

mgr inż. Beata Piotrowska

**Badania odzysku ciepła odpadowego w instalacjach
kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych**

Promotor: prof. dr hab. inż. DANIEL SŁYŚ

Promotor pomocniczy: dr inż. KAMIL POCHWAT

ROZPRAWA DOKTORSKA

Rzeszów 2023

Katedra Infrastruktury i Gospodarki Wodnej

*Na powstanie i ostateczny kształt mojej rozprawy doktorskiej
miało wpływ kilka osób, którym chciałabym
w tym miejscu podziękować.*

*Jako pierwszemu dziękuję mojemu Promotorowi
Panu prof. dr. hab. inż. Danielowi Słysiowi
za umożliwienie mi realizacji pracy doktorskiej,
wszelką pomoc merytoryczną w czasie
jej przygotowania oraz poświęcony czas.*

*Słowa podziękowania należą się także mojej rodzinie
i przyjaciółom, którzy wspierali mnie
w trakcie realizacji mojej pracy.*

Spis treści

1. Wprowadzenie	15
2. Cel, zakres i tezy pracy	19
3. Przegląd literatury i uzasadnienie podjęcia tematu pracy	21
4. Teoretyczne podstawy wymiany ciepła	34
4.1. Mechanizmy i podstawowe prawa ruchu ciepła	34
4.2. Ustalony proces przewodzenia ciepła przez ściankę płaską	39
4.3. Ustalony proces przewodzenia ciepła przez ściankę cylindryczną.....	42
5. Konfiguracje instalacji przygotowania c.w.u. z odzyskiem ciepła	47
5.1. Wprowadzenie.....	47
5.2. Konfiguracja I	47
5.3. Konfiguracja II.....	50
5.4. Konfiguracja III	52
6. Efektywność odbioru energii zdeponowanej w ściekach	54
6.1. Efektywność temperaturowa wymiennika ciepła.....	54
6.2. Efektywność systemu odzysku ciepła	54
7. Efektywność finansowa odzysku ciepła odpadowego.....	56
8. Rzeczywisty model badawczy	60
9. Charakterystyka czynnikowa modelu badawczego	65
10. Plan badań.....	67
10.1. Analiza zmiennych wejściowych i wyjściowych	67
10.2. Założenia dla modelu rzeczywistego.....	69
11. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie oceny efektywności temperaturowej ε_T pionowych wymienników ciepła.....	72
11.1. Badania doświadczalne - Konfiguracja I	72
11.1.1. Analiza parametrów wejściowych	72
11.1.2. Charakterystyka temperaturowa jednostek wymiany ciepła.....	78
11.2. Badania doświadczalne - Konfiguracja II.....	81

11.2.1. Analiza rzeczywistych wartości parametrów wejściowych	81
11.2.2. Charakterystyka temperaturowa jednostek wymiany ciepła	87
11.3. Badania doświadczalne - <i>Konfiguracja III</i>	90
11.3.1. Analiza rzeczywistych wartości parametrów wejściowych	90
11.3.2. Charakterystyka temperaturowa jednostek wymiany ciepła	96
12. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie efektywności energetycznej	
ε odzysku energii cieplnej w instalacji kanalizacji i przygotowania c.w.u.....	100
12.1. Wprowadzenie.....	100
12.2. Badania doświadczalne - <i>Konfiguracja I</i>	101
12.2.1. Analiza wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na efektywność odzysku ciepła ε	101
12.2.2. Analiza efektywności odzysku energii ε pod kątem wpływu stosunku wartości strumieni objętości wody Q_{WZ} i ścieków przepływających Q_{SD} przez wymiennik.....	111
12.2.3. Analiza wpływu wartości parametrów wejściowych Q_{WCM} , T_{WC} i T_{WZ} na efektywność odzysku energii ε	115
12.2.4. Analiza wpływu różnicy między temperaturą ścieków, a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT na efektywność odzysku energii ε	122
12.3. Badania doświadczalne - <i>Konfiguracja II</i>	125
12.3.1. Analiza wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na efektywność odzysku ciepła ε	125
12.3.2. Analiza efektywności odzysku energii ε pod kątem wpływu stosunku wartości strumieni objętości wody Q_{WZB} i ścieków przepływających Q_{SD} przez wymiennik.....	134
12.3.3. Analiza wpływu wartości parametrów wejściowych Q_{WCM} , T_{WCM} i T_{WZ} na efektywność odzysku energii ε	138
12.3.4. Analiza wpływu różnicy między temperaturą ścieków, a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT na efektywność odzysku energii ε	146
12.4. Badania doświadczalne - <i>Konfiguracja III</i>	149

12.4.1. Analiza wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na efektywność odzysku ciepła ε	149
12.4.2. Analiza efektywności odzysku energii ε pod kątem wpływu stosunku wartości strumieni objętości wody Q_{WZD} i ścieków przepływających Q_{SD} przez wymiennik	158
12.4.3. Analiza wpływu wartości parametrów wejściowych Q_{WCM} , T_{WCM} i T_{WZ} na efektywność odzysku energii ε	162
12.4.4. Analiza wpływu różnicy między temperaturą ścieków, a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT na efektywność odzysku energii ε	170
13. Analiza efektywności finansowej systemu odzysku ciepła odpadowego w budynku mieszkalnym – przypadek studyjny	173
13.1. Wprowadzenie	173
13.2. Charakterystyka przypadku studyjnego i konfiguracje systemu odzysku ciepła ...	173
13.3. Analiza zmiennych wejściowych i wyjściowych	179
13.3.1. Temperatury i strumienie objętości mediów określające scenariusze kapielowe analizowane dla przypadku studyjnego	179
13.3.2. Zmienne determinujące koszt cyklu życia LCC inwestycji analizowane dla przypadku studyjnego	181
13.4. Wyniki analizy finansowej	183
13.5. Analiza wrażliwości inwestycji.....	184
14. Podsumowanie i wnioski końcowe	189
15. Proponowane kierunki dalszych badań	192
16. Bibliografia.....	193
Streszczenie	203
Abstract	204
Spis rysunków	205
Spis tabel.....	211
Spis załączników	214

Spis najważniejszych skrótów i symboli

Skróty

<i>DWHR</i>	- odzysk ciepła ze ścieków (ang. <i>Drain Water Heat Recovery</i>);
<i>GWHR</i>	- odzysk ciepła ze ścieków szarych (ang. <i>Grey Water Heat Recovery</i>);
<i>GUS</i>	- Główny Urząd Statystyczny;
<i>SDHW</i>	- przygotowanie ciepłej wody użytkowej z wykorzystaniem energii słonecznej (ang. <i>Solar Domestic Hot Water Heating</i>);
<i>WWHR</i>	- odzysk ciepła ze ścieków (ang. <i>Waste Water Heat Recovery</i>);
<i>LCC</i>	- koszt cyklu życia (ang. <i>Life Cycle Cost</i>);
<i>IPPC</i>	- Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (ang. <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>);
<i>PEP2040</i>	- Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku;
<i>OZE</i>	- Odnawialne Źródła Energii;
<i>c.w.u.</i>	- ciepła woda użytkowa;
<i>W2E</i>	- przekształcanie odpadów w energię (ang. <i>Waste to Energy</i>);
<i>CO₂</i>	- dwutlenek węgla.

Symbole

<i>A</i>	- powierzchnia wymiany ciepła, m ² ;
<i>a, b, c</i>	- stałe charakterystyczne dla układu, -;
<i>C</i>	- stała zależna od iloczynu liczb Prandtla i Grashofa, -;
<i>c_{je}</i>	- jednostkowa stawka opłat za zużycie energii potrzebnej do przygotowania <i>c.w.u.</i> , zł/kWh;
<i>c_{jws}</i>	- jednostkowa stawka opłat za pobór wody wodociągowej i odprowadzanie ścieków sanitarnych, zł/m ³ ;
<i>c_p</i>	- ciepło właściwe wody, J/(kg·K);
<i>D</i>	- średnica zewnętrzna rury, m;
<i>DN</i>	- średnica wewnętrzna rury, m;
<i>d/L</i>	- liczba podobieństwa geometrycznego, -;
<i>dT/dx</i>	- gradient temperatury, K/m;
<i>E_{DWHR}</i>	- zapotrzebowanie na energię cieplną potrzebną do podgrzania wody w systemie <i>DWHR</i> , kWh;

- E_{KON} - zapotrzebowanie na energię cieplną potrzebną do podgrzania wody w systemie konwencjonalnym, kWh;
- $E_{G,DWHR}$ - zapotrzebowanie na energię z paliwa gazowego potrzebną do podgrzania wody w systemie *DWHR* z uwzględnieniem sprawności instalacji, kWh;
- $E_{G,KON}$ - zapotrzebowanie na energię wytwarzaną z paliwa gazowego potrzebną do podgrzania wody w systemie konwencjonalnym z uwzględnieniem sprawności instalacji, kWh;
- $E_{E,DWHR}$ - zapotrzebowanie na energię elektryczną potrzebną do podgrzania wody w systemie w systemie *DWHR* z uwzględnieniem sprawności instalacji, kWh;
- $E_{E,KON}$ - zapotrzebowanie na energię elektryczną potrzebną do podgrzania wody w systemie konwencjonalnym z uwzględnieniem sprawności instalacji, kWh;
- g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ;
- Gr - liczba Grashofa, -;
- H_g - wartość opałowa gazu, MJ/m^3 ;
- i - stosunek strumieni objętości zimnej wody na dopływie do wymiennika i wody cieplej na wypływie z zaworu mieszającego, %;
- $K_{I,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne w systemie *DWHR*, zł;
- $K_{E,DWHR}$ - koszty eksploatacyjne systemu *DWHR*, zł;
- $K_{E,KON}$ - koszty eksploatacyjne systemu konwencjonalnego, zł;
- $K_{IS,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne na instalację kanalizacji sanitarnej w systemie *DWHR*, zł;
- $K_{IW,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne na instalację wodociągową w systemie *DWHR*, zł;
- $K_{IS,KON}$ - nakłady inwestycyjne na instalację kanalizacji sanitarnej w systemie konwencjonalnym, zł;
- $K_{IW,KON}$ - nakłady inwestycyjne na instalację wodociągową w systemie konwencjonalnym, zł;
- $K_{I,KON}$ - nakłady inwestycyjne ogółem w systemie konwencjonalnym, zł;
- $K_{RB,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne na roboty budowlane w systemie *DWHR*, zł;
- $K_{RB,KON}$ - nakłady inwestycyjne na roboty budowlane w systemie konwencjonalnym, zł;
- K_W - nakłady inwestycyjne na zakup wymiennika ciepła, zł;

L	- długość rury, m;
LCC_{DWHR}	- koszt cyklu życia systemu $DWHR$, zł;
LCC_{KON}	- koszt cyklu życia instalacji konwencjonalnej, zł;
l	- charakterystyczny wymiar liniowy, m;
L_M	- liczba użytkowników instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> , -;
m	- wykładnik zależny od iloczynu liczb Prandtla i Grashofa, -;
\dot{m}_1	- przepływ masowy cieczy chłodzonej, kg/s;
\dot{m}_2	- przepływ masowy cieczy ogrzewanej, kg/s;
Nu	- liczba Nusselta, -;
$pp.$	- punkt procentowy, -;
Pr	- liczba Prandtla, -;
R	- opór cieplny, $m^2 \cdot K/W$;
\dot{O}	- strumień ciepła, W;
$Q_{\dot{S}D}$	- strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika, dm^3/min ;
$Q_{\dot{S}O}$	- strumień objętości ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła, dm^3/min ;
Q_{WCM}	- strumień objętości wody zmieszanej na wypływie z baterii mieszającej, dm^3/min ;
Q_{WCP}	- strumień objętości wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza wody, dm^3/min ;
Q_{WWP}	- strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na wypływie z króćca wylotowego wymiennika ciepła w <i>Konfiguracji I</i> , dm^3/min ;
Q_{WWPA}	- strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza wody w <i>Konfiguracji I</i> , dm^3/min ;
Q_{WWPB}	- strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego w <i>Konfiguracji I</i> , dm^3/min ;
Q_{WWPC}	- strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza wody w <i>Konfiguracji II</i> , dm^3/min ;
Q_{WWPD}	- strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego w <i>Konfiguracji III</i> , dm^3/min ;
Q_{WZ}	- strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> , dm^3/min ;

Q_{WZA}	- strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do wymiennika ciepła w <i>Konfiguracji I</i> , dm^3/min ;
Q_{WZB}	- strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do wymiennika ciepła w <i>Konfiguracji II</i> , dm^3/min ;
Q_{WZC}	- strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do zaworu mieszającego w <i>Konfiguracji II</i> , dm^3/min ;
Q_{WZD}	- strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do wymiennika ciepła w <i>Konfiguracji III</i> , dm^3/min ;
Q_{WZE}	- strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do podgrzewacza wody w <i>Konfiguracji III</i> , dm^3/min ;
q	- gęstość strumienia ciepła, W/m^2 ;
ρ	- gęstość cieczy, kg/m^3 ;
ρ_w	- gęstość wody, kg/m^3 ;
Re	- liczba Reynoldsa, -;
r	- stała stopa dyskontowa, -;
r_1	- promień zewnętrzny rury, m;
r_2	- promień wewnętrzny rury, m;
T	- temperatura cieczy chłodzonej na wlocie do wymiennika, K;
T_{W1}	- temperatura cieczy chłodzonej na wylocie z wymiennika, K;
T_{W2}	- temperatura cieczy ogrzewanej na wlocie do wymiennika, K;
T_{W3}	- temperatura cieczy ogrzewanej na wylocie z wymiennika, K;
T_{W4}	- temperatura prostokątnego układu materialnego, K;
$T_{1,2}$	- temperatura przy danej stronie ścianki, K;
$T_{f1,f2}$	- temperatura przepływających czynników, K;
T'	- temperatura pola jednowymiarowego ustalonego, K;
t_a	- czas trwania analizy <i>LCC</i> , lata;
t	- kolejny rok użytkowania instalacji, lata;
t_s	- czas korzystania z przyboru sanitarnego, min;
t_u	- czas przypisany punktowi materialnemu, s;
T_{OT}	- temperatura otoczenia, $^{\circ}\text{C}$;
$T_{\dot{S}D}$	- temperatura ścieków szarych dopływających do wymiennika, $^{\circ}\text{C}$;
$T_{\dot{S}O}$	- temperatura ścieków szarych na odpływie z wymiennika, $^{\circ}\text{C}$;
T_{WCM}	- temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego, $^{\circ}\text{C}$;

T_{WCP}	- temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza, °C;
T_{WWP}	- temperatura wody wstępnie podgrzanej na wypływie z wymiennika ciepła, °C;
T_{WZ}	- temperatura zimnej wody wodociągowej dopływającej do instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> , °C;
$u_{1,2}$	- współczynnik przenikania ciepła, W/(m ² ·K);
$\Delta t, t'$	- średnia różnica temperatur cieczy ogrzewanej i chłodzonej, K;
$\Delta T'$	- różnica między temperaturą powierzchni ściany, a temperaturą ośrodka, K;
ΔT_{ln}	- średnia logarytmiczna różnica temperatur, K;
v	- prędkość przepływu cieczy, m/s;
ν_k	- kinetyczny współczynnik lepkości, m ² /s;
$x_{1,2}$	- współrzędne położenia warstw, m;
x, y, z	- współrzędne układu, m;
α	- współczynnik wnikania ciepła, W/(m ² ·K);
l	- charakterystyczny wymiar liniowy, m;
β	- współczynnik rozszerzalności objętościowej, 1/K;
δ	- grubość ścianki, m;
ε	- efektywność energetyczna systemu odzysku ciepła, %;
ε_T	- efektywność temperaturowa wymiennika ciepła, %;
η	- lepkość dynamiczna cieczy, Pa·s;
η_g	- sprawność instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> współdziałającej z podgrzewaczem gazowym, -;
η_e	- sprawność instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> współdziałającej z podgrzewaczem elektrycznym, -;
λ_z	- równoważny współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
λ	- współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K).

1. Wprowadzenie

Zmiany klimatu obserwowane w przeciągu ostatnich dziesięcioleci są zjawiskiem bezprecedensowym. Globalne ocieplenie dotyka każdego regionu Ziemi, a wiele zmian określa się jako zjawiska nieodwracalne (*AR6 Synthesis Report...*, 2022; *Matus i in.*, 2021).

Wyniki analiz zespołu *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, zamieszczone w raporcie *The Synthesis Report of the Sixth Assessment Report (AR6 Synthesis Report...*, 2022) wskazują jednoznacznie, że obserwowane obecnie niekorzystne zmiany warunków klimatycznych, w tym nasilające się skrajne zjawiska pogodowe mają charakter antropogeniczny i są związane z emisją gazów cieplarnianych. Raport *IPCC (AR6 Synthesis...*, 2022) bardzo obszernie i szczegółowo podsumowuje wyniki badań prowadzonych przez ośrodki naukowe z całego świata.

Obserwowane anomalie klimatyczne wymuszają potrzebę podjęcia przemyślanych, systemowych i konsekwentnych działań mających na celu zahamowanie negatywnego wpływu działalności człowieka (*Słyś, 2011*). Podejmowane czynności w szczególności powinny polegać na obniżeniu emisji gazów cieplarnianych pochodzących ze spalania paliw kopalnych (*Broniszewski i Werle, 2020a; Cichowicz i Wielgosiński., 2015; Statystyki emisji...*, 2022). W efekcie takich działań możliwe jest zahamowanie niekorzystnych zmian oraz osiągnięcie neutralności klimatycznej do drugiej połowy XXI wieku (*AR6 Synthesis Report...*, 2022; *Climate Transparency Report, 2021*).

Wyniki analiz uzyskanych na przestrzeni ostatnich lat dokumentują wzrost częstości występowania ekstremalnie wysokich temperatur przy jednoczesnym zmniejszeniu udziału tych skrajnie niskich. Ponadto, z raportu *IPCC (AR6 Synthesis Report...*, 2022) wynika, że w przeciągu ostatnich 80 lat podwoiła się częstość występowania nadzwyczaj wysokich temperatur w oceanach, a w wielu regionach świata wzrosła częstość i intensywność opadów nawałnych (*AR6 Synthesis Report...*, 2022). W ostatnich dziesięcioleciach z powodu zwiększonej ewapotranspiracji obserwuje się również nasilenie występowania zjawisk susz rolniczych i środowiskowych (*Słyś, 2013; Słyś i in.*, 2015).

W porównaniu do czasów sprzed rewolucji przemysłowej, na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia zanotowano średni wzrost temperatury na świecie o blisko 1,09°C. Warto zaznaczyć, że zgodnie z treścią *Porozumienia Paryskiego (Adoption of...*, 2015) prowadzona na świecie polityka klimatyczno-energetyczna ma zapobiec przekroczeniu wzrostu wartości średniej temperatury na globie o 2°C, co przy obecnych scenariuszach dotyczących emisji

zanieczyszczeń do środowiska i dynamice zmian klimatu jest bardzo wątpliwe (*Intergovernmental Panel..., 2021; World Energy..., 2021*).

W raporcie *Global Carbon Budget (Global..., 2021)* oszacowano, że jeśli emisja CO₂ w dalszym ciągu będzie osiągać poziom zbliżony do obecnych 35,4 Gt rocznie, to średnia temperatura na Ziemi będzie wzrastać o blisko 0,2°C na dekadę. Niestety, należy zwrócić uwagę, że pomimo zaangażowania wszystkich światowych gospodarek i podjęcia przez nie działań zmierzających do osiągnięcia celów klimatycznych może minąć kolejne 20 do 30 lat zanim zaobserwuje się jakąkolwiek stabilizację średniej temperatury na naszej planecie (*AR6 Synthesis..., 2022*).

Ze względu na dużą złożoność systemu atmosferycznego i wielowątkowość zachodzących w nim procesów, a także z uwagi na życie i los przyszłych pokoleń działania w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zmian klimatu muszą być podjęte natychmiast i we wszystkich aspektach działalności i bytowania człowieka (*Climate Transparency Report, 2021; Schestak i in., 2020*).

Zgodnie z danymi *Europejskiego Urzędu Statystycznego (Eurostat)*, zarówno w ujęciu globalnym, jak i w odniesieniu do naszego kraju największy udział w emisji gazów cieplarnianych ma sektor energetyczny (*Greenhouse gas..., 2022*). Fakt ten znalazł odzwierciedlenie w wielu aktach prawnych i politycznych, w tym programach realizowanych przez Wspólnotę Europejską, wśród których za najważniejszy można uznać *Europejski Zielony Ład (Europejski Zielony... 2019)*. W dokumencie tym proponuje się oddzielenie zdolności wzrostu gospodarczego od eksploatacji zasobów naturalnych, w tym paliw kopalnianych.

Z kolei, długoterminowa strategia energetyczna Polski, która uwzględnia wyzwania związane z dostosowaniem krajowej gospodarki do regulacji UE została szczegółowo opisana w ramach dokumentu *Polityka energetyczna Polski do 2040 roku (Polityka energetyczna..., 2021)*. Zgodnie z założeniami ramy transformacji energetycznej w Polsce mają opierać się na trzech podstawowych filarach:

- sprawiedliwej transformacji,
- zeroemisyjnym systemie energetycznym,
- dobrej jakości powietrza.

Głównym celem polskiej strategii jest osiągnięcie bezpieczeństwa energetycznego, przy zapewnieniu konkurencyjności gospodarki, efektywności energetycznej, rozwoju gospodarki niskoemisyjnej i optymalnym wykorzystaniu własnych zasobów energetycznych.

Strategia zobowiązuje decydentów do podjęcia działań mających na celu wzrost udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) we wszystkich sektorach gospodarczych do co najmniej

23% oraz czterokrotnego wzrostu liczby efektywnych systemów ciepłowniczych do 2030 roku. Strategia polityki energetycznej Polski w zakresie transformacji energetycznej zakłada również redukcję zjawiska ubóstwa energetycznego do maksymalnej wartości na poziomie 6% gospodarstw domowych (*Polityka energetyczna..., 2021*).

W ostatnich kilkunastu latach nasz kraj podjął szereg działań zmierzających do ograniczenia wpływu sektora energii na środowisko, ale niestety w niewystarczającym stopniu udało się zmniejszyć naszą zależność od paliw kopalnych, a przyczyną tego są przede wszystkim niewystarczające inwestycje w nowoczesne technologie niskoemisyjne. Według danych *Głównego Urzędu Statystycznego (GUS)* w Polsce w latach 2020-2021 (*Energia, 2021*) nie dostrzeżono istotnych zmian w ogólnej strukturze produkcji energii elektrycznej. Odnotowano niewielki spadek udziału węgla kamiennego oraz zmniejszenie użytkowania gazu ziemnego, przy czym zwiększeniu uległ udział węgla brunatnego w produkcji energii elektrycznej.

Zgodnie z zapisami zawartymi w dokumencie (*Polityka energetyczna..., 2021*) w 2030 roku udział węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej nie powinien przekraczać 56%. Odejście od spalania węgla w gospodarstwach domowych w miastach ma nastąpić do 2030 roku, a na obszarach wiejskich do roku 2040. W efekcie podejmowanych działań na rzecz zmniejszenia zależności od paliw kopalnych, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do 2030 roku ma wynieść 30% w stosunku do 1990 roku (*Polityka energetyczna..., 2021*).

Warto zauważyć, że podejmowanie działań proekologicznych powinno odbywać się w pełnej skali, na wszystkich poziomach, w tym również na poziomie lokalnym (*Słyś, 2009*). Nawet najbardziej ambitne cele klimatyczno-energetyczne nie będą mogły zostać zrealizowane, jeśli na najniższych szczeblach gospodarki i bytności człowieka nie zostanie osiągnięta zerowa emisja netto. W celu osiągnięcia tych efektów koniecznym jest ograniczanie zapotrzebowania na energię pierwotną, co może być efektywnie realizowane poprzez wykorzystanie technologii zero i niskoemisyjnych (*Broniszewski i Werle, 2020b; Soboń i in., 2021*).

Zespół badawczy zaangażowany w *Intergovernmental Panel on Climate Change* zgodnie twierdzi, że inwestycje w energię odnawialną i wykorzystanie potencjału energii odpadowej są kluczowym instrumentem na drodze ograniczania emisji gazów cieplarnianych (*AR6 Synthesis..., 2022*) dlatego też, we wszystkich sektorach gospodarki należy szukać możliwości poprawy efektywności i obniżenia emisyjności sektora energii, w granicach technicznej wykonalności i ekonomicznej opłacalności.

Badania realizowane w wielu ośrodkach naukowych pokazują, że około 72% światowego zużycia energii pierwotnej jest wydatkowane na drodze przekształceń do energii użytkowej (*Christodoulides i in., 2022; Larrinaga i in., 2021; Mazhar i in., 2018; Sayegh i in.,*

2021). Dodatkowo ocenia się, że proces konwersji energii z pierwotnych nośników do końcowego jej wykorzystania również podlega stratom, a zwłaszcza w końcowym etapie wykorzystania energii (Piotrowska i in., 2020). W procesie tym, nierzadko znaczne ilości przetworzonej energii przekształcane są, w ciepło odpadowe, które uwolnione do środowiska jest bezpowrotnie tracone.

Jak dowodzą Forman i in. (2016) oraz Słyś i in. (2020) w przypadku wdrażania technologii odzysku energii w mieszkalnictwie i usługach, wykorzystanie ciepła odpadowego może być zasadne zarówno pod względem energetycznym jak i finansowym.

Według danych publikowanych przez Europejski Urząd Statystyczny (Zużycie energii..., 2022) ogrzewanie wody do celów użytkowych w 2019 roku odpowiadało za 14,8% całkowitego zużycia energii w sektorze mieszkaniowym w Europie, a w odniesieniu do średniego zużycia energii w gospodarstwie domowym udział ten mógł sięgać nawet 30% średniego zużycia energii.

Ogrzewanie wody do celów użytkowych ma znaczny udział w całościowym zużyciu energii w sektorze mieszkalnym (Amanowicz, 2021; Shen i in., 2021). W odniesieniu do całkowitego zapotrzebowania budynków na energię szacuje się, że od 15% do 30% energii cieplej jest tracone na dopływie do sieci kanalizacyjnej, a w budownictwie pasywnym wartość ta może stanowić nawet 50% całkowitego zapotrzebowania energetycznego. W ściekach szarych zdeponowane jest około 80-90% energii pierwotnej obecnej w ciepłej wodzie na wypływie z wylewki prysznic, co powinno przekonywać o zasadności implementacji systemów odzysku ciepła w budynkach mieszkalnych (Manouchehri i Collins, 2020).

2. Cel, zakres i tezy pracy

Głównym celem pracy była ocena systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych pod względem energetycznym w aspekcie jego wykorzystania do przygotowywania ciepłej wody użytkowej (*c.w.u.*) w obiektach mieszkalnych.

W ramach pracy dokonano kompleksowej analizy stanu wiedzy w temacie odzysku ciepła ze ścieków szarych ze szczególnym uwzględnieniem systemów możliwych do zastosowania w obiektach mieszkalnych, a ponadto w sposób syntetyczny przedstawiono teoretyczne podstawy przenoszenia ciepła.

Na wstępnym etapie prac badawczych dokonano charakterystyki czynnikowej modelu badawczego polegającej na określeniu parametrów i ich klasyfikacji do grup opisanych jako: zmienne wejściowych - podlegające zamierzonym zmianom i zmiennych wyjściowych tj. wartości, które były uzyskiwane w wyniku realizacji doświadczeń. W charakterystyce czynnikowej modelu zidentyfikowano także parametry stałe, które nie podlegały zmianom w trakcie prowadzenia doświadczeń. W ramach realizacji tego etapu sformułowano również założenia badawcze.

Wartości zmiennych wejściowych przyjęto na podstawie dokonanej analizy literatury przedmiotu oraz standardów i norm dotyczących projektowania i eksploatacji urządzeń i instalacji wodociągowo-kanalizacyjnych w budynkach mieszkalnych.

Korzystając z dotychczas opublikowanych badań szczegółowo scharakteryzowano trzy odmienne konfiguracje układów hydraulicznych systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych i instalacji przygotowania *c.w.u.*

W ramach realizacji badań doświadczalnych zaprojektowano, a następnie wykonano stanowisko badawcze, które umożliwiło przeprowadzenie badań symulacyjnych funkcjonowania instalacji przygotowywania *c.w.u.* i odzysku ciepła w warunkach zbliżonych do rzeczywistych dla całego zakresu zmiennych wejściowych przyjętych w planie badawczym.

W ramach pracy opracowano model obliczeniowy systemu umożliwiający wyznaczenie efektywności energetycznej ε odzysku ciepła odpadowego i instalacji przygotowania *c.w.u.* dla trzech odmiennych konfiguracji systemu odzysku ciepła odpadowego i instalacji przygotowania *c.w.u.*

Zasadniczą częścią badań realizowanych w ramach pracy doktorskiej były doświadczenia wykonywane z wykorzystaniem stanowiska badawczego systemu odzysku ciepła odpadowego. W ich trakcie dokonano kompleksowych badań doświadczalnych efektywności temperaturowej

ε_T dwóch pionowych wymienników ciepła typu „rura w rurze” o odmiennych parametrach technicznych oraz analizy efektywności energetycznej ε trzech konfiguracji systemu odzysku ciepła odpadowego i instalacji przygotowania *c.w.u.* dla szerokiego zakresu zmiennych warunków eksploatacyjnych. Na bazie uzyskanych wyników sformułowano szereg wniosków o charakterze poznawczym i aplikacyjnym.

Uwzględniając całkowite nakłady inwestycyjne oraz koszty eksploatacyjne opracowano model rachunku kosztów cyklu życia systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych i instalacji przygotowania *c.w.u.* dla przypadku studyjnego opierając się na założeniach metodologii *Life Cycle Cost (LCC)*.

Podstawą przeprowadzonych analiz finansowych kosztów cyklu życia (*LCC*) były wyniki analiz efektywności energetycznej ε systemów odzysku ciepła.

Dodatkowo, analiza finansowa została rozszerzona o badania wrażliwości inwestycji związanej z montażem wymiennika ciepła pod kątem jej podatności na zmianę parametrów obliczeniowych modelu finansowego.

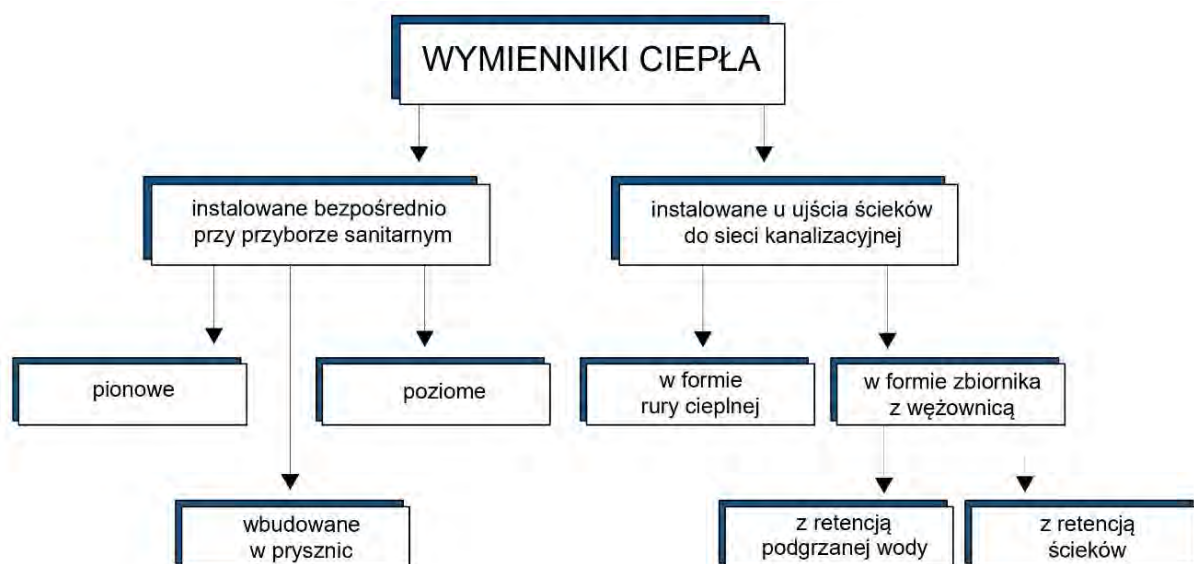
W ramach realizacji tematu rozprawy sformułowano główny cel badawczy, który może mieć istotne znaczenie w kontekście aplikacji pionowych wymienników ciepła w instalacjach kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych, a także może przyczynić się do popularyzacji technologii odzysku energii odpadowej ze ścieków szarych. Przeprowadzone analizy posłużyły identyfikacji warunków eksploatacyjnych i projektowych do zastosowania określonej konfiguracji systemu.

