719
	Obieg 4	0,28	0,187	0,08	0,719	—	
Modelowane $N = 24$	Obieg 1	—		0,86	<0,001	0,85	<0,001
	Obieg 2	0,86	<0,001	—		0,84	<0,001
	Obieg 4	0,85	<0,001	0,84	<0,001	—	

N – liczba obserwacji, r_s – wartość korelacji Spearmana, p – poziom istotności

Wyniki pokazały, że wartości temperatury na zasileniu w zbiorze danych rzeczywistych nie wykazują istotnych korelacji w pomiarach obiegu pierwszym, drugim i czwartym. Te same korelacje w zbiorze danych modelowanych okazały się być istotne. Co więcej związki te są dodatnie i bardzo silne, co oznacza, że wraz ze wzrostem temperatury na zasileniu w jednym z obiegów, temperatura na zasileniu w pozostałych także rośnie. Spadek temperatur na zasileniu w jednym obiegu w zbiorze danych modelowanych oznacza także spadek tej temperatury w pozostałych obiegach. Wartym odnotowania jest spójność wskazanych zależności. Korelacje pomiarów danych modelowanych znajdują się w bardzo wąskim przedziale (0,84 – 0,86). Zależności między temperaturami w obiegach

pierwszym, drugim i czwartym nie widać dla zbioru danych rzeczywistych. Można uznać, że zastosowana technologia sprawia, że temperatury danych na zasileniu pozostają ze sobą w bardzo silny związkach dodatnich, czego w przypadku danych rzeczywistych wykazać nie można.

W tabeli 17 zaprezentowano podsumowanie moderacji zastosowanej technologii na zmienności temperatur na powrocie obiegów w sytuacji działania obiegu pierwszego. Z uwagi na prezentowany w tabeli 26 brak normalności rozkładu w analizie wykorzystano współczynnik korelacji rang Spearmana.

Tabela 17. Podsumowanie analizy moderacji zastosowanej technologii na zależności pomiarów temperatury na powrocie w wybranych obiegach grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	Wartości korelacji pomiarów					
		Obieg 1		Obieg 2		Obieg 4	
		r_s	p	r_s	p	r_s	p
Rzeczywiste $N = 24$	Obieg 1	—		0,04	0,836	-0,08	0,713
	Obieg 2	0,04	0,836	—		0,29	0,168
	Obieg 4	-0,08	0,713	0,29	0,168	—	
Modelowane $N = 24$	Obieg 1	—		0,82	<0,001	0,84	<0,001
	Obieg 2	0,82	<0,001	—		0,88	<0,001
	Obieg 4	0,84	<0,001	0,88	<0,001	—	

N – liczba obserwacji, r_s – wartość korelacji Spearmana, p – poziom istotności

Analiza wskazała, że dla danych rzeczywistych korelacje temperatury na powrocie między obiegami pierwszym, drugim i czwartym nie korelują w sposób istotny. Między pomiarami ciepła na powrocie danych rzeczywistych w sytuacji działania obiegu pierwszego nie widać istotnej współzmienności. Warto także zauważyć, że siła korelacji obiegu pierwszego z drugim i czwartym jest zerowy.

Dla danych modelowanych związek temperatury na powrocie jest bardzo silny i dodatni między obiegami pierwszym, drugim i czwartym. Wyniki tych korelacji pokazują także bardzo dużą spójność tych korelacji mieszczących się w przedziale 0,82 – 0,88. Wzrost temperatury na powrocie w jednym obiegu danych modelowanych wiąże się ze wzrostem w pozostałych. Spadek tego wyniku w jednym obiegu także wiąże się ze spadkiem w pozostałych. Zależności tej nie widać dla danych rzeczywistych.

Zastosowana technologia stanowi istotny moderator temperatury na powrocie w trakcie pracy obiegu pierwszego. Zastosowane sprzęgło widoczne w danych modelowanych sprawia, że związki temperatury między obiegami wykazują bardzo silną współzmiennność.

5.3. Pomiary po zakończeniu pracy I obiegu na obieg II, III i IV

5.3.1. Analiza różnic po zakończeniu pracy I obiegu na obieg II, III i IV

Z uwagi na tożsamość pomiarów przepływu wody w obiegach drugim, trzecim i czwartym w sytuacji po zakończeniu pracy obiegu pierwszego nie można dokonać między nimi zróżnicowania. Przepływ wody zarówno dla danych rzeczywistych oraz modelowanych jest taki sam w sytuacji zakończenia pracy obiegu pierwszego. Ocenie różnic poddano jednak przepływ wody w kolejnych obiegach. Analiza założeń wykazała, że pomiary wody z obiegów nie spełniają założenia sferyczności ($W_{(2)} = 0,893$; $p = 0,010$). W analizie zdecydowano się na wykorzystanie analizy wariancji z powtarzanym pomiarem z uwagi na wartości poprawek oraz analizę nieparametryczną, które pozwoliły na zwiększenie zaufania do wyników². Analiza różnic przepływu wody pokazała, że istnieje różnica między wartościami przepływu między pomiarami, $F_{(2, 166)} = 7137,830$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,99$. Wielkość efektu jest bardzo wysoka. W poszukiwaniu dokładnych różnic między pomiarami przepływu wody na obiegach przeprowadzono analizę post hoc porównań parami testem Scheffe'a, co prezentuje tabela 18.

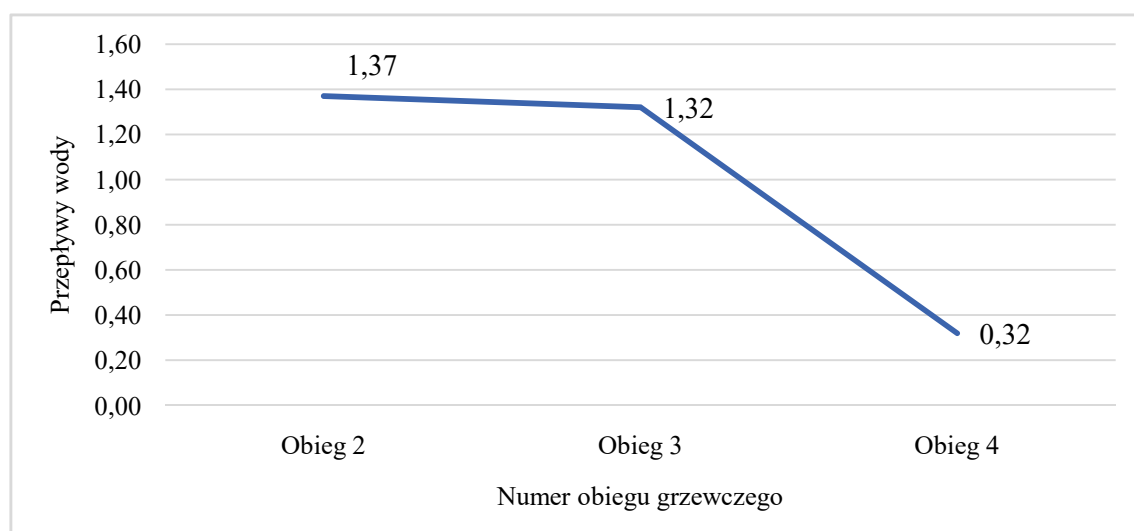
Tabela 18. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a temperatury na zasileniu wybranych obiegów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	M	SD	Istotność porównań parami		
				1	2	3
Rzeczywiste / Modelowane $N = 42$	Obieg 2 (1)	1,37	0,12	—	<0,001	<0,001
	Obieg 3 (2)	1,32	0,11	<0,001	—	<0,001
	Obieg 4 (3)	0,32	0,04	<0,001	<0,001	—

N – liczba obserwacji, M – średnia, SD – odchylenie standardowe

Wyniki pokazały, że przepływ wody dla danych rzeczywistych jak i modelowanych zmniejsza się istotnie w kolejnych obiegach w sytuacji po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Przepływ wody w obiegu czwartym jest istotnie mniejszy niż w obiegu trzecim i drugim. Podobnie w obiegu trzecim obieg wody jest istotnie mniejszy niż w drugim. Wskazane wartości pokazano dodatkowo na rysunku 53.

² Wartości poprawek wynosiły odpowiednio: Greenhouse-Geissera ($F_{(1,81 \ 149,99)} = 0,904$, $p < 0,001$), Huynh-Feldt ($F_{(1,84 \ 153,13)} = 0,922$, $p < 0,001$), dolna granica epsilon ($F_{(1, \ 83)} = 0,500$; $p < 0,001$). Wyniki nieparametrycznego testu Friedmana: $\chi^2_{(2)} = 142,578$, $p < 0,001$.



Rys. 53. Średnie wyniki przepływu wody wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych / modelowanych. Opracowanie własne

Trzeba dodać, że wartości przepływu wody są tożsame w warunkach rzeczywistych jak i modelowanych. Mimo tego, zauważyć można istotne obniżenie przepływu wody w kolejnych obiegach w sytuacji zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego.

W analizie różnic temperatur na zasileniu między pomiarami wybranych obiegów oraz między rodzajem zebranych danych wykorzystano analizę wariancji w schemacie mieszanym. Czynnikiem między obiektowym był rodzaj zbieranych danych (rzeczywiste vs. modelowane) a czynnikiem wewnątrz obiektowym była kolejność obiegu grzewczego (obieg 2 vs. obieg 3 vs. obieg 4). W ocenie założeń do modelu wariancji należy zwrócić uwagę, że wyniki nie spełniały założenia normalności rozkładu, co zostało wskazane w tabeli 26. Dodatkowo jak wykazała analiza, dane temperatury na obiegu drugim ($F_{(1, 166)} = 171,017$; $p < 0,001$), trzecim ($F_{(1, 166)} = 77,342$; $p < 0,001$) oraz czwartym ($F_{(1, 166)} = 46,281$; $p < 0,001$) nie wykazują jednorodności wariancji. Z powodu zarysowanych problemów z założeniami modelu, wyniki wsparta także oceną nieparametryczną danych. W tabeli 19 zaprezentowano podsumowanie analizy wariancji temperatury na zasileniu w sytuacji zakończenia pracy obiegu pierwszego.

Tabela 19. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Rodzaj efektu	Zmienna	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	η_p^2
Główny	Dane	819,738	1, 166	<0,001	0,83

	Obieg	6270,222	2, 332	<0,001	0,97
Interakcji	Dane * Obieg	1090,493	2, 332	<0,001	0,87

F – wartość analizy wariancji, df – stopnie swobody, p – poziom istotności, η_p^2 – wielkość efektu

Analiza pokazała, że efekty główne zestawu danych oraz kolejności obiegu są statystycznie istotne. Wielkości tych efektów są bardzo silne. Wyniki wskazały, że temperatury na zasileniu dla danych modelowanych ($M = 35,85$; $SD = 0,81$) w porównaniu z danymi rzeczywistymi ($M = 49,36$; $SD = 4,25$) są istotnie niższe. Wynik ten potwierdziła także nieparametryczna analiza różnic ($z = 11,190$, $p < 0,001$). Efekt główny obiegu wskazał, że temperatura na zasileniu w obiegu drugim ($M = 48,73$; $SD = 4,80$) jest istotnie wyższe niż dla obiegu trzeciego ($M = 43,38$; $SD = 8,15$) i czwartego ($M = 35,70$; $SD = 9,67$). Między obiegami trzecim i czwartym także widać istotne różnice. Wynik ten także został potwierdzony nieparametryczną analizą ($\chi^2_{(2)} = 319,501$, $p < 0,001$).