W pracy sformułowano następujące tezy badawcze:

1. Odzysk ciepła odpadowego ze ścieków szarych w instalacjach kanalizacyjnych i przygotowania *c.w.u.* jest zasadny pod względem energetycznym dla każdej z trzech przyjętych w pracy konfiguracji układu hydraulicznego systemu *DWHR (Drain Water Heat Recovery)*.
2. Wybór najbardziej korzystnej pod względem energetycznym konfiguracji systemu odzysku ciepła ma charakter indywidualny i wynika z preferencji decydentów dotyczących temperatury i zużycia wody do celów kąpielowych, a także jest uzależniony od projektu instalacji sanitarnych oraz sposobu przygotowania *c.w.u.* w budynku.

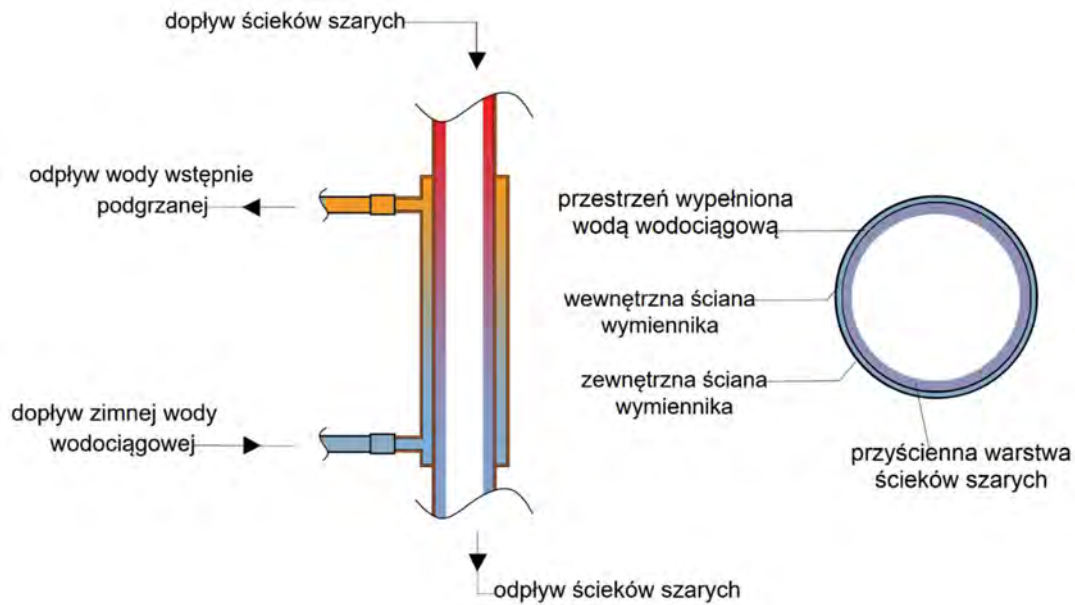
3. Przegląd literatury i uzasadnienie podjęcia tematu pracy

Wykorzystanie urządzeń służących do odbioru ciepła w systemach i obiektach kanalizacyjnych pozwala na odzysk nawet do 80% energii cieplnej zdeponowanej w ściekach (Kimmels, 2011). Podstawową metodą odzysku energii odpadowej zawartej w ściekach szarych jest zastosowanie jednostek DWHR (Beentjes i in., 2014; Pochwat i in., 2019), przy czym najbardziej efektywne i najczęściej stosowane są urządzenia działające w układach pionowych (McNabola i Shields, 2013; Mazhar i in., 2018). Ciepło zdeponowane w ściekach może być odzyskiwane w wewnętrznych instalacjach kanalizacyjnych za pomocą wymienników instalowanych bezpośrednio przy przyborze sanitarnym lub przy ujściu ścieków do sieci kanalizacyjnej. Szczegółowy podział wymienników przedstawiono na rysunku 3.1.



Rysunek 3.1. Podział wymienników ciepła (Słyś i Kordana, 2011)

W przypadku pionowych wymienników typu „rura w rurze” podstawowym elementem ich konstrukcji jest przewód, w którym w sposób grawitacyjny odprowadzane są ścieki szare. Woda wodociągowa w sposób przeciwny dopływa przez rurę zewnętrzną wymiennika do instalacji przygotowania c.w.u. Istotny jest fakt, iż odprowadzane ścieki nie wypełniają całego przekroju przewodu, lecz spływają po jego ścianach, dzięki czemu powierzchnia wymiany ciepła między przepływającymi czynnikami może być w pełni wykorzystywana (Ceconet i in., 2020; Wanjiru i Xia, 2017). Na rysunku 3.2 przedstawiono ideę działania pionowego wymiennika ciepła z oznaczonym charakterystycznym dopływem i odpływem ścieków szarych oraz wody zimnej i wstępnie podgrzanej.



Rysunek 3.2. Idea działania pionowego wymiennika ciepła typu „rura w rurze”

Wśród pionowych, przeciwprądowych wymienników ciepła znane są nie tylko wymienniki typu "rura w rurze" (Stec *i in.*, 2018), ale także spiralne (Mazur *i in.*, 2018). Wymienniki typu "rura w rurze" składają się z dwóch rur, z czego przewód o mniejszej średnicy jest umieszczony wewnątrz tego o większej średnicy. Ciepło przekazywane jest pomiędzy ciepłymi ściekami przepływającymi przez rurę wewnętrzną, a wodą wodociągową płynącą w przestrzeni pomiędzy rurą kanalizacyjną, a przewodem zewnętrznym. Wymienniki spiralne wyposażane są w przewód transportujący wodę zimną owinięty wokół rury kanalizacyjnej stanowiącej podstawę wymiennika, przez którą przepływają ścieki (Kramarz, 2019). Znane są także przykłady urządzeń, w których kanał spiralny umieszczony jest wewnątrz przewodu kanalizacyjnego (Mazur *i in.*, 2018).

Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez Ravichandrana *i in.* (2021) wymienniki ciepła instalowane poziomo mają niższą efektywność wymiany ciepła niż te instalowane w pionie, jednak montaż tych drugich wymaga niekiedy znacznej dostępności miejsca pod zabudowę (Piotrowska *i Słyś*, 2023a), co w wielu przypadkach, a zwłaszcza w istniejących budynkach może okazać się przeszkodą do zastosowania tego typu urządzeń.

W przypadku znacznych ilości ścieków szarych odpływających z przyborów sanitarnych możliwe jest zastosowanie kilku lub kilkunastu wymienników ciepła tworzących tzw. baterie (Kretschmer *i in.*, 2016; Słyś *i Kordana*, 2014).

Wśród wymienników ciepła instalowanych na odpływie ścieków do sieci kanalizacyjnej można rozróżnić dwa typy urządzeń tj. wymienniki ciepła w postaci rury cieplnej oraz wymienniki ciepła w postaci zbiornika z wężownicą, dla których to dodatkowo wyróżnia się:

- wymienniki ciepła z retencją ścieków szarych¹,
- wymienniki ciepła z retencją wody wstępnie podgrzanej (Słyś i Kordana, 2011).

Efektywność odzysku energii cieplnej ze ścieków szarych jest bardzo zróżnicowana i zależy przede wszystkim od typu jednostki wymiany ciepła, wyboru konfiguracji systemu odzysku energii cieplnej, a także parametrów eksploatacyjnych systemu (Selimli i Abajja, 2021). Zakresy efektywności odzysku ciepła możliwe do uzyskania na różnym etapie transportu ścieków zestawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Średnia efektywność ε odbioru energii odpadowej ze ścieków w zależności od wybranych parametrów charakteryzujących system odzysku ciepła (Słyś i Kordana, 2011)

Lokalizacja jednostek odzysku ciepła	Typ jednostki	Zakres temperatur źródła ciepła	Strumień objętości przepływu ścieków	Efektywność energetyczna odzysku energii cieplnej
wymienniki ciepła instalowane bezpośrednio pod odpływem z prysznicza lub przed odpływem do sieci kanalizacyjnej	pionowe wymienniki ciepła poziome wymienniki ciepła pompy ciepła	20-60°C	5-14 dm ³ /min	18-80%
wymienniki ciepła instalowane na sieci kanalizacyjnej	pionowe wymienniki ciepła poziome wymienniki ciepła pompy ciepła	10-25°C	10000> dm ³ /min	10-50%
wymienniki ciepła instalowane na oczyszczalni ścieków	pompy ciepła	10-25°C	10000< dm ³ /min	10-50%

Odzysk ciepła w kolektorach kanalizacyjnych oraz na oczyszczalniach ścieków jest najczęściej realizowany przy wykorzystaniu pomp ciepła (Gou i in., 2016; Pochwała i Kotas, 2018; Spriet i McNabola, 2018; Zhu, 2020), co sprawdza się również w przypadku obiektów, gdzie obserwuje się wysokie zużycie wody do celów kąpielowych np. w hotelach, czy obiektach basenowych (Todorović i in., 2020; Liebersbach i in., 2021).

W przypadku oczyszczalni ścieków proces odbioru energii odpadowej polega na jej przejmowaniu przez wymiennik ciepła umieszczony w przewodzie kanalizacyjnym. Ścieki

¹ ścieki odprowadzane głównie z natrysków, wanien czy umywalk charakteryzujące się wyższą temperaturą i mniejszą ilością zanieczyszczeń aniżeli ścieki czarne odprowadzane np. z misek ustępowych (Chudzicki, 2011)

przepływające w kolektorze, w kierunku oczyszczalni ścieków oddają ciepło na całej długości przewodu. Średnia temperatura ścieków bytowo-gospodarczych przepływających w kolektorach kanalizacyjnych to około 10°C, przy czym w okresie letnim wartość ta osiąga nawet około 25°C. Należy jednak wspomnieć, iż obecnie technologia odzysku ciepła z kolektorów ściekowych jest rozwiązaniem rzadko stosowanym w naszym kraju (*Niewitecka, 2018*).

Odzysk energii ze ścieków może być również realizowany poprzez zastosowanie wymienników ciepła w postaci rur polietylenowych lub stalowych umieszczonych na dnie kolektora w wyprofilowanej półokrągłej rynnie żelbetowej. Obecnie dostępne rozwiązania umożliwiają wbudowanie wymiennika w istniejące kolektory nawet podczas renowacji metodami bezwykopowymi (*Niewitecka, 2018*).

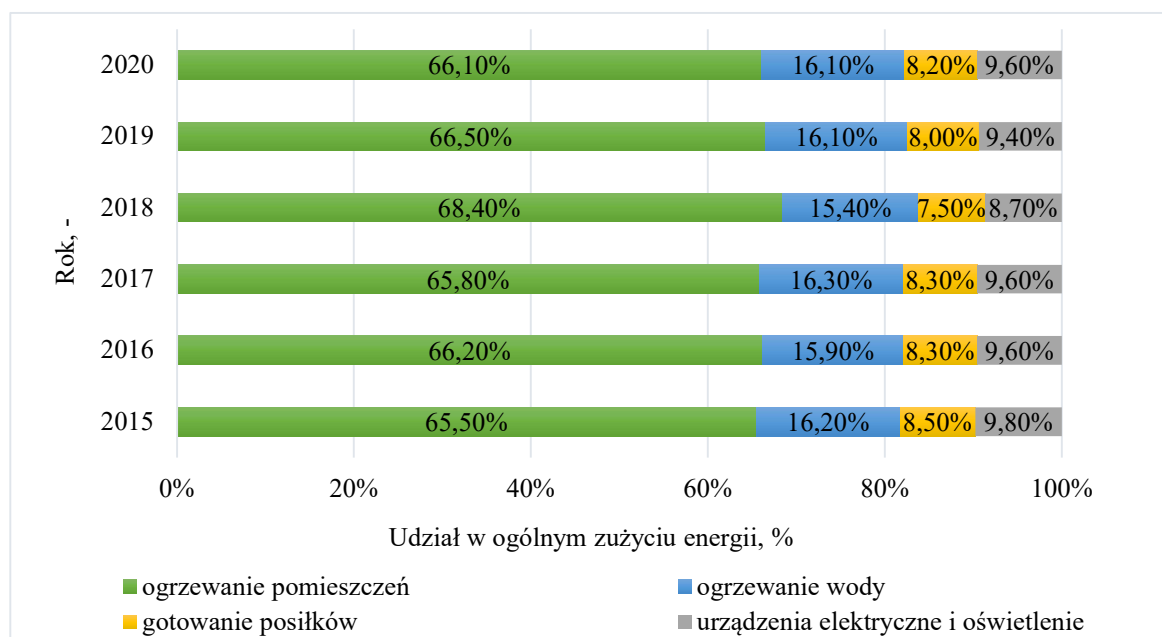
W przypadku nowobudowanych kolektorów kanalizacyjnych mogą być stosowane gotowe moduły z wymiennikami, które można zamontować w kolektorze. Możliwość łączenia modułów w odcinki o dowolnej długości oraz niskie nakłady inwestycji sprawiają, że technologia ta staje się coraz bardziej popularna w Europie Zachodniej. Konstrukcja takiego wymiennika bazuje na profilu w kształcie łuku, pod którym poprowadzone są przewody polietylenowe. Ocenia się, że tego typu urządzenia mogą zapewnić odbiór energii na poziomie do 2 kW w przeliczeniu na jeden metr długości przewodu (*Forman i in., 2016; Niewitecka, 2018*).

Sektor budowlany jest jednym z największych konsumentów energii na świecie (*Juan, 2016; Manouchehri i Collins, 2016; Semkov i in., 2014, Słyś, 2006b*), a zgodnie z publikowanymi danymi (*Zużycie..., 2022*) przygotowanie *c.w.u.* stanowi znaczącą część kosztów eksploatacyjnych w budownictwie mieszkaniowym. Dodatkowo, rozwój technologii i konieczność zwrócenia większej uwagi na efektywność energetyczną nowych budynków powoduje wzrost znaczenia ogrzewania wody w całkowitym zapotrzebowaniu na energię (*Kordana, 2017; 2018*).

Dane publikowane przez kanadyjski Departament Zasobów Naturalnych (*Natural Resources..., 2022*) ukazują, że od ponad dwóch dekad ogrzewanie wody w budynkach mieszkalnych w Kanadzie jest niezmiennie drugim, co do wielkości czynnikiem wpływającym na całkowite zużycie energii (*Manouchehri i Collins, 2022*), natomiast badania przeprowadzone w Szwajcarii (*Schmid, 2008*) udowodniły, że aż 6000 GWh energii cieplnej w skali roku podlega stratom w kanalizacji, co odpowiada 7% całkowitego zapotrzebowania na ciepło w tym kraju. *Manouchehri i Collins (2022)* wskazują, że 14,8% całkowitego zużycia energii w europejskim sektorze mieszkaniowym przypadało na ogrzewanie wody. Z kolei

w budynkach mieszkalnych w Stanach Zjednoczonych 34,8% ciepłej wody kąpielowej jest zużywane w natryskach (Jaber, 2019).

Zgodnie z danymi publikowanymi przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) (*Efektywność wykorzystania...*, 2022) w Polsce niezmiennie od 2015 roku drugą pozycję w strukturze zużycia energii w sektorze mieszkaniowym stanowi przygotowanie ciepłej wody do celów użytkowych. Szczegółową strukturę zużycia energii w gospodarstwach domowych przedstawiono na rysunku 3.3.



Rysunek 3.3. Struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych (*Efektywność wykorzystania...*, 2022)

Zgodnie z publikowanymi danymi (*Efektywność wykorzystania...*, 2022) całkowite zużycie energii pierwotnej w Polsce w latach 2010-2020 wzrosło z 100,5 Mtoe do 101,8 Mtoe, z czego udział zużycia energii w gospodarstwach domowych w roku 2020 wyniósł 25,6%. Ocenia się, że największy wpływ na zmianę zużycia energii w sektorze mieszkaniowym miała aktywność gospodarcza, której zwiększenie przyczyniło się do wzrostu zapotrzebowania na energię o 13,7 Mtoe w roku 2020 względem roku 2010. Właśnie w 2020 roku w sektorze mieszkaniowym do celów przygotowania *c.w.u.* zużyto aż 16,1% energii, a tym samym sektor ten cechowało najwolniejsze tempo poprawy efektywności energetycznej wyrażane wskaźnikiem *ODEX* (*Energy Efficiency Index*) na poziomie 1,0%/rok.

Informacje dotyczące zużycia energii do celów przygotowania ciepłej wody w sektorze mieszkaniowym, a także dane dotyczące ilości energii zdeponowanej w ściekach szarych

odprowadzanych z przeciętnego gospodarstwa domowego wskazują na zasadność odzysku i wykorzystania ciepła odpadowego w instalacjach *c.w.u* (Słyś i in., 2018; Słyś i Stec, 2014).

Zgodnie z publikowanymi danymi (Pomianowski i in., 2020; Piotrowska i Słyś, 2023b) zawartość energii zdeponowanej w ściekach szarych stanowi około od 80% do 90% energii pierwotnej obecnej w ciepłej wodzie przeznaczanej do kąpieli. Jednym ze sposobów odzysku energii, a tym samym zredukowania jej zużycia w celach przygotowania ciepłej wody jest stosowanie wymienników ciepła instalowanych bezpośrednio przy przyborze sanitarnym.

Wykorzystanie ścieków jako alternatywnego źródła energii w sektorze mieszkaniowym i w gospodarstwach domowych nie jest w Polsce objęte szczegółowymi regulacjami prawnymi (Ratajczak i in. 2021; Niewitecka, 2018). Istotne z uwagi na zasadność odzysku ciepła jak i na dobór technologii jest rozróżnienie ścieków szarych, które charakteryzują się temperaturą w zakresie od 18°C do 50°C i niewielką ilością domieszek, a także ścieków czarnych, które są znacznie bardziej zanieczyszczone i charakteryzują się znacznie niższą temperaturą oscylującą na poziomie od 10°C do 25°C (Chudzicki, 2011, Pomianowski i in., 2020, Oteng-Peprah i in., 2018).

Ścieki szare odprowadzane są z natrysków, wanien, umywalek, pralek automatycznych i zmywarek. Ścieki czarne pochodzą z misek ustępowych i pisuarów. Definicja i podział ścieków bytowo-gospodarczych zawarta jest w normie *PN-EN 12056-1:2002 Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków-Część 1: Postanowienia ogólne i wymagania*. Podział i charakterystyka systemów została przedstawiona w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Podział systemów grawitacyjnej kanalizacji bytowo-gospodarczej (*PN-EN 12056-1:2002*)

System	Nazwa	Ogólna charakterystyka
I	system pojedynczego pionu z podejściami częściowo wypełnionymi	jeden pion kanalizacyjny wypełnienie przewodów 50%
II	system pojedynczego pionu z podejściami o mniejszej średnicy	jeden pion kanalizacyjny wypełnienie przewodów 70%
III	system pojedynczego pionu z podejściami całkowicie wypełnionymi	jeden pion kanalizacyjny wypełnienie przewodów 100% każde urządzenie podłączone oddzielnie do pionu
IV	system oddzielnych pionów kanalizacyjnych	dwa piony kanalizacyjne z czego jeden odprowadzający ścieki czarne, a drugi odprowadzający ścieki szare wypełnienie przewodów jak dla systemów I, II lub III

Montaż jednostki wymiany ciepła wymaga odseparowania ścieków szarych od ścieków czarnych, co jest charakterystyczne dla koncepcji projektowej zgodne z rozwiązaniem definiowanym jako system IV rodzaju (*Chudzicki i Sosnowski, 2011*).

Biorąc pod uwagę duży potencjał technologii odzysku energii odpadowej oraz niedoskonałości dostępnych na rynku wymienników ciepła, rozwój konstrukcji jednostek *DWHR* stanowi inspirację do podejmowania działań mających na celu opracowywanie nowych, wysokoefektywnych energetycznie urządzeń, które mogą być instalowane poziomo na przewodzie odpływowym do kanalizacji lub też pod podłogowym odpływem liniowym z prysznicą (*Mazhar i in., 2018; Nagpal i in., 2021; Wong, 2010*).

Bartkowiak i in. (2010) przeprowadzili badania prototypowego płytowego wymiennika ciepła instalowanego na odpływie z prysznicą. Analizy sporządzone dla różnych strumieni objętości przepływu ścieków i przy zmiennych temperaturach przepływających mediów wykazały zasadność finansową montażu urządzenia, ale także dowiodły zasadności środowiskowej wykorzystania wymienników ciepła wynikającej ze zmniejszenia zapotrzebowania na energię i ograniczenia emisji CO₂.

Analizy przeprowadzone przez *Pochwata i in. (2019)* skupiły się na badaniach konstrukcji autorskiej, poziomej jednostki wymiany ciepła. Zespół badawczy ocenił, że jej wyposażenie w odpowiednio ukształtowane przegrody spowalniające przepływ wody może znacznie zwiększyć efektywność odbioru energii cieplnej, co jest szczególnie opłacalne w przypadku budynków charakteryzujących się znacznym zużyciem wody i dużą rotacją użytkowników.

Z kolei *McNabola i Shields (2013)* przedstawili autorski projekt poziomego wymiennika ciepła. Urządzenie składa się z rury odpływowej dla ścieków szarych wykonanej z tworzywa sztucznego wewnątrz, w której jest umieszczona rura dla zimnej wody wykonana z miedzi lub innego materiału o dobrej przewodności cieplnej. Plastikowa rura kanalizacyjna ma pełnić rolę izolatora zatrzymując ciepło zdeponowane w ściekach. Konstrukcja nowego wymiennika charakteryzuje się pewną ilością zapętleń, dzięki czemu możliwe jest zachowanie wystarczającej długości urządzenia dla zadowalającego poziomu wymiany ciepła. Badania pokazały, że dla proponowanej konstrukcji można osiągnąć efektywność odzysku ciepła nawet w granicach do 50%.

Torras i in. (2016) badał wymiennik w postaci zbiornika z wężownicą i retencją ścieków. Proponowany system był w stanie odzyskać od 34% do 60% energii cieplnej zdeponowanej w ściekach.

Badania opublikowane przez *Kordana (2018)* dotyczące zasadności aplikacji jednego wymiennika *DWHR* na odpływie z dwóch natrysków w budynku mieszkalnym oraz

uwzględniające analizę oszczędności wynikających z zastosowania różnych typów podgrzewaczy wody. Przeprowadzone badania wykazały, iż zasadność montażu jednostki *DWHR* dla dwóch oddzielnych systemów prysznicowych zależy od wykorzystywanego w celach przygotowania *c.w.u.* nośnika energii, a dokładniej od jednostkowych cen poboru energii. Wraz ze wzrostem cen energii rośnie korzyść z używania oddzielnych jednostek *DWHR*, a w związku z tym oddzielne wymienniki ciepła mogą być bardziej opłacalne w obiektach charakteryzujących się długim sumarycznym czasem użytkowania systemu odzysku ciepła.

Badania, w których oceniono efektywność finansową montażu wymiennika ciepła w zależności od sposobu przygotowania *c.w.u.* wykazały, że rodzaj podgrzewacza *c.w.u.* ma decydujący wpływ na poziom opłacalności inwestycji. Analizy prowadzone w Polsce w 2017 roku dowiodły, że zastosowanie technologii odzysku ciepła jest szczególnie opłacalne przy podgrzewaniu wody za pomocą podgrzewaczy elektrycznych (Kordana i Słyś, 2017).

Kordana i in. (2014) wykorzystując metodę oceny ryzyka inwestycyjnego udowodnili, że wzrost wyników finansowych uzyskuje się wraz ze wzrostem długości czasu wykorzystania instalacji prysznicowej i zużycia wody. W związku, z tym implementacja systemów *DWHR* jest najbardziej zasadna pod względem finansowym w przypadku domów wielorodzinnych, obiektów sportowych, handlowych i przemysłowych, w których to obserwuje się znaczne użycie ciepłej wody użytkowej.

Paduchowska i in. (2019) analizując korzyści finansowe i środowiskowe wynikające z aplikacji wymienników ciepła we wrocławskich akademikach potwierdziła zasadność stosowania systemów *DWHR*. W ramach badań przeprowadzono analizę energetyczną instalacji przygotowania *c.w.u.* z uwzględnieniem przewodów cyrkulacyjnych oraz bez cyrkulacji wody. Wyniki analiz wykazały, że zastosowanie technologii wymiany ciepła ze ścieków pozwoliło na ograniczenie zapotrzebowania na energię do podgrzania ciepłej wody użytkowej o 53%.

Badania prowadzone przez Manouchehri'ego i Collins'a (2016) wykazały, że zmiany efektywności odbioru ciepła odpadowego ze ścieków szarych są uzależnione głównie od temperatury przepływających mediów i występują niezależnie od parametrów fizycznych charakteryzujących urządzenie.

Analizy przeprowadzone w Canadian Centre of Housing Technology (Zaloum i in., 2007) potwierdziły, że oszczędność energii na cele przygotowania *c.w.u.* rośnie nie tylko wraz ze zwiększeniem ilości odpływających ścieków, ale również jest zależna od temperatury dopływającej zimnej wody wodociągowej i zmienia się sezonowo.

Badania prowadzone przez *Słysia i Kordana (2014)* w obszarze systemów wymiany ciepła ze ścieków pozwalają stwierdzić, że przyjęty wariant projektowy systemu i jego charakterystyka wydajnościowa mają istotny wpływ na okres zwrotu inwestycji. Oceniono, że w zależności od wartości parametrów eksploatacyjnych oraz wariantu projektowego systemu odbioru ciepła ze ścieków okres zwrotu inwestycji może wynieść nawet około 2,5 roku, jednak należy liczyć się z sytuacją, gdy okres zwrotu przekracza żywotność techniczną urządzenia (*Słys i Kordana, 2014*). Z tego względu bardzo, istotna jest umiejętność właściwego doboru wymiennika pozwalającego na efektywny odbiór energii ze ścieków (*Stec i in., 2017; Sohail in., 2019*).

Wyniki analizy finansowej przeprowadzonej przez *Stec i Kordana (2015)* ukazują, że montaż wymiennika ciepła w systemie, gdzie woda wstępnie podgrzana dostarczana jest do baterii mieszającej może zmniejszyć zużycie energii potrzebnej do przygotowania ciepłej wody o około 30% w porównaniu do systemu, który nie wykorzystuje wymiennika ciepła.

Badania prowadzone w tematyce odzysku energii ze ścieków skupiają się nie tylko na ocenie kryteriów technicznych, ekonomicznych czy energetycznych. Istotne w kontekście popularyzacji jednostek *DWHR* są badania społeczne i środowiskowe, które umożliwią wskazanie korzyści związanych z wykorzystaniem niekonwencjonalnych źródeł energii w celu podgrzewania wody w budynkach mieszkalnych.

W innych publikacjach *Kordana (2017)* oraz *Kordana i in., (2019)* szczegółowo omówili zagadnienia związane z analizą kluczowych czynników wpływających na rozwój systemów *DWHR*. W badaniach skupiono się na identyfikacji mocnych i słabych stron systemów odzysku ciepła, wykorzystując do tego analizę *SWOT*. Do mocnych stron zaliczono możliwość wyraźnego ograniczenia zużycia paliw kopalnych poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do przygotowania *c.w.u.* Za inną mocną stroną uznano również fakt, że ścieki szare w porównaniu do alternatywnych źródeł energii cechuje niezależność od warunków atmosferycznych oraz niewielkie, roczne wahania temperatury ścieków szarych odprowadzanych do kanalizacji, co zapewnia stabilną pracę systemu. Wyniki analiz wskazały jednak, że pomimo widocznych zalet systemów *DWHR* rozwiązania te nie cieszą się tak dużą popularnością jak np. kolektory słoneczne.

Znaczna część społeczeństwa nie zdaje sobie sprawy z możliwości, jakie niesie ze sobą zastosowanie wymienników ciepła, dlatego też *Kordana-Obuch i in. (2021)* uważają za niezbędne wprowadzenie programów promujących korzystanie z technologii odbioru energii odpadowej ze ścieków. Zdaniem zespołu badawczego z Politechniki Rzeszowskiej (*Kordana-Obuch i in., 2021*) równie ważną kwestią jest zapewnienie odpowiedniego źródła finansowania

zakupu prysznicowych wymienników ciepła, gdyż kwestie finansowe mają istotny wpływ na decyzję o montażu jednostki *DWHR*.

Energię odebrana z ścieków można wykorzystać do wstępnego podgrzania zimnej wody dopływającej do wewnętrznej instalacji wodociągowej budynków mieszkalnych, ale zasadny jest również odzysk ciepła ze ścieków w obiektach komercyjnych np. na basenach czy w hotelach (*Kolaszewski, 2000; Sayegh i in., 2021*). W tego typu obiektach duże ilości ścieków odprowadzane są do kanalizacji, toteż doskonałym źródłem energii do zagospodarowania jest zużyta woda pochodząca m.in. z pryszniców, płukania filtrów basenowych czy odwadniania basenu. Warto zauważyć, że obecnie wiele nowoczesnych instalacji basenowych posiada systemy odzysku ciepła odpadowego.

Zasadność wykorzystania systemów odzysku ciepła w obiektach basenowych wynika nie tylko z ilości wytwarzanych ścieków, ale także z wartości ich temperatur, które mogą wynosić odpowiednio:

- od 39°C do 41°C dla ścieków z pryszniców,
- od 25°C do 26°C dla odpływów z basenów,
- od 28°C do 30°C dla odpływów z basenów rekreacyjnych,
- od 30°C do 32°C dla odpływów z basenów dziecięcych,
- od 25°C do 35°C do spłukiwania wody z filtrów (*Kolaszewski, 2000*).

Dużym potencjałem energetycznym pod względem ilości i temperatury odprowadzanych ścieków charakteryzują się także zakłady przemysłowe, np. przemysł tekstylny, gdzie stosowana technologia produkcji opiera się na procesach, w których wykorzystywana jest woda o temperaturze bliskiej temperaturze wrzenia (*Niewitecka, 2018*). Ponadto, zgodnie z obowiązującym prawem (*Rozporządzenie Ministra Budownictwa..., 2016*) temperatura ścieków z zakładów przemysłowych odprowadzanych do urządzeń kanalizacyjnych nie może być wyższa niż 35°C, a to stanowi istotny argument, na drodze do popularyzacji systemów odzysku ciepła ze ścieków przemysłowych (*Niewitecka, 2018*).

Tanhai in., (2015a; 2015b) w swoich pracach badali zagadnienia związane z wydajnością jednostek odzysku ciepła zintegrowanych z domowymi instalacjami solarnymi do przygotowania *c.w.u.* *Solar Domestic Hot Water Heating (SDHW)* badając zmniejszenie rocznego zapotrzebowania na energię oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych przy założeniu zapewnienia dziennie 225 litów ciepłej wody do celów użytkowych o zadanej temperaturze równej 45°C. Badania te pozwoliły oszacować wydajność jednostek odzysku ciepła zintegrowanych z systemami solarnymi na poziomie około 50%.

Ocena zasadności aplikacji systemów odzysku ciepła przeprowadzona przez *De Paepe i in.*, (2003) dotyczyła wykorzystania zmywarek do naczyń, dla których temperatura wody wahała się od 19°C do 61°C, a zużycie wody podczas jednego cyklu zmywania wyniosło 33 dm³. W artykule zaproponowano magazynowy system odzysku ciepła analizując przy tym jego parametry techniczne i ekonomiczne. Badanie wykazało zmniejszenie całkowitego zapotrzebowania na ciepło w zmywarce o 25% w okresie zwrotu kosztów wynoszącym w tym przypadku 6 lat.

Adhikari (2017) ocenił zasadność aplikacji systemu *DWHR* w publicznej pralni z dwiema pralkami, gdzie średnia temperatura ścieków wynosiła około 60°C. Badanie wykazało, że zaproponowany system pozwalał na osiągnięcie 6371€ oszczędności w skali roku.