Co najważniejsze, w analizie temperatury na zasileniu efekt interakcji zestawu danych oraz kolejności obiegu w sytuacji zakończenia pracy obiegu pierwszego, okazał się być statystycznie istotny. Wielkość tego efektu jest także bardzo wysoka. W dokładnej analizie post hoc porównań parami wykorzystano test Scheffe’a, co pokazuje tabela 20.

Tabela 20. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe’a temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

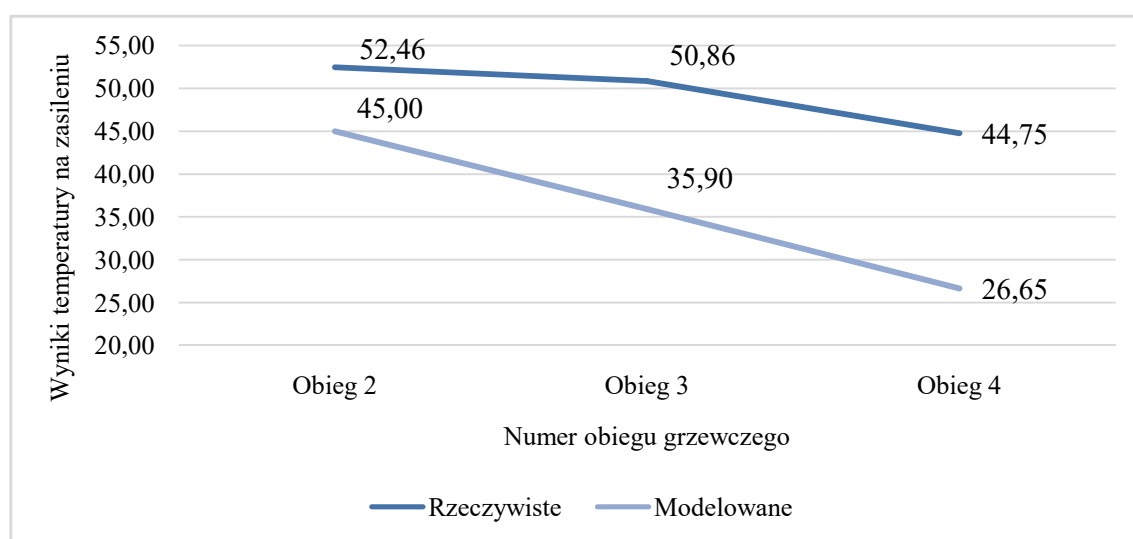
Dane	Numer obiegu cieplnego	M	SD	Istotność porównań parami					
				1	2	3	4	5	6
Rzeczywiste $N = 84$	Obieg 2 (1)	52,46	4,24	—	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Obieg 3 (2)	50,86	4,42	<0,001	—	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Obieg 4 (3)	44,75	4,43	<0,001	<0,001	—	0,998	<0,001	<0,001
Modelowane $N = 84$	Obieg 2 (4)	45,00	0,00	<0,001	<0,001	0,998	—	<0,001	<0,001
	Obieg 3 (5)	35,90	0,80	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	—	<0,001
	Obieg 4 (6)	26,65	1,69	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	—

N – liczba obserwacji, M – średnia, SD – odchylenie standardowe

Analiza wykazała, że jedynie między obiegiem czwartym danych rzeczywistych a obiegiem drugim danych modelowanych nie widać istotnych różnic. Pozostałe porównania okazały się być istotne statystycznie. Co najważniejsze wyniki temperatury na zasileniu obiegu drugiego danych rzeczywistych są istotnie wyższe niż obiegu drugiego danych modelowych. Podobnie dla obiegu trzeciego i czwartego. Wyniki temperatury na zasileniu

danych modelowanych są istotnie niższe niż odpowiadające im obiegi danych rzeczywistych.

Warto zauważyć, że temperatura na zasileniu istotnie maleje na kolejnych obiegach zarówno dla danych rzeczywistych jak i modelowanych. Jednak można także wskazać, że dla zestawu danych modelowanych temperatura na zasileniu jest zawsze niższa niż odpowiadający im punkt pomiaru danych rzeczywistych. Zastosowana technologia wpływać może na efektywniejsze obniżenie temperatury na zasileniu w sytuacji zaraz po zakończeniu pracy pierwszego obiegu. Uzyskane wartości przedstawiono dodatkowo na rysunku 54.



Rys. 54. Średnie wyniki temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Ocenie różnic poddano także zamiany temperatury na powrocie w wybranych obiegach zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego między danymi rzeczywistymi oraz modelowanymi. Tutaj także wykorzystano analizę wariancji w schemacie mieszanym. Analiza normalności rozkładu zmiennych pokazana w tabeli 26 oraz ocena jednorodności wariancji dla obiegu drugiego ($F_{(1, 166)} = 221,315$; $p < 0,001$) oraz trzeciego ($F_{(1, 166)} = 24,128$; $p < 0,001$) nie pozwoliły na potwierdzenie założeń analizy. Z uwagi na to wyniki modelu wariacji wspierane będą wnioskowaniem nieparametrycznym. W tabeli 21 pokazano podsumowanie analizy wariancji temperatury na powrocie w sytuacji po zakończeniu pracy obiegu pierwszego.

Tabela 21. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Rodzaj efektu	Zmienna	F	df	p	η_p^2
Główny	Dane	1023,523	1, 166	<0,001	0,86
	Obieg	2946,749	2, 332	<0,001	0,95
Interakcji	Dane * Obieg	137,067	2, 332	<0,001	0,45

F – wartość analizy wariancji, df – stopnie swobody, p – poziom istotności, η_p^2 – wielkość efektu

Wyniki pokazały, że efekt główny rodzaju danych jest istotny a siła tego efektu jest bardzo wysoka. Analiza wskazała, że dla zestawu danych modelowanych ($M = 22,60$; $SD = 1,04$) w porównaniu z rzeczywistymi ($M = 33,99$; $SD = 3,09$) wyniki temperatury na powrocie w sytuacji zakończenia pracy obiegu pierwszego są istotnie niższe. Wyniki te potwierdza także analiza nieparametryczna, $z = 11,190$; $p < 0,001$. Podobnie istotny okazał się efekt główny kolejności obiegu. Wielkość efektu jest wyższa niż dla rodzaju danych i pozostaje na bardzo wysokim poziomie. Ocena post hoc wskazała, że temperatura na powrocie na obiegu czwartym ($M = 21,50$; $SD = 7,54$) jest istotnie niższa niż dla obiegu trzeciego ($M = 27,56$; $SD = 5,98$) oraz drugiego ($M = 35,83$; $SD = 5,63$). Co więcej temperatura na powrocie obiegu trzeciego jest istotnie niższa niż dla obiegu drugiego. Wyniki te potwierdziła także analiza nieparametryczna, $\chi_F^2(2) = 334,012$, $p < 0,001$.

Co najważniejsze w analizie istotnym okazał się efekt interakcji zestawu danych z kolejnością obiegu. Wielkość tego efektu jest wyraźnie niższa niż dla efektów głównych jednak nadal pozostaje bardzo wysoka. W poszukiwaniu dokładnych różnic między pomiarami temperatur na powrocie wybranych obiegów dla danych modelowanych i rzeczywistych zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego przeprowadzono analizę post hoc testem Scheffe'a, co prezentuje tabela 22.

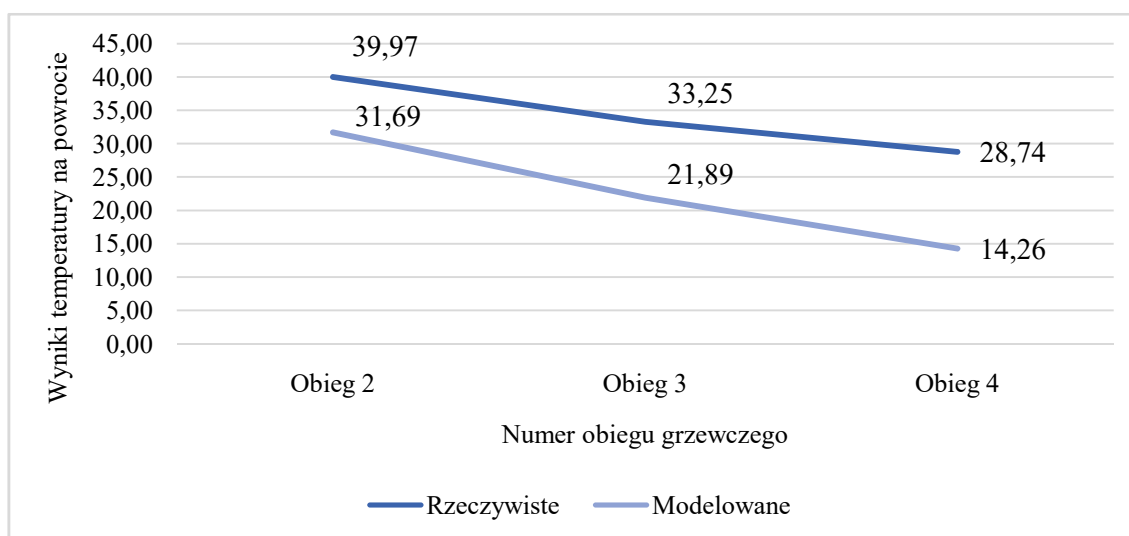
Tabela 22. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a temperatury na powrocie wybranych obiegów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego zestawów danych modelowych i rzeczywistych. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	M	SD	Istotność porównań parami					
				1	2	3	4	5	6
Rzeczywiste $N = 84$	Obieg 2 (1)	39,97	5,39	—	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Obieg 3 (2)	33,25	2,17	<0,001	—	<0,001	0,017	<0,001	<0,001
	Obieg 4 (3)	28,74	2,14	<0,001	<0,001	—	<0,001	<0,001	<0,001
Modelowan	Obieg 2 (4)	31,69	0,00	<0,001	0,017	<0,001	—	<0,001	<0,001

e N = 84	Obieg 3 (5)	21,89	1,26	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	—	<0,001
	Obieg 4 (6)	14,26	1,94	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	—

N – liczba obserwacji, M – średnia, SD – odchylenie standardowe

Analiza wskazała, że wszystkie punkty pomiaru istotnie się od siebie różnią. Co najważniejsze, temperatura dla obiegu drugiego w danych modelowanych okazała się być istotnie niższa niż dla danych rzeczywistych. Podobnie obieg trzeci i czwarty osiągnął dla temperatury na powrocie istotnie niższe wyniki niż odpowiadające im obiegi danych rzeczywistych. Uzyskane w tej analizie wartości pokazano dodatkowo na rysunku 55.



Rys. 55. Średnie wyniki temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Zauważyć można, że zarówno dla danych modelowanych jak i rzeczywistych temperatura na powrocie istotnie maleje z kolejnym obiegiem. Mimo to, dla danych modelowanych temperatury są istotnie niższe niż w przypadku danych rzeczywistych.

5.3.2. Analiza moderacji po zakończeniu pracy I obiegu na obieg II, III i IV

W ocenie moderacyjnego wpływu zastosowanej technologii analizie korelacji poddano pomiary przepływu wody oraz temperatury na zasileniu oraz na powrocie w sytuacji zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego, między wybranymi obiegami. W analizie tej wykorzystano współczynnik korelacji rang Spearmana, czego powodem był brak rozkładu normalnego testowanych

pomiarów o czym mówią istotne wyniki testu Shapiro-Wilk w całości zaprezentowane w tabeli 26.

Pierwszym aspektem oceny moderacji zastosowanej technologii był przepływ wody. W tabeli 23 pokazano wyniki analizy korelacji przepływu wody w wybranych obiegach danych rzeczywistych i modelowanych.

Tabela 23. Podsumowanie korelacji współczynnikiem Spearmana temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	Wartości korelacji pomiarów					
		Obieg 2		Obieg 3		Obieg 4	
		r_s	p	r_s	p	r_s	p
Rzeczywiste $N = 84$	Obieg 2	—		0,71	<0,001	0,38	<0,001
	Obieg 3	0,71	<0,001	—		0,11	0,299
	Obieg 4	0,38	<0,001	0,11	0,299	—	
Modelowane $N = 84$	Obieg 2	—		0,71	<0,001	-0,85	<0,001
	Obieg 3	0,71	<0,001	—		-0,83	<0,001
	Obieg 4	-0,85	<0,001	-0,83	<0,001	—	

N – liczba obserwacji, r_s – wartość korelacji Spearmana, p – poziom istotności

Analiza pokazała, że związki przepływu wody między obiegami dla danych rzeczywistych ulegają zmniejszaniu. Związek między drugim i trzecim obiegiem jest bardzo silny i dodatni, kiedy między trzecim i czwartym jest już dodatni i umiarkowany. Patrząc na korelacje obiegu drugiego i czwartego danych rzeczywistych widać, że jest on już słaby i nieistotny. Związki w przepływie wody dla danych rzeczywistych mają bardzo silne zależności między pierwszymi pomiarami, jednak pomiary na dalszych obiegach wykazują co raz mniejsze zależności.

Dla danych modelowanych wartość korelacji między obiegiem drugim i trzecim jest taka sama jak dla danych rzeczywistych (związek bardzo silny i dodatni). Korelacje między obiegiem czwartym a drugim i trzecim są bardzo silne i ujemne dla danych modelowanych. Wzrost przepływu wody w drugim obiegu wiąże się ze zmniejszeniem przepływu wody w obiegu trzecim i czwartym.

Zastosowana technologia stanowi całkowity moderator związków między drugim obiegiem a obiegami trzecim i czwartym z poziomie przepływu wody dla sytuacji zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Wykorzystanie w przypadku danych modelowanych technologii sprzęgła sprawia, że zależności

między przepływem wody w obiegu drugim a pozostałymi z niskich i dodatnich związków stają ujemne i bardzo silne.

W tabeli 24 pokazano podsumowanie analizę korelacji pomiarów temperatury na zasileniu danych rzeczywistych i modelowanych zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego.

Tabela 24. Podsumowanie korelacji współczynnikiem Spearmana temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	Wartości korelacji pomiarów					
		Obieg 2		Obieg 3		Obieg 4	
		r_s	p	r_s	p	r_s	p
Rzeczywiste $N = 84$	Obieg 2	—		0,95	<0,001	0,92	<0,001
	Obieg 3	0,95	<0,001	—		0,89	<0,001
	Obieg 4	0,92	<0,001	0,89	<0,001	—	
Modelowane $N = 84$	Obieg 2 ^a	—		—		—	
	Obieg 3	—		—		0,85	<0,001
	Obieg 4	—		0,85	<0,001	—	

^a – brak wyników dla obiegu drugiego w zbiorze danych modelowanych ze względu na brak zróżnicowania pomiarów

N – liczba obserwacji, r_s – wartość korelacji Spearmana, p – poziom istotności

Analiza pokazała, że w przypadku danych rzeczywistych związek między temperaturą na zasileniu obiegu drugiego, trzeciego i czwartego w sytuacji po zakończeniu pracy obiegu pierwszego jest istotny, bardzo silny i dodatni. Wzrost temperatury na jednym obiegu wiąże się ze wzrostem na pozostałych obiegach dla danych rzeczywistych. Dla danych modelowanych ze względu na brak zmienności wyników obiegu drugiego, analiza pozwoliła na wskazanie zależności między trzecim i czwartym obiegiem gdzie korelacje jest na podobnym poziomie jak dla danych rzeczywistych, związek ten jest bardzo silny i dodatni. Rodzaj zastosowanej technologii nie stanowi moderacji wiązków między temperaturami na zasileniu w obiegach w pomiarach zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego.

Podobnej ocenie związku poddano temperatury na powrocie wybranych obiegów dla danych modelowanych i rzeczywistych zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Wyniki tej analizy zaprezentowano w tabeli 25.

Tabela 25. Podsumowanie korelacji współczynnikiem Spearmana temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne

Dane	Numer obiegu cieplnego	Wartości korelacji pomiarów					
		Obieg 2		Obieg 3		Obieg 4	
		r_s	p	r_s	p	r_s	p
Rzeczywiste $N = 24$	Obieg 2	—		0,71	<0,001	0,86	<0,001
	Obieg 3	0,71	<0,001	—		0,75	<0,001
	Obieg 4	0,86	<0,001	0,75	<0,001	—	
Modelowane $N = 24$	Obieg 2 ^a	—		—		—	
	Obieg 3	—		—		0,85	<0,001
	Obieg 4	—		0,85	<0,001	—	

^a – brak wyników dla obiegu drugiego w zbiorze danych modelowanych ze względu na brak zróżnicowania pomiarów

N – liczba obserwacji, r_s – wartość korelacji Spearmana, p – poziom istotności

Dla pomiarów na powrocie wyniki także pokazały, że w przypadku danych rzeczywistych związek między temperaturą na powrocie obiegu drugiego, trzeciego i czwartego w sytuacji po zakończeniu pracy obiegu pierwszego jest istotny, bardzo silny i dodatni. Związki te są słabsze niż w przypadku temperatur na zasileniu, jednak nadal pozostają bardzo silne. Wzrost temperatury na jednym obiegu wiąże się ze wzrostem na pozostałych obiegach. Dla danych modelowanych ze względu na brak zmienności wyników obiegu drugiego, analiza pozwoliła na wskazanie zależności między trzecim i czwartym obiegiem gdzie korelacja jest na podobnym poziomie jak dla danych rzeczywistych, związek ten jest bardzo silny i dodatni. Zauważyć można, że związek między temperaturą obiegów trzeciego i czwartego jest silniejszy w przypadku danych modelowanych niż rzeczywistych. Obie te korelacje są nadal bardzo silne. Rodzaj zastosowanej technologii nie stanowi moderacji związków między temperaturami na powrocie w obiegach, w pomiarach zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego.

Tabela 26. Wielowymiarowa analiza normalności rozkładu testowanych pomiarów. Opracowanie własne

Pomiar	Dane	Numer obiegu cieplnego	N	Wyniki testów normalności rozkładu		
				Przepływ wody	Temperatura na zasileniu	Temperatura na powrocie
W trakcie pracy obiegu pierwszego	Łącznie	Obieg 1	48	0,964	0,770*	0,797*
		Obieg 2	48	0,784*	0,897*	0,865*
		Obieg 4	48	0,848*	0,907*	0,840*
	Rzeczy-	Obieg 1	24	0,972	0,754*	0,786*

	wiste	Obieg 2	24	0,788*	0,741*	0,686*
		Obieg 4	24	0,857*	0,887*	0,656*
	Modelo- wane	Obieg 1	24	0,972	0,629*	0,689*
		Obieg 2	24	0,788*	0,720*	0,739*
		Obieg 4	24	0,857*	0,775*	0,861*
Po zakończeniu pracy obiegu pierwszego	Łącznie	Obieg 2	168	0,195*	0,335*	0,370*
		Obieg 3	168	0,260*	0,270*	0,211*
		Obieg 4	168	0,232*	0,236*	0,204*
	Rzeczy- wiste	Obieg 2	84	0,914*	0,939*	0,892*
		Obieg 3	84	0,835*	0,925*	0,883*
		Obieg 4	84	0,823*	0,932*	0,912*
	Modelo- wane	Obieg 2	84	0,914*	— ^a	— ^a
		Obieg 3	84	0,835*	0,914*	0,989
		Obieg 4	84	0,823*	0,935*	0,977

Adnotacja. W analizie powyżej 100 obserwacji wykorzystano test Kołmogorow-Smirnow.

Dla zbioru danych mniejszych od 100 w analizie wykorzystano test Shapiro-Wilk.

^a – brak wyników dla obiegu drugiego w zbiorze danych modelowanych ze względu na brak zróżnicowania pomiarów

N – liczba obserwacji, * – $p < 0,05$

Pomiary przepływu wody dla danych modelowanych, jak i rzeczywistych nie różniły się. Ich poziom był taki sam dla analizowanych zestawów zarówno w trakcie pracy, jak i po zakończeniu obiegu I. Temperatura na zasileniu, jak na powrocie nie różniła się istotnie między danymi modelowanymi a rzeczywistymi w trakcie trwania pracy pierwszego obiegu. Mimo istotnych różnic między kolejnymi obiegami dane modelowane i rzeczywiste były zbliżone. Inaczej wartości te prezentowały się w sytuacji zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. W kolejnych obiegach dane modelowane osiągały istotnie niższe wyniki niż dane rzeczywiste. Pary pomiarów w obiegach III, III i IV były zarówno dla temperatury na zasileniu jak i na powrocie istotnie niższe w przypadku danych modelowanych. Zastosowana technologia w przypadku danych modelowanych wpływa na zmianę, obniżenie pomiaru temperatury w obiegach grzewczych zaraz po zakończeniu pracy obiegu pierwszego.

Istniejący wymiennik podczas pracy obiegów grzewczych przy założonej konfiguracji systemu sterowania przyczynia się do niezrównoważenia temperatur na wlocie obiegów grzewczych i układu kocioł – sprzęgło – bufor – kocioł. Następuje niekontrolowany wzrost temperatury czynnika grzewczego na obiegi

II i IV podczas uruchomienia i pracy I obiegu oraz na obiegach II, III i IV po wyłączeniu I obiegu. Powoduje to gromadzenie niepotrzebnie gorącego czynnika w tym układzie oraz zmniejszenie sprawności kotła gazowego kondensacyjnego, szczególnie w okresie 30 minut po wyłączeniu I obiegu, co przyczynia się do zwiększenia kosztów eksploatacyjnych. Próba zmniejszania temperatury czynnika grzewczego dla I obiegu mogłaby doprowadzić do nieuzyskiwania wymaganej minimalnej temperatury ciepłej wody, a tym samym do tworzenia w takich warunkach niepożądanych bakterii *Legionella*. Temperatura ciepłej wody w budownictwie mieszkalnym, oprócz budynków rekreacyjnych, zagrodowych i jednorodzinnych, powinna w punktach czerpalnych mieścić się w zakresie 55-60°C [9][35].

5.4. Niepewność pomiarów

Ocena poprawności otrzymanych wyników jest kluczowa celem otrzymania pełnej informacji o wynikach pomiarów danej wielkości, które mogą być obarczone błędami, tj. grubymi, systematycznymi i przypadkowymi [63]. Błędy grube powstają zazwyczaj na skutek nagłej zmiany warunków pomiarów wywołane, np. poprzez wstrząsy, uderzenia prowadzące do rozregulowania aparatury badawczej itp. lub na skutek nie uwagi obserwatora poprzez niepoprawne podłączenie urządzeń. Błędy tego rodzaju nie uwzględnia się w analizie serii pomiarów. Należy takie pomiary usunąć, powtórzyć i przeanalizować co było przyczyną tego błędu, aby zminimalizować ryzyko ponownego jego wystąpienia. Błędy systematyczne wynikają z niedokładności przyrządów i metod pomiarowych. Rodzaj takich błędów jest związany z błędami wskazania danego urządzenia pomiarowego podanymi przez producentów. Przy powtarzaniu pomiarów błędy systematyczne pozostają stałe lub zmieniają się w sposób powtarzalny. Błędy przypadkowe, w porównaniu do błędów systematycznych, zmieniają się w sposób nieprzewidywalny na skutek, np. chwilowych wahań temperatury w pobliżu urządzenia pomiarowego mających wpływ na jego pomiary. Błędy tego rodzaju w porównaniu do błędów grubych nie usuwa się. Można oszacować prawdopodobieństwo ich wystąpienia w pewnym zakresie wartości. Są wywoływane poprzez urządzenia, dobrane metody i zakłócenia zewnętrzne.