Odzysk ciepła zdeponowanego w ściekach jest możliwy także w kolektorach doprowadzających ścieki do oczyszczalni jak i na terenie samego obiektu (*Piotrowska i in.*, 2020), jednak jak zaznaczają *Słyś i Kordana (2011)* dostarczanie ciepła odzyskanego z oczyszczalni ścieków do odbiorców może być nieopłacalne ze względu na duże straty energii, dlatego w przypadku oczyszczalni ścieków bardziej rozsądne może być wykorzystanie odzyskanego ciepła na miejscu, szczególnie w procesach technologicznych oczyszczalni ścieków.

Schmid (2008) w swoich analizach podkreśla, iż potencjał odzysku ciepła na oczyszczalni ze ścieków wolnych od zanieczyszczeń, osadów oraz substancji chemicznych jest wyższy niż w ściekach przepływających w instalacji kanalizacyjnej, ponieważ woda w oczyszczalni może być schładzana do znacznie niższych temperatur.

Im mniejsza ilość zanieczyszczeń biologicznych i substancji stałych przepływających w jednostkach *Waste Water Heat Recovery (WWHR)*, tym mniejsze ryzyko ich osadzania na powierzchni urządzeń, co wpływa na efektywność procesu wymiany ciepła (*Nagpal i in.*, 2021). Ponadto odzysk ciepła zdeponowanego w ściekach na oczyszczalni może być zasadny z uwagi na ich znaczne ilości.

Efektywność odbioru ciepła odpadowego na oczyszczalni zależy również od spadku temperatury ścieków po odzyskaniu energii, a jak podają dane literaturowe (*Chae i Kang, 2013; Durdević i in.*, 2019; *Pochwała i Kotas, 2018*) temperatura ścieków na oczyszczalni może zostać obniżona nawet do 8°C. Jednak z uwagi na zalecane optymalne wartości temperatury ścieków w poszczególnych procesach ich oczyszczania, a tym samym celem ochrony odbiorników, do których odprowadzane są oczyszczone ścieki, nie zaleca się obniżenia temperatury ścieków poniżej 12°C (*Kaczor i in.*, 2016; *Bugajski, 2011*). Takie warunki mogą znacznie pogorszyć efektywność procesu nityfikacji (*Rozporządzenie Ministra Gospodarki*

Morskiej..., 2019), co bezpośrednio wpływa na zawartość azotu w ściekach na odpływie do odbiornika, a w rezultacie wpływa na stan środowiska wodnego.

Chae i Kang (2013) przeprowadzili badania działalności energetycznej oczyszczalni ścieków wykorzystującej panele fotowoltaiczne, małe elektrownie wodne oraz instalację odbioru energii ze ścieków opartą na pompie ciepła. Analizy wykazały, że instalacja ta jest w stanie pokryć nawet 3,65% całkowitego zużycia energii w obiekcie. Badacze dodatkowo ocenili szacowany okres zwrotu zakupu i aplikacji pompy ciepła na okres 6-8 lat.

Pochwała i Kotas (2018) zaproponowali odbiór energii z wykorzystaniem pompy ciepła na potrzeby niskotemperaturowych procesów oczyszczalni ścieków. W swojej pracy opisali odzysk ciepła z surowych ścieków w celu podniesienia temperatury sekwencyjnego reaktora biologicznego *Sequencing Batch Reactor (SBR)* do wartości optymalnej dla procesu oczyszczania. Przeprowadzone badania pozwoliły ocenić, że odzyskana energia pozwala na zaspokojenie potrzeb technologii (ogrzewanie sekwencyjnego reaktora biologicznego), która stanowi 98% całkowitego zapotrzebowania na moc cieplną.

Znane są także badania (Kordana i in., 2019; Kordana-Obuch i Starzec, 2022) wskazujące potrzebę edukacji społeczeństwa w temacie zrównoważonego gospodarowania energią zgromadzoną w ściekach szarych oraz promowania jednostek *DWHR*, jako zrównoważonych systemów energetycznych w obiektach mieszkalnych.

Na podstawie wyników dotychczas publikowanych badań ocenia się, że parametrami kluczowymi dla procesu wymiany ciepła w wymienniku są temperatura i strumień objętości przepływu mediów w urządzeniu. Z perspektywy oceny zasadności aplikacji wymienników *DWHR* istotne jest znacznie szersze podejście do oceny wpływu wszystkich parametrów wejściowych, dlatego też konieczna jest kompleksowa analiza takich parametrów jak udział wody zimnej dopływającej do wymiennika ciepła w stosunku do ilości ścieków szarych wytwarzanych podczas korzystania z przyboru sanitarnego, udział wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza oraz na wejściu do zaworu mieszającego, a także analiza wpływu temperatury zimnej wody wodociągowej na efektywność odzysku energii. Ponadto publikowane dotychczas prace koncentrują się głównie na analizach różnych systemów odzysku energii aplikowanych zarówno w instalacjach wewnętrznych jak i zewnętrznych systemach kanalizacyjnych, ale nie przedstawiają wszystkich możliwości technicznych zabudowy jednostek *DWHR* w instalacjach kanalizacyjnych budynków mieszkalnych. Analizy przeprowadzone do tej pory nie wyczerpują zakresu badań efektywności odzysku energii przy odmiennych konfiguracjach hydraulicznych systemów odzysku ciepła tj. prowadzenia przewodów wody wstępnie podgrzanej.

Badania przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej stanowią istotny wkład do aktualnych wyników badań w temacie odzysku energii ze ścieków uzupełniając obecny stan wiedzy o nowe wnioski uzyskane podczas badań doświadczalnych przeprowadzonych w oparciu o model rzeczywisty systemu odzysku ciepła przy różnych konfiguracjach hydraulicznych jego instalacji.

Wnioski uzyskane podczas badań mogą być pomocne przy identyfikacji korzyści wynikających z aplikacji wymienników ciepła oraz mogą być wartościowym źródłem wiedzy dla projektantów i producentów tego typu urządzeń, co w konsekwencji może przełożyć się na popularyzację technologii odbioru energii zdeponowanej w ściekach, zwłaszcza w sektorze mieszkaniowym.

4. Teoretyczne podstawy wymiany ciepła

4.1. Mechanizmy i podstawowe prawa ruchu ciepła

Temperatura jest parametrem charakteryzującym stan cieplny ciała. Dla prostokątnego układu współrzędnych temperatura jest funkcją położenia w przestrzeni (x, y, z) i czasu t_u co oznacza, że każdemu czasowi i punktowi materialnemu przypisana jest dana temperatura T , co można zapisać w postaci równania (4.1) (*Bieniasz i in., 2001; Zarzycki, 2010*).

$$T = f(x, y, z, t_u) \quad (4.1)$$

gdzie: T - temperatura prostokątnego układu materialnego, K;

x, y, z - współrzędne układu, m;

t_u - czas, s.

W przypadku, gdy pole temperaturowe nie zależy od czasu t_u , rozpatrujemy tzw. ustalone pole temperaturowe. Ponadto, gdy w układzie zachodzą mechanizmy ruchu ciepła mówi się o występowaniu procesów ustalonych. Najprostszym przykładem pola temperaturowego, w którym obserwuje się ruch ciepła jest pole jednowymiarowe ustalone, dla którego temperatura T' zmienia się jedynie w kierunku określonej osi i nie jest ona zależna od czasu t_u . Płaszczyzny prostopadłe do opisanej osi charakteryzuje stała temperatura T' . Stan cieplny jednowymiarowego ustalonego pola opisano w postaci równania (4.2.) (*Bieniasz i in., 2001; Kmieć, 2005; Zarzycki, 2010*).

$$T' = f(x) \quad (4.2)$$

gdzie: T' - temperatura pola jednowymiarowego ustalonego, K;

x - współrzędna układu, m.

Jeśli w układzie obserwuje się zmiany wartości temperatur pomiędzy danymi jego punktami, wówczas następują procesy związane z ruchem ciepła dążące do osiągnięcia stanu równowagi termicznej tego układu (*Zarzycki, 2010; Zagórski, 1993*).

Wyróżnia się trzy mechanizmy, które warunkują ruch ciepła:

- konwekcja,
- przewodzenie,
- promieniowanie (*Zarzycki, 2010; Zagórski, 1993*).

Wymiana ciepła w procesie konwekcji zachodzi w cieczach, a sam przepływ ciepła odbywa się w wyniku mieszania cząstek płynu. Na drodze ruchu cieplejsze i chłodniejsze cząsteczki łączą się ze sobą, a jeśli ruch ten wynika z różnicy ich gęstości to obserwuje się konwekcję naturalną zwaną też konwekcją swobodną. W przypadku, gdy przepływ cieczy jest wynikiem

ingerencji zewnętrznej np. wykorzystania wentylatorów lub pomp definiuje się zjawisko konwekcji wymuszonej (Zarzycki, 2010; Oleśkiewicz-Popiel i Amanowicz, 2017; Zhang i in., 2005).

Wpływ konwekcji naturalnej na intensywność wymiany ciepła jest bardzo mały, a niekiedy pomijalny, toteż zjawisko to jest najczęściej wspomagane konwekcją wymuszoną. Jeśli jednak zauważa się porównywalne znaczenie zarówno konwekcji naturalnej, jak i wymuszonej to proces wymiany ciepła następuje na drodze konwekcji mieszanej (Bieniasz i in., 2001).

Promieniowanie jest mechanizmem emisji energii przez dany układ za pomocą fal elektromagnetycznych. Mechanizm ten może zachodzić nie tylko w ośrodkach materialnych, ale również w próżni. Emisja energii w postaci fal, jak i jej pochłanianie dotyczy każdego ciała, którego temperatura jest wyższa niż temperatura zera bezwzględnego (Kostowski, 1993; Kmieć, 2005).

Z kolei ruch ciepła w wyniku przewodzenia zachodzi w ciałach stałych oraz cieczech i gazach, jednak tylko w określonych warunkach. Mechanizm ten wynika z molekularnego ruchu cząstek w danym ośrodku (Wiśniewski, 1991).

W praktyce często obserwuje się złożony mechanizm konwekcji oraz przewodzenia ciepła, który jest związany z przekazywaniem energii cieplnej między dwoma czynnikami. Proces ten określany jest mianem przenikania ciepła. Taki rodzaj mechanizmu transportu ciepła opisuje równanie Newtona (4.3) (Zarzycki, 2010).

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \quad (4.3)$$

gdzie: \dot{Q} - strumień ciepła, W;

α - współczynnik wnikania ciepła, W/(m²·K);

A - powierzchnia wymiany ciepła, m²;

ΔT - charakterystyczna różnica temperatury ścianki i płynu, K.

Mechanizm przenikania ciepła zobrazowano na rysunku (4.1). Energia cieplna z przepływającego czynnika o temperaturze T_f wnika do ściany z intensywnością określaną wartością współczynnika wnikania ciepła α i jest przez nią przewodzone. Miarą przewodzenia ciepła jest wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ (Zarzycki, 2010).

Wartość współczynnika wnikania ciepła α zależy przede wszystkim od prędkości przepływu czynnika, parametrów fizycznych charakteryzujących powierzchnię wymiany ciepła oraz od parametrów termofizycznych czynnika (Wiśniewski S., Wiśniewski T.S., 2009).

Przy wyznaczaniu współczynnika wnikania ciepła α należy określić rodzaj konwekcji i charakter przepływu czynnika oraz obliczyć właściwe, bezwymiarowe liczby podobieństwa.

Proces ten często sprowadza do określenia współczynnika wnikania ciepła, który w postaci bezwymiarowej przedstawia liczba Nusselta (Kmieć, 2005; Zarzycki, 2010).

Dla przewodu kołowego liczba Nusselta opisana jest zależnością (4.4).

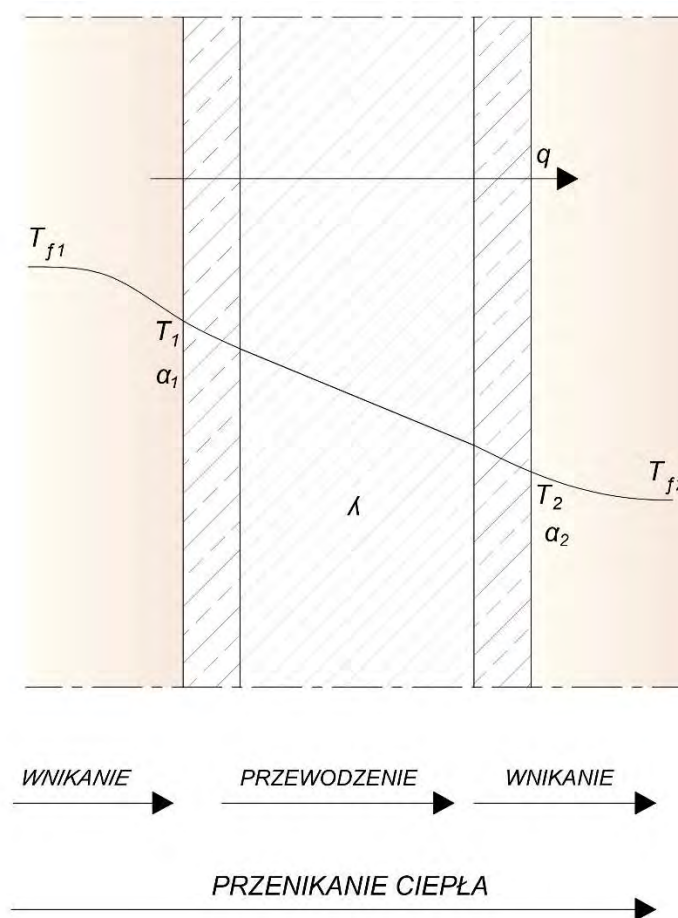
$$Nu = \frac{\alpha \cdot DN}{\lambda} \quad (4.4)$$

gdzie: Nu - liczba Nusselta, -;

α - współczynnik wnikania ciepła, $W/(m^2 \cdot K)$;

DN - średnica wewnętrzna rury, m;

λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $W/(m \cdot K)$.



Rysunek 4.1. Mechanizmy przenikania ciepła (Zarzycki, 2010); $T_{1,2}$ – temperatura przy danej stronie ścianki, K; $T_{f1, f2}$ – temperatura czynników przepływających przez ściankę, K; $\alpha_{1,2}$ – współczynnik wnikania ciepła, $W/(m^2 \cdot K)$; λ – współczynnik przewodzenia ciepła $W/(m \cdot K)$;
 q – gęstość strumienia ciepła, W/m^2

Ze wzoru (4.4) wynika, że liczba Nusselta określa stosunek szybkości wymiany ciepła w wyniku konwekcji do szybkości wymiany ciepła w wyniku przewodnictwa cieplnego (Zarzycki, 2010).

W przypadku konwekcji wymuszonej rozpatruje się wartości liczby Prandtla oraz liczby Reynoldsa. Pierwszy parametr charakteryzuje płyn pod względem właściwości fizykochemicznych i opisany jest formułą (4.5) (Kmieć, 2005; Zarzycki, 2010).

$$Pr = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} \quad (4.5)$$

gdzie: Pr - liczba Prandtla, -;
 c_p - ciepło właściwe cieczy, J/kg·K;
 η - lepkość dynamiczna cieczy, Pa·s;
 λ - współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K).

W przypadku gazów liczba Prandtla jest wielkością stałą dla szerokiego zakresu ciśnień i temperatury i zależy wyłącznie od ilości atomów w cząsteczce (Hobler, 1970).

Z kolei liczba Reynoldsa pozwala ocenić charakter przepływu cieczy na podstawie jego głównych parametrów zgodnie z równaniem (4.6).

$$Re = \frac{v \cdot DN \cdot \rho}{\eta} \quad (4.6)$$

gdzie: Re - liczba Reynoldsa, -;
 v - prędkość przepływu cieczy, m/s;
 DN - średnica wewnętrzna rury, m;
 ρ - gęstość cieczy, kg/m³;
 η - lepkość dynamiczna cieczy, Pa·s.

Równanie kryterialne właściwe dla konwekcji wymuszonej, opisane jest formułą (4.7).

$$Nu = c \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot \left(\frac{d}{L}\right) \quad (4.7)$$

gdzie: Nu - liczba Nusselta, -;
 a, b, c - stałe charakterystyczne dla układu, -;
 Re - liczba Reynoldsa, -;
 Pr - liczba Prandtla, -;
 d/L - liczba podobieństwa geometrycznego, -.

Dla konwekcji naturalnej również rozpatruje się liczbę Prandtla, a dodatkowo konieczne jest wyznaczenie wartości charakterystycznej liczby Grashofa, która określa stosunek siły wyporu do sił lepkości w poszczególnych punktach płynu. Jej wartość może być obliczona zgodnie z równaniem (4.8) (Kostowski, 2000).

$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \beta \cdot \Delta T'}{v_k^2} \quad (4.8)$$

- gdzie: Gr - liczba Grashofa, -;
 g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ;
 l - charakterystyczny wymiar liniowy, m;
 β - współczynnik rozszerzalności objętościowej, $1/K$;
 $\Delta T'$ - różnica między temperaturą powierzchni ściany, a temperaturą ośrodka, K;
 v_k - kinetyczny współczynnik lepkości, m^2/s .

Dla konwekcji naturalnej, przy wnikaniu ciepła do przestrzeni nieograniczonej i w przypadku, gdy liczba Prandtla przyjmuje wartości większe bądź równe 0,5, wartość stałej C i wykładnika m wynikają z iloczynu liczb Grashofa i Prandtla. W tym przypadku równanie kryterialne przyjmuje postać zgodną z formułą (4.9) (Kostowski, 2000; Hobler, 1970).

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m \quad (4.9)$$

- gdzie: Nu - liczba Nusselta, -;
 C - stała zależna od iloczynu liczb Prandtla i Grashofa,-;
 Gr - liczba Grashofa, -;
 Pr - liczba Prandtla, -;
 m - wykładnik zależny od iloczynu liczb Prandtla i Grashofa, -.

Wartości dla stałych w równaniu kryterialnym konwekcji naturalnej przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Wartości stałych dla równania kryterialnego konwekcji swobodnej (Hobler, 1970)

Wartość iloczynu liczb Grashofa i Prandtla	Stała C	Wykładnik m	Charakter przepływu płynu
$10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8	Ruch laminarny
$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4	Ruch przejściowy
$2 \cdot 10^7 \div 10^{13}$	0,135	1/3	Ruch burzliwy

Dla iloczynu liczb Grashofa i Prandtla, którego wartość jest mniejsza niż 10^{-3} liczba Nusselta przyjmuje stałą wartość równą 0,45. Współczynnik C wynosi 0,45, natomiast wykładnik m jest równy 0. Zatem proces wnikania ciepła w takich warunkach określa przewodnictwo cieplne płynu (Hobler, 1970).

W przypadku, gdy rozpatruje się przestrzeń ograniczoną, wyznaczanie współczynnika wnikania ciepła α może być skomplikowane z uwagi na małe wymiary powierzchni. Nie jest możliwe określenie współczynników wnikania ciepła α oddzielnie dla czynnika oddającego i odbierającego ciepło. Gdy iloczyn liczb Grashofa i Prandtla jest mniejszy niż wartość 10^{-3} przyjmuje się, że równoważny współczynnik przewodzenia ciepła λ_z jest taki sam jak współczynnik rzeczywisty λ . W przypadku, gdy iloczyn liczb Grashofa i Prandtla przekracza wartość 10^{-3} właściwa staje się zależność opisana wzorem (4.10), a miarę równoważnego współczynnika przewodzenia ciepła λ_z określa się dla uśrednionej temperatury między ścianą cieplejszą, a zimniejszą (Kmieć, 2005; Hobler, 1970).

$$\frac{\lambda_z}{\lambda} = 0,18 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad (4.10)$$

gdzie: λ_z - równoważny współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
 λ - współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
 Gr - liczba Grashofa, - ;
 Pr - liczba Prandtla, -.

4.2. Ustalony proces przewodzenia ciepła przez ściankę płaską

Jednostkowy strumień cieplny bądź gęstość strumienia cieplnego można opisać, jako stosunek strumienia cieplnego \dot{Q} do pola powierzchni przewodzenia ciepła A . Zgodnie z opisanym procesem, szybkość przewodzenia ciepła przy ustalonym kierunku w układzie można przedstawić za pomocą formuły (4.11). Zależność ta jest powszechnie znana jako równanie Fouriera (Pudlik, 2012; Zarzycki, 2010).

$$q = \frac{\dot{Q}}{A} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad (4.11)$$

gdzie: q - gęstość strumienia ciepła, W/m²;
 \dot{Q} - strumień ciepła, W;
 A - powierzchnia wymiany ciepła, m²;
 λ - współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
 dT/dx - gradient temperatury, K/m.

Określenie strumienia ciepła przewodzonego przez ściankę płaską o znanej grubości δ wymaga rozpoznania wartości temperatur $T_{f1,f2}$ dla przepływających czynników, a także temperatur $T_{1,2}$ przy każdej ze stron rozpatrywanej ścianki (Rysunek 4.2 i Rysunek 4.3). Analiza wymaga również określenia wartości charakterystycznej dla współczynnika przewodzenia ciepła λ w oparciu o znajomość budowy ścianki (Pudlik, 2012).

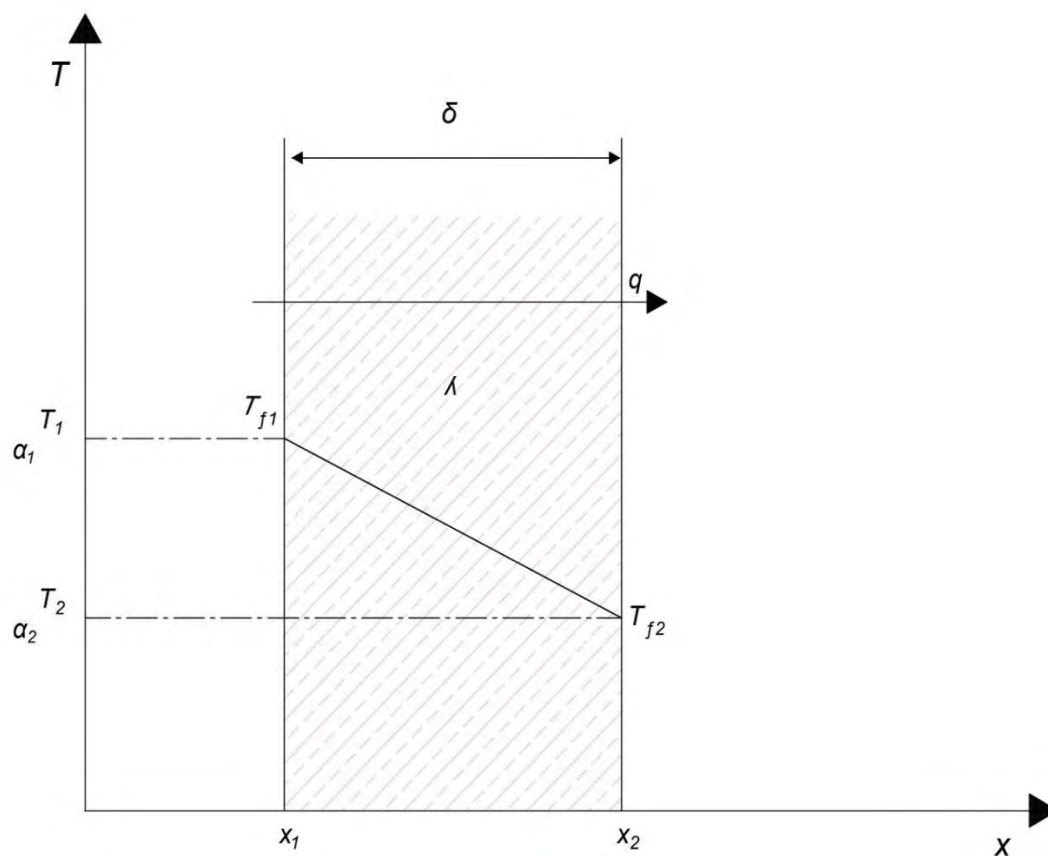
Gęstość strumienia ciepła q przewodzonego przez warstwę ścianki płaskiej przy ustalonych warunkach brzegowych można wyznaczyć na podstawie formuły Fouriera (4.11), która po przekształceniu może przyjąć postać równania (4.12) (Pudlik, 2012).

$$q \int_{x_1}^{x_2} dx = -\lambda \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT \quad (4.12)$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.13)$$

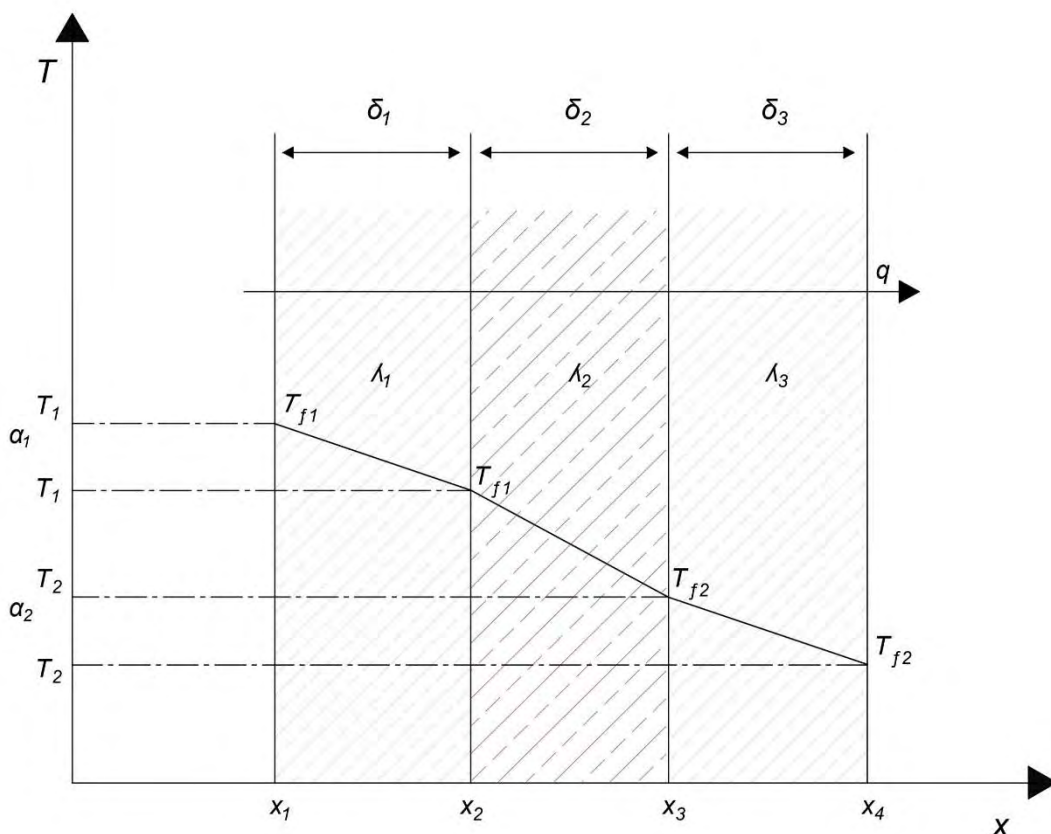
- gdzie: q - gęstość strumienia ciepła, W/m^2 ;
 A - powierzchnia wymiany ciepła, m^2 ;
 λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $W/(m \cdot K)$;
 $T_{1,2}$ - temperatura przy danej stronie ścianki, K ;
 $x_{1,2}$ - współrzędne położenia warstw, m ;
 δ - grubość ścianki, m .

Schemat ruchu ciepła dla ścianki jednowarstwowej i wielowarstwowej zobrazowano kolejno na rysunku 4.2 i rysunku 4.3.



Rysunek 4.2. Przewodzenie ciepła przez ściankę płaską jednowarstwową (Pudlik, 2012)

$T_{1,2}$ - temperatura przy danej stronie ścianki, K ; $T_{f1, f2}$ - temperatura przepływających czynników, K ;
 $x_{1,2,3,4}$ - współrzędne położenia warstw, m ; Q - strumień ciepła, W ; $\alpha_{1,2}$ - współczynnik wnikania ciepła, $W/(m^2 \cdot K)$; λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $W/(m \cdot K)$; $\delta_{1,2,3}$ - grubość ścianki, m



Rysunek 4.3. Przewodzenie ciepła przez ściankę płaską wielowarstwową (Pudlik, 2012)
 $T_{1,2}$ – temperatura przy danej stronie ścianki, K; $T_{f1, f2}$ – temperatura przepływających czynników, K;
 $x_{1,2,3,4}$ – współrzędne położenia warstw, m; $\alpha_{1,2}$ – współczynnik wnikanía ciepła, W/(m²·K);
 $\lambda_{1,2,3}$ – współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K); $\delta_{1,2,3}$ – grubość ścianki, m

Dla ustalonych warunków procesu przewodzenia ciepła przez ściankę płaską, wartość mocy cieplnej \dot{Q} wynika z równania (4.14). W procesie przenikania, moc cieplna \dot{Q} zostaje przejęta od ścianki płaskiej przez czynnik, co wyraża formuła (4.15) (Wolańczyk, 2007).

$$\dot{Q} = A \cdot \frac{\lambda}{\delta} \cdot (T_1 - T_2) = A \cdot q \quad (4.14)$$

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha \cdot (T_{f1} - T_{f2}) = A \cdot q \quad (4.15)$$

- gdzie:
- \dot{Q} - strumień ciepła, W;
 - A - powierzchnia wymiany ciepła, m²;
 - α - współczynnik wnikanía ciepła, W/(m²·K);
 - λ - współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
 - δ - grubość ścianki, m;
 - $T_{1,2}$ - temperatura przy danej stronie ścianki, K;
 - $T_{f1, f2}$ - temperatura przepływających czynników, K;
 - q - gęstość strumienia ciepła, W/m².

Rozkład temperatury w procesie przenikania ciepła przez ściankę płaską można opisać równaniem (4.16) (Wolańczyk, 2007).

$$q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) = T_{f1} - T_{f2} \quad (4.16)$$

gdzie: q - gęstość strumienia ciepła, W/m²;
 $\alpha_{1,2}$ - współczynnik wnikania ciepła, W/(m²·K);
 λ - współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
 δ - grubość ścianki, m;
 $T_{f1, f2}$ - temperatura przepływających czynników, K.

Przy uwzględnieniu współczynnika przenikania ciepła k formuła przyjmuje postać równania (4.17) (Wolańczyk, 2007).

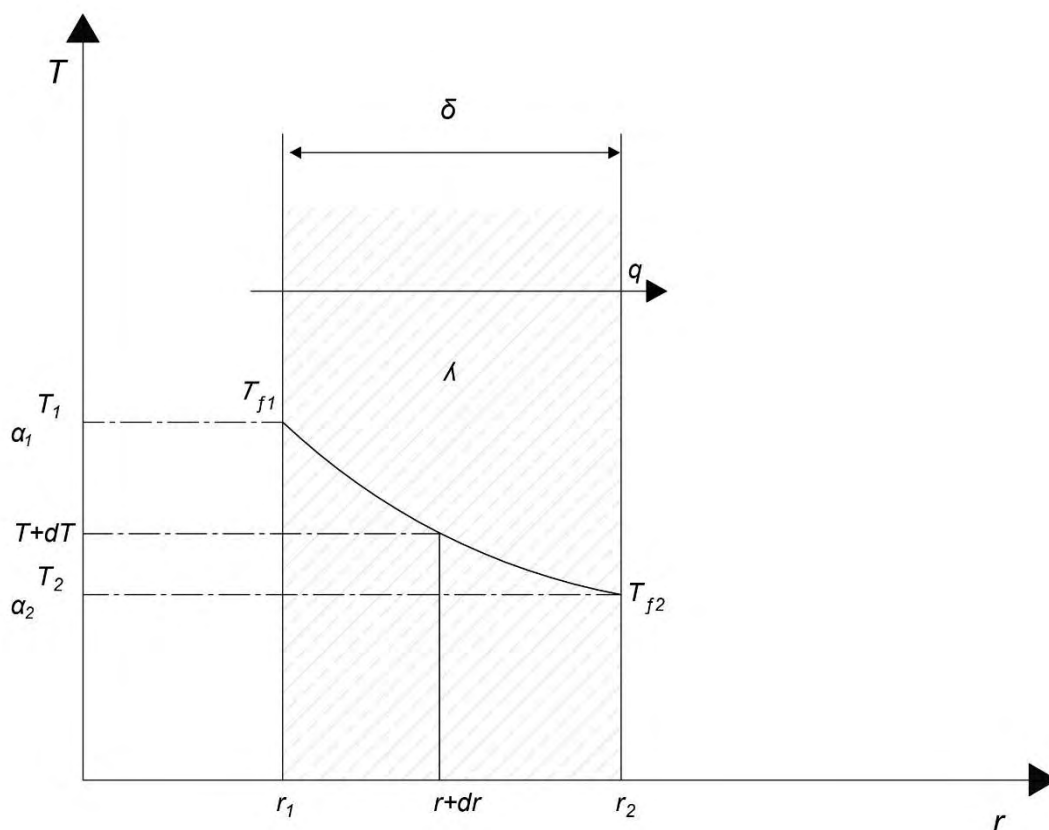
$$q = u \cdot (T_{f1} - T_{f2}) \quad (4.17)$$

gdzie: q - gęstość strumienia ciepła, W/m²;
 u - współczynnik przenikania ciepła, W/(m²·K);
 $T_{f1, f2}$ - temperatura przepływających czynników, K.

Współczynnik u jest wartością odwrotnie proporcjonalną do oporu cieplnego R . Chcąc wyznaczyć wartość parametru u niezbędne jest określenie charakterystycznych współczynników wnikania ciepła α oraz znajomość grubości ścianki δ i współczynnika przewodzenia ciepła λ (Wolańczyk, 2007).

4.3. Ustalony proces przewodzenia ciepła przez ściankę cylindryczną

Wraz ze stopniowym zwiększaniem się powierzchni wymiany ciepła A , a więc wraz ze zmianą wartości promienia r równanie Fouriera opisane dla ścianek cylindrycznych zmienia swoją postać. Mechanizm przewodzenia ciepła dla ścianki cylindrycznej zachodzący w warunkach ustalonych zobrazowano na rysunku 4.4 (Pudlik, 2012).



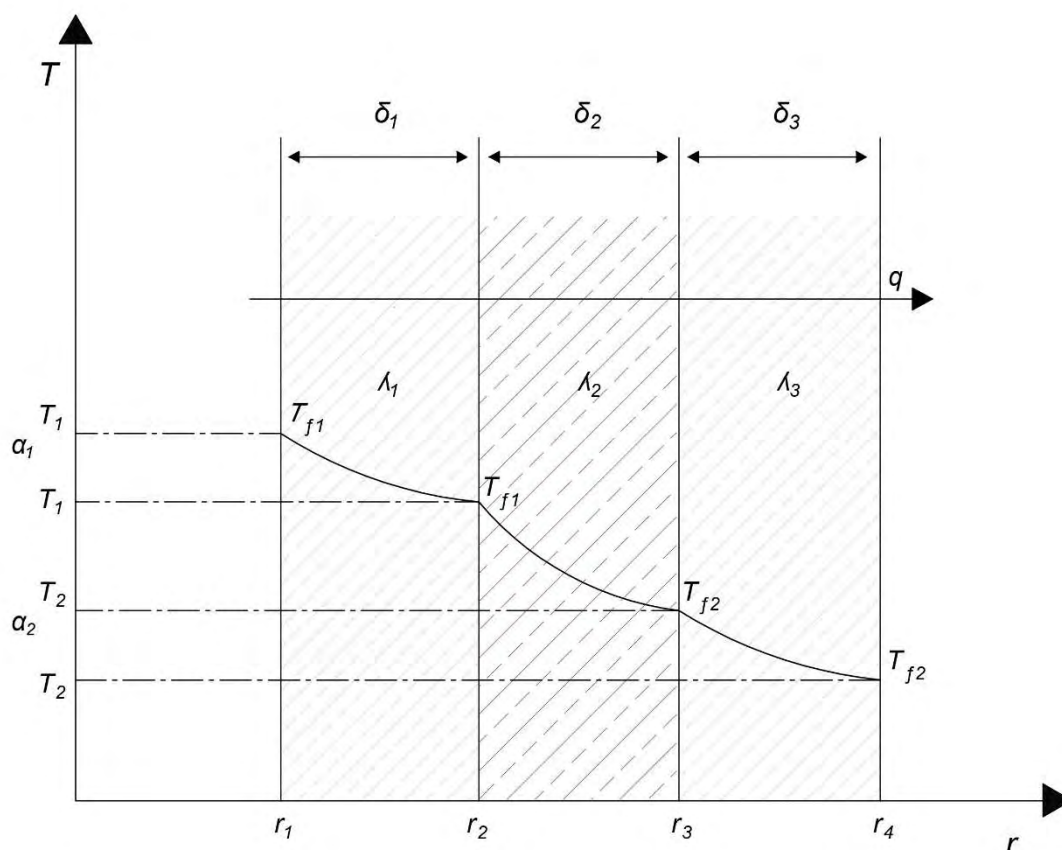
Rysunek 4.4. Przewodzenie ciepła przez ściankę cylindryczną jednowarstwową (Pudlik, 2012)
 $T_{1,2}$ – temperatura przy danej stronie ścianki, K; $T_{f1, f2}$ – temperatura przepływających czynników, K;
 r_1 – promień wewnętrzny, m; r_2 – promień zewnętrzny, m; $\alpha_{1,2}$ – współczynnik wnikańia ciepła,
 W/(m²·K); λ – współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K); δ – grubość ścianki, m

Formuła Fouriera dla przedstawionych warunków obliczeniowych została opisana równaniem (4.18), a po przekształceniu i całkowaniu w granicach prawidłowy jest zapis ujęty zależnością (4.19).

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot 2 \cdot \Pi \cdot r \cdot L \cdot \frac{dT}{dr} \quad (4.18)$$

$$\dot{Q} = \lambda \cdot \frac{2 \cdot \Pi \cdot L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.19)$$

- gdzie:
- q – gęstość strumienia ciepła, W/m²;
 - $\alpha_{1,2}$ – współczynnik wnikańia ciepła, W/(m²·K);
 - λ – współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
 - $r_{1,2}$ – promień zewnętrzny i wewnętrzny rury, m;
 - L – długość rury, m;
 - $T_{1,2}$ – temperatura przy danej stronie ścianki, K.



Rysunek 4.5. Przewodzenie ciepła przez ściankę cylindryczną wielowarstwową (Pudlik, 2012)
 $T_{1,2}$ – temperatura przy danej stronie ścianki, K; $T_{f1, f2}$ – temperatura przepływających czynników, K;
 $r_{1,3}$ – promień wewnętrzny, m; $r_{2,4}$ – promień zewnętrzny, m; $\alpha_{1,2,3}$ – współczynnik wnikania
 ciepła, W/(m²·K); $\lambda_{1,2,3}$ – współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K); $\delta_{1,2,3}$ – grubość ścianki, m

Strumień ciepła przenikającego przez ściankę cylindryczną maleje wzdłuż promienia. Uwzględniając współczynnik przenikania ciepła k zależność tą można opisać zgodnie z równaniem (4.20) (Pudlik, 2012).

$$\dot{Q} = \Pi \cdot DN \cdot L \cdot u_1 \cdot (T_{f1} - T_{f2}) = \Pi \cdot DN \cdot L \cdot u_2 \cdot (T_{f1} - T_{f2}) \quad (4.20)$$

gdzie: \dot{Q} – strumień ciepła, W;
 $u_{1,2}$ – współczynnik przenikania ciepła, W/(m²·K);
 DN – średnica wewnętrzna rury, m;
 L – długość rury, m;
 $T_{f1, f2}$ – temperatura przepływających czynników, K.

Wartości współczynników przenikania ciepła k można określić na podstawie równań (4.21) i (4.22), które są właściwe przy wyznaczaniu zmiennej k kolejno w przypadku powierzchni wewnętrznej i powierzchni zewnętrznej ścianki cylindrycznej (Pudlik, 2012).

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{A_1 \cdot \ln \frac{D}{DN}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda} + \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.21)$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{1}{\alpha_1} + \frac{A_2 \cdot \ln \frac{D}{DN}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.22)$$

gdzie: $A_{1,2}$ - powierzchnia wymiany ciepła, m²;
 λ - współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K);
 $\alpha_{1,2}$ - współczynnik wnikania ciepła, W/(m²·K);
 L - długość rury, m;
 D - średnica zewnętrzna rury, m;
 DN - średnica wewnętrzna rury, m.

Dla termicznie ustalonego stanu procesu odzysku ciepła w wymienniku możliwe jest określenie mocy cieplnej pobieranej przez czynnik o wyższej temperaturze i oddawanej przez czynnik o temperaturze niższej (*Wolańczyk, 2007*).

Wyznaczenie bilansu cieplnego wymaga ujęcia strumieni ciepła wprowadzonych i wyprowadzonych z rozpatrywanego układu, a także uwzględnienia strumienia ciepła generowanego w tym układzie. Zależność ta wynika z relacji opisanej równaniem (4.23).

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_{w1} - T_{w2}) = \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_{w3} - T_{w4}) \quad (4.23)$$

gdzie: \dot{Q} - strumień ciepła, W;
 $\dot{m}_{1,2}$ - przepływ masowy cieczy chłodzonej i ogrzewanej, kg/s;
 $c_{p1,2}$ - ciepło właściwe cieczy, J/kg·K;
 $T_{w1,w2}$ - temperatura cieczy chłodzonej na wlocie i wylocie z wymiennika, K;
 $T_{w3,w4}$ - temperatura cieczy ogrzewanej na wlocie i wylocie z wymiennika, K.

Przy uwzględnieniu zmian wartości temperatury przepływających cieczy wzdłuż ich prądów i z założeniem stałej wartości współczynnika przenikania ciepła k moc cieplna Q może być określona zgodnie z równaniem (4.24). Przedstawiona zależność wskazuje również na całkowite wykorzystanie powierzchni wymiany ciepła. Średnia logarytmiczna różnica temperatur ΔT_{ln} między cieczą chłodzącą, a ogrzewaną jest wartością uśrednioną dla całkowitej powierzchni wymian ciepła A . Dla współprądu i przeciwprądu średnia logarytmiczna różnica temperatur może być wyznaczana z wykorzystaniem formuły (4.25) (*Wolańczyk, 2007*).

$$\dot{Q} = u_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_{ln} = u_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_{ln} \quad (4.24)$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'}} \quad (4.25)$$

- gdzie: \dot{Q} - strumień ciepła, W;
 $u_{1,2}$ - współczynnik przenikania ciepła, W/(m²·K);
 $A_{1,2}$ - powierzchnia wymiany ciepła, m²;
 ΔT_{ln} - średnia logarytmiczna różnica temperatur, K;
 $\Delta t, t'$ - średnia różnica temperatur cieczy ogrzewanej i chłodzonej, K.

5. Konfiguracje instalacji przygotowania c.w.u. z odzyskiem ciepła

5.1. Wprowadzenie

Odzysk ciepła odpadowego ze ścieków w budynkach mieszkalnych może być realizowany zbiorczo bądź indywidualnie (Kimmels, 2011; Juan i in., 2016). W pierwszym przypadku zastosowanie znajdują wymienniki, do których ścieki dopływają z kilku punktów sanitarnych, natomiast wykorzystanie jednostek indywidualnych wiąże się z ich montażem bezpośrednio przy odpływie ścieków z przyboru sanitarnego.

Wymienniki ciepła przeznaczone do montażu bezpośrednio przy przyborze sanitarnym mogą być instalowane według trzech charakterystycznych konfiguracji projektowych, odmiennych pod względem prowadzenia przewodów wody zimnej i wody wstępnie podgrzanej w instalacji przygotowania c.w.u. (Kimmels, 2011).

Przyjęcie określonej konfiguracji systemu *DWHR* jest ściśle zależne od rozwiązania projektowego instalacji przygotowania c.w.u. i instalacji kanalizacyjnej (zwłaszcza w przypadku istniejącego obiektu) w tym m.in. od odległości podgrzewacza wody względem punktu sanitarnego, dostępności miejsca pod zabudowę wymiennika ciepła, rodzaju stosowanego wymiennika, a także dostępnych środków finansowych.

Wybór konfiguracji systemu *DWHR* determinuje efektywność wymiennika ε_T jak i efektywność odzysku ciepła ε , gdyż decyduje o stosunku przepływu ścieków i wody w wymienniku ciepła (Cooperman i Brodrick, 2011; Słyś, 2011).

5.2. Konfiguracja I

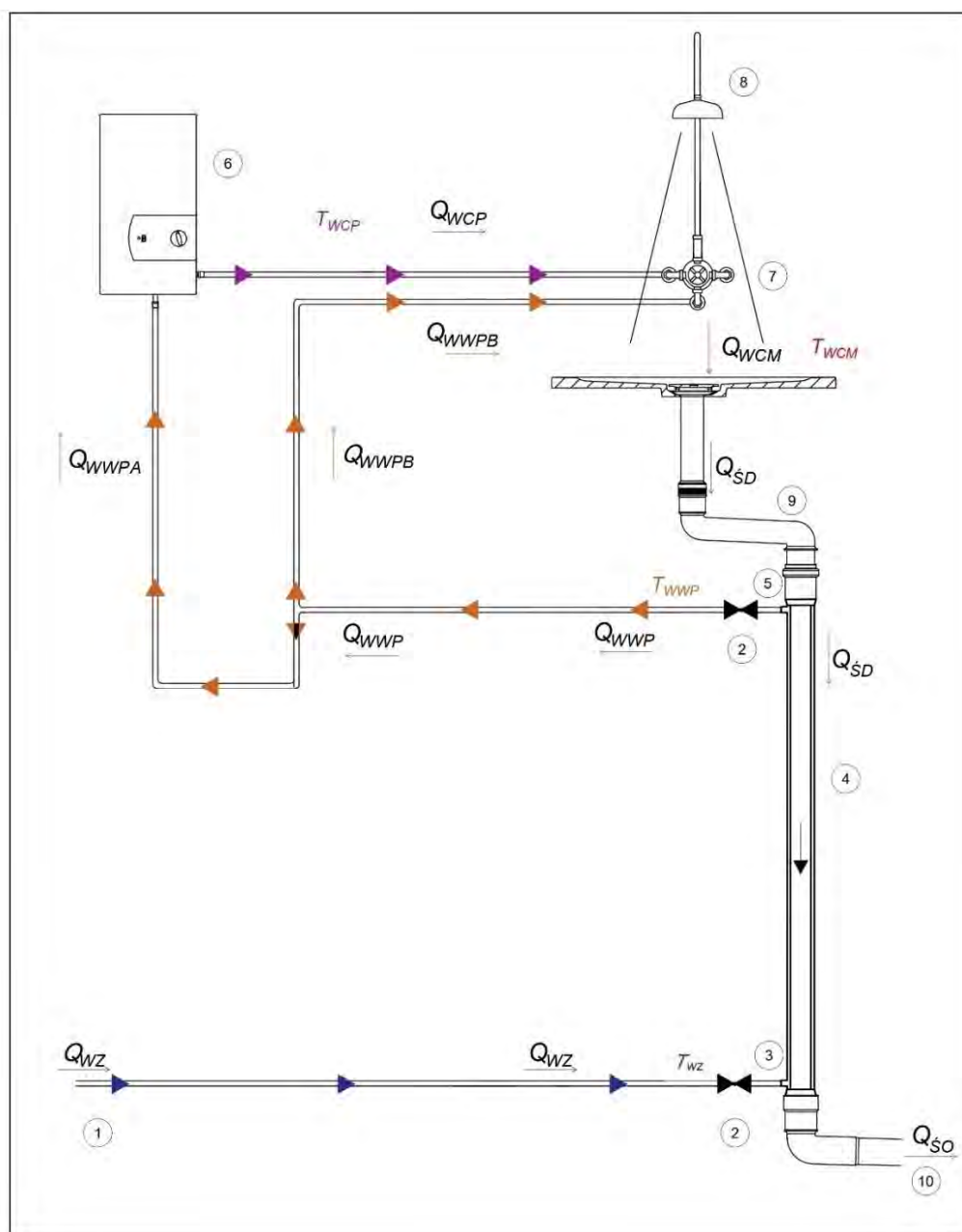
W wariantcie opisanym jako *Konfiguracja I* zimna woda wodociągowa po dopływie (1) do instalacji przygotowania c.w.u. przepływając przez zawór odcinający (2) jest kierowana do króćca wlotowego (3) pionowego wymiennika ciepła (4).

Strumień wody zimnej Q_{WZ} doprowadzany jest do pionowego wymiennika (4), w którym zachodzi proces odbioru energii cieplnej zdeponowanej w ściekach szarych dopływających do wymiennika ciepła (4). Woda wstępnie podgrzana Q_{WWP} wypływa króćcem wylotowym (5) a następnie przepływa przez zawór odcinający (2) po czym strumień objętości wody wstępnie podgrzanej Q_{WWP} jest rozdzielany na strumień Q_{WWPA} dopływający do podgrzewacza wody (6) i strumień Q_{WWPB} dopływający do zaworu mieszającego (7).

Strumień Q_{WCP} wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza wody (6) jest kierowany do zaworu mieszającego (7), gdzie miesza się ze strumieniem wody wstępnie podgrzanej Q_{WWPB} . Strumień wody zmieszanej Q_{WCM} na wyjściu z zaworu (7) jest kierowany do wylewki prysznicowej (8).

Ścieki szare powstałe w wyniku użytkowania przyboru sanitarnego są kierowane przewodem dopływowym (9) do wymiennika ciepła (4), a następnie do przewodu odpływowego instalacji kanalizacyjnej (10).

Układ instalacji odzysku ciepła i przygotowania *c.w.u.* zgodny z *Konfiguracją I*, gdzie woda wstępnie podgrzana Q_{WWP} kierowana jest zarówno do podgrzewacza (6) jak i do zaworu mieszającego (7) został przedstawiony na rysunku 5.1.



Rysunek 5.1. Schemat układu przewodów *Konfiguracji I* instalacji przygotowania c.w.u. i systemu odzysku ciepła odpadowego;

1 – dopływ zimnej wody do instalacji; 2 – zawór odcinający; 3 – króciec wlotowy do wymiennika ciepła; 4 – wymiennik ciepła typu „rura w rurze”; 5 – króciec wylotowy z wymiennika ciepła; 6 – podgrzewacz c.w.u.; 7 – zawór mieszający; 8 – wylewka prysznic; 9 – przewód dopływowy ścieków szarych do wymiennika ciepła; 10 – przewód odpływowy ścieków szarych do instalacji kanalizacyjnej; Q_{WZ} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do instalacji; Q_{WZA} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do wymiennika ciepła; Q_{WWP} – strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na wypływie z króćca wylotowego wymiennika ciepła; Q_{WWPA} – strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza wody; Q_{WWPB} – strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego; Q_{WCP} – strumień objętości wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza wody; Q_{WCM} – strumień objętości wody zmieszanej na wypływie z zaworu mieszającego; Q_{SD} – strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła; Q_{SO} – strumień objętości ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła; T_{WZ} – temperatura wody zimnej na dopływie do instalacji; T_{WWP} – temperatura wody wstępnie podgrzanej; T_{WCP} – temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego; T_{WCM} – temperatura wody zmieszanej w termostycznym zaworze mieszającym; T_{SD} – temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła; T_{SO} – temperatura ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła

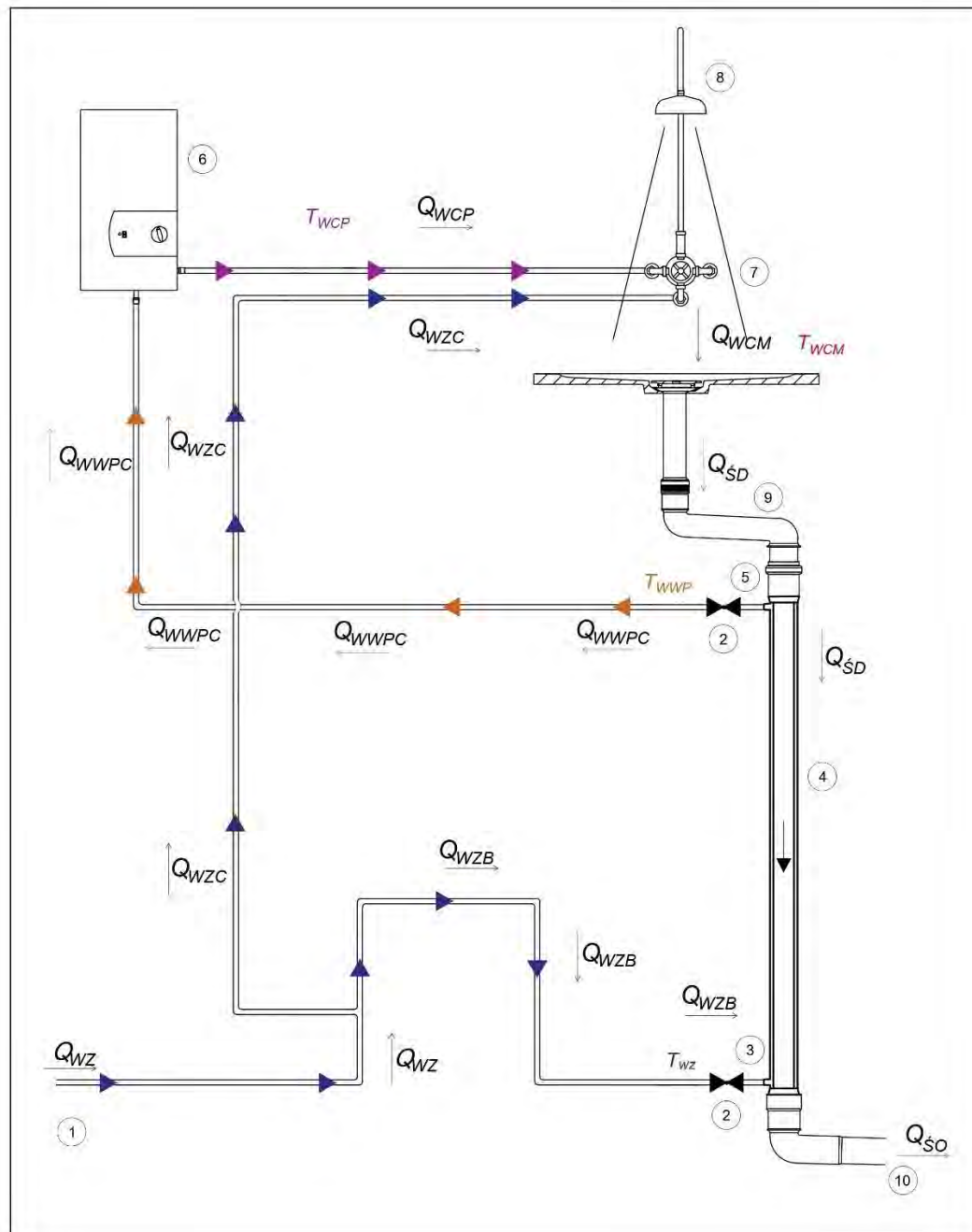
5.3. Konfiguracja II

W Konfiguracji II strumień objętości wody zimnej Q_{WZ} po dopływie do instalacji (1) przygotowania *c.w.u.* zostaje rozdzielony na dwa strumienie. Pierwszy z nich tj. strumień wody zimnej Q_{WZB} dopływa do przewodu, na którym zlokalizowany jest zawór odcinający (2) poprzedzający króciec wlotowy (3) wymiennika ciepła (4), po czym strumień ten przeciwnieprądowo przepływa w kierunku króćca wylotowego (5) wymiennika ciepła (4) odbierając energię cieplną zdeponowaną w odprowadzanych ściekach szarych. Na przewodzie odpływowym na trasie z króćca wylotowego (5) wymiennika ciepła (4) do podgrzewacza wody (6), którym przepływa strumień wody wstępnie podgrzanej Q_{WWPC} zlokalizowany jest zawór odcinający (2).

Drugi, charakterystyczny strumień wody zimnej Q_{WZC} kierowany jest bezpośrednio do zaworu mieszającego (7), gdzie miesza się on ze strumieniem wody ciepłej Q_{WCP} odpływającym z podgrzewacza *c.w.u.* (6). Strumień wody zmieszanej Q_{WCM} kierowany jest do wylewki prysznic (8).

Strumień ścieków szarych Q_{SD} powstających w wyniku użytkowania przyboru sanitarnego kierowany jest do przewodu dopływowego dla ścieków szarych (9) do wymiennika ciepła. Ostatni charakterystyczny odcinek instalacji obejmuje przewód odpływowy dla ścieków szarych do instalacji kanalizacyjnej (10).

Układ instalacji odzysku ciepła i przygotowania *c.w.u.* w Konfiguracji II, gdzie woda wstępnie podgrzana kierowana jest do podgrzewacza wody przedstawiono na rysunku 5.2.



Rysunek 5.2. Schemat układu przewodów *Konfiguracji II* instalacji przygotowania c.w.u. i systemu odzysku ciepła odpadowego;

1 – dopływ zimnej wody do instalacji; 2 – zawór odcinający; 3 – króciec wlotowy do wymiennika ciepła; 4 – wymiennik ciepła typu „rura w rurze”; 5 – króciec wylotowy z wymiennika ciepła; 6 – podgrzewacz c.w.u.; 7 – zawór mieszający; 8 – wylewka prysznic; 9 – przewód dopływowy ścieków szarych do wymiennika ciepła; 10 – przewód odpływowy ścieków szarych do instalacji kanalizacyjnej; Q_{WZ} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do instalacji; Q_{WZB} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do wymiennika ciepła; Q_{WZC} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do zaworu mieszającego; Q_{WWPC} – strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza wody; Q_{WCP} – strumień objętości wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza wody; Q_{WCM} – strumień objętości wody zmieszanej na wypływie z zaworu mieszającego; Q_{SD} – strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła; Q_{SO} – strumień objętości ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła; T_{WZ} – temperatura wody zimnej na dopływie do instalacji; T_{WWP} – temperatura wody wstępnie podgrzanej; T_{WCP} – temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego; T_{WCM} – temperatura wody zmieszanej w termostycznym zaworze mieszającym; T_{SD} – temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła; T_{SO} – temperatura ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła

5.4. Konfiguracja III

W Konfiguracji III systemu odzysku ciepła ze ścieków szarych strumień wody zimnej Q_{WZ} po dopływie do instalacji (1) rozdzielany jest na dwa charakterystyczne strumienie wody zimnej tj. strumień Q_{WZD} oraz strumień Q_{WZE} .

Strumień wody zimnej Q_{WZD} przepływa przewodem, na którym zamontowany jest zawór odcinający (2) poprzedzający króciec wlotowy (3) do wymiennika ciepła (4).

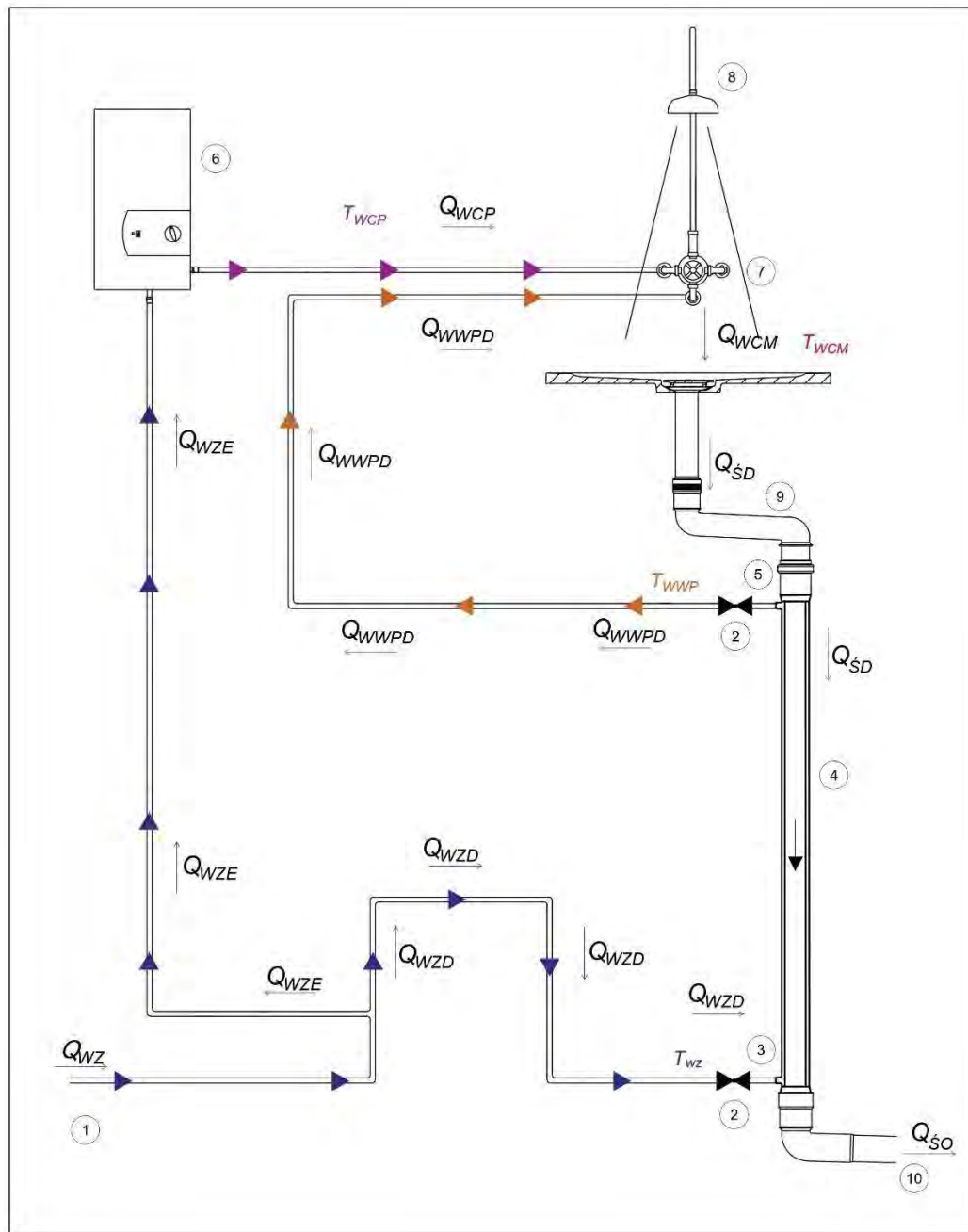
Strumień wody wstępnie podgrzanej Q_{WWPD} po wypływie z króćca wylotowego (5) wymiennika (4) przepływając przez zawór odcinający (2) kierowany jest do zaworu mieszającego (7).

Strumień wody zimnej Q_{WZE} kierowany jest do podgrzewacza wody (6) skąd już jako strumień wody ciepłej Q_{WCP} kierowany jest do zaworu mieszającego (7).

Strumień wody zmieszanej Q_{WCM} po wypływie z zaworu mieszającego (7) doprowadzany jest do wylewki prysznicza (8).

Ścieki szare kierowane są przewodem dopływowy (9) do wymiennika ciepła (4) po czym przewodem odpływowy (10) odpływają do instalacji kanalizacyjnej.

Układ hydrauliczny instalacji odzysku ciepła i przygotowania c.w.u. w Konfiguracji III, gdzie woda wstępnie podgrzana kierowana jest do zaworu mieszającego przedstawiono na rysunku 5.3.