Błędy wynikające z niedokładności przyrządów pomiarowych w warunkach rzeczywistych i laboratoryjnych zależą od zakresu pomiarowego i klas pomiarowych. Dla I, II i III obiegu grzewczego zastosowano ciepłomierze ultradźwiękowe UH50 o nominalnym przepływie 3,5 m³/h (zakres od 0,035 m³/h do 7 m³/h, o klasie dokładności 2 – odchyłce pomiaru ± 2 %), a dla IV obiegu ciepłomierz ultradźwiękowy UH50 o nominalnym przepływie 2,5 m³/h (zakres od 0,025 m³/h do 5 m³/h, o klasie dokładności 2 – odchyłce pomiaru ± 2 %). Ciepłomierze wyposażone były w pary czujników temperatury Pt500 klasy dokładności A, które w porównaniu z Pt100 są znacznie dokładniejsze i odrobinę mniej dokładne od Pt1000. Odchyłka dla czujnika tego typu wynosi ± 0,15 °C przy temperaturze cieczy 0 °C, natomiast dla temperatury cieczy 100 °C odchyłka ta wynosi już ± 0,35 °C. W warunkach laboratoryjnych zastosowano rotametry tworzywowe PT PS31 BSP o zakresie 400-4000 dm³/h o klasie dokładności 1,6 oraz manometr tarczowy o zakresie 0÷4 bar o klasie dokładności 1,6.

5.4.1. Analiza błędów pomiarowych

Ocena błędów skoncentrowała była na wskazaniu błędów średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów. W ocenie błędów oceniono odchylenie standardowe wyników sugerujące przeciętne zróżnicowanie wyników od średniej wyrażone wzorem [63]:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (41)$$

w którym:

- SD – odchylenie standardowe,
- n – liczba obserwacji,
- $\sum(X - \bar{X})^2$ - suma kwadratów różnicy wyników średniej.

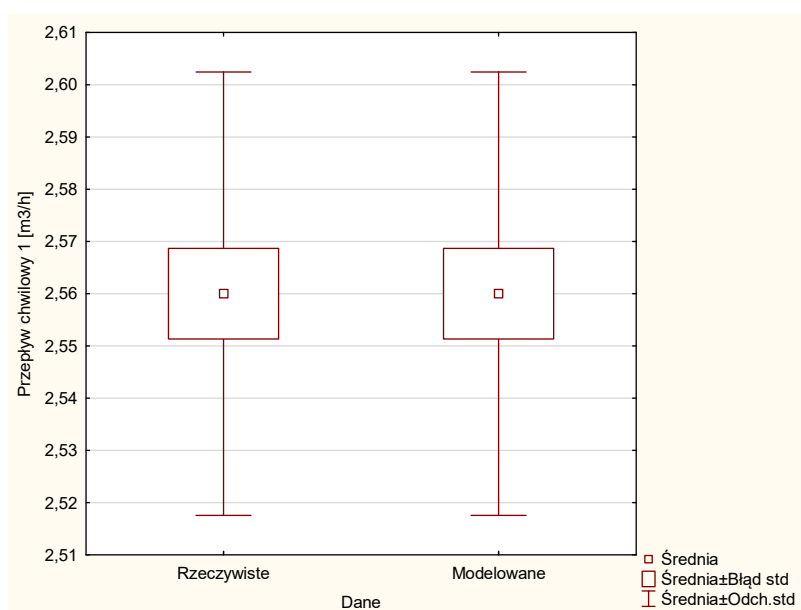
We wzorze wykorzystano wartość liczby obserwacji minus jeden zamiast wartości całkowitej liczby obserwacji by uzyskać estymację nieobciążoną i dokładniej oszacować wariancję populacji [63]. Dodatkowym pomiarem w ocenie błędów był standardowy błąd średniej wyrażony wzorem [63]:

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (42)$$

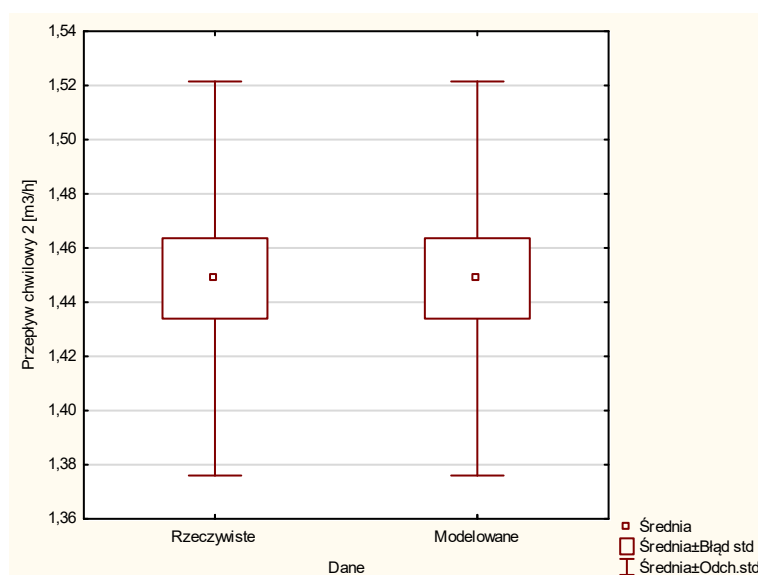
w którym:

- SE – błąd standardowy średniej,
- SD – odchylenie standardowe,
- n – liczba obserwacji.

Na rysunkach 56-64 zaprezentowano podsumowanie błędów dla danych w trakcie pracy obiegu pierwszego. Zbiorcze zestawienie wartości przedstawiono w tabelce 27.



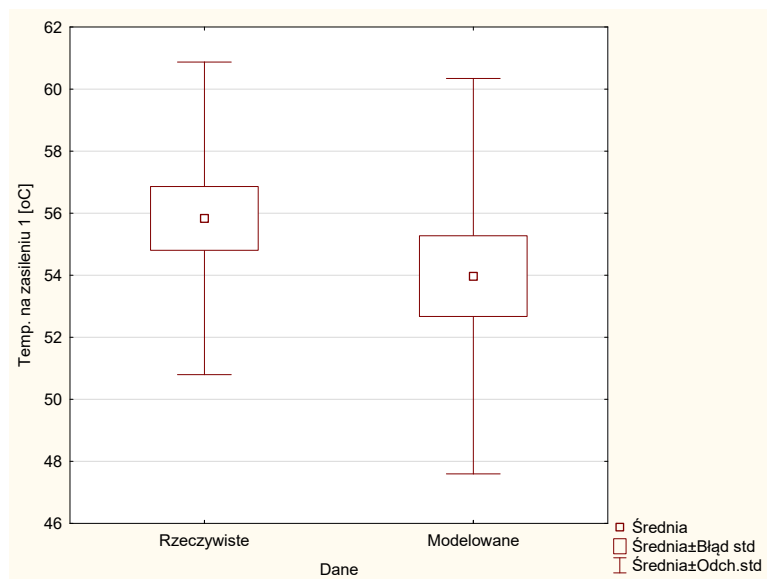
Rys. 56. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 1. Opracowanie własne



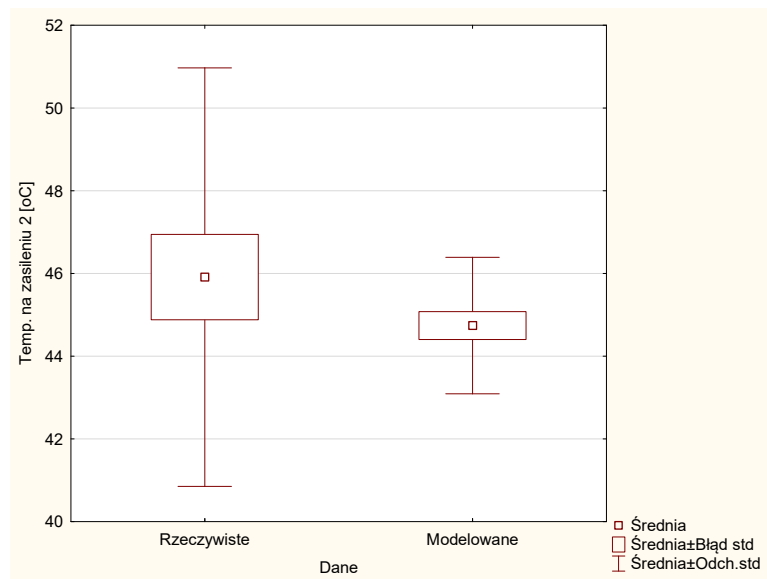
Rys.57. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 2. Opracowanie własne



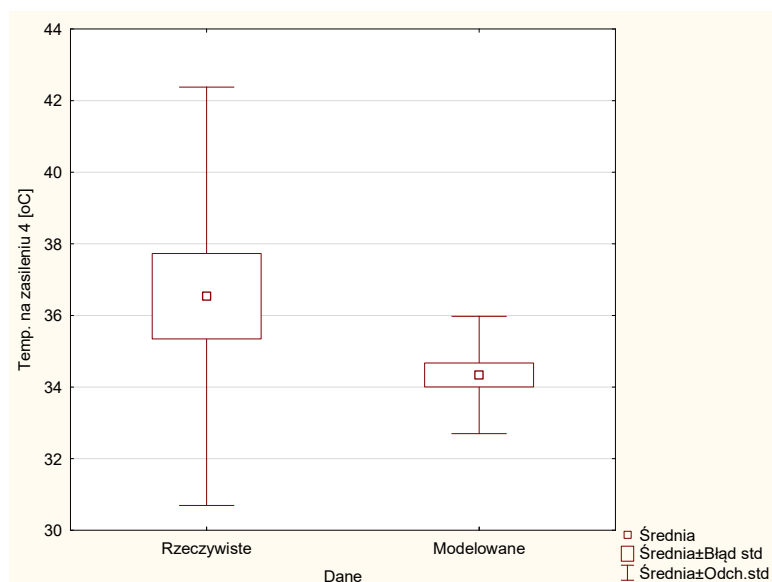
Rys.58. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 4. Opracowanie własne



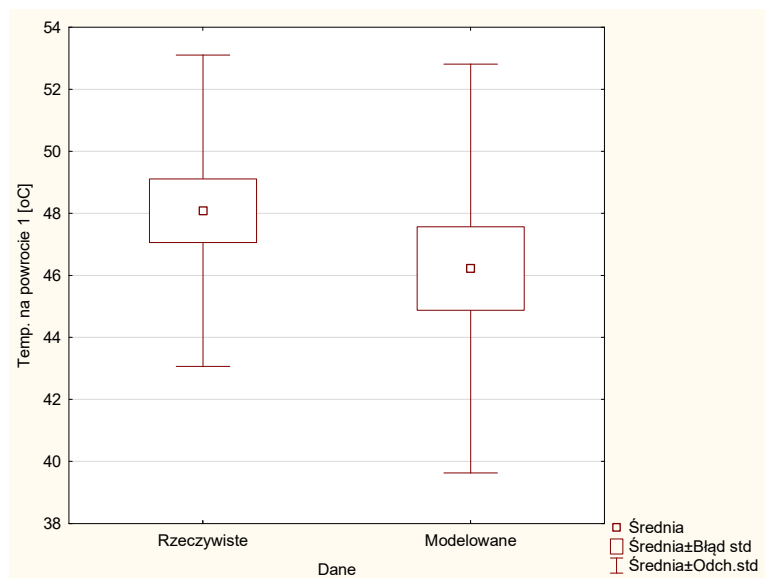
Rys. 59. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasileniu obiegu 1. Opracowanie własne