Rysunek 5.3. Schemat układu przewodów *Konfiguracji III* instalacji przygotowania c.w.u. i systemu odzysku ciepła odpadowego;

1 – dopływ zimnej wody do instalacji; 2 – zawór odcinający; 3 – króciec wlotowy do wymiennika ciepła; 4 – wymiennik ciepła typu „rura w rurze”; 5 – króciec wylotowy z wymiennika ciepła; 6 – podgrzewacz c.w.u.; 7 – zawór mieszający; 8 – wylewka prysznic; 9 – przewód dopływowy ścieków szarych do wymiennika ciepła; 10 – przewód odpływowy ścieków szarych do instalacji kanalizacyjnej; Q_{WZ} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do instalacji; Q_{WZD} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do wymiennika ciepła; Q_{WZE} – strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do podgrzewacza wody; Q_{WWPD} – strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego; Q_{WCP} – strumień objętości wody cieplej na wypływie z podgrzewacza elektrycznego; Q_{WCM} – strumień objętości wody zmieszanej na wypływie z zaworu mieszającego; Q_{SD} – strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła; Q_{SO} – strumień objętości ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła; T_{WZ} – temperatura wody zimnej na dopływie do instalacji; T_{WWP} – temperatura wody wstępnie podgrzanej; T_{WCP} – temperatura wody cieplej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego; T_{WCM} – temperatura wody zmieszanej w termostaticznym zaworze mieszającym; T_{SD} – temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła; T_{SO} – temperatura ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła

6. Efektywność odbioru energii zdeponowanej w ściekach

6.1. Efektywność temperaturowa wymiennika ciepła

Efektywność urządzeń do odzyskiwania energii ze ścieków w instalacjach kanalizacyjnych można ocenić na podstawie wartości efektywności temperaturowej ε_T . Parametr ten jest powszechnie stosowany do oceny możliwości odzysku ciepła w wymienniku, a wynika z zależności opisanej wzorem (6.1) (Manouchehri, 2020; Pochwat i in., 2019).

$$\varepsilon_T = \frac{T_{WWP} - T_{WZ}}{T_{WCM} - T_{WZ}} \cdot 100\% \quad (6.1)$$

- gdzie: T_{WWP} - temperatura wody wstępnie podgrzanej na wypływie z wymiennika ciepła, °C;
- T_{WZ} - temperatura zimnej wody wodociągowej dopływającej do instalacji przygotowania c.w.u., °C;
- T_{WCM} - temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego, °C.

6.2. Efektywność systemu odzysku ciepła

Efektywność energetyczna systemu odzysku ciepła zdeponowanego w ściekach szarych, którego rozwiązanie techniczne jest zgodne z *Konfiguracją I*, *Konfiguracją II* oraz *Konfiguracją III* może być wyznaczone zgodnie z wzorem (6.2) (Dudkiewicz i in., 2019).

$$\varepsilon = \frac{E_{KON} - E_{DWHR}}{E_{KON}} \cdot 100\% \quad (6.2)$$

- gdzie: E_{KON} - zapotrzebowanie na energię cieplną potrzebną do podgrzania wody w systemie konwencjonalnym, kWh;
- E_{DWHR} - zapotrzebowanie na energię cieplną potrzebną do podgrzania wody w systemie *DWHR*, kWh.

Zapotrzebowanie na energię cieplną E_{KON} potrzebną do podgrzania wody w instalacji, w której nie przewiduje się montażu wymiennika ciepła (określonej w pracy mianem systemu konwencjonalnego) przyjmuje postać równania (6.3) (Eslami-Nejad i Bernier, 2009).

$$E_{KON} = \rho_w \cdot c_p \cdot t_s \cdot Q_{WCP} \cdot (T_{WCP} - T_{WZ}) \quad (6.3)$$

- gdzie: ρ_w - gęstość wody, kg/m³;
- c_p - ciepło właściwe wody, J/(kgK);
- t_s - czas korzystania z przyboru sanitarnego, s;

- Q_{WCP} - strumień objętości wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza wody, m^3/s ;
- T_{WCP} - temperatura ciepłej wody na wypływie z podgrzewacza, $^{\circ}C$;
- T_{WZ} - temperatura wody zimnej doprowadzanej do instalacji, $^{\circ}C$.

Zapotrzebowanie na energię E_{DWHR} do celów przygotowania *c.w.u.* w instalacjach, w których stosuje się wymienniki ciepła (określonej w pracy mianem systemu *DWHR*), którego aplikacja jest zgodna z rozwiązaniem projektowym *Konfiguracja I* i *Konfiguracja II* może być wyznaczone zgodnie z wzorem (6.4). W systemie zaprojektowanym według rozwiązania *Konfiguracja III* zapotrzebowanie na energię do podgrzania wody w celach użytkowych jest możliwe przy wykorzystaniu formuły obliczeniowej (6.5).

$$E_{DWHR I,II} = \rho_w \cdot c_p \cdot t_s \cdot Q_{WCP} \cdot (T_{WCP} - T_{WWP}) \quad (6.4)$$

$$E_{DWHR III} = \rho_w \cdot c_p \cdot t_s \cdot Q_{WCP} \cdot (T_{WCP} - T_{WZ}) \quad (6.5)$$

- gdzie: ρ_w - gęstość wody, kg/m^3 ;
- c_p - ciepło właściwe wody, $J/(kgK)$;
- t_s - czas korzystania z przyboru sanitarnego, s ;
- Q_{WCP} - strumień objętości wody podgrzewanej w podgrzewaczu, m^3/s ;
- T_{WCP} - temperatura ciepłej wody na wypływie z podgrzewacza, $^{\circ}C$;
- T_{WZ} - temperatura wody zimnej doprowadzanej do podgrzewacza, $^{\circ}C$;
- T_{WWP} - temperatura wody wstępnie podgrzanej doprowadzanej do podgrzewacza, $^{\circ}C$;
- T_{WZ} - temperatura wody zimnej doprowadzanej do podgrzewacza, $^{\circ}C$.

7. Efektywność finansowa odzysku ciepła odpadowego

Analiza finansowa systemu odzysku ciepła została oparta na metodologii *Life Cycle Cost* (*LCC*). Jest ona szczególnie przydatna w przypadku, gdy istnieje alternatywny projekt danej inwestycji, który spełnia jednocześnie te same podstawowe funkcje, ale różni się pod względem nakładów początkowych i/lub kosztów eksploatacyjnych (*Andersen i in., 2002; Safarpour i in., 2022; Słyś, 2006a; Yang i in., 2022*).

Całkowity koszt konwencjonalnej instalacji przygotowania *c.w.u.* w cyklu życia inwestycji *LCC* można wyznaczyć wykorzystując formułę (7.1). Całkowity koszt związany z wyborem systemu *DWHR* może być określany według wzoru (7.2).

$$LCC_{KON} = K_{I,KON} + \left[\sum_{t=1}^{t_a} (1+r)^{-t} \right] \cdot K_E \quad (7.1)$$

$$LCC_{DWHR} = K_{I,DWHR} + \left[\sum_{t=1}^{t_a} (1+r)^{-t} \right] \cdot K_E \quad (7.2)$$

gdzie: $K_{I,KON}$ - nakłady inwestycyjne w systemie konwencjonalnym, zł;

$K_{I,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne w systemie *DWHR*, zł;

K_E - koszty eksploatacyjne, zł;

t_a - czas trwania analizy *LCC*, lata;

t - kolejny rok użytkowania instalacji, lata;

r - stała stopa dyskontowa, -.

Jak opisuje *Stec i in. (2017)* w przypadku, gdy żywotność analizowanego systemu wykracza poza przewidywalny okres jego użytkowania nie ma konieczności uwzględniania jego wartości rezydualnej po upływie przewidywanego okresu eksploatacji. W związku z powyższym koszty utylizacji systemu odzysku ciepła nie zostały uwzględnione w obliczeniach, co jest zgodne z wytycznymi dotyczącymi szacowania kosztów życia inwestycji (*Kneifel i in., 2020; Rahmani i in., 2012; Słyś i in., 2012*).

W przypadku konwencjonalnych systemów przygotowania *c.w.u.* wysokość nakładów inwestycyjnych $K_{I,KON}$ determinowana jest przez wydatki związane z wykonaniem wewnętrznych instalacji kanalizacji sanitarnej $K_{IS,KON}$ i wodociągowej $K_{IW,KON}$ oraz wynika z wartości robót budowlanych $K_{RB,KON}$, co opisuje równanie (7.3).

$$K_{I,KON} = K_{IS,KON} + K_{IW,KON} + K_{RB,KON} \quad (7.3)$$

gdzie: $K_{IS,KON}$ - nakłady inwestycyjne na instalację kanalizacji sanitarnej w systemie konwencjonalnym, zł;

$K_{IW,KON}$ - nakłady inwestycyjne na instalację wodociągową w systemie konwencjonalnym, zł;

$K_{RB,KON}$ - nakłady inwestycyjne na roboty budowlane w systemie konwencjonalnym, zł.

W systemie $DWHR$ przy szacowaniu wartości nakładów inwestycyjnych $K_{I,DWHR}$ należy dodatkowo uwzględnić nakłady inwestycyjne na zakup jednostki wymiany ciepła. Wyznaczenie wartości nakładów inwestycyjnych $K_{I,DWHR}$ jest możliwe do określenia na podstawie wzoru (7.4).

$$K_{I,DWHR} = K_{W,DWHR} + K_{IS,DWHR} + K_{IW,DWHR} + K_{RB,DWHR} \quad (7.4)$$

gdzie: $K_{W,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne na zakup wymiennika ciepła w systemie $DWHR$, zł;

$K_{IS,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne na instalację kanalizacji sanitarnej w systemie $DWHR$, zł;

$K_{IW,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne na instalację wodociągową w systemie $DWHR$, zł;

$K_{RB,DWHR}$ - nakłady inwestycyjne na roboty budowlane w systemie $DWHR$, zł.

Zarówno koszty eksploatacji systemu $DWHR$ $K_{E,DWHR}$ jak i koszty eksploatacji systemu konwencjonalnego $K_{E,KON}$ wynikają z ilości pobranej wody wodociągowej, energii potrzebnej do przygotowania *c.w.u.* oraz cen jednostkowych poboru wody, odprowadzania ścieków i zużycia energii. Kalkulacja kosztów eksploatacji systemu konwencjonalnego $K_{E,KON}$ może być określona za pomocą formuły (7.5), natomiast w przypadku systemu $DWHR$ właściwy jest wzór (7.6).

$$K_{E,KON} = t_s \cdot Q_{WCM} \cdot c_{jws} + E_{KON} \cdot c_{je} \quad (7.5)$$

$$K_{E,DWHR} = t_s \cdot Q_{WCM} \cdot c_{jws} + E_{DWHR} \cdot c_{je} \quad (7.6)$$

gdzie: t_s - czas korzystania z przyboru sanitarnego, min;

Q_{WCM} - strumień objętość wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego, dm^3/min ;

c_{jws} - jednostkowa stawka opłat za pobór wody wodociągowej i odprowadzanie ścieków sanitarnych, $\text{zł}/\text{m}^3$;

E_{KON} - zapotrzebowanie na energię cieplną potrzebną do podgrzania wody w systemie konwencjonalnym, kWh;

- E_{DWHR} - zapotrzebowanie na energię cieplną potrzebną do podgrzania wody w systemie $DWHR$, kWh;
- c_{je} - jednostkowa stawka opłat za zużycie energii potrzebnej do przygotowania $c.w.u.$, zł/kWh.

Metodyka wyznaczania zapotrzebowania na energię E_{KON} oraz E_{DWHR} potrzebną do przygotowania wody do celów użytkowych została określona w rozdziale 6 i zapisana w postaci wzorów (6.3) dla systemu konwencjonalnego oraz (6.4) dla instalacji współdziałającej z wymiennikiem ciepła w układzie *Konfiguracji I* i *Konfiguracji II*, a także w postaci formuły (6.5) dla systemu $DWHR$ w układzie *Konfiguracji III*.

Wzory obliczeniowe na zapotrzebowanie na ciepło E_{KON} oraz E_{DWHR} można odnieść do konkretnego rozwiązania technicznego instalacji $c.w.u.$ uwzględniając rodzaj wykorzystywanego podgrzewacza, analizowany czas użytkowania systemu t_s czy też sprawność η_e systemu przygotowania $c.w.u.$ współdziałającego z podgrzewaczem elektrycznym. Roczne zapotrzebowanie na energię $E_{KON,E}$ wymagane do podgrzania wody przez elektryczny podgrzewacz przepływowy w systemie konwencjonalnym wyraża wzór (7.7), natomiast ilość energii elektrycznej $E_{DWHR,E}$ potrzebnej do podgrzania wody w systemie $DWHR$ wyznaczyć przy wykorzystaniu formuły (7.8) (*Słyś i Kordana, 2011*).

$$E_{KON,E} = \frac{365 \cdot L_M \cdot \rho_w \cdot t_s \cdot c_p \cdot Q_{WCP} \cdot (T_{WCM} - T_{WZ})}{\eta_e \cdot 3,6 \cdot 10^6} \quad (7.7)$$

$$E_{DWHR,E} = \frac{365 \cdot L_M \cdot \rho_w \cdot t_s \cdot c_p \cdot Q_{WCP} \cdot (T_{WCM} - T_{WWP})}{\eta_e \cdot 3,6 \cdot 10^6} \quad (7.8)$$

- gdzie: L_M - liczba użytkowników, -;
- Q_{WCP} - strumień objętości wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza, m³/s;
- t_s - czas korzystania z przyboru sanitarnego, s;
- c_p - ciepło właściwe wody, J/(kgK);
- ρ_w - gęstość wody, kg/m³;
- T_{WZ} - temperatura wody zimnej doprowadzanej do podgrzewacza, °C;
- T_{WCM} - temperatura ciepłej wody użytkowej na wyjściu z zaworu mieszającego, °C;
- T_{WWP} - temperatura wody wstępnie podgrzanej doprowadzanej do podgrzewacza, °C;
- η_e - sprawność systemu przygotowania $c.w.u.$ współdziałającego z podgrzewaczem elektrycznym, -.

W skali roku ilość energii $E_{KON,G}$ potrzebnej do przygotowania $c.w.u.$ w konwencjonalnym systemie wyposażonym w podgrzewacz gazowy można określić

posługując się formułą (7.9), a zapotrzebowanie na energię $E_{DWHR,G}$ zużywaną przez podgrzewacz gazowy w systemie $DWHR$ można wyznaczyć z zależności (7.10) (Słyś i Kordana, 2011).

$$E_{KON,G} = \frac{365 \cdot L_M \cdot \rho_w \cdot t_s \cdot c_p \cdot Q_{WZ} \cdot (T_{WCM} - T_{WZ})}{\eta_g \cdot H_g \cdot 10^6} \quad (7.9)$$

$$E_{DWHR,G} = \frac{365 \cdot L_M \cdot \rho_w \cdot t_s \cdot c_p \cdot Q_{WWPA} \cdot (T_{WCM} - T_{WWP})}{\eta_g \cdot H_g \cdot 10^6} \quad (7.10)$$

- gdzie: L_M - liczba użytkowników, -;
- Q_{WWPA} - strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza, m³/s;
- Q_{WZ} - strumień objętości zimnej wody wodociągowej kierowanej do podgrzewacza, m³/s;
- t_s - czas korzystania z przyboru sanitarnego, s;
- c_p - ciepło właściwe wody, J/(kgK);
- ρ_w - gęstość wody, kg/m³;
- T_{WCM} - temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego, °C;
- T_{WZ} - temperatura wody zimnej doprowadzanej do podgrzewacza, °C;
- T_{WCM} - temperatura wody wstępnie podgrzanej doprowadzanej do podgrzewacza, °C;
- η_g - sprawność systemu przygotowania *c.w.u.* współdziałającego z podgrzewaczem gazowym,-;
- H_g - wartość opałowa gazu, MJ/m³.

Przedstawione formuły obliczeniowe na zapotrzebowanie na energię elektryczną $E_{DWHR,E}$ i energię z paliwa gazowego $E_{DWHR,G}$ potrzebną do przygotowania *c.w.u.* w systemie $DWHR$ mogą być wykorzystywane do obliczeń wszystkich opisanych w opracowaniu konfiguracji systemu odzysku ciepła.

Ważnym elementem analizy finansowej jest określenie poziomu ryzyka danej inwestycji. Ocena ta może być przeprowadzona na podstawie sporządzonej analizy wrażliwości polegającej na identyfikacji parametrów, których zmiana mogłaby wpłynąć negatywnie na rentowność projektu (Kneifel i Webb, 2020; Navaratnam, 2022). Kluczowym elementem analizy wrażliwości finansowej jest przeprowadzenie symulacji polegającej na zmianie wartości tych parametrów, tak, aby ich poziom był odmienny do pierwotnie zakładanego (Dawei i in., 2018).

8. Rzeczywisty model badawczy

Podstawą analiz efektywności energetycznej systemu odzysku ciepła w instalacji kanalizacyjnej i przygotowania *c.w.u.* były badania laboratoryjne. Model fizyczny instalacji wodociągowej i kanalizacyjnej umożliwił odwzorowanie warunków zbliżonych do rzeczywistych w systemach przygotowania *c.w.u.* i odzysku ciepła ze ścieków szarych w budynkach mieszkalnych. Stanowisko badawcze zostało zlokalizowane w *Laboratorium Techniki Pomiarowych i Sterowania Transportem Wody i Ścieków Katedry Infrastruktury i Gospodarki Wodnej Politechniki Rzeszowskiej*.

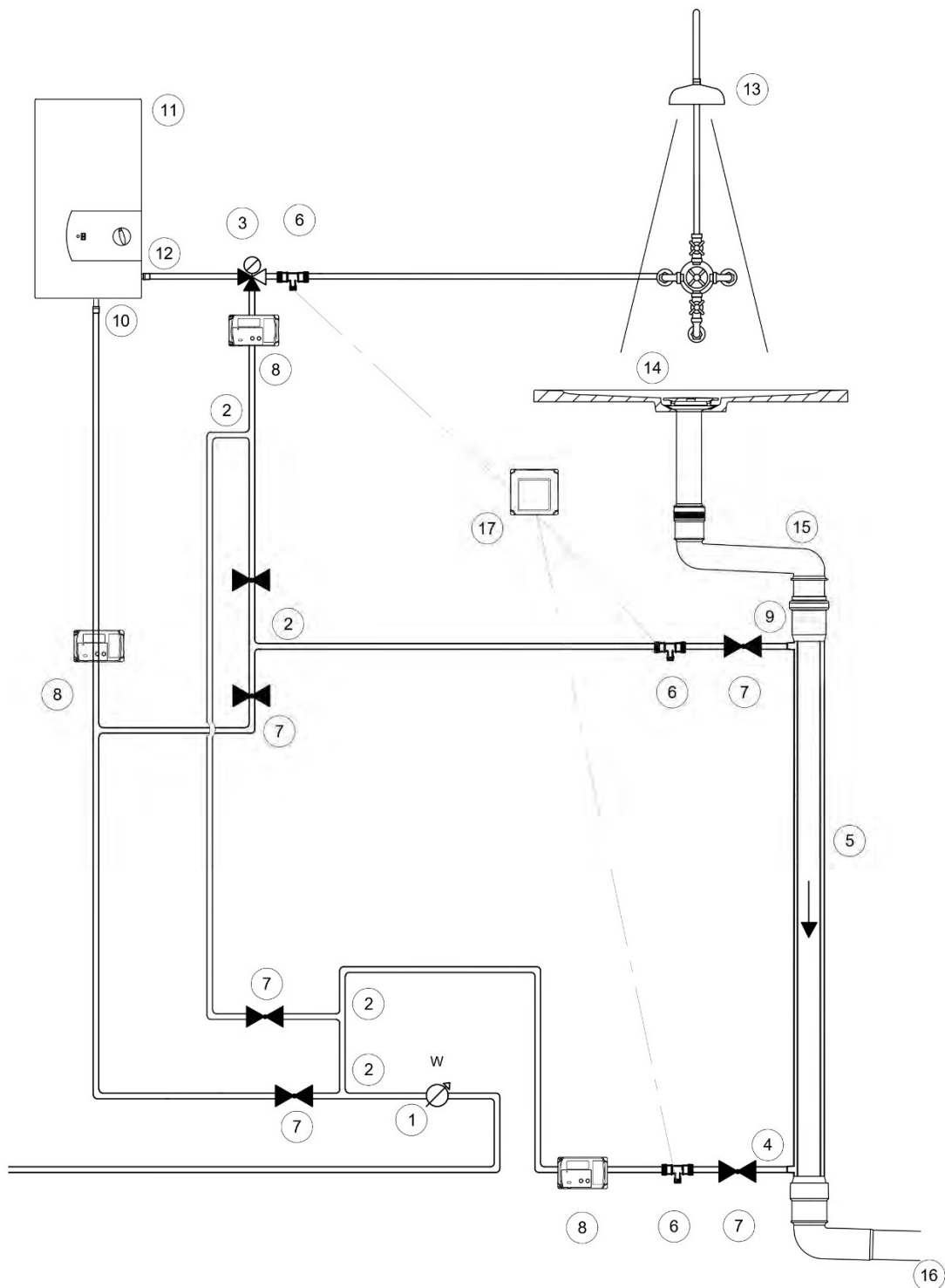
Instalacja przygotowania *c.w.u.* zaopatrywana jest w wodę z wodociągu miejskiego. Woda dostarczana do budynku, w którym zlokalizowany jest model badawczy jest pobierana poprzez ujęcie brzegowe Zwiężczyca II zlokalizowane na rzece Wisłok. Powstałe ścieki są odprowadzane z budynku poprzez instalację kanalizacji bytowo-gospodarczej, a następnie rozdzielczym systemem kanalizacji zewnętrznej przepływają w kierunku oczyszczalni ścieków przy ul. Ciepłowniczej w Rzeszowie.

System odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych i instalacja przygotowania *c.w.u.* był zintegrowany z przepływowym podgrzewaczem elektrycznym *KOSPEL KDE BONU* o maksymalnej mocy grzewczej wynoszącej 27 kW. Do wykonania instalacji wykorzystano przewody polietylenowe o podwyższonej wytrzymałości termicznej. Zastosowano przewody wody ciepłej i zimnej o średnicy DN 16 mm.

Istotnym elementem instalacji była dobrana aparatura pomiarowa. Do kontroli pomiarów wartości parametrów wykorzystano:

- wodomierz skrzydełkowy jednostrumieniowy suchobieżny typu JS Smart C+,
- trzy przepływomierze ultradźwiękowe typu Sharky 473,
- trzy elektroniczne przeliczniki firmy Apator,
- rejestrator danych Simex MultiCon CMC-144.

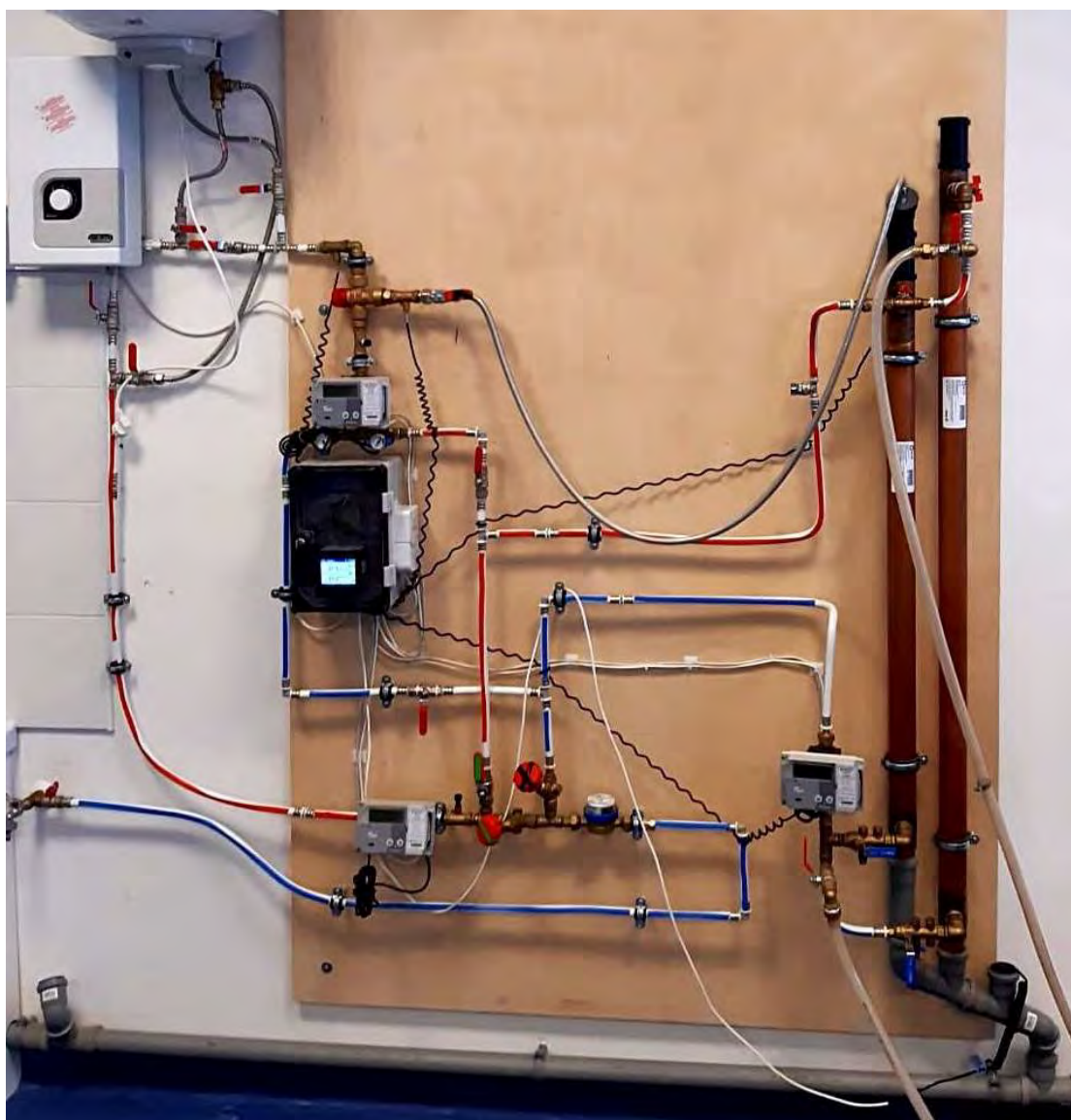
Badaniom doświadczalnym podlegały dwie pionowe jednostki typu „rura w rurze” o odmiennej długości, które kolejno instalowano przy odpływie ścieków szarych z natrysku. Schemat ideowy stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 8.1.



Rysunek. 8.1. Schemat ideowy systemu odzysku ciepła odpadowego z instalacji kanalizacyjnej i przygotowania *c.w.u.*;

- 1 – wodomierz skrzydełkowy jednostrumieniowy suchobieżny; 2 – trójnik; 3 – termostacyjny zawór mieszający; 4 – króciec wlotowy; 5 – wymiennik ciepła; 6 – kulowy zawór odcinający;
 7 – przepływomierz ultradźwiękowy zintegrowany z przelicznikiem elektronicznym; 8 – trójnik z wejściem na rezystancyjny czujnik temperatury; 9 – króciec wylotowy; 10 – przewód dopływowy;
 11 – elektryczny podgrzewacz *c.w.u.*; 12 – przewód odpływowy; 13 – bateria natryskowa;
 14 – brodzik; 15 – odpływ do wymiennika ciepła; 16 – odpływ do instalacji kanalizacyjnej;
 17 – rejestrator danych pomiarowych

Na rysunku 8.2. przedstawiono stanowisko badawcze systemu odzysku ciepła ze ścieków szarych, które mieści się w *Laboratorium Techniki Pomiarowych i Sterowania Transportem Wody i Ścieków*.

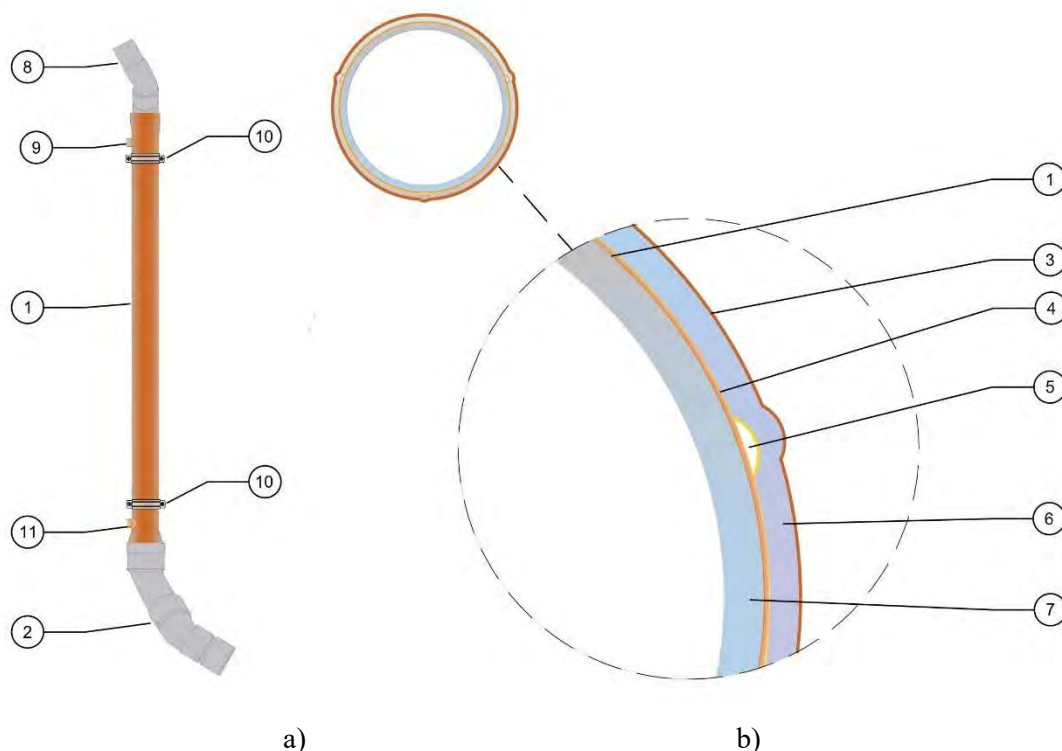


Rysunek 8.2. Stanowisko badawcze systemu odzysku ciepła w instalacji kanalizacyjnej i przygotowania c.w.u., mieszczącego się w *Laboratorium Techniki Pomiarowych i Sterowania Transportem Wody i Ścieków, Katedry Infrastruktury i Gospodarki Wodnej*

Badane wymienniki ciepła to pionowe urządzenia zbudowane z trzech miedzianych rur:

- wewnętrznej rury kanalizacyjnej,
- rury środkowej,
- rury zewnętrznej stanowiącej obudowę wymiennika ciepła.

Główne elementy budowy, zgodne dla dwóch badanych wymienników ciepła zostały przedstawione na rysunku 8.3.



Rysunek 8.3. Budowa pionowego wymiennika ciepła typu „rura w rurze” Showersave QB1-12,16;
 a) schemat poglądowy urządzenia, b) widok przekroju poprzecznego urządzenia;
 1 – rura wewnętrzna; 2 – odpływ ścieków szarych do instalacji kanalizacyjnej; 3 – rura zewnętrzna;
 4 – rura środkowa; 5 – powietrze; 6 – woda wodociągowa; 7 – ścieki szare; 8 – dopływ ścieków
 szarych do wymiennika ciepła; 9 – króciec wylotowy wody wstępnie podgrzanej; 10 – obejma
 montażowa; 11 – króciec wlotowy wody wodociągowej;

W wymienniku pod wpływem siły ciężkości, przewodem wewnętrznym (1) w kierunku instalacji kanalizacyjnej (2) transportowane są ścieki szare, natomiast woda wodociągowa w sposób przeciwny przepływa przez przestrzeń wytworzoną pomiędzy rurą zewnętrzną (3), a środkową (4) po czym kierowana jest ona do instalacji przygotowania *c.w.u.* Bezpośrednio przy rurze wewnętrznej (1) jest poprowadzona rura środkowa (4), której zadaniem jest zapewnienie dodatkowej ochrony przed możliwym skażeniem wody wodociągowej przez ścieki. W przestrzeni między przewodem wewnętrznym (1), a środkowym (4) jest utworzona niewielka szczelina wypełniona powietrzem (5). Tego typu rozwiązanie stanowi dodatkową ochronę w przypadku, gdy rura wewnętrzna ulegnie uszkodzeniu i stanie się nieszczelna.

Wymienniki ciepła poddawane analizom doświadczalnym są zaprojektowane zgodnie z wytycznymi ujętymi w normie *PN-EN 1717:2003 Ochrona przed wtórnym zanieczyszczeniem wody w instalacjach wodociągowych i ogólne wymagania dotyczące urządzeń zapobiegających zanieczyszczeniu przez przepływ zwrotny.*

Parametry techniczne dwóch pionowych wymienników ciepła typu „rur w rurze” będących przedmiotem badań uwzględniono w tabeli 8.1.