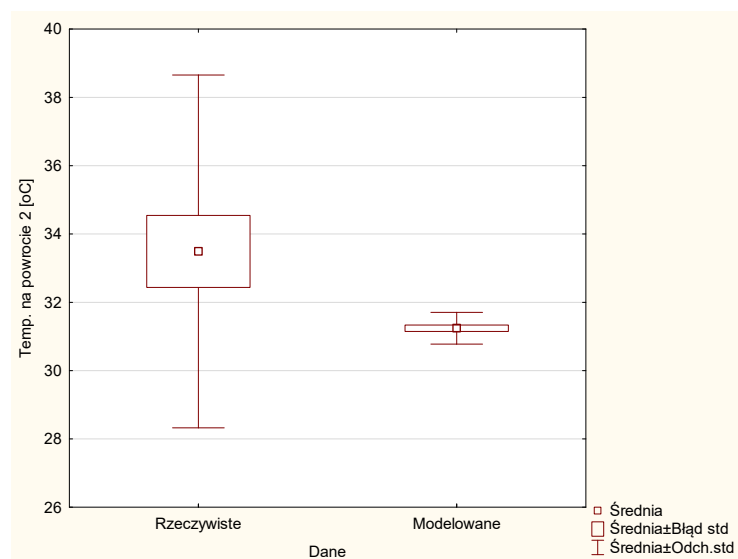
Rys.60. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasilaniu obiegu 2. Opracowanie własne



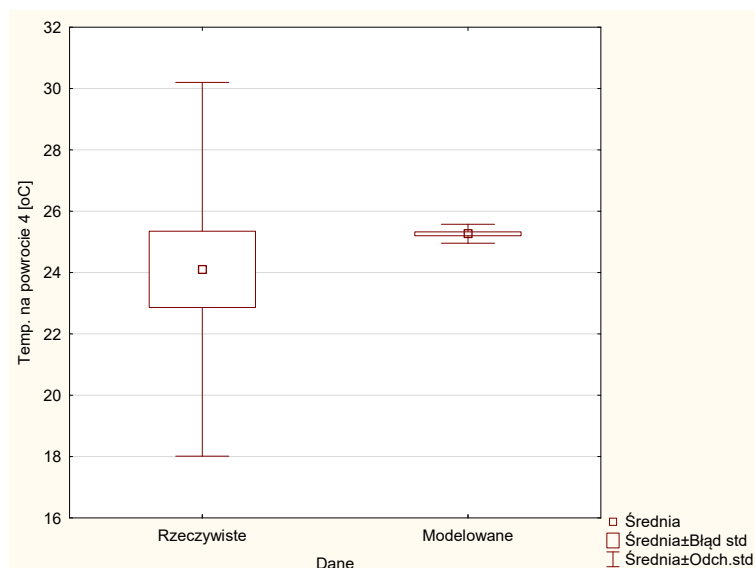
Rys.61. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasilaniu obiegu 4. Opracowanie własne



Rys.62. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 1. Opracowanie własne



Rys.63. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 2. Opracowanie własne



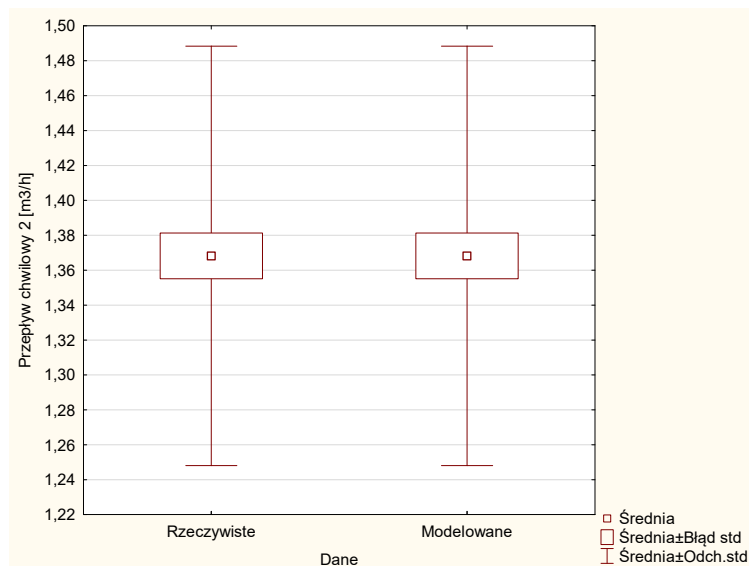
Rys. 64. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 4. Opracowanie własne

Zauważyć można, że dla przepływu wody dane modelowane i rzeczywiste mają taki sam charakter i rozkład. Tożsamość wartości błędu i odchylenia standardowego wynika z takich samych wartości przepływu wody między obiegami.

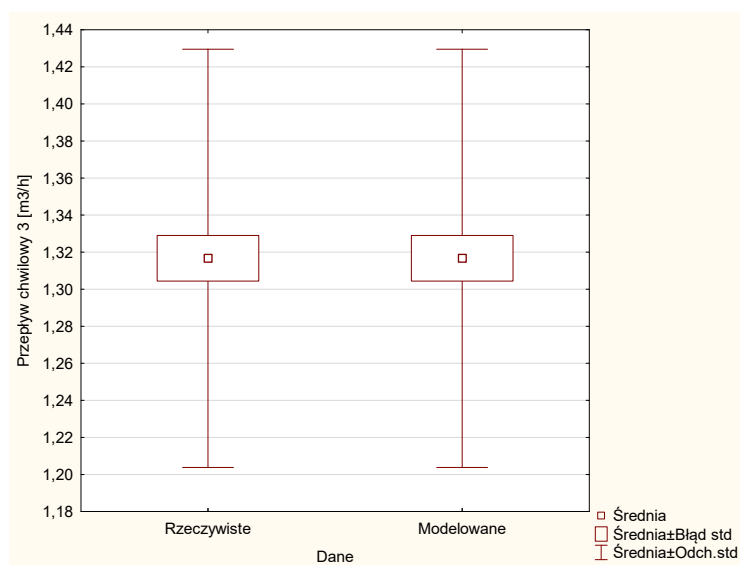
Związane zależności z wartościami błędu zauważyć można dla temperatury. Dla obiegu pierwszego dane modelowane charakteryzują się nieznacznie większym błędem samej średniej jak i większym odchyleniem standardowym, zarówno dla temperatury na zasilaniu jak i powrocie. Na dalszych obiegach, drugim i czwartym błąd średniej jak i odchylenie standardowe wyraźnie zmniejsza się dla danych modelowanych, kiedy dla danych rzeczywistych nawet nieznacznie powiększa się względem pomiaru na obiegu pierwszym. Można zatem zauważyć, że dane modelowane wraz z kolejnym obiegiem zmniejszają swój błąd pomiarowy podając co raz dokładniejsze i mniej zróżnicowane wartości temperatury, kiedy błąd pomiaru danych rzeczywistych pozostaje na podobnym poziomie (a nawet niewiele się zwiększa).

Warto zaznaczyć także, że błąd średniej oraz odchylenie standardowe temperatur na powrocie jest mniejszy niż dla temperatury na zasilaniu, co ponownie szczególnie widoczne jest dla danych modelowanych. Dane modelowane charakteryzują się mniejszym zróżnicowaniem i mniejszym błędem niż dane rzeczywiste co najbardziej widoczne jest dla temperatury na zasilaniu i powrocie obiegu drugiego i czwartego.

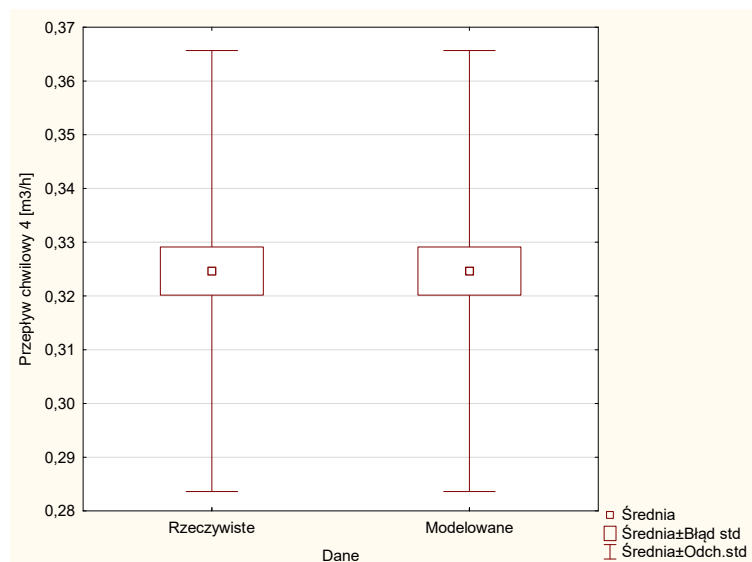
Podobnej ocenie poddano wartości błędów sytuacji po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Na rysunkach 65-73 zaprezentowano podsumowanie błędów dla danych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Zbiorcze zestawienie wartości przedstawiono w tabelce 27.



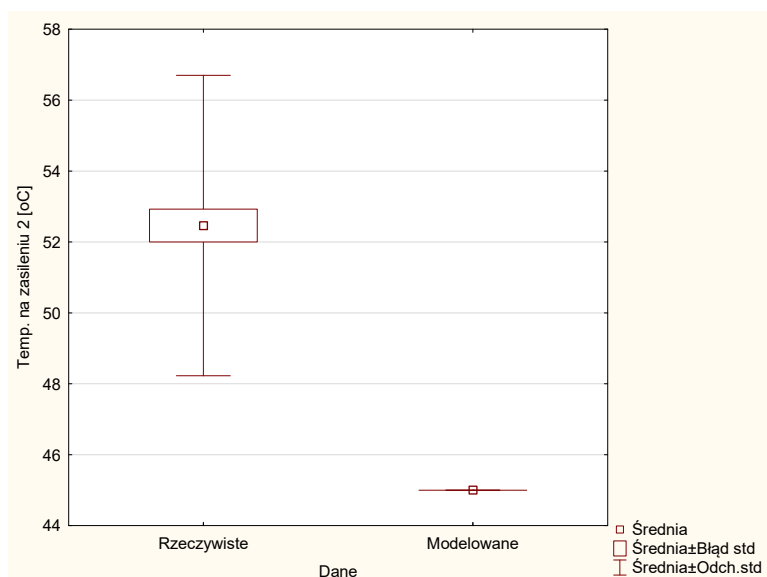
Rys.65. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 2. Opracowanie własne



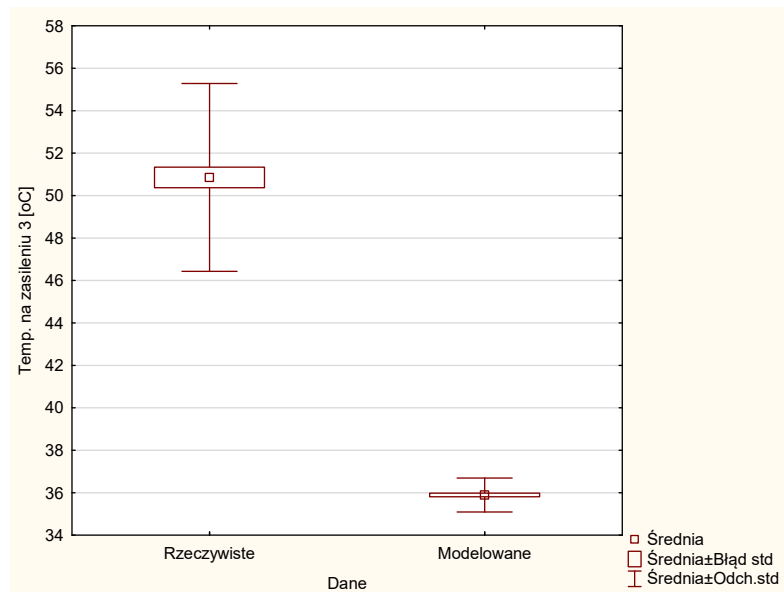
Rys.66. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 3. Opracowanie własne