Tabela 8.1. Dane techniczne pionowych wymienników ciepła typu „rura w rurze” *Showersave QB1-12* oraz *QB1-16*

Parametr	Jednostka	Wymiennik L_1	Wymiennik L_2
Długość	mm	1680	1270
Materiał	-	miedź	miedź
Waga	kg	6,1	4,5
Średnica zewnętrzna	mm	50	50
Średnica wewnętrzna	mm	45	45
Powierzchnia wymiany ciepła	m ²	0,0264	0,0199
Maksymalne dopuszczalne ciśnienie ścieków	atm	1	1
Maksymalne dopuszczalne ciśnienie wody wodociągowej	atm	8	8
Maksymalna dopuszczalna temperatura wody lub/i ścieków	°C	60	60

9. Charakterystyka czynnikowa modelu badawczego

Ważnym etapem na drodze do rozwiązania problemu badawczego w sposób doświadczalny jest charakterystyka obiektu badań (Polański, 1984). W tym celu dokonano analizy czynnikowej modelu rzeczywistego systemu odzysku ciepła ze ścieków szarych w instalacji kanalizacyjnej i przygotowania ciepłej wody użytkowej, definiując zbiory: zmiennych wejściowych (niezależnych), zmiennych wyjściowych (zależnych) i parametrów stałych.

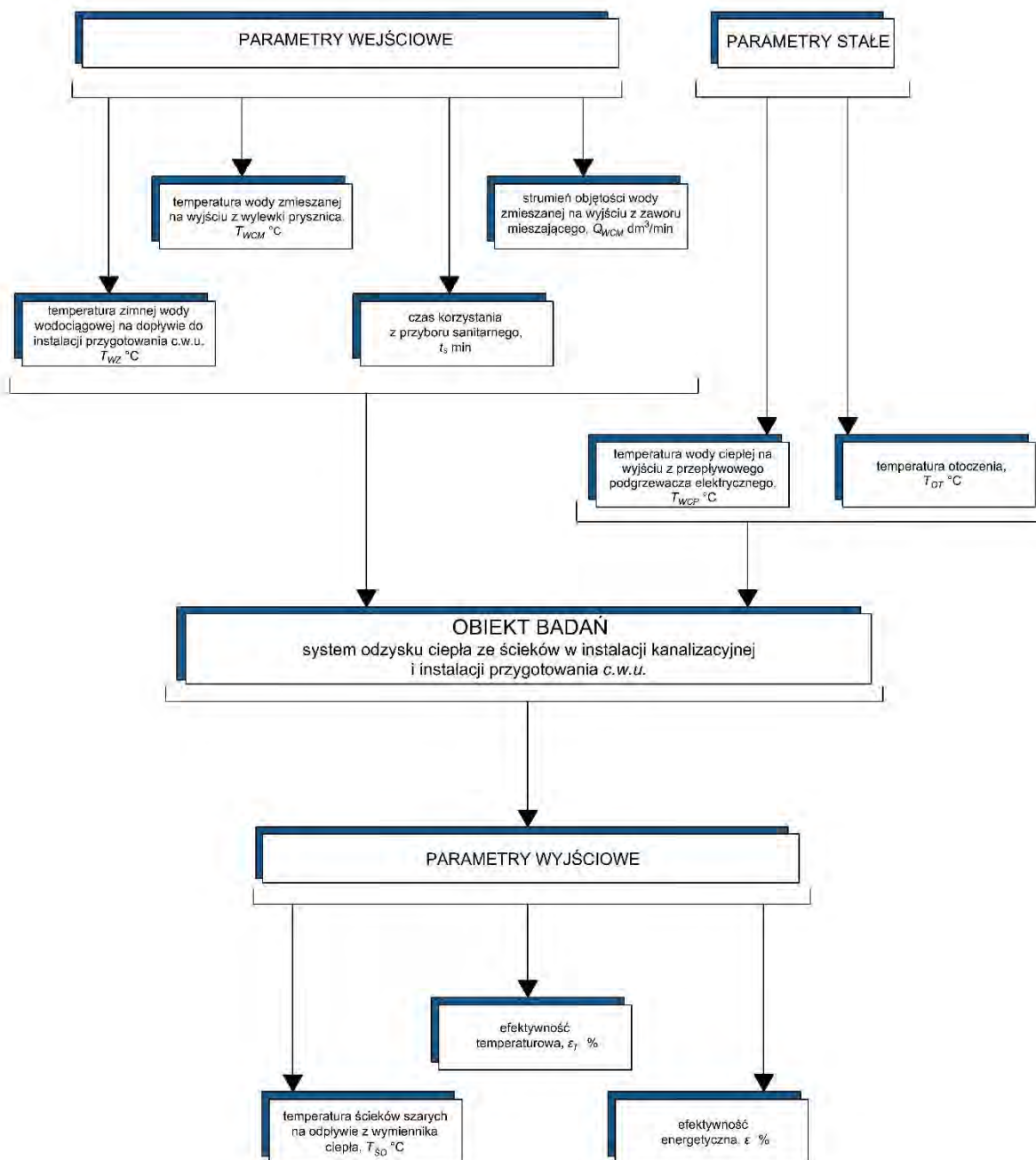
Podczas analizy czynnikowej modelu badawczego, tj. systemu odzysku ciepła odpadowego w instalacji kanalizacyjnej wskazano cztery zmienne wejściowe:

- temperaturę zimnej wody wodociągowej na dopływie do instalacji, T_{WZ} °C,
- temperaturę wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego, T_{WCM} °C,
- czas użytkowania przyboru sanitarnego, t_s min,
- strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza, Q_{WCM} dm³/min.

Zdefiniowanie modelu czynnikowego obiektu badań pozwoliło także na rozpoznanie parametrów, których wartości nie podlegały celowym zmianom w trakcie trwania badań doświadczalnych, a były to: temperatura wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} i temperatura otoczenia T_{OT} .

Parametrem wyjściowym, który w trakcie badań laboratoryjnych rejestrowano w sposób ciągły była temperatura ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła T_{SO} . Do zmiennych wyjściowych zaliczono również efektywności temperaturową ε_t jednostek $DWHR$ oraz efektywność energetyczną ε systemu odzysku ciepła. Wartości tych parametrów były wyznaczone w oparciu o wartości parametrów wejściowych, zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 6.

Z uwagi na specyfikę techniczną systemu odzysku ciepła oraz przyjęte założenia badawcze, temperatura ścieków szarych dopływających do wymiennika ciepła T_{SD} była taka sama jak temperatura wody zmieszanej na wypływie z zaworu mieszającego T_{WCM} . Pominięto straty ciepła wynikające z użytkowania przyboru sanitarnego. Opracowany model czynnikowy obiektu badań został przedstawiony na rysunku 9.1.



Rysunek 9.1. Czynnikiowy model obiektu badań

10. Plan badań

10.1. Analiza zmiennych wejściowych i wyjściowych

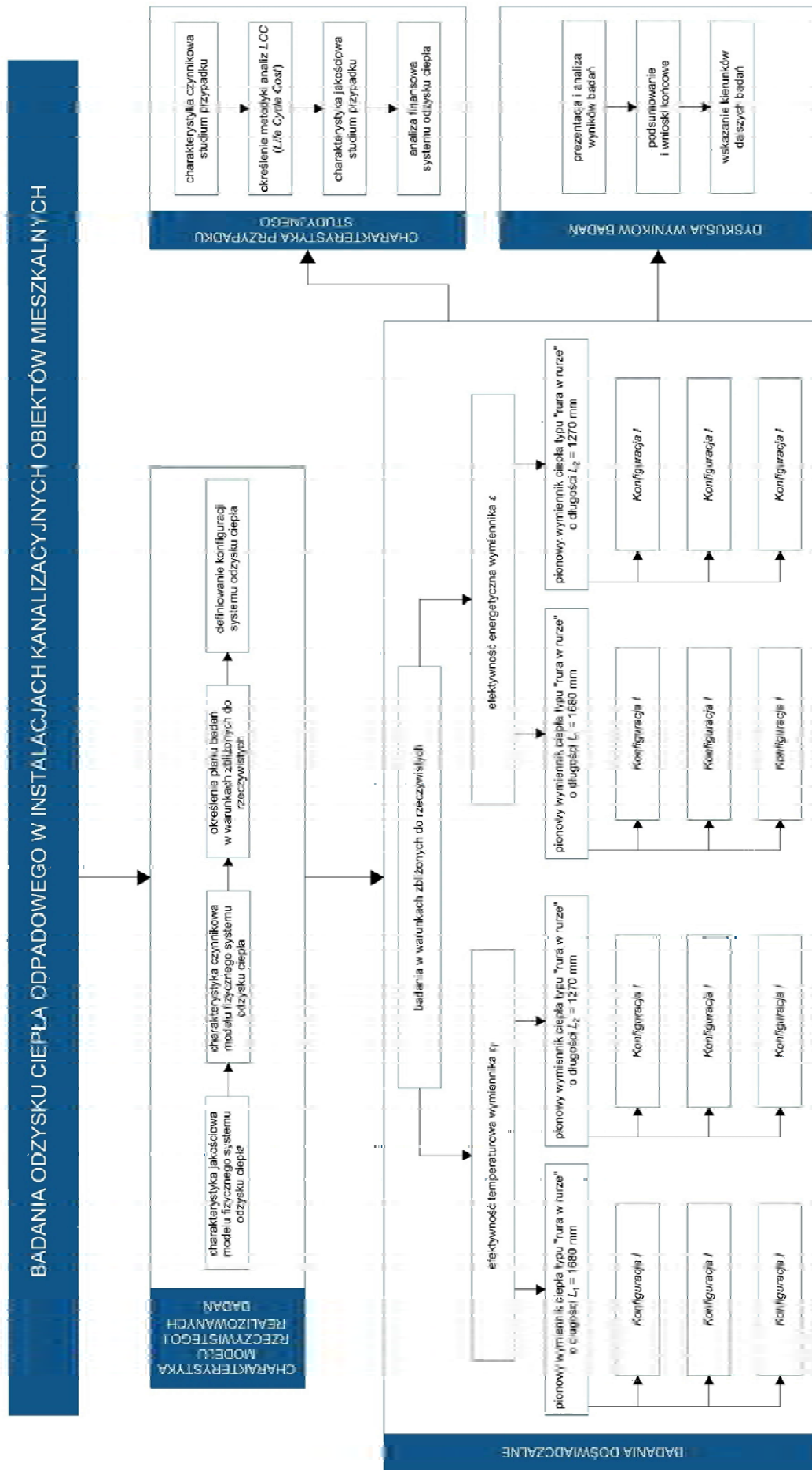
W oparciu o dane literaturowe (*Ratajczak i in., 2021; Mazhar i in., 2018; Kordana i in., 2014; Hewitt i Henderson., 2001*) w zakresie zużycia wody w gospodarstwach domowych do celów kąpielowych oraz z uwzględnieniem standardów związanych zarówno z projektowaniem jak i eksploatacją urządzeń sanitarnych określono wielkości zmiennych zależnych charakteryzujących obiekt badań.

Wartości strumienia objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} zostały przyjęte z założeniem zakresu możliwych do uzyskania wartości i z uwzględnieniem praktyki związanej z ograniczeniem zużycia wody poprzez wykorzystanie regulatorów przepływu w bateriach czerpalnych. Wartości przyjęte w planie badań doświadczalnych przedstawiono w tabeli 10.1.

Tabela 10.1. Wartości przyjętych zmiennych wejściowych określonych dla badanego modelu rzeczywistego systemu odzysku ciepła odpadowego

Zmienne wejściowe	Jednostka	Reprezentatywne wartości dla przyjętych zmiennych wejściowych
Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego, T_{WCM}	°C	34; 38; 42; 46
Czas korzystania z przyboru sanitarnego, t_s	min	3; 8; 13; 18
Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu wylewki prysznicza, Q_{WCM}	dm ³ /min	2,5; 5,0; 7,5; 10,0
Temperatura wody zimnej na dopływie do instalacji przygotowania c.w.u., T_{WZ}	°C	8; 12; 16; 20

Dla każdej z konfiguracji instalacji odzysku ciepła odpadowego przeprowadzono analizy z ujęciem 256 możliwych przypadków badawczych. Uwzględniając, że badania doświadczalne prowadzone były dla dwóch jednostek $DWHR$ o odmiennych długościach (1680 mm i 1270 mm) i w trzech konfiguracjach projektowych, łącznie przeanalizowano 1536 scenariusze badawcze. Szczegółowy plan badań, które zrealizowano w ramach niniejszej rozprawy przedstawiono na rysunku 10.1.



Rysunek 10.1. Plan badań doświadczalnych

10.2. Założenia dla modelu rzeczywistego

Podczas realizacji badań określono kluczowe założenia dla modelu badawczego w kontekście przyjętych do wykonania analiz doświadczalnych:

- straty ciśnienia wody występujące na skutek tarcia o ścianki przewodów oraz straty w przeszkodach miejscowych zostały pominięte, jako nie mające znaczenia z punktu widzenia prowadzonych badań,
- strumień objętości przepływu wody w układzie hydraulicznym był niezmienny w czasie t_s ,
- gęstość wody i ścieków przepływających w instalacji nie ulegała zmianom i była jednakowa w każdym punkcie układu systemu odzysku ciepła odpadowego.

W obliczeniach efektywności odzysku ciepła ε przyjęto wartości parametrów charakteryzujących własności fizyczne wody dla temperatur zgodnych z planem badawczym. W tabeli 10.2 przedstawiono własności cieplne wody dla wybranych wartości temperatur.

Tabela 10.2. Własności cieplne wody przy ciśnieniu nasycenia dla wybranych wartości temperatur
(Wybrane tablice, 2006; Raznjevic, 1966)

Temperatura wody, °C	Gęstość wody, kg/m ³	Ciepło właściwe wody, J/kgK
46	989,78	4176,4
42	991,40	4175,4
38	992,96	4175,0
34	994,42	4175,0

Zgodnie z warunkami projektowymi badanego systemu odzysku ciepła oraz na podstawie przyjętego planu badawczego określono założenia dla modelu badawczego instalacji, zgodnie z którymi:

- strumień objętości wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} był w całości kierowany do zaworu mieszającego,
- strumień objętości wody zmieszanej Q_{WCM} oraz strumień objętości ścieków szarych Q_{SD} na dopływie do wymiennika ciepła były takie same,
- temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła T_{SD} była taka sama jak temperatura wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} ,

- dla *Konfiguracji I* strumień objętości wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} był równy wartości strumienia objętości wstępnie podgrzanej wypływającej z króćca wylotowego wymiennika ciepła Q_{WWPA} ,
- dla *Konfiguracji I* strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu wylewki prysznicza Q_{WCM} był równy wartości strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej na wyjściu z króćca wylotowego wymiennika ciepła Q_{WWP} ,
- dla *Konfiguracji I* strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM} był równy wartości strumienia objętości wody zimnej na odpływie do króćca wlotowego wymiennika ciepła Q_{WZ} ,
- dla *Konfiguracji I* strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM} był równy sumie wartości strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego Q_{WWPA} i strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego Q_{WWPB} ,
- dla *Konfiguracji II* strumień objętości wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} był równy wartości strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej na wypływie z króćca wylotowego pionowego wymiennika ciepła Q_{WWP} ,
- dla *Konfiguracji II* strumień objętości wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} był równy wartości strumienia objętości wody zimnej na dopływie do króćca wlotowego pionowego wymiennika ciepła Q_{WZB} ,
- dla *Konfiguracji II* strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM} był równy wartości strumienia objętości zimnej wody na dopływie do instalacji Q_{WZ} ,
- dla *Konfiguracji II* strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM} był równy sumie wartości strumienia objętości wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza Q_{WCP} i strumienia objętości wody zimnej na dopływie do zaworu mieszającego Q_{WZC} ,
- dla *Konfiguracji III* strumień objętości wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} był równy wartości strumienia objętości wody zimnej na odpływie do instalacji wodociągowej Q_{WZA} ,
- dla *Konfiguracji III* strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego Q_{WWPD} był równy wartości strumienia objętości wody zimnej na dopływie do króćca wlotowego pionowego wymiennika ciepła Q_{WZD} ,
- dla *Konfiguracji III* strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM} był równy sumie wartości strumienia objętości wody ciepłej na wyjściu

z podgrzewacza Q_{WCP} i strumienia wody wstępnie podgrzanej na wyjściu z króćca wylotowego wymiennika ciepła Q_{WWPD} .

W analizach doświadczalnych, w każdym z realizowanych przypadków badawczych temperatura wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza T_{WCP} była równa $55^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Woda zmieszana na wypływie z wylewki prysznicza kierowana była bezpośrednio do przewodu dopływowego pionowego wymiennika ciepła. Z uwagi na powyższe, w analizach pominięto straty ciepła w instalacji przygotowania *c.w.u.* w przewodzie między zaworem mieszającym, a wylewką prysznicza, a także między odpływem brodzikowym, a wymiennikiem ciepła.

Wszystkie przejęte w pracy badania doświadczalne realizowano w laboratorium, w którym temperatura otoczenia T_{OT} mieściła się w zakresie $22 \div 26^{\circ}\text{C}$. Pomieszczenie gdzie zlokalizowane jest stanowisko badawcze było ogrzewane w okresie około zimowym, a jednocześnie było klimatyzowane w okresie letnim.

W analizach posługiwano się sformułowaniem scenariusz kąpielowy przez co rozumiano przypadek badawczy, dla którego określono co najmniej dwie zmienne wejściowe.

11. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie oceny efektywności temperaturowej ε_T pionowych wymienników ciepła

11.1. Badania doświadczalne - *Konfiguracja I*

11.1.1. Analiza parametrów wejściowych

Na podstawie wyników badań doświadczalnych wyznaczono efektywność temperaturową ε_T dwóch wymienników ciepła typu „rura w rurze” o długości 1680 mm oraz 1270 mm. Efektywność ε_T pionowych jednostek została wyznaczona zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 6.

Badania doświadczalne modelu rzeczywistego instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemu odzysku ciepła były prowadzone z wykorzystaniem rezystancyjnych czujników temperatury Pt500. Użyta aparatura pomiarowa umożliwiła prowadzenie pomiarów w czasie rzeczywistym. W trakcie trwania analiz laboratoryjnych w sposób ciągły rejestrowano wartości temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , temperatury wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza T_{WCP} , temperatury wody zmieszanej przeznaczonej do celów kąpielowych T_{WCM} oraz temperatury ścieków szarych na wypływie z wymiennika $T_{\dot{S}O}$.

Zgodnie z charakterystyką badanych w pracy konfiguracji systemu odzysku ciepła, które zostały szczegółowo przedstawione w rozdziale 10, w *Konfiguracji I* zimna woda wodociągowa doprowadzana była tylko do pionowego wymiennika ciepła, skąd po wstępnym podgrzaniu w jednostce *DWHR* dopływała do podgrzewacza elektrycznego i zaworu mieszającego. W opisywanej *Konfiguracji I* stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków szarych przepływających w wymienniku ciepła był sobie równy.

Analizy efektywności ε_T przeprowadzono z uwzględnieniem czterech wartości strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , tj. odpowiednio 2,5 dm³/min, 5,0 dm³/min, 7,5 dm³/min oraz 10 dm³/min.

Na etapie analiz wyników badań uzyskanych dla czterech różnych czasów trwania prysznic t_s , które przyjęto w planie badawczym tj. $t_s = 3$ min, $t_s = 8$ min, $t_s = 13$ min i $t_s = 18$ min oceniono, że czas t_s nie wpływa na zmianę efektywności temperaturowej ε_T badanych pionowych wymienników ciepła. Obserwacja ta została potwierdzona dla wszystkich badanych konfiguracji systemu odzysku ciepła ze ścieków, w związku z czym analiza wyników badań doświadczalnych w zakresie oceny efektywności temperaturowej ε_T wymienników ciepła typu „rura w rurze” została szczegółowo przedstawiona dla najdłuższego ujętego w planie badawczym czasu $t_s = 18$ min.

Wyniki analiz laboratoryjnych przeprowadzonych dla modelu rzeczywistego instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemu odzysku ciepła uzyskane dla pozostałych czasów korzystania z przyboru sanitarnego t_s przedstawiono tabelarycznie i dołączono do opracowania w postaci Załącznika 1, Załącznika 2, Załącznika 3, Załącznika 4, Załącznika 5 i Załącznika 6.

W tabeli 11.1. przedstawiono wartości środkowe temperatur rejestrowanych w trakcie badań doświadczalnych prowadzonych dla *Konfiguracji I* instalacji przygotowania *c.w.u.* z wykorzystaniem wymiennika o długości 1680 mm.

Tabela 11.1. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\text{ŚO}}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1680 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , °C	Temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} , °C	Temperatura zimnej wody wodociągowej na dopływie do wymiennika T_{WZ} , °C	Temperatura ścieków szarych na wypływie z wymiennika $T_{\text{ŚO}}$, °C	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min
46,25	55,21	33,54	7,96	20,62	2,5
42,37	55,24	30,64	7,98	19,69	
38,13	55,22	27,47	7,95	18,58	
34,45	55,36	24,81	7,91	17,50	
46,36	55,14	32,51	7,55	21,38	5
42,33	55,43	29,64	7,51	20,14	
38,21	55,25	26,81	7,51	18,86	
34,35	55,37	24,17	7,56	17,71	
46,65	54,85	32,11	8,15	22,65	7,5
42,45	55,05	29,22	7,97	21,16	
38,06	55,04	26,27	7,91	19,66	
34,45	54,97	23,90	7,99	18,50	
46,22	55,23	31,11	7,91	22,96	10
42,31	55,20	28,48	7,72	21,52	
38,17	55,26	25,79	7,68	20,02	
34,28	55,19	23,37	7,89	18,75	
46,19	55,30	34,42	11,98	23,70	2,5
42,26	55,24	31,59	11,98	22,59	
38,20	55,22	28,58	11,92	21,47	
34,27	55,22	25,89	11,90	20,24	
46,46	55,30	33,81	11,94	24,58	5
42,41	55,30	30,96	11,52	22,95	
38,47	55,23	28,37	12,01	22,09	
34,23	55,34	25,56	12,03	20,67	

cd. Tabela 11.1.

46,41	54,32	33,20	11,95	25,12	7,5
42,27	55,18	30,35	11,89	23,76	
38,13	55,17	27,70	11,95	22,35	
34,82	55,25	25,48	11,93	21,20	
46,32	55,24	32,62	12,12	25,78	10
42,18	55,34	29,90	12,02	24,25	
38,23	55,26	27,39	11,96	22,78	
34,18	55,28	24,88	11,96	21,22	
46,27	55,57	35,11	14,51	25,63	2,5
42,31	55,33	32,24	14,41	24,42	
38,14	55,60	29,37	14,39	23,10	
34,32	55,27	26,81	14,44	21,89	
46,29	55,14	34,95	16,09	27,36	5
42,21	55,13	32,15	15,97	25,96	
38,10	55,26	29,24	15,55	24,36	
34,27	55,12	26,76	15,47	22,94	
46,42	55,57	34,41	15,51	27,46	7,5
42,33	55,42	31,89	16,04	26,44	
38,37	55,51	29,25	16,04	25,11	
34,08	55,09	26,52	15,95	23,48	
46,16	55,34	33,89	16,04	28,27	10
42,34	55,29	31,43	15,93	26,82	
38,28	55,19	28,94	15,98	25,27	
34,29	55,13	26,44	15,89	23,71	
45,46	55,30	36,21	20,03	29,24	2,5
42,32	55,20	34,06	20,01	28,23	
38,49	55,18	31,43	19,94	26,96	
34,36	55,27	28,71	19,82	25,42	
46,20	55,16	36,13	19,97	29,97	5
42,34	55,31	33,60	19,97	28,67	
38,26	55,16	30,93	19,90	27,19	
34,29	55,20	28,49	20,01	25,78	
46,66	55,39	35,87	19,51	30,25	7,5
42,25	55,32	33,00	19,53	28,72	
38,30	55,35	30,55	19,64	27,35	
34,15	55,42	28,02	19,67	25,74	
46,30	55,10	35,41	20,00	30,85	10
42,26	55,14	32,91	19,95	29,28	
38,29	55,28	30,47	19,97	27,74	
34,31	55,11	28,11	20,12	26,28	

Wartości temperatury wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} oraz temperatury wody cieplej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} zarejestrowane

podczas analiz laboratoryjnych w niewielkim stopniu odbiegały od wartości przyjętych w planie badawczym ($T_{WCM} = 46^{\circ}\text{C}; 42^{\circ}\text{C}; 38^{\circ}\text{C}; 34^{\circ}\text{C}; T_{WCP} = 55^{\circ}\text{C}$). Było to bezpośrednio związane z charakterystyką techniczną termostatycznego zaworu mieszającego i przepływowego podgrzewacza elektrycznego stanowiących integralne elementy badanej instalacji.

Formułując plan badawczy założono realizację badań doświadczalnych z uwzględnieniem czterech różnych wartości temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} tj.: $8^{\circ}\text{C}; 12^{\circ}\text{C}; 16^{\circ}\text{C}$ oraz 20°C . Uzyskanie odmiennych wartości parametru T_{WZ} było możliwe dzięki prowadzeniu analiz w cyklu rocznym. Badania doświadczalne modelu rzeczywistego instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemu odzysku ciepła odpadowego prowadzono w okresie od stycznia 2020 roku do grudnia 2021 roku. Temperatura wody zimnej w sieci wodociągowej zasilającej badaną instalację osiągała zróżnicowane wartości, w zależności od panujących warunków atmosferycznych. Podczas analiz w sposób ciągły rejestrowano temperaturę zimnej wody T_{WZ} jak i temperaturę ścieków szarych $T_{\dot{S}O}$ na odpływie z pionowego wymiennika ciepła oraz temperaturę wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} na wyjściu z wymiennika. W poszczególnych scenariuszach kąpielowych mieściły się one w przedziałach:

- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $20,64^{\circ}\text{C} \div 30,85^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $31,11^{\circ}\text{C} \div 36,21^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $45,46^{\circ}\text{C} \div 46,66^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $19,69^{\circ}\text{C} \div 29,28^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $28,48^{\circ}\text{C} \div 34,06^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $42,18^{\circ}\text{C} \div 42,45^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $18,58^{\circ}\text{C} \div 27,74^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $25,79^{\circ}\text{C} \div 31,43^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $38,06^{\circ}\text{C} \div 38,49^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $17,50^{\circ}\text{C} \div 26,28^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $23,37^{\circ}\text{C} \div 28,71^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $34,08^{\circ}\text{C} \div 34,82^{\circ}\text{C}$.

W tabeli 11.2 ujęto środkowe wartości temperatur wody i ścieków uzyskane w trakcie badań rzeczywistych wymiennika ciepła o długości 1270 mm.

Zarejestrowane podczas badań wartości temperatur mediów przepływających w pionowym wymienniku mieściły się w przedziałach:

- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $22,13^{\circ}\text{C} \div 32,64^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $28,30^{\circ}\text{C} \div 35,82^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $46,12^{\circ}\text{C} \div 46,35^{\circ}\text{C}$,

Tabela 11.2. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\dot{S}O}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1270 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , $^{\circ}\text{C}$	Temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , $^{\circ}\text{C}$	Temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} , $^{\circ}\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej na dopływie do wymiennika T_{WZ} , $^{\circ}\text{C}$	Temperatura ścieków szarych na wypływie z wymiennika $T_{\dot{S}O}$, $^{\circ}\text{C}$	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm^3/min
46,30	55,17	32,21	8,10	22,13	2,5
42,11	55,28	29,17	8,09	21,00	
38,26	55,18	26,45	8,01	19,78	
34,13	55,31	23,60	8,01	18,48	
46,12	55,32	30,54	8,11	23,66	5
42,20	55,16	27,90	8,07	22,33	
38,15	55,15	25,30	7,99	20,81	
34,31	55,32	22,87	7,86	19,25	
46,24	55,11	29,27	8,02	24,93	7,5
42,29	55,13	26,81	7,84	23,28	
38,20	55,14	24,38	7,89	21,64	
34,26	55,24	22,01	7,88	20,09	
46,18	55,14	28,30	7,82	25,64	10
42,28	55,25	26,03	7,89	24,12	
38,13	55,30	23,58	7,77	22,28	
34,20	55,30	21,28	7,63	20,48	
46,26	55,15	33,27	12,14	25,11	2,5
42,33	55,34	30,56	12,18	23,92	
38,09	55,17	27,61	11,96	22,40	
34,19	55,17	25,01	11,91	21,04	
46,29	55,29	31,84	11,86	26,28	5
42,13	55,20	29,25	11,98	24,82	
38,23	55,34	26,77	11,81	23,21	
34,36	55,18	24,39	11,75	21,70	
46,23	55,28	30,90	12,11	27,39	7,5
42,31	55,30	28,53	12,03	25,78	
38,12	55,12	26,03	12,11	24,15	
34,17	55,19	23,68	11,94	22,41	
46,17	55,21	29,96	11,84	28,00	10
42,17	55,30	27,60	11,84	26,39	
38,29	55,16	25,45	11,77	24,55	

cd. Tabela 11.2

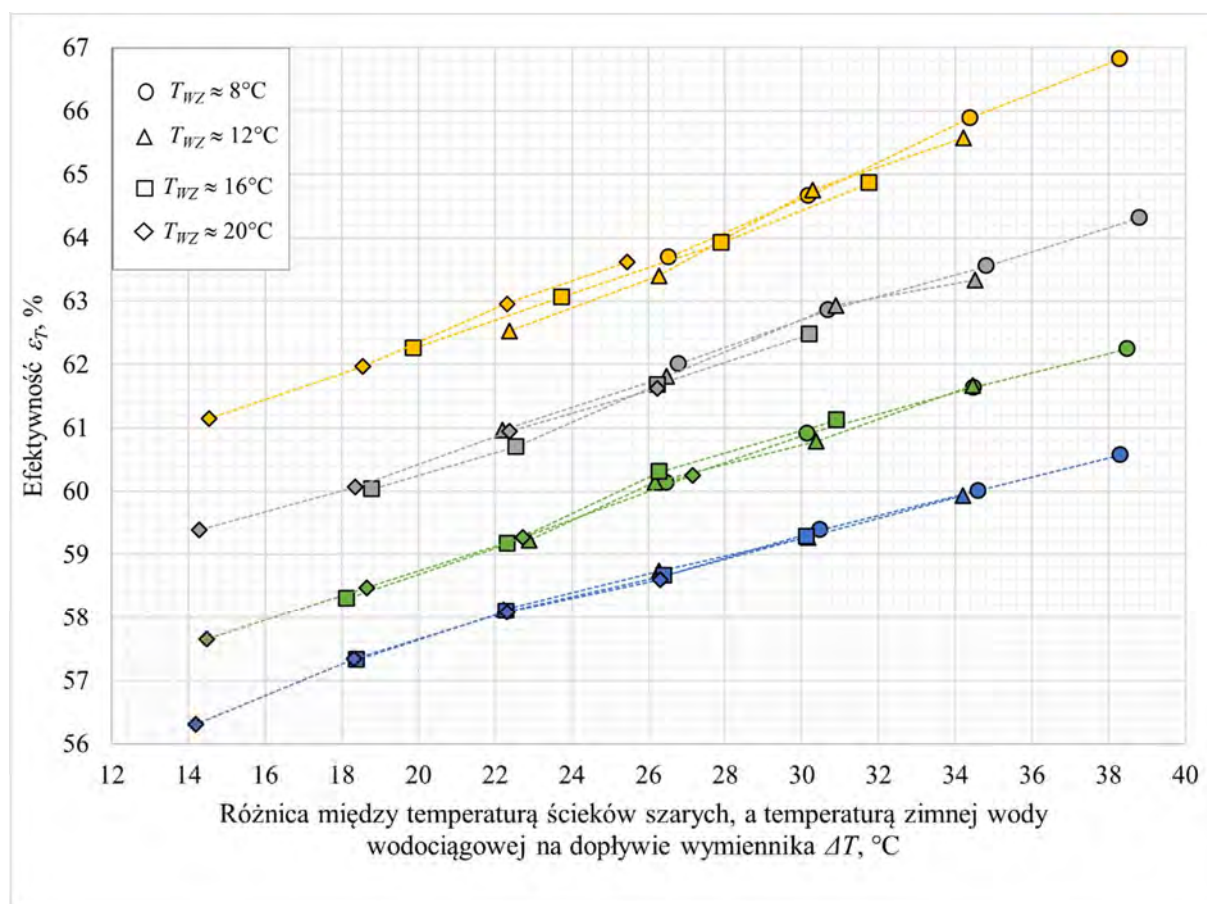
34,20	55,28	23,15	11,71	22,74	
46,19	55,26	34,19	15,44	27,41	
42,18	55,31	31,57	15,63	26,18	2,5
38,30	55,31	29,03	15,60	24,79	
34,13	55,21	26,31	15,52	23,28	
46,25	55,26	33,02	15,51	28,70	
42,14	55,31	30,48	15,41	27,01	5
38,11	55,12	28,03	15,45	25,49	
34,13	55,22	25,64	15,39	23,85	
46,15	55,13	32,23	15,56	29,42	
42,16	55,29	29,83	15,50	27,76	7,5
38,33	55,32	27,49	15,42	26,20	
34,27	55,13	25,11	15,34	24,48	
46,22	55,10	31,73	16,10	30,52	
42,30	55,14	29,55	16,04	28,73	10
38,19	55,24	27,28	15,96	26,82	
34,31	55,30	25,12	15,88	25,05	
46,35	55,17	35,82	19,93	30,39	
42,29	55,13	33,15	19,87	28,96	2,5
38,15	55,30	30,50	19,84	27,42	
34,33	55,15	28,05	19,80	26,04	
46,29	55,35	34,79	20,09	31,53	
42,22	55,22	32,37	20,07	29,86	5
38,31	55,12	29,97	19,88	28,19	
34,26	55,11	27,66	19,91	26,46	
46,30	55,26	34,11	19,86	31,99	
42,33	55,09	31,67	19,79	30,42	7,5
38,20	55,20	29,32	19,71	28,56	
34,15	55,13	27,06	19,75	26,78	
46,28	55,32	33,44	19,83	32,64	
42,22	55,17	31,11	19,67	30,75	10
38,28	55,21	29,02	19,72	28,93	
34,11	55,34	26,75	19,66	26,98	

- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $21,00^{\circ}\text{C} \div 30,75^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WPP} w przedziale $26,03^{\circ}\text{C} \div 33,15^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $42,11^{\circ}\text{C} \div 42,33^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $19,78^{\circ}\text{C} \div 28,93^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WPP} w przedziale $23,58^{\circ}\text{C} \div 30,50^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $38,09^{\circ}\text{C} \div 38,33^{\circ}\text{C}$,

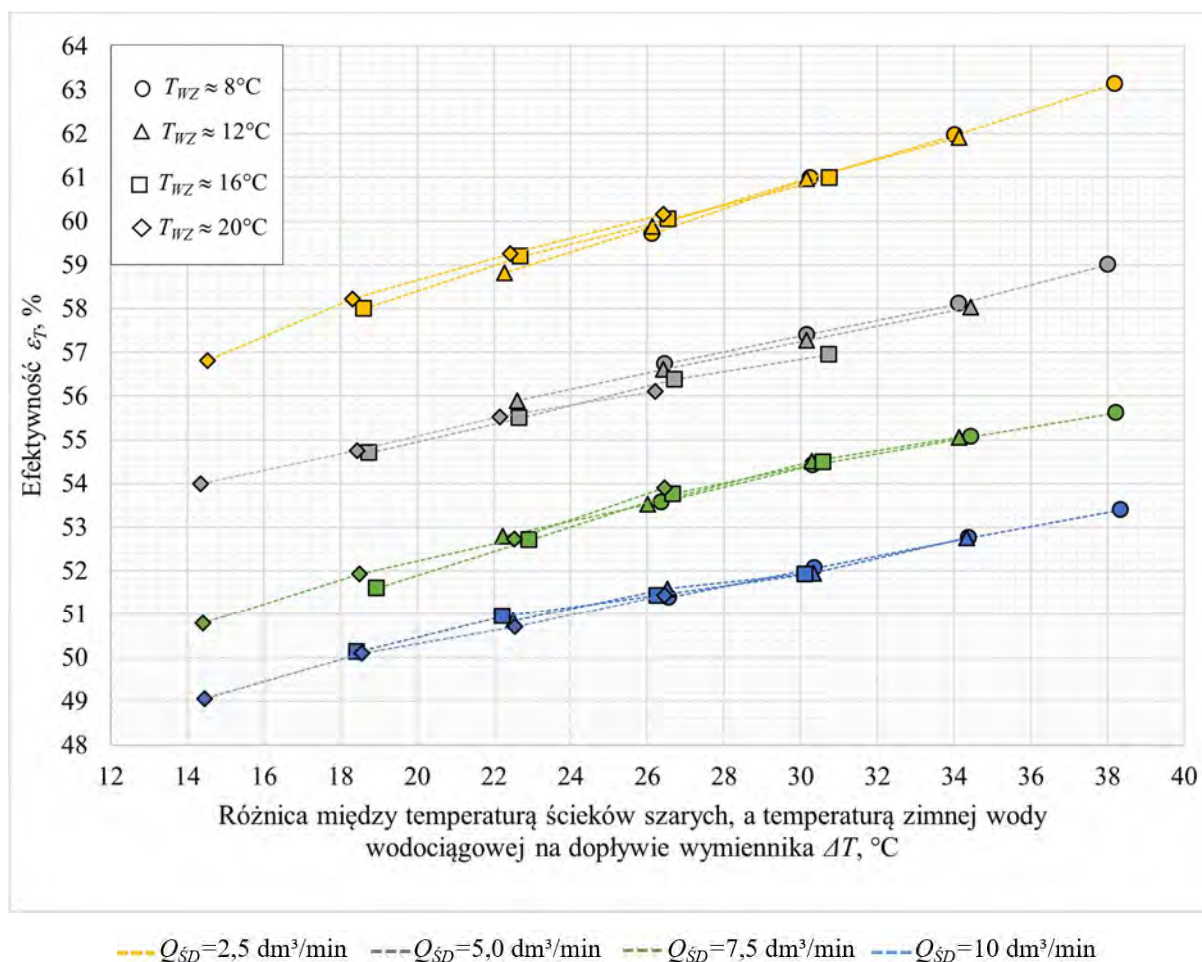
- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $18,48^{\circ}\text{C} \div 26,98^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $21,28^{\circ}\text{C} \div 28,05^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $34,11^{\circ}\text{C} \div 34,36^{\circ}\text{C}$.

11.1.2. Charakterystyka temperaturowa jednostek wymiany ciepła

W oparciu o uzyskane wyniki badań doświadczalnych wykreślono charakterystyki dwóch jednostek $DWHR$, które zastosowano w instalacji przygotowania *c.w.u.* i instalacji kanalizacji sanitarnej. Charakterystyki pionowych wymienników ciepła zostały opracowane w oparciu o wartości efektywności temperaturowej ε_T w funkcji parametru ΔT , który zaś określa różnice pomiędzy temperaturą ścieków szarych T_{SD} , a temperaturą zimnej wody wodociągowej T_{WZ} . Wyniki uzyskane w ramach analiz prowadzonych dla wymiennika o długości 1680 mm i 1270 mm przedstawiono kolejno na rysunkach 11.1 i 11.2.



Rysunek 11.1. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$



Rysunek 11.2. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych $Q_{\dot{S}D}$ i przy temperaturze ścieków $T_{\dot{S}D} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$

Analizując charakterystyki efektywności temperaturowej ε_T pionowych wymienników ciepła zauważono, że wraz ze zwiększaniem się różnicy pomiędzy temperaturą ścieków szarych $T_{\dot{S}D}$, a temperaturą zimnej wody wodociągowej T_{WZ} parametr ε_T wzrastał.

W przypadku urządzenia o długości 1680 mm, wraz ze wzrostem różnicy między parametrami $T_{\dot{S}D}$ i T_{WZ} o 1°C obserwowano przyrost efektywności ε_T średnio o:

- 0,24 pp. w przypadku, gdy wartość parametru $Q_{\dot{S}D}$ była równa $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,20 pp. w przypadku, gdy wartość parametru $Q_{\dot{S}D}$ była równa $5,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,21 pp. w przypadku, gdy wartość parametru $Q_{\dot{S}D}$ była równa $7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,18 pp. w przypadku, gdy wartość parametru $Q_{\dot{S}D}$ była równa $10 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Wraz ze zwiększaniem się różnicy pomiędzy parametrami $T_{\dot{S}D}$ i T_{WZ} o 1°C zaobserwowano wzrost efektywności ε_T w pionowej jednostce o długości 1270 mm na poziomie:

- 0,27 pp. w przypadku, gdy wartość parametru $Q_{\dot{S}D}$ była równa $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,21 pp. w przypadku, gdy wartość parametru $Q_{\dot{S}D}$ była równa $5,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,20 pp. w przypadku, gdy wartość parametru $Q_{\dot{S}D}$ była równa $7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,

- 0,18 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{SD} była równa 10 dm³/min.

W scenariuszach kąpielowych, w których różnice temperatur zmiennych T_{SD} i T_{WZ} były do siebie zbliżone, wyższe wartości efektywności temperaturowej ε_T wymiennika uzyskiwano w przypadkach, gdy strumień objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{SD} był najniższy z rozpatrywanych. Obserwacja ta dotyczy wymiennika o długości 1680 mm oraz wymiennika o długości 1270 mm. Dodatkowo, zgodnie z uzyskanymi wynikami badań laboratoryjnych efektywności temperaturowej ε_T wymiennika w odpowiadających sobie scenariuszach kąpielowych (jednakowe wartości parametrów T_{SD} , T_{WZ} i Q_{SD}) każdorazowo była wyższa w przypadku zastosowania wymiennika o długości 1680 mm. Różnice otrzymanych wartości efektywności odbioru ciepła ze ścieków ε_T pomiędzy wymiennikiem o długości 1680 mm, a urządzeniem o długości 1270 mm przedstawiono w tabeli 11.3.

Tabela 11.3. Różnica efektywności temperaturowej ε_T między dwoma badanymi wymiennikami ciepła w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła

Temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , °C		8	12	16	20
Temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła T_{SD} , °C	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min	Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ pomiędzy wymiennikiem o długości 1680 mm, a urządzeniem o długości 1270 mm, pp.			
≈ 46	2,5	3,68	3,66	3,88	3,46
≈ 42		3,93	3,79	3,88	3,71
≈ 38		3,68	3,52	3,88	3,75
≈ 34		3,99	3,72	4,26	4,34
≈ 46	5	5,31	5,30	5,53	5,51
≈ 42		5,44	5,66	5,31	5,42
≈ 38		5,46	5,20	5,21	5,31
≈ 34		5,28	5,08	5,34	5,40
≈ 46	7,5	6,63	6,62	6,63	6,36
≈ 42		6,57	6,28	6,54	6,54
≈ 38		6,49	6,62	6,47	6,55
≈ 34		6,56	6,43	6,71	6,87
≈ 46	10	7,17	7,18	7,36	7,16
≈ 42		7,25	7,32	7,24	7,38
≈ 38		7,32	7,15	7,16	7,25
≈ 34		7,27	7,28	7,20	7,25

W pracy dokonano także oceny efektywności temperaturowej ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A każdego z badanych wymienników. Na podstawie wyników badań laboratoryjnych określono, że odbiór ciepła w przeliczeniu na jednostkę powierzchni jest każdorazowo bardziej efektywny w przypadku krótszego wymiennika. Wyniki uzyskanych

analiz pod kątem oceny efektywności temperaturowej ε_T wymienników ciepła w odniesieniu do ich powierzchni wymiany ciepła A przedstawiono w tabeli 11.4.

Tabela 11.4. Efektywność temperaturowa ε_T w odniesieniu do powierzchni wymiany ciepła A badanych jednostek *DWHR* w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła

Temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , °C		8	12	16	20	8	12	16	20
Temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła T_{SD} , °C	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min	Efektywność ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A w wymienniku o długości 1680 mm, pp./dm ²				Efektywność ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A w wymienniku o długości 1270 mm, pp./dm ²			
		≈ 46	2,50	2,53	2,48	2,46	2,41	3,17	3,11
5,00	2,44		2,40	2,37	2,33	2,96	2,92	2,86	2,82
7,50	2,36		2,34	2,32	2,28	2,79	2,77	2,74	2,71
10,00	2,29		2,27	2,25	2,22	2,68	2,65	2,61	2,58
≈ 42	2,50	2,50	2,45	2,42	2,38	3,11	3,06	3,02	2,98
	5,00	2,41	2,38	2,34	2,31	2,92	2,88	2,83	2,79
	7,50	2,33	2,30	2,28	2,25	2,77	2,74	2,70	2,65
	10,00	2,27	2,25	2,22	2,20	2,65	2,61	2,58	2,55
≈ 38	2,50	2,45	2,40	2,39	2,35	3,06	3,01	2,97	2,93
	5,00	2,38	2,34	2,30	2,28	2,88	2,84	2,79	2,75
	7,50	2,31	2,28	2,24	2,22	2,73	2,69	2,65	2,61
	10,00	2,25	2,22	2,20	2,17	2,62	2,59	2,56	2,52
≈ 34	2,50	2,41	2,37	2,36	2,32	3,00	2,96	2,91	2,85
	5,00	2,35	2,31	2,27	2,25	2,85	2,81	2,75	2,71
	7,50	2,28	2,24	2,21	2,18	2,69	2,65	2,59	2,55
	10,00	2,22	2,20	2,17	2,13	2,58	2,56	2,52	2,47

Efektywność ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A badanych wymienników każdorazowo była wyższa w przypadku zastosowania jednostki o długości 1270 mm.

12.2. Badania doświadczalne - *Konfiguracja II*

11.2.1. Analiza rzeczywistych wartości parametrów wejściowych

W *Konfiguracji II* zimna woda wodociągowa doprowadzana była do wymiennika ciepła oraz do zaworu mieszającego. Woda wstępnie podgrzana w wymienniku była kierowana do podgrzewacza elektrycznego, a następnie przepływała do zaworu mieszającego. W *Konfiguracji II* stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków przepływających w wymienniku ciepła mieścił się w zakresie od 39,87% do 81,31%.

Na podstawie analiz wyników pod kątem wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na poziom efektywności temperaturowej ε_T w pionowych wymiennikach instalowanych w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła zaobserwowano, że czas kąpieli t_s nie wpływa na wartość zmiennej ε_T , dlatego w pracy przedstawiono rzeczywiste wyniki uzyskane dla czasu t_s wynoszącego 18 minut. Wyniki otrzymane dla pozostałych czasów t_s tj. 3 minut, 8 minut oraz 13 minut przedstawiono w Załączniku 7, Załączniku 8, Załączniku 9, Załączniku 10, Załączniku 11 i Załączniku 12.

Wartości temperatury wody zmieszanej T_{WCM} , temperatury wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza T_{WCP} oraz temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , które uzyskano podczas analiz laboratoryjnych w niewielkim stopniu różniły się od wartości przyjętych w planie badawczym ($T_{WCM} = 46^\circ\text{C}; 42^\circ\text{C}; 38^\circ\text{C}; 34^\circ\text{C}; T_{WCP} = 55^\circ\text{C}; T_{WZ} = 8^\circ\text{C}, 12^\circ\text{C}, 16^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}$), co było uwarunkowane specyfiką techniczną stanowiska badawczego.

Formułując plan badawczy założono realizację badań doświadczalnych z uwzględnieniem czterech różnych wartości temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} tj.: $8^\circ\text{C}; 12^\circ\text{C}; 16^\circ\text{C}$ oraz 20°C . Uzyskanie odmiennych wartości parametru T_{WZ} było możliwe dzięki prowadzeniu analiz w cyklu rocznym. Badania doświadczalne prowadzono w okresie od stycznia 2020 roku do grudnia 2021 roku, co pozwoliło na analizę różnych wartości temperatury wody wodociągowej T_{WZ} , która zależała m.in. od panujących warunków atmosferycznych.

Wartości środkowe charakterystycznych temperatur rejestrowanych w trakcie badań prowadzonych w warunkach doświadczalnych w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła pionowego wymiennika o długości 1680 mm przedstawiono w tabeli 11.5.

Tabela 11.5. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\text{ŚO}}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1680 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , °C	Temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} , °C	Temperatura zimnej wody wodociągowej na dopływie do wymiennika T_{WZ} , °C	Temperatura ścieków szarych na wypływie z wymiennika $T_{\text{ŚO}}$, °C	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min
46,15	55,25	34,73	8,11	23,62	2,5
42,37	55,14	32,73	8,06	23,64	
38,32	55,21	30,41	7,97	23,35	
34,24	55,06	27,89	7,97	22,70	
46,23	55,36	33,31	7,54	23,96	5,0
42,20	55,08	31,49	7,50	23,64	
38,19	55,36	29,56	7,70	23,37	

cd. Tabela 11.5.

34,21	55,25	27,34	7,68	22,67	5,0
46,25	55,01	32,46	8,12	24,76	7,5
42,33	55,15	30,99	8,06	24,39	
38,24	55,17	29,08	8,03	23,84	
34,18	55,37	26,94	8,00	23,04	10
46,20	55,05	31,76	8,08	25,15	
42,12	55,39	30,25	7,96	24,60	
38,31	55,21	28,66	7,93	24,00	2,5
34,27	55,15	26,68	7,95	23,16	
46,09	55,27	35,72	12,02	26,50	
42,13	55,27	33,68	11,96	26,32	5
38,14	55,35	31,40	11,89	25,84	
34,35	55,18	29,09	11,90	25,16	
46,29	55,23	34,80	12,02	27,01	7,5
42,26	55,15	33,00	11,99	26,62	
38,32	55,31	30,91	11,56	25,84	
34,16	55,20	28,53	11,57	24,94	10
46,34	55,42	34,06	12,08	27,42	
42,37	55,05	32,52	12,05	27,00	
38,21	55,36	30,46	12,01	26,29	2,5
34,27	55,25	28,35	11,97	25,34	
46,33	55,06	33,42	12,07	27,74	
42,16	55,10	31,85	12,11	27,20	5
38,16	54,98	30,14	12,07	26,39	
34,28	55,08	28,15	12,01	25,44	
46,24	55,15	36,83	15,30	28,79	7,5
42,23	55,14	34,99	15,96	28,88	
38,27	55,05	32,64	15,60	28,19	
34,23	55,23	30,05	15,48	27,11	10
46,23	55,16	36,11	16,00	29,73	
42,22	55,15	34,33	15,97	29,23	
38,14	55,30	32,08	15,57	28,23	2,5
34,17	55,02	29,74	15,50	27,15	
46,19	55,10	35,58	16,15	29,95	
42,17	55,12	33,87	16,06	29,39	7,5
38,33	55,35	31,98	16,03	28,72	
34,31	55,09	29,67	15,94	27,59	
46,10	55,37	34,71	15,56	29,92	10
42,26	55,37	33,36	15,53	29,33	
38,12	55,18	31,61	16,03	28,71	
34,16	55,16	29,44	15,99	27,54	2,5
46,14	55,33	38,26	19,98	31,87	
42,13	55,04	36,16	19,95	31,45	

cd. Tabela 11.5.

38,27	55,18	33,89	19,90	30,74	2,5
34,10	55,18	31,11	19,90	29,38	
46,21	55,35	37,56	20,07	32,34	5
42,16	55,26	35,69	20,01	31,71	
38,20	55,30	33,65	19,99	30,86	
34,31	55,24	31,14	19,94	29,54	
42,27	55,07	35,37	20,02	31,89	7,5
38,24	55,25	33,31	20,03	30,97	
34,15	55,30	30,87	20,13	29,61	
46,15	55,27	36,62	20,10	32,75	
42,24	55,15	35,09	20,06	32,04	10
38,36	55,16	33,23	20,02	31,08	
34,15	55,12	30,73	19,95	29,53	
42,27	55,07	35,37	20,02	31,89	

W poszczególnych scenariuszach kąpielowych wartości temperatur ścieków T_{SO} odpływających z jednostki wymiany ciepła oraz temperatury wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} na wyjściu z wymiennika mieściły się w przedziałach:

- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $23,62^{\circ}\text{C} \div 32,75^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $34,03^{\circ}\text{C} \div 39,10^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $46,09^{\circ}\text{C} \div 46,34^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $23,64^{\circ}\text{C} \div 32,04^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $32,14^{\circ}\text{C} \div 36,78^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $42,12^{\circ}\text{C} \div 42,37^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $23,35^{\circ}\text{C} \div 31,08^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $30,18^{\circ}\text{C} \div 34,34^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $38,12^{\circ}\text{C} \div 38,36^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $22,67^{\circ}\text{C} \div 29,61^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $27,85^{\circ}\text{C} \div 31,53^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $34,10^{\circ}\text{C} \div 34,35^{\circ}\text{C}$.

Wartości środkowe temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} oraz temperatury ścieków T_{SO} zarejestrowane podczas analiz wymiennika o długości 1270 mm przedstawiono w tabeli 11.6.

Tabela 11.6. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\text{ŚO}}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1270 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Temperatura wody cieplej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , °C	Temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} , °C	Temperatura zimnej wody wodociągowej na dopływie do wymiennika T_{WZ} , °C	Temperatura ścieków szarych na wypływie z wymiennika $T_{\text{ŚO}}$, °C	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min
46,20	55,34	34,77	8,13	24,62	2,5
42,22	55,31	32,63	8,08	24,41	
38,12	55,24	30,29	8,05	23,86	
34,21	55,30	27,86	7,96	23,13	
46,35	55,06	33,50	7,89	25,51	5
42,17	55,28	31,59	7,93	24,93	
38,11	55,40	29,54	7,81	24,17	
34,27	55,17	27,41	7,78	23,26	
46,27	55,03	32,44	8,01	26,38	7,5
42,10	55,32	30,83	8,02	25,54	
38,36	55,03	29,14	7,95	24,70	
34,35	55,06	27,03	7,87	23,58	
46,13	55,21	31,72	8,08	27,01	10
42,12	55,28	30,27	8,02	25,95	
38,19	55,13	28,59	7,94	24,94	
34,23	55,12	26,62	7,83	23,73	
46,22	55,03	35,77	11,85	27,17	2,5
42,24	55,25	33,72	11,80	26,84	
38,10	55,32	31,35	11,78	26,15	
34,42	55,17	29,09	11,72	25,34	
46,27	55,09	34,83	12,16	28,23	5
42,31	55,03	33,08	12,15	27,60	
38,38	55,12	31,07	12,00	26,75	
34,19	55,25	28,63	11,88	25,49	
46,20	55,13	34,00	12,13	28,81	7,5
42,12	55,22	32,39	12,17	27,98	
38,36	55,09	30,56	11,99	27,00	
34,32	55,09	28,36	11,85	25,73	
46,25	55,05	33,18	11,57	29,02	10
42,28	55,18	31,72	11,51	28,01	
38,13	55,02	29,92	11,41	26,78	
34,24	55,10	27,95	11,38	25,55	
46,30	55,07	37,13	16,16	30,07	2,5
42,21	55,29	35,02	16,15	29,60	
38,10	55,11	32,62	16,07	28,69	

cd. Tabela 11.6.

34,17	55,35	30,11	15,96	27,57	2,5
46,22	55,25	36,08	15,95	30,67	5
42,16	55,06	34,26	15,86	29,78	
38,15	55,20	32,15	15,83	28,82	
34,14	55,42	29,79	15,80	27,57	
46,18	55,35	35,37	15,58	30,87	7,5
42,27	55,30	33,78	15,57	29,95	
38,25	55,30	31,79	15,56	28,96	
34,33	55,32	29,57	15,48	27,63	
46,19	55,36	34,97	16,11	31,64	10
42,16	55,45	33,45	15,99	30,49	
38,16	55,14	31,63	15,98	29,26	
34,29	55,15	29,52	15,93	27,90	
46,11	55,13	38,32	20,24	32,67	2,5
42,25	55,24	36,30	20,14	32,01	
38,37	55,06	34,00	20,07	31,10	
34,25	55,09	31,25	19,95	29,62	
46,16	55,38	37,48	19,93	33,08	5
42,21	55,05	35,68	19,87	32,16	
38,30	55,13	33,68	19,81	31,01	
34,16	55,20	31,00	19,84	29,58	
46,14	55,04	36,99	19,85	33,30	7,5
42,19	55,06	35,24	19,78	32,33	
38,20	55,06	32,94	18,78	30,61	
34,18	55,04	30,80	19,77	29,64	
46,27	55,28	36,51	19,60	33,57	10
42,29	55,35	34,96	19,54	32,45	
38,26	55,22	33,01	19,50	31,14	
34,28	55,22	30,77	19,72	29,74	

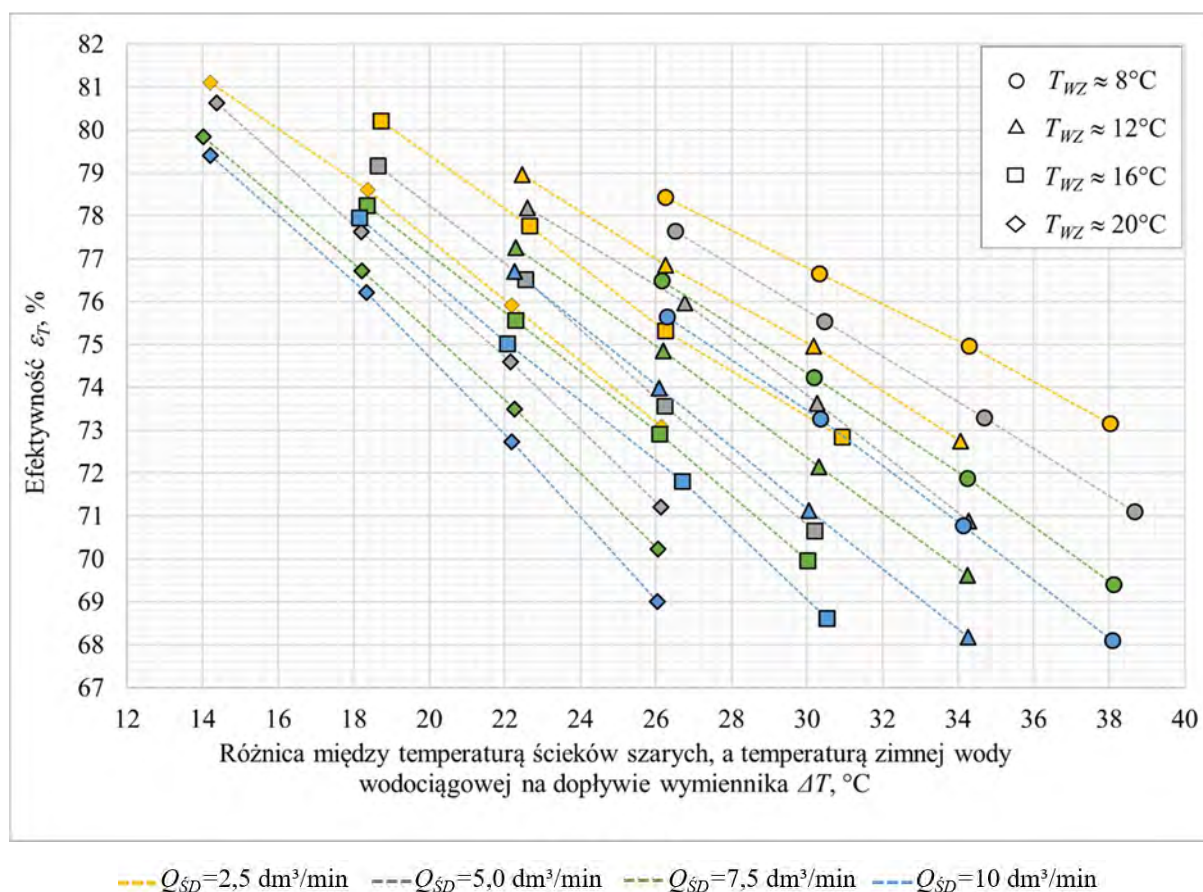
W poszczególnych scenariuszach kąpielowych wartości temperatur ścieków $T_{\dot{S}O}$ i wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} na wyjściu z wymiennika mieściły się w przedziałach:

- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $24,62^{\circ}\text{C} \div 34,57^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $31,72^{\circ}\text{C} \div 38,32^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $46,11^{\circ}\text{C} \div 46,35^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $24,41^{\circ}\text{C} \div 32,45^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $30,27^{\circ}\text{C} \div 36,30^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $42,10^{\circ}\text{C} \div 42,31^{\circ}\text{C}$,

- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $23,86^{\circ}\text{C} \div 31,14^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $28,59^{\circ}\text{C} \div 34,00^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $38,10^{\circ}\text{C} \div 38,38^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków T_{SO} w zakresie $23,13^{\circ}\text{C} \div 29,74^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $26,62^{\circ}\text{C} \div 31,25^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $34,14^{\circ}\text{C} \div 34,42^{\circ}\text{C}$.

11.2.2. Charakterystyka temperaturowa jednostek wymiany ciepła

Na podstawie wyników badań doświadczalnych wykreślono charakterystyki efektywności temperaturowej ε_T dwóch pionowych jednostek wymiany ciepła zainstalowanych w systemie odzysku ciepła zgodnie z założeniami projektowymi *Konfiguracji II*. Na rysunku 11.3 przedstawiono charakterystyki, wykreślone, jako efektywność ε_T w funkcji parametru ΔT , który określa różnicę między temperaturą ścieków T_{SD} , a temperaturą wody zimnej T_{WZ} .



Rysunek 11.3. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$

Na podstawie wyników badań uzyskanych dla pionowych jednostek wymiany ciepła oceniono, że wraz ze spadkiem wartości różnicy temperatury ścieków szarych T_{SD}

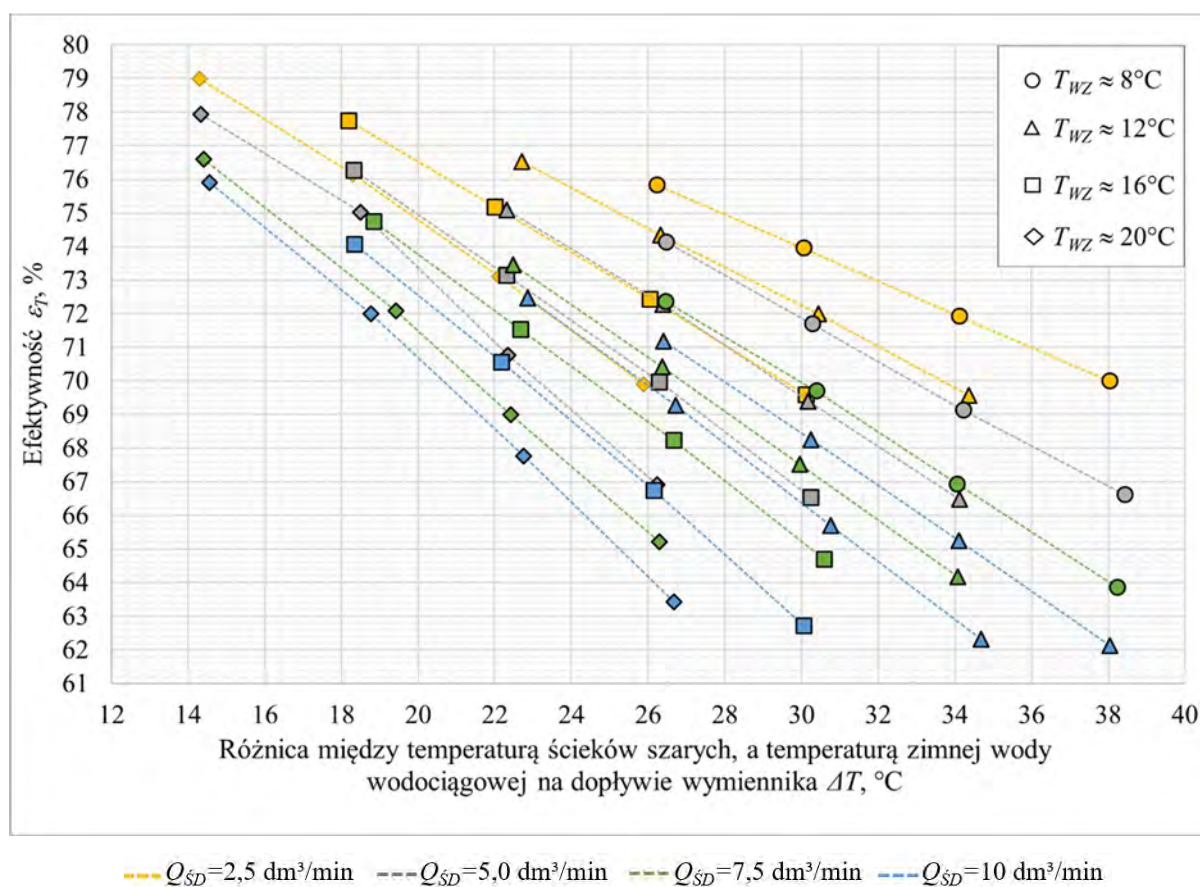
i temperatury wody zimnej T_{WZ} zwiększała się efektywność temperaturowa ε_T . W przypadku urządzenia o długości 1680 mm, wraz ze spadkiem różnicy między parametrami T_{SD} i T_{WZ} o 1°C obserwowano przyrost efektywności ε_T średnio o:

- 0,35 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,41 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $5,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,43 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,47 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $10 \text{ dm}^3/\text{min}$.