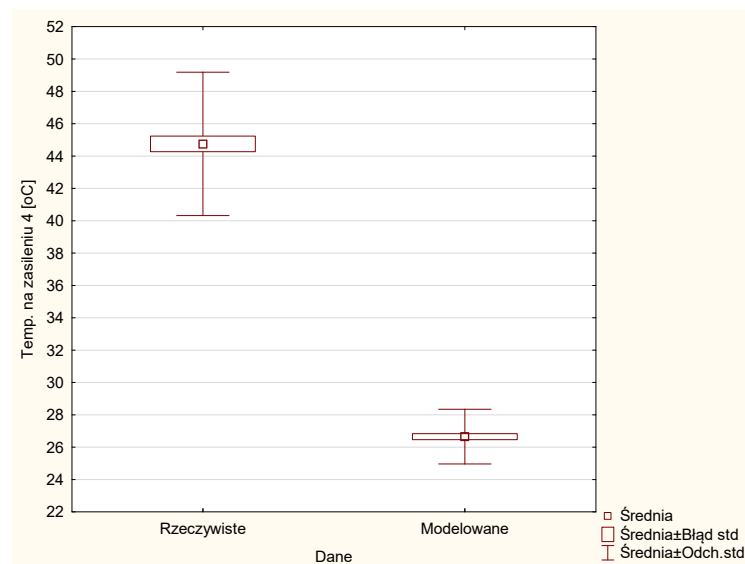
Rys.67. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 4. Opracowanie własne



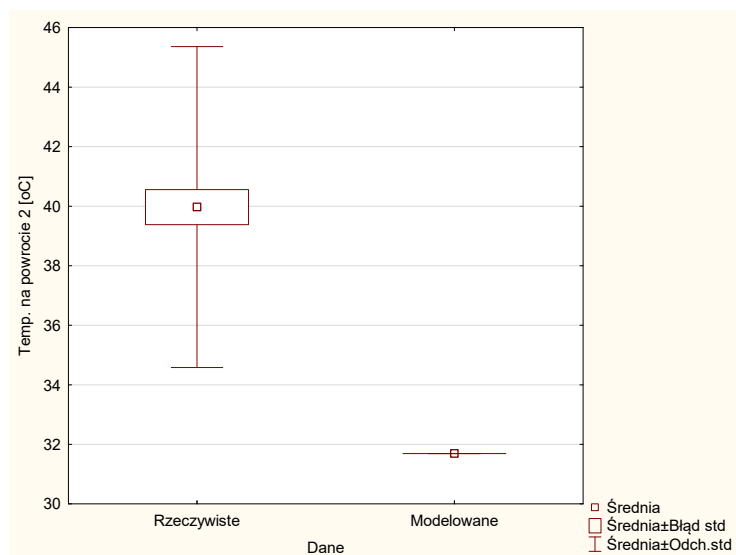
Rys.68. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasilaniu obiegu 2. Opracowanie własne



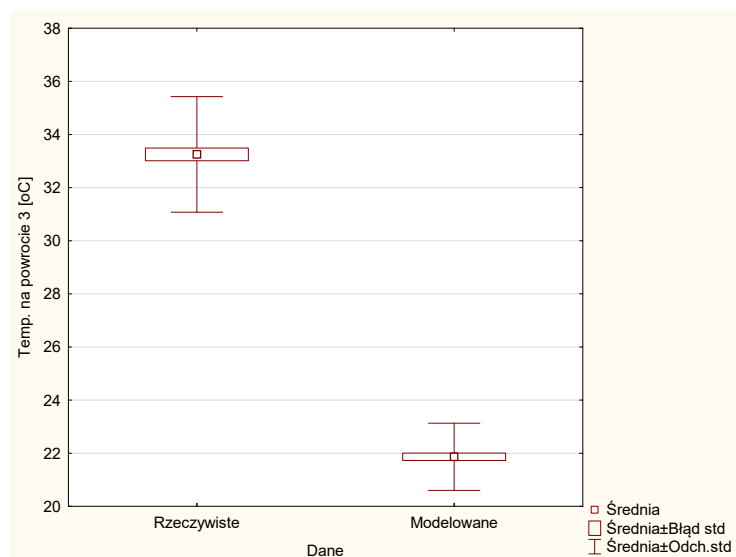
Rys. 69. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasilaniu obiegu 3. Opracowanie własne



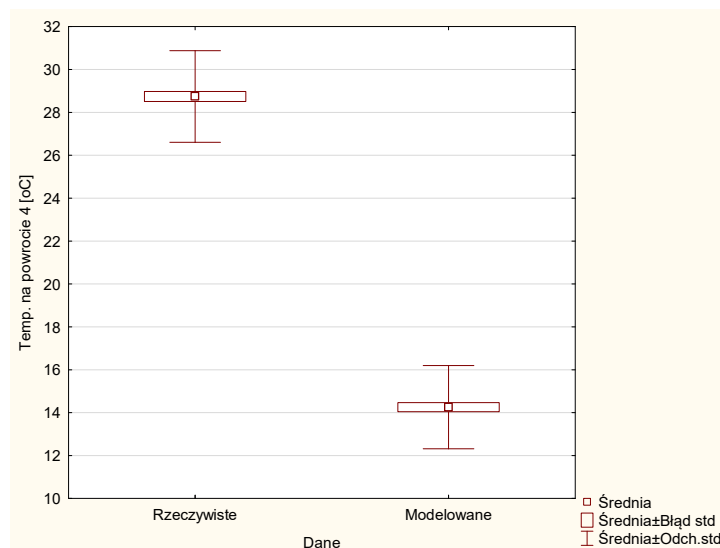
Rys. 70. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasilaniu obiegu 4. Opracowanie własne



Rys. 71. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 2. Opracowanie własne



Rys. 72. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 3. Opracowanie własne



Rys. 73. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 4. Opracowanie własne

Dla wyników przepływu wody dane modelowane i rzeczywiste osiągają takie same wartości zatem ich błędy będą tożsame. W przypadku temperatury na zasileniu jak i na powrocie dane rzeczywiste charakteryzują się zmniejszającym się błędem jaki odchyleniem standardowym. Kolejne pomiary temperatur dla danych rzeczywistych dla obiegów drugiego, trzeciego i czwartego osiągają co raz bardziej zbliżone do siebie wyniki. W przypadku danych modelowanych zauważyć można odwrotną tendencję. Przy braku zróżnicowania pomiarów dla obiegu drugiego danych modelowanych wartości błędów i odchylenia standardowego rosną dla trzeciego i czwartego obiegu zarówno dla temperatury na zasileniu jak i na powrocie. Mimo niewielkiej tendencji wzrostowej dla błędów dane modelowane charakteryzują się wyraźnie mniejszym błędem i odchyleniem standardowym niż dane rzeczywiste.

Tabela 27. Zbiorcze zestawienie wartości odchylenia i średniej w trakcie i po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne

Pomiar	Testowana zmienna	Rzeczywiste			Modelowane		
		<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>SD</i>
W trakcie pracy obiegu pierwszego	Przepływ chwilowy 1 [m ³ /h]	2,56	0,01	0,04	2,56	0,01	0,04
	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	1,45	0,01	0,07	1,45	0,01	0,07
	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	0,36	0,00	0,01	0,36	0,00	0,01
	Temp. na zasileniu 1 [°C]	53,97	1,30	6,37	55,83	1,03	5,04
	Temp. na zasileniu 2 [°C]	44,74	0,34	1,65	45,91	1,03	5,06
	Temp. na zasileniu 4 [°C]	34,34	0,33	1,64	36,54	1,19	5,84
	Temp. na powrocie 1 [°C]	46,22	1,35	6,59	48,08	1,02	5,02

	Temp. na powrocie 2 [°C]	31,24	0,09	0,46	33,49	1,05	5,17
	Temp. na powrocie 4 [°C]	25,27	0,06	0,31	24,11	1,24	6,09
Po zakończeniu pracy obiegu pierwszego	Przepływ chwilowy 2 [m ³ /h]	1,37	0,01	0,12	1,37	0,01	0,12
	Przepływ chwilowy 3 [m ³ /h]	1,32	0,01	0,11	1,32	0,01	0,11
	Przepływ chwilowy 4 [m ³ /h]	0,32	0,00	0,04	0,32	0,00	0,04
	Temp. na zasileniu 2 [°C]	52,46	0,46	4,24	45,00	0,00	0,00
	Temp. na zasileniu 3 [°C]	50,86	0,48	4,42	35,89	0,09	0,80
	Temp. na zasileniu 4 [°C]	44,75	0,48	4,43	26,65	0,18	1,69
	Temp. na powrocie 2 [°C]	39,97	0,59	5,39	31,69	0,00	0,00
	Temp. na powrocie 3 [°C]	33,25	0,24	2,17	21,87	0,14	1,26
	Temp. na powrocie 4 [°C]	28,74	0,23	2,14	14,26	0,21	1,94

M – średnia, *SE* – błąd standardowy średniej, *SD* – odchylenie standardowe

6. PODSUMOWANIE

Zwiększanie poprawy efektywności energetycznej we wszystkich sektorach gospodarki krajów Unii Europejskiej jest niezwykle ważne. Zmniejszanie emisji zanieczyszczeń do atmosfery z sektora mieszkalnictwa zachodzi na wskutek wzrostu udziału budynków o niskim standardzie energetycznym oraz budynków zmodernizowanych kompleksowo. Takie budynki charakteryzują się coraz to nowszymi urządzeniami grzewczymi i rozwiązaniami technicznymi w pełni zautomatyzowanych. Przyczyniają się one do zmniejszania zużycia energii, co przekłada się na niższe koszty eksploatacyjne, przy zachowaniu pełnego komfortu cieplnego [7]. Mimo tego, można zaobserwować niekiedy takie sprzeczności, które przyczyniają się jednak do pogarszania eksploatacji instalacji grzewczych, a tym samym do ponoszenia większych kosztów eksploatacyjnych. Paradoks ten zaobserwowano w rozbudowanej w pełni zautomatyzowanej kotłowni hybrydowej z obiegami grzewczymi charakteryzujących się różnymi parametrami pracy połączonych szeregowo. Jak dowiodły badania naukowe, istniejące sprzęgło nie było w pełni skuteczne i nie spełniało pierwotnych założeń pracy układu. W związku z tym, pojawiła się konieczność stworzenia sprzęgła termo-hydraulicznego, które uwzględnia zarazem aspekt hydrauliczny i termodynamiczny. Pozwala ono na skuteczne równoważenie przemian termodynamicznych podczas mieszających się strumieni wodnych.

Nowatorskie sprzęgło termo-hydrauliczne zostało zgłoszone w charakterze wynalazku w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej, w dniu 3 listopada 2021r, o numerze zgłoszeniowym P.439412 przy współpracy z Rzecznikiem Patentowym „Kulikowska & Kulikowski Sp. K.”, z siedzibą w Warszawie (ul. Nowogrodzka 47A, 00-695 Warszawa). Autorami wynalazku są: mgr inż. Łukasz Jaworski (autor niniejszej rozprawy doktorskiej) oraz Prof. dr hab. inż. Alexander Shkarovskiy (główny promotor rozprawy doktorskiej).

Podsumowując, zastosowanie nowatorskiego sprzęgła termo-hydraulicznego może przyczynić się do polepszenia sprawności różnych bądź podobnych układów cieplnych z obiegami grzewczymi i zasilającymi połączonych szeregowo.

7. WNIOSKI

1. Opracowano nowatorskie sprzęgło termo-hydrauliczne o szeregowym połączeniu obiegów odbiorczych (grzewczych) i zasilających (kotłowych) pozwalające na skuteczne równoważenie hydrauliczne i termodynamiczne obiegów o zróżnicowanym i zmiennym w czasie zapotrzebowaniu na ciepło.
2. Sprzęgło nie wymaga magazynowania czynnika o wysokiej temperaturze. Umożliwia także uzyskiwanie niskiej temperatury czynnika grzewczego na powrocie co sprzyja w zastosowaniu kotłów kondensacyjnych.
3. Konstrukcja sprzęgła jest prosta, a jej wykonanie nie jest czasochłonne ani drogie. Może być zbudowane z powszechnie dostępnych materiałów stalowych na rynku, a nawet z ciśnieniowych tworzyw sztucznych.
4. Opracowano model matematyczny, który pozwala na precyzyjne określenie parametrów odbiorczych i zasilających, przy dowolnie zmieniających się przepływach w trakcie eksploatacji.
5. Zastosowanie modelu pozwala na zmiany konstrukcyjne i nastawianie systemu sterowania w celu optymalizacji sprzęgła przed jego wybudowaniem.
6. W celu weryfikacji modelu matematycznego opracowano i zbudowano stanowisko laboratoryjne pozwalające na wizualizację zakładanych parametrów mieszania się, łączenia i podziałów strumieni w sprzęgle.
7. Wyniki badań laboratoryjnych udowodniły ogólne założenia modelu matematycznego oraz w koniecznych przypadkach pozwoliły na jego sprecyzowanie.
8. Głównym praktycznym etapem pracy stały się obszerne i długotrwałe badania opracowanego układu w warunkach rzeczywistych. W tym celu kotłownia hybrydowa z autorskim sprzęgłem szeregowym została wyposażona w komplet urządzeń regulacyjnych i pomiarowych we wszystkich obiegach odbiorczych.
9. Wykonane w warunkach rzeczywistych badania udowodniły skuteczność rozwiązania, jego właściwe reagowanie na nieprzewidywalne zmiany przepływów w obiegach odbiorczych i na ogół wydajne rozprowadzenie energii cieplnej dla każdego obiegu grzewczego zgodnie z przyjętą logiką regulacji.

SPIS TABEL

Tabela 1. Podział urządzeń hydraulicznych w kotłowni [18].....	14
Tabela 2. Tabela doborowa sprzęgła hydraulicznego firmy Flamco [31].....	17
Tabela 3. Typ WST PRH firmy „MAGRA”[41][61].....	27
Tabela 4. Odczyty natężeń przepływów z czterech obiegów przy równoległej pracy pomp. Opracowanie własne.....	65
Tabela 5. Przykładowe temperatury mieszanin dla warunku $GZ=GPI$ przy prawidłowym mieszaniu. Opracowanie własne.....	79
Tabela 6. Przykładowe temperatury mieszanin dla warunku $GZ<GPI$ przy prawidłowym mieszaniu. Opracowanie własne.....	79
Tabela 7. Przykładowe temperatury mieszanin dla warunku $GZ>GPI$ przy prawidłowym mieszaniu. Opracowanie własne.....	79
Tabela 8. Wyniki badań w warunkach rzeczywistych. Opracowanie własne	82
Tabela 9. Wyniki badań modelowych. Opracowanie własne	99
Tabela 10. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe’a przepływu wody wybranych obiegów w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne.....	119
Tabela 11. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne	120
Tabela 12. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe’a temperatury na zasileniu wybranych obiegów w trakcie pracy obiegu pierwszego zestawów danych łącznie. Opracowanie własne.....	121
Tabela 13. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne	122
Tabela 14. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe’a temperatury na powrocie wybranych obiegów w trakcie pracy obiegu pierwszego zestawów danych modelowych i rzeczywistych. Opracowanie własne.....	123

Tabela 15. Podsumowanie analizy moderacji zastosowanej technologii na zależności pomiarów przepływu wody w wybranych obiegach grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne.....	124
Tabela 16. Podsumowanie analizy moderacji zastosowanej technologii na zależności pomiarów temperatury na zasileniu w wybranych obiegach grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne.....	125
Tabela 17. Podsumowanie analizy moderacji zastosowanej technologii na zależności pomiarów temperatury na powrocie w wybranych obiegach grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne.....	126
Tabela 18. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a temperatury na zasileniu wybranych obiegów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne.....	127
Tabela 19. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	128
Tabela 20. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	129
Tabela 21. Podsumowanie analizy wariancji temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	131
Tabela 22. Podsumowanie analizy post hoc Scheffe'a temperatury na powrocie wybranych obiegów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego zestawów danych modelowych i rzeczywistych. Opracowanie własne.....	131
Tabela 23. Podsumowanie korelacji współczynnikiem Spearmana temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	133

Tabela 24. Podsumowanie korelacji współczynnikiem Spearmana temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	134
Tabela 25. Podsumowanie korelacji współczynnikiem Spearmana temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	135
Tabela 26. Wielowymiarowa analiza normalności rozkładu testowanych pomiarów. Opracowanie własne.....	135
Tabela 27. Zbiorcze zestawienie wartości odchylenia i średniej w trakcie i po zakończeniu pracy obiegu pierwszego. Opracowanie własne.....	148

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1. Wygląd zewnętrzny sprzęgła hydraulicznego firmy <i>Flamco</i> [31].....	17
Rys. 2. Przekrój poprzeczny PRH [18].....	18
Rys. 3. Kierunki przepływu w PRH[55]].....	21
Rys. 4. Schemat technologiczny z PRH [1].....	24
Rys. 5. Budowa wewnętrzna standardowego PRH[31].....	26
Rys. 6. a) budowa wewnętrzna, b) wygląd zewnętrzny PRH firmy „MAGRA”[41][61].....	27
Rys. 7. a) sprzęgło-rozdzielacz typu <i>SKE 40 3D</i> firmy „ <i>Elterm</i> ” [62], b) grupa pompowa <i>BPS</i> z rozdzielaczem firmy „ <i>Afriso</i> ” [59].....	28
Rys. 8. PRH w bezpośrednim połączeniu z obiegami grzewczymi [18].....	28
Rys. 9. Wartowniki firmy „ <i>Meibes</i> ”; a) typu <i>K</i> , b) typu <i>MK</i> [27].....	30
Rys. 10. Zasada działania rozdzielacza ZORT-System [41].....	33
Rys. 11. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza jedenstopniowego ZORT-Centrała[41].....	34
Rys. 12. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza trójstopniowego ZORT-Multi[41].....	35
Rys. 13. Schemat ZORT-Multi-U bez pompy kotłowej w obiegu pierwotnym [41]	36
Rys. 14. Schemat połączenia obiegów za pomocą rozdzielacza ZORT-Stacji pośredniej[25].....	37
Rys. 15. ZORT-Stacja pośrednia w małym obiekcie współpracująca z wymyennikiem płytowym[25]	38
Rys. 16. Stanowisko badawcze do badań eksperymentalnych. Opracowanie własne.....	43
Rys. 17. Sprzęgło termo-hydrauliczne – prototyp. Opracowanie własne.....	46
Rys. 18. Płyta sitowa i przegroda zawirowująca. Opracowanie własne.....	46
Rys. 19. Budowa wewnętrzna sprzęgła termo-hydraulicznego [1].....	48
Rys. 20. Sprzęgło termo-hydrauliczne w cyklu pracy[1].....	49
Rys. 21. Schemat stanowiska badawczego. Opracowanie własne.....	51
Rys. 22. Schemat technologiczny kotłowni hybrydowej w Hotelu Services & Bistro. Opracowanie własne.....	56

Rys. 23. Istniejący wymiennik podczas pracy. Opracowanie własne	57
Rys. 24. Schemat zdalnego odczytu danych pomiarowych w warunkach rzeczywistych. Opracowanie	59
Rys. 25. Schemat technologiczny kotłowni hybrydowej w hotelu Services & Bistro wraz z urządzeniami pomiarowymi. Opracowanie własne	60
Rys. 26. Kotłownia hybrydowa wraz z urządzeniami pomiarowymi oraz kotłem. Opracowanie własne	62
Rys. 27. Wizualizacja oprogramowania <i>PK – HM</i> . Stan na 2022-01-04 14:35. . Opracowanie własne	63
Rys. 28. Seria 1 i 2 w czasie 00:00. Opracowanie własne	67
Rys. 29. Seria 1 i 2 w czasie 00:01. Opracowanie własne	67
Rys. 30. Seria 1 i 2 w czasie 00:02. Opracowanie własne	68
Rys. 31. Seria 1 i 2 w czasie 00:03. Opracowanie własne	68
Rys. 32. Seria 1 i 2 w czasie 00:04. Opracowanie własne	69
Rys. 33. Seria 1 i 2 w czasie 00:05. Opracowanie własne	69
Rys. 34. Seria 1 i 2 w czasie 00:06. Opracowanie własne	70
Rys. 35. Seria 1 i 2 w czasie 00:07. Opracowanie własne	70
Rys. 36. Seria 1 i 2 w czasie 00:08. Opracowanie własne	71
Rys. 37. Seria 1 i 2 w czasie 00:09. Opracowanie własne	71
Rys. 38. Seria 1 i 2 w czasie 00:10. Opracowanie własne	72
Rys. 39. Seria 3 i 4 w czasie 00:00. Opracowanie własne	73
Rys. 40. Seria 3 i 4 w czasie 00:01. Opracowanie własne	73
Rys. 41. Seria 3 i 4 w czasie 00:02. Opracowanie własne	74
Rys. 42. Seria 3 i 4 w czasie 00:03. Opracowanie własne	74
Rys. 43. Seria 3 i 4 w czasie 00:04. Opracowanie własne	75
Rys. 44. Seria 3 i 4 w czasie 00:05. Opracowanie własne	75
Rys. 45. Seria 3 i 4 w czasie 00:06. Opracowanie własne	76
Rys. 46. Seria 3 i 4 w czasie 00:07. Opracowanie własne	76
Rys. 47. Seria 3 i 4 w czasie 00:08. Opracowanie własne	77
Rys. 48. Seria 3 i 4 w czasie 00:09. Opracowanie własne	77
Rys. 49. Seria 3 i 4 w czasie 00:10. Opracowanie własne	78

Rys. 50. Średnie wyniki przepływu wody wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych / modelowanych. Opracowanie własne.....	120
Rys. 51. Średnie wyniki temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych łącznie. Opracowanie własne.....	122
Rys. 52. Średnie wyniki temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych w trakcie pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	124
Rys. 53. Średnie wyniki przepływu wody wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych / modelowanych. Opracowanie własne.....	128
Rys. 54. Średnie wyniki temperatury na zasileniu wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	130
Rys. 55. Średnie wyniki temperatury na powrocie wybranych obiegów grzewczych po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla danych rzeczywistych i modelowanych. Opracowanie własne.....	132
Rys. 56. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 1. Opracowanie własne.....	139
Rys. 57. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 2. Opracowanie własne	139
Rys. 58. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 4. Opracowanie własne	140
Rys. 59. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasileniu obiegu 1. Opracowanie własne.....	140
Rys. 60. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasileniu obiegu 2. Opracowanie własne	141

Rys. 61. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasileniu obiegu 4. Opracowanie własne	141
Rys. 62. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 1. Opracowanie własne	142
Rys. 63. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 2. Opracowanie własne	142
Rys. 64. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów w trakcie pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 4. Opracowanie własne	143
Rys. 65. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 2. Opracowanie własne	144
Rys. 66. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 3. Opracowanie własne	144
Rys. 67. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla przepływu wody obiegu 4. Opracowanie własne	145
Rys. 68. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasileniu obiegu 2. Opracowanie własne	145
Rys. 69. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasileniu obiegu 3. Opracowanie własne	146
Rys. 70. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na zasileniu obiegu 4. Opracowanie własne	146
Rys. 71. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 2. Opracowanie własne	147

Rys. 72. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 3. Opracowanie własne	147
Rys. 73. Błędy średniej oraz odchylenia standardowego pomiarów po zakończeniu pracy obiegu pierwszego dla temperatury na powrocie obiegu 4. Opracowanie własne	148

LITERATURA

- [1] А. Л. Шкаровский, *Решение гидравлических и термодинамических проблем теплоснабжения разнородной нагрузки методом последовательного подключения*/ А. Л. Шкаровский, Г. А. Зеленов // Вестник гражданских инженеров. – 2012, s. 209 -314
- [2] Albers J. i in., *Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji. Poradnik dla projektantów i instalatorów*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2007
- [3] Bełtowska-Brzezinska M., *Podstawy termodynamiki chemicznej*, Skrypt do wykładów, Wydział Chemii UAM, Poznań 2009
- [4] Dopieralska K., Siuta-Olcha A., Cholewa T., Tatara G., *Analiza techniczno –ekonomiczna procesu hydraulicznego równoważenia instalacji centralnego ogrzewania*, w: Rocznik Ochrony Środowiska, t. 17, Wydawnictwo Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska, Koszalin 2015, s. 1609-1621
- [5] Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2022/759 z dnia 14 grudnia 2021 r. zmieniające załącznik VII do dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 w odniesieniu do metodyki obliczania ilości energii odnawialnej wykorzystywanej na potrzeby chłodzenia i systemów chłodniczych
- [6] Gutkowski A., Kapusta T., *Zbiór zadań z termodynamiki technicznej*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2014
- [7] Jaworski Ł., *Analiza zużycia energii cieplnej w budynkach mieszkalnych przed i po modernizacji*, Praca magisterska, promotor: Dr inż. Wojciech Kuczyński, Politechnika Koszalińska. Koszalin 2017
- [8] Jaworski Ł., Shkarovskiy A., Chernykh A., *An improved method of serial balancing of hybrid boiler station systems*, w: Rocznik Ochrony Środowiska, t. 23, Wydawnictwo Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska, Koszalin 2021, s. 214-223
- [9] Jaworski Ł., *Sposoby przygotowania ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wraz z projektem technicznym wybranych instalacji sanitarnych*, Praca inżynierska, promotor: Dr inż. Wojciech Kuczyński, Politechnika Koszalińska. Koszalin 2016
- [10] Kmiec A., *Procesy cieplne i aparaty*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005

- [11] Kwiatkowski J., Cholewa Ł.: *Centralne ogrzewanie. Pomoce projektanta*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1980
- [12] Leciej-Pirczewska D., Szaflik W., *Wykorzystanie sprzęgła hydraulicznego w układzie w kotłowni z kotłem kondensacyjnym (głos w dyskusji)*, „Instal” 2012, Nr 3, s. 16-19
- [13] Leciej-Pirczewska D., Szaflik W., *Wykorzystanie sprzęgła hydraulicznego w układzie w kotłowni z kotłem kondensacyjnym*, „Instal” 2011, Nr 6, s. 14-16
- [14] Majewska-Mrówczyńska K., Projektowanie instalacji sanitarnych 311[39].Z3.02 Poradnik dla ucznia, Wydawca Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007
- [15] Mizielińska K., *Metody hydraulicznego oddzielenia obiegów kotłowych od obiegów grzewczych*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 1997, Nr 10, s. 8-14
- [16] Mizielińska K., *Nie bójmy się kotłów kondensacyjnych! Układy hydrauliczne w kondensacyjnych źródłach ciepła (2)*, „Polski Instalator” 1996, Nr 9, s. 11-14
- [17] Mizielińska K., *Nie bójmy się kotłów kondensacyjnych! Układy hydrauliczne w kondensacyjnych źródłach ciepła (1)*, „Polski Instalator” 1996, Nr 7, 8, s. 19-22
- [18] Mizielińska K., Olszak J., *Gazowe i olejowe źródła ciepła małej mocy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
- [19] Mizielińska K., *Roszenie kotła - nie! (1)*, „Polski Instalator” 1996, Nr 3, s. 60-63
- [20] Mizielińska K., *Roszenie kotła - nie! (2)*, „Polski Instalator” 1996, Nr 4, s. 27-32
- [21] Mizielińska K., *Układy hydrauliczne w źródłach ciepła z kilkoma kotłami lub „Hydrauliczna wajcha” – co to jest ?*, „Polski Instalator” 1996, Nr 5, s. 51-57
- [22] Mizielińska K., *Zastosowanie pionowego rozdzielacza hydraulicznego w modernizowanych, małych źródłach ciepła*, „Polski Instalator” 1996, Nr 6, s. 12-14
- [23] Mizielińska K., *Zastosowanie specjalnych "rozdzielaczy hydraulicznych"*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 1995, Nr 1, s. 13-28

- [24] Mizielińska K., *ZORT-System. Nowe rozwiązanie układu hydraulicznego w źródłach ciepła*, „Polski Instalator” 1997, Nr 1, s. 6-12
- [25] Mizielińska K., *ZORT-System. ZORT-stacja pośrednia*, „Polski Instalator” 1997, Nr 5, s. 43-45
- [26] Nantka M., *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo*, t.1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006
- [27] Nantka M., *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo*, t.2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006
- [28] PN-EN 12831-3:2017-08 “Charakterystyka energetyczna budynków -- Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego -- Część 3: Obciążenie domowych instalacji ciepłej wody użytkowej i charakterystyka zapotrzebowania, Moduł M8-2, M8-3”
- [29] PN-EN 12831-1:2017-08 “Charakterystyka energetyczna budynków -- Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego -- Część 1: Obciążenie cieplne, Moduł M3-3”
- [30] PN-EN ISO 6946:2017-10 „Komponenty budowlane i elementy budynku -- Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła -- Metody obliczania,,
- [31] *Poradnik Projektanta kotłowni wodnych z innowacyjnymi rozwiązaniami firmy Brötje*, Wydawnictwo BIMs PLUS, Poznań 2014
- [32] Pudlik W., *Termodynamika*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2020
- [33] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. z 2015 r., poz. 376)
- [34] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 31 stycznia 2022r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2022 poz. 248)
- [35] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294)
- [36] Samuel J. Ling, Jeff Sanny, William Moebs and others, *University Physics Volume 2*, OpenStax, Texas 2018.

- [37] Schlapmann D., *Układy hydrauliczne (1)*, „Polski Instalator”, 1996, Nr 4, s. 54-59
- [38] Szaflik W., *Hydrauliczny układ źródła ciepła oparty na tzw. „czworoboku hydraulicznym” – komentarz*, „Instal” 2012, Nr 10, s. 22-24
- [39] Szaflik W., Nejranowski J., *Rozwiązania układów hydraulicznych kotłowni w domach jednorodzinnych*, „Instal” 2007, Nr 6, s. 16-19
- [40] Szkarowski A., Janta-Lipińska S., Koliienko V., *Określenie optymalnej mocy kotłów na biopaliwo w składzie kotłowni hybrydowych*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2015, Nr 5, s. 167-170
- [41] Szkarowski A., *Ciepłownictwo*, Wyd. 3, WNT, Warszawa 2019
- [42] Szkarowski A., Naskręt L., Szokalski W.: Zróżnicowany układ cieplny na bazie szeregowego sprzęgła hydraulicznego. Oszczędzanie zespolone. Magazyn Instalatora, 10/2007
- [43] Szkarowski A., Naskręt L., *Teoretyczne zagadnienia zastosowania rozdzielaczy hydraulicznych i zbiorników buforowych w nowoczesnych instalacjach grzewczych*, w: Rocznik Ochrony Środowiska, t. 10, Wydawnictwo Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska, Koszalin 2008, s. 319-334
- [44] Szkarowski A., Naskręt L., *Udoskonalone sposoby akumulacji i rozdziału ciepła w instalacjach grzewczych*, w: Rocznik Ochrony Środowiska, t. 11, Wydawnictwo Środkowo-Pomorskiego Towarzystwa Naukowego Ochrony Środowiska, Koszalin 2009, s. 555-570
- [45] Szkarowski A., Pavlenko A., Koshlak A., *Zagadnienia wymiany ciepła i masy w inżynierii środowiska*, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2017
- [46] Taler D., *Sprzęgła hydrauliczne w instalacjach grzewczych. Część II.*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 2000, nr 5, s. 5-8
- [47] Taler D., *Sprzęgła hydrauliczne w instalacjach grzewczych. Część I.*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 2000, Nr 4, s. 11-15
- [48] Uchwała Rady Ministrów z 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia "Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii" (M.P. 2015 poz. 614)
- [49] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 23 lutego 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o charakterystyce energetycznej budynków (Dz.U. 2021 poz. 497)

- [50] Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 grudnia 2021 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo budowlane (Dz.U. 2021 poz. 2351 z późn.zm.)
- [51] Zaborowska E.: *Projektowanie kotłowni wodnych na paliwa ciekłe i gazowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2021
- [52] Żarski K., *Obiegi wodne i parowe w kotłowniach. Poradnik Projektanta*, Wydawnictwo INSTAL, Warszawa 2000
- [53] Żarski K., *Wybrane aspekty działania kotłowni ze sprzęgłem hydraulicznym (głos w dyskusji)*, „Instal” 2012, Nr 2, s. 23-26
- [54] <https://www.ekosystem.org.pl/regulator-roznicy-cisnien-rrc-5-1-rrc-5-2.html>
- [55] <http://www.spawtest.pl/pl/sprzeglo-hydrauliczne-ssh.html>
- [56] <https://aea-technique.pl/produkt/rotametr-tworzywowy-typu-pt/>
- [57] <https://agaterm.pl/zawory-inne/2673-afriso-zawor-upustowy-roznicy-cisnien-du.html>
- [58] <https://muratordom.pl/porady-ekspertow/jakie-powinno-byc-wlasciwe-cisnienie-w-instalacji-c-o-aa-vgWU-iGb3-Jx4Y.html>
- [59] <https://sklep.auroks.pl/pl/p/AFRISO-ZESTAW-MIESZAJACY-ZE-SPRZEGLEM-HYDRAULICZNYM-BPS-955-DWA-CZLONY-BEZ-MIESZANIA%2C-POMPY-WILO-PARA-SC-9095510/33316>
- [60] <https://termen.pl/oferta/sprzegla-hydrauliczne/>
- [61] <https://www.ewfe.com.pl/produkty/sprzegla-hydrauliczne>
- [62] <https://www.instalacjebudowlane.pl/9777-23-40-nowosci-konstrukcyjne-wdrozone-w-firmie-elterm-w-2017-roku.html>
- [63] W. Edward Minium, Bruce M. King.: *Statystyka dla psychologów i pedagogów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2020