W przypadku jednostki o długości 1270 mm oszacowano, że wraz ze spadkiem parametru ΔT o 1°C przyrost efektywności wymiennika ε_T osiągał średnio:

- 0,39 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,48 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $5,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,54 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,58 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $10 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Charakterystyki efektywności ε_T dla pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm przedstawiono na rysunku 11.4.



Rysunek 11.4. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji II systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$

Analizując wyniki badań doświadczalnych zauważono, że w przypadkach, gdy wartości parametru ΔT były do siebie zbliżone, wyższy stopień efektywności temperaturowej ε_T uzyskiwano, gdy strumień objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM} przyjmował najniższe wartości spośród rozważanych. Zgodnie z uzyskanymi wynikami badań laboratoryjnych, efektywność ε_T dla tożsamyh scenariuszy kąpielowych (te same wartości zmiennych ΔT i Q_{WCM}) każdorazowo była wyższa w przypadku zastosowania wymiennika o długości 1680 mm aniżeli w przypadku jednostki krótszej. Różnice wartości zmiennych ε_T wyznaczone pomiędzy dwoma badanymi wymiennikami przedstawiono w tabeli 11.7.

Tabela 11.7. Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ między dwoma badanymi wymiennikami ciepła w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła

Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$		8	12	16	20
Temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła $T_{SD}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła $Q_{SD}, \text{dm}^3/\text{min}$	Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ pomiędzy wymiennikiem o długości 1680 mm, a urządzeniem o długości 1270 mm, pp.			
≈ 46	2,5	3,16	3,17	3,26	3,19
≈ 42		3,04	2,96	2,87	2,81
≈ 38		2,69	2,52	2,58	2,45
≈ 34		2,59	2,42	2,47	2,12
≈ 46	5	4,48	4,41	4,12	4,29
≈ 42		4,16	4,24	3,59	3,83
≈ 38		3,84	3,69	3,37	2,60
≈ 34		3,51	3,10	2,91	2,71
≈ 46	7,5	5,55	5,44	5,26	5,01
≈ 42		4,95	4,63	4,69	4,50
≈ 38		4,53	4,44	4,04	3,78
≈ 34		4,12	3,79	3,51	3,24
≈ 46	10	5,95	5,87	5,91	5,58
≈ 42		5,51	5,44	5,09	4,97
≈ 38		5,00	4,72	4,47	4,21
≈ 34		4,45	4,23	3,90	3,50

Na podstawie wyników badań prowadzonych dla *Konfiguracji II* określono, że jednostka *DWHR* o długości 1270 mm charakteryzuje się wyższym stopniem efektywności temperaturowej ε_T w przeliczeniu na dostępną powierzchnię wymiany ciepła, co przedstawiono w tabeli 11.8.

Tabela 11.8. Efektywność temperaturowa ε_T w odniesieniu do powierzchni wymiany ciepła A badanych jednostek DWHR w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła

Temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , °C		8	12	16	20	8	12	16	20
Temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła T_{SD} , °C	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ min	Efektywność ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A w wymienniku o długości 1680 mm, pp./dm ²				Efektywność ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A w wymienniku o długości 1270 mm, pp./dm ²			
		≈ 46	2,50	2,77	2,76	2,76	2,77	3,52	3,50
5,00	2,69		2,69	2,68	2,70	3,35	3,34	3,34	3,36
7,50	2,63		2,64	2,65	2,66	3,21	3,22	3,25	3,28
10,00	2,58		2,58	2,60	2,61	3,12	3,13	3,15	3,19
≈ 42	2,50	2,84	2,84	2,85	2,88	3,61	3,62	3,64	3,67
	5,00	2,78	2,79	2,79	2,83	3,47	3,49	3,52	3,56
	7,50	2,72	2,73	2,76	2,78	3,36	3,39	3,43	3,47
	10,00	2,68	2,69	2,72	2,76	3,28	3,30	3,35	3,41
≈ 38	2,50	2,90	2,91	2,94	2,98	3,72	3,74	3,78	3,83
	5,00	2,86	2,88	2,90	2,94	3,60	3,63	3,67	3,77
	7,50	2,81	2,84	2,86	2,91	3,50	3,54	3,59	3,67
	10,00	2,77	2,80	2,84	2,89	3,43	3,48	3,54	3,62
≈ 34	2,50	2,97	2,99	3,04	3,07	3,81	3,85	3,91	3,97
	5,00	2,94	2,96	3,00	3,05	3,72	3,77	3,83	3,92
	7,50	2,90	2,93	2,96	3,02	3,64	3,69	3,75	3,85
	10,00	2,86	2,91	2,95	3,01	3,58	3,64	3,72	3,81

Pomimo, że wymiennik o długości 1680 mm charakteryzował się wyższą efektywnością ε_T , to wartość zmiennej ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A każdorazowo była wyższa w przypadku wymiennika o długości 1270 mm.

11.3. Badania doświadczalne - *Konfiguracja III*

11.3.1. Analiza rzeczywistych wartości parametrów wejściowych

W *Konfiguracji III* zimna woda wodociągowa doprowadzana była do podgrzewacza elektrycznego oraz do wymiennika ciepła. Woda wstępnie podgrzana w pionowym wymienniku kierowana była do zaworu mieszającego. Stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków przepływających w wymienniku ciepła mieścił się w zakresie 48,13%÷81,35%.

Badania doświadczalne prowadzone pod kątem wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na poziom efektywności temperaturowej ε_T w pionowych wymiennikach instalowanych w *Konfiguracji III* wykazały, że czas korzystania z przyboru sanitarnego t_s nie wpływa na efektywność ε_T , dlatego tak jak w przypadku analiz *Konfiguracji I* oraz *Konfiguracji*

II analiza wyników została sporządzona w oparciu o dane uzyskane dla czasu t_s wynoszącego 18 minuty. Wyniki zarejestrowane podczas badań dla pozostałych czasów, z uwagi na ich obszerność, dołączono do pracy w postaci Załącznika 13, Załącznika 14, Załącznika 15, Załącznika 16, Załącznika 17 i Załącznika 18.

W tabeli 11.9 zestawiono wartości środkowe temperatur wody (T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ}) oraz temperatury ścieków T_{SO} na wypływie z wymiennika, które podległy rejestracji podczas badań wymiennika o długości 1680 mm prowadzonych w warunkach laboratoryjnych.

Tabela 11.9. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków T_{SO} rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1680 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , °C	Temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} , °C	Temperatura zimnej wody wodociągowej na dopływie do wymiennika T_{WZ} , °C	Temperatura ścieków szarych na wypływie z wymiennika T_{SO} , °C	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min
46,28	55,31	38,74	7,91	29,50	2,5
42,40	55,30	34,65	7,83	25,48	
38,45	55,25	30,79	7,81	22,49	
34,41	55,17	27,09	7,72	19,93	
46,46	55,14	38,51	8,15	30,22	5
42,47	55,17	34,35	7,98	26,15	
38,51	55,34	30,56	7,93	22,95	
34,51	55,34	27,03	8,05	20,40	
46,56	55,29	38,21	7,88	30,66	7,5
42,42	55,13	34,04	8,14	26,60	
38,45	55,30	30,24	8,13	23,44	
34,59	55,29	26,72	7,98	20,83	
46,24	55,11	37,74	7,93	30,86	10
42,31	55,16	33,64	7,91	26,78	
38,59	55,21	30,03	7,90	23,76	
34,24	55,24	26,23	7,88	20,89	
46,40	55,31	39,28	12,07	31,04	2,5
42,51	55,26	35,28	11,89	27,37	
38,34	55,29	31,33	11,83	24,45	
34,58	55,12	27,98	11,81	22,18	
46,22	55,16	38,85	12,20	31,51	5
42,45	55,12	35,01	12,14	27,80	
38,60	55,22	31,33	11,99	24,93	
34,55	55,31	27,77	11,91	22,46	

cd. Tabela 11.9.

46,51	55,33	38,82	12,16	32,00	7,5
42,45	55,19	34,69	12,11	28,18	
38,33	55,32	30,91	12,11	25,16	
34,41	55,35	27,45	11,97	22,69	
46,41	55,21	38,49	12,11	32,29	10
42,60	55,13	34,55	12,04	28,53	
38,36	55,12	30,68	11,96	25,39	
34,57	55,30	27,39	11,94	22,95	
46,56	55,15	39,89	15,63	32,45	2,5
42,41	55,21	35,79	15,58	28,94	
38,31	55,14	32,05	15,55	26,19	
34,28	55,22	28,55	15,50	23,95	
46,52	55,20	39,49	15,89	33,13	5
42,30	55,11	35,45	15,90	29,44	
38,33	55,20	31,83	15,87	26,69	
34,28	55,22	28,45	15,81	24,32	
46,32	55,25	39,26	16,00	33,25	7,5
42,39	55,27	35,59	16,89	29,99	
38,61	55,21	31,80	15,86	27,10	
34,42	55,22	28,26	15,82	24,70	
46,53	55,21	39,21	16,19	33,69	10
42,33	55,21	35,12	16,11	30,00	
38,29	55,19	31,53	16,10	27,20	
34,44	55,23	28,34	16,16	24,93	
46,47	55,34	40,41	19,90	34,11	2,5
42,64	55,31	36,66	19,81	30,97	
38,52	55,20	33,02	19,73	28,37	
34,53	55,24	29,72	19,75	26,31	
46,24	55,30	39,94	19,91	34,39	5
42,47	55,25	36,28	19,82	31,19	
38,25	55,23	32,65	19,84	28,59	
34,54	55,33	29,62	19,76	26,46	
46,63	55,31	40,06	19,93	34,82	7,5
42,54	55,13	36,15	19,92	31,51	
38,36	55,28	32,52	19,82	28,86	
34,43	55,15	29,35	19,83	26,69	
46,56	55,23	39,82	19,94	35,07	10
42,67	55,11	36,09	19,92	31,79	
38,29	55,24	32,40	19,92	28,98	
34,48	55,16	29,30	19,87	26,83	

Rzeczywiste wartości temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , wody ciepłej na wyjściu z wylewki prysznica T_{WCM} jak i temperatury wody na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} były wyższe aniżeli te określone w planie badawczym ($T_{WCM} = 8^{\circ}\text{C}$, 12°C ,

16°C, 20°C, $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$, 42°C, 38°C, 34°C, $T_{WCP} = 55^\circ\text{C}$). Rejestrowano również wartości temperatur ścieków szarych na odpływie z jednostki wymiany ciepła $T_{\dot{S}O}$ oraz temperatury wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} na wyjściu z wymiennika. W poszczególnych scenariuszach kąpielowych mieściły się one w przedziałach:

- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie 29,50°C÷35,07°C i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale 37,74°C÷40,41°C, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznica T_{WCM} wynosiła 46,22°C÷46,63°C,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie 25,48°C÷31,79°C i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale 33,64°C÷36,66°C, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznica T_{WCM} wynosiła 42,30°C÷42,67°C,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie 22,49°C÷28,98°C i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale 30,03°C÷33,02°C, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznica T_{WCM} wynosiła 38,25°C÷38,61°C,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie 19,93°C÷26,63°C i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale 26,23°C÷29,72°C, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznica T_{WCM} wynosiła 34,24°C÷34,59°C.

Wartości charakterystycznych temperatur wody i ścieków uzyskane w ramach analiz wymiennika długości 1270 mm zaimplementowanego w *Konfiguracji III* przedstawiono w tabeli 11.10.

Tabela 11.10. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\dot{S}O}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1270 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznica Q_{WCM}

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Temperatura wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , °C	Temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} , °C	Temperatura zimnej wody wodociągowej na dopływie do wymiennika T_{WZ} , °C	Temperatura ścieków szarych na wypływie z wymiennika $T_{\dot{S}O}$, °C	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min
46,23	55,21	38,03	8,16	30,59	2,5
42,38	55,45	33,96	8,11	26,61	
38,30	55,12	30,06	8,09	23,46	
34,32	55,29	26,44	8,02	20,86	
46,37	55,30	37,38	7,52	31,37	5,0
42,30	55,08	33,12	7,45	27,24	
38,13	55,32	29,18	7,40	23,83	
34,33	55,33	25,79	7,43	21,23	
46,26	55,13	36,86	7,75	32,04	7,5

cd. Tabela 11.10.

42,20	55,14	32,66	7,74	27,86	7,5
38,31	55,28	28,92	7,69	24,59	
34,15	55,26	25,31	7,74	21,78	10,0
46,24	55,18	36,59	7,94	32,43	
42,35	55,29	32,45	7,92	28,33	
38,08	55,15	28,48	7,87	24,89	
34,26	55,32	25,10	7,89	22,24	2,5
46,23	55,16	38,52	12,10	31,97	
42,24	55,15	34,49	12,13	28,19	
38,29	55,14	30,74	11,93	25,21	
34,21	55,25	27,20	11,91	22,71	5,0
46,27	55,12	37,98	12,02	32,69	
42,44	55,16	34,06	12,02	28,95	
38,15	55,36	30,19	12,01	25,72	
34,28	55,20	26,86	11,97	23,24	7,5
46,17	55,12	37,50	11,88	33,14	
42,35	55,17	33,56	11,86	29,35	
38,33	55,28	29,80	11,77	26,27	
34,10	55,20	26,28	11,78	23,55	10
46,30	55,21	37,19	11,52	33,48	
42,19	55,18	33,00	11,49	29,57	
38,24	55,30	29,38	11,48	26,44	
34,19	55,26	25,95	11,43	23,75	2,5
46,16	55,19	39,05	16,08	33,32	
42,28	55,32	35,18	16,01	29,84	
38,25	55,25	31,57	15,99	27,05	
34,13	55,34	28,12	15,93	24,62	5,0
46,29	55,24	38,58	15,92	34,03	
42,24	55,29	34,65	15,92	30,39	
38,14	55,19	30,98	15,83	27,47	
34,26	55,29	27,77	15,81	25,09	7,5
46,14	55,26	38,18	15,88	34,31	
42,34	55,20	34,32	15,74	30,77	
38,26	55,31	30,65	15,69	27,87	
34,27	55,28	27,34	15,61	25,43	10
46,35	55,28	38,04	16,00	34,81	
42,27	55,30	34,05	15,97	31,12	
38,23	55,22	30,49	15,91	28,19	
34,12	55,09	27,18	15,86	25,59	2,5
46,27	55,21	39,79	20,21	34,84	
42,33	55,28	36,02	20,17	31,58	
38,32	55,17	32,53	20,08	29,00	
34,35	55,37	29,33	20,10	26,85	

cd. Tabela 11.10.

46,29	55,34	39,22	19,73	35,33	5,0
42,30	55,17	35,44	19,72	31,97	
38,25	55,29	31,98	19,72	29,29	
34,23	55,22	28,79	19,57	26,87	7,5
46,19	55,28	38,98	19,99	35,66	
42,27	55,21	35,17	19,96	32,37	
38,18	55,20	31,68	19,88	29,60	10
34,17	55,18	28,55	19,85	27,27	
46,25	55,26	38,73	19,93	35,97	
42,29	55,21	34,95	19,93	32,67	10
38,26	55,20	31,52	19,85	29,86	
34,12	55,34	28,35	19,82	27,40	

W poszczególnych scenariuszach kąpielowych temperatury ścieków szarych na odpływie z jednostki wymiany ciepła $T_{\dot{S}O}$ oraz wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} na wyjściu z wymiennika mieściły się w przedziałach:

- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $30,59^{\circ}\text{C} \div 35,97^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $36,59^{\circ}\text{C} \div 39,79^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $46,14^{\circ}\text{C} \div 46,37^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $26,61^{\circ}\text{C} \div 32,67^{\circ}\text{C}$ i temperatur wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $32,45^{\circ}\text{C} \div 36,02^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $42,19^{\circ}\text{C} \div 42,44^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $23,46^{\circ}\text{C} \div 29,86^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $28,48^{\circ}\text{C} \div 32,53^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $38,08^{\circ}\text{C} \div 38,33^{\circ}\text{C}$,
- temperatura ścieków $T_{\dot{S}O}$ w zakresie $20,86^{\circ}\text{C} \div 27,40^{\circ}\text{C}$ i temperatura wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} w przedziale $25,10^{\circ}\text{C} \div 29,33^{\circ}\text{C}$, w przypadku, gdy temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła $34,10^{\circ}\text{C} \div 34,35^{\circ}\text{C}$.

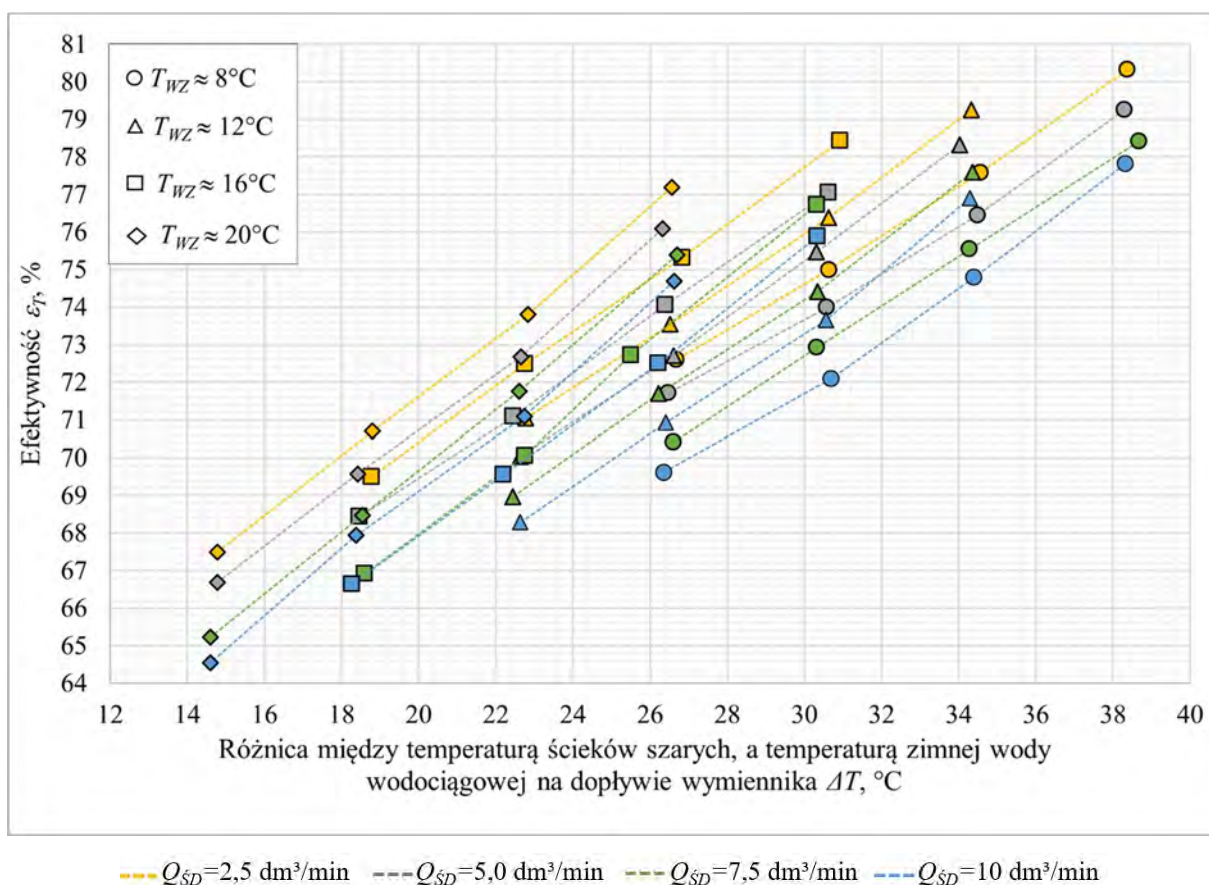
Wartości temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} uzyskane podczas analiz w warunkach zbliżonych do rzeczywistych w niewielkim stopniu różniły się od wartości przyjętych w planie badawczym ($T_{WCM} = 46^{\circ}\text{C}$; 42°C ; 38°C ; 34°C ; $T_{WCP} = 55^{\circ}\text{C}$) z uwagi na specyfiką techniczną wykorzystywanego przepływowego podgrzewacza elektrycznego i termostatycznego zaworu mieszającego. Rzeczywiste temperatury wody wodociągowej T_{WZ} również w niewielkim stopniu odbiegały od wartości uwzględnionych w planie badawczym ($T_{WZ} = 8^{\circ}\text{C}$; 12°C ; 16°C ; 20°C). Wartości parametru T_{WZ} zależały od panujących warunków atmosferycznych i nie podlegały celowym zmianom wartości.

Badania doświadczalne odzysku ciepła odpadowego dla systemu zgodnego z koncepcją projektową *Konfiguracji III* były prowadzone w cyklu rocznym, w okresie od stycznia 2020 roku do grudnia 2021 roku.

11.3.2. Charakterystyka temperaturowa jednostek wymiany ciepła

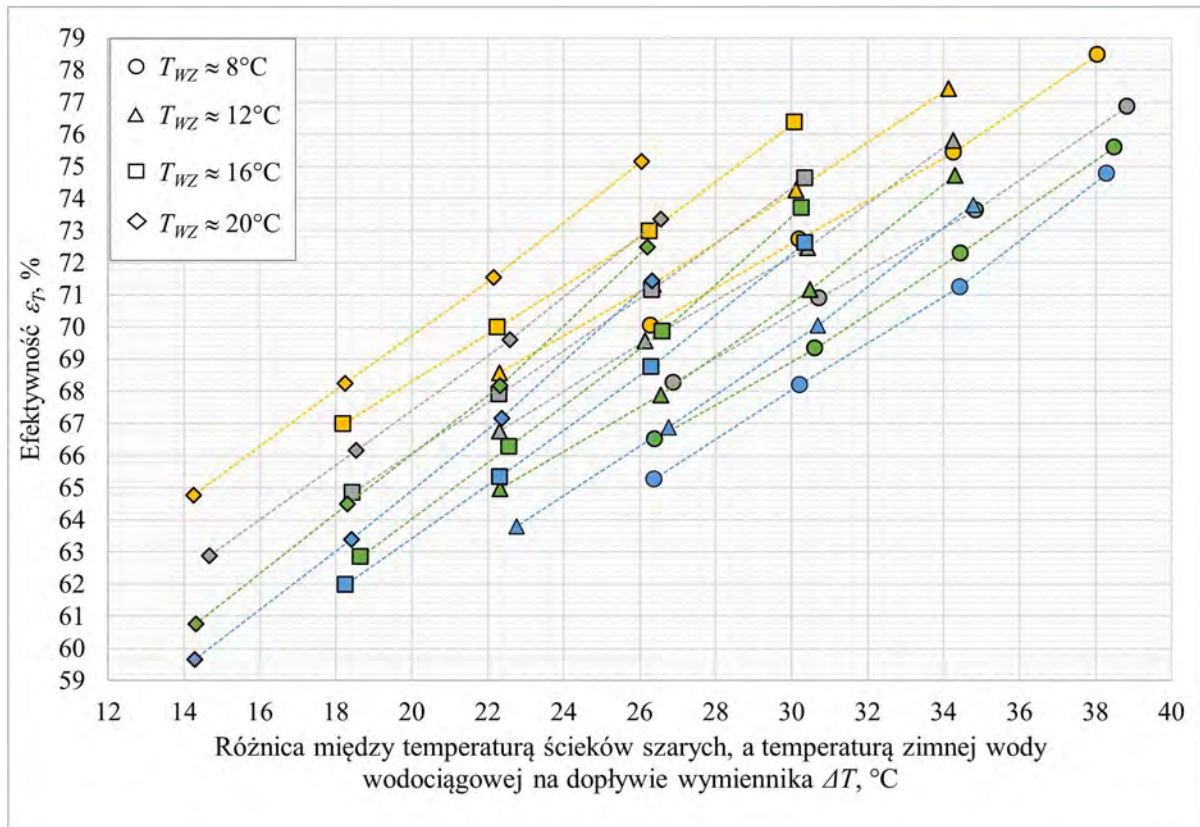
Na podstawie uzyskanych wyników badań wykreślono charakterystyki efektywności temperaturowej ε_T wymienników zaaplikowanych w systemie odzysku ciepła i instalacji przygotowania *c.w.u.* zgodnie z ideą projektową *Konfiguracji III*. Charakterystyki zostały sporządzone jako zależność efektywności temperaturowej ε_T w funkcji parametru ΔT , który zaś określa różnicę pomiędzy temperaturą ścieków T_{SD} dopływających do wymiennika, a temperaturą zimnej wody wodociągowej T_{WZ} .

Charakterystyki pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm przedstawiono na rysunku 11.5.



Rysunek 11.5. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$

Charakterystyki wymiennika ciepła o długości 1270 mm przedstawiono na rysunku 11.6.



Rysunek 11.6. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$

Analizując charakterystyki temperaturowe pionowych wymienników ciepła zauważono, że wraz ze wzrostem różnicy pomiędzy temperaturą ścieków szarych T_{SD} , a temperaturą zimnej wody wodociągowej T_{WZ} rosła efektywność odzysku ciepła ε_T w wymienniku. W przypadku urządzenia o długości 1680 mm, wraz ze wzrostem różnicy między parametrami T_{SD} i T_{WZ} o 1°C obserwowano przyrost efektywności temperaturowej ε_T średnio o:

- 0,54 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,53 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $5,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,55 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,55 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $10 \text{ dm}^3/\text{min}$.

W przypadku krótszej z badanych jednostek *DWHR* wykazano, że wraz ze zwiększaniem się różnicy pomiędzy parametrami T_{SD} i T_{WZ} o 1°C przyrost efektywności odzysku energii ε_T wyniósł średnio:

- 0,57 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,58 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $5,0 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- 0,62 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$,

- 0,64 pp. w przypadku, gdy wartość parametru Q_{WCM} była równa $10 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Na podstawie wykreślonych charakterystyk pionowych jednostek wymiany ciepła zauważono, że wraz ze spadkiem różnicy temperatury ścieków szarych T_{SD} i temperatury wody zimnej T_{WZ} zmniejszała się różnica efektywności ε_T każdego z badanych wymienników. W scenariuszach kąpielowych o zbliżonej wartości parametru ΔT wyższe wartości efektywności ε_T uzyskiwano, gdy wartość strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM} była możliwie jak najniższa wśród rozpatrywanych scenariuszy.

Zauważono, że w odpowiadających sobie zbiorach wyników (tożsamy pod względem wartości parametrów ΔT i Q_{SD}) każdorazowo efektywność temperaturowa ε_T była wyższa w przypadku wymiennika o długości 1680 mm. Różnice efektywności ε_T pomiędzy dwoma badanymi urządzeniami przedstawiono w formie tabeli 11.11.

Tabela 11.11. Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ między dwoma badanymi wymiennikami ciepła w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła

Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$		8	12	16	20
Temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła $T_{SD}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła $Q_{SD}, \text{dm}^3/\text{min}$	Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ pomiędzy wymiennikiem o długości 1680 mm, a urządzeniem o długości 1270 mm, pp.			
≈ 46	2,50	1,85	1,83	2,05	2,05
≈ 42		2,16	2,12	2,34	2,26
≈ 38		2,26	2,21	2,51	2,45
≈ 34		2,54	2,47	2,51	2,73
≈ 46	5,00	2,41	2,51	2,42	2,72
≈ 42		2,81	2,99	2,91	3,07
≈ 38		3,09	3,13	3,19	3,41
≈ 34		3,44	3,28	3,60	3,79
≈ 46	7,50	2,82	2,87	3,02	2,91
≈ 42		3,24	3,25	3,46	3,59
≈ 38		3,59	3,80	3,78	3,99
≈ 34		3,90	4,00	4,08	4,46
≈ 46	10,00	3,03	3,09	3,28	3,26
≈ 42		3,54	3,60	3,75	3,92
≈ 38		3,90	4,03	4,22	4,54
≈ 34		4,36	4,49	4,67	4,90

Dłuższy wymiennik ciepła charakteryzował się wyższą efektywnością temperaturową ε_T , jednak w przeliczeniu na dostępną powierzchnię wymiany ciepła A , to urządzenie o długości 1270 mm okazało się charakteryzować wyższą efektywnością temperaturową ε_T , co przedstawiono w tabeli 11.12.

Tabela 11.12. Efektywność temperaturowa ε_T w odniesieniu do powierzchni wymiany ciepła A badanych jednostek DWHR w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła

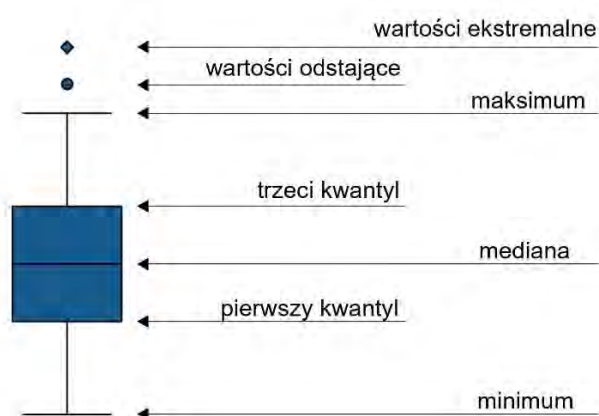
Temperatura zimnej wody wodociągowej, T_{WZ} °C		8	12	16	20	8	12	16	20
Temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła T_{SD} , °C	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ min	Efektywność ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A w wymienniku o długości 1680 mm, pp./dm ²				Efektywność ε_T w przeliczeniu na powierzchnię wymiany ciepła A w wymienniku o długości 1270 mm, pp. /dm ²			
≈ 46	2,50	3,04	3,00	2,97	2,92	3,94	3,89	3,84	3,78
	5,00	3,00	2,97	2,92	2,88	3,86	3,81	3,75	3,69
	7,50	2,97	2,94	2,91	2,86	3,80	3,75	3,70	3,64
	10,00	2,95	2,91	2,87	2,83	3,76	3,71	3,65	3,59
≈ 42	2,50	2,94	2,89	2,85	2,80	3,79	3,73	3,67	3,60
	5,00	2,90	2,86	2,81	2,75	3,70	3,64	3,58	3,50
	7,50	2,86	2,82	2,78	2,72	3,63	3,58	3,51	3,43
	10,00	2,83	2,79	2,75	2,69	3,58	3,52	3,45	3,38
≈ 38	2,50	2,84	2,79	2,75	2,68	3,65	3,58	3,52	3,43
	5,00	2,80	2,75	2,69	2,64	3,56	3,50	3,41	3,32
	7,50	2,76	2,72	2,65	2,59	3,48	3,41	3,33	3,24
	10,00	2,73	2,69	2,63	2,57	3,43	3,36	3,28	3,19
≈ 34	2,50	2,75	2,69	2,63	2,56	3,52	3,45	3,37	3,25
	5,00	2,72	2,65	2,59	2,53	3,43	3,35	3,26	3,16
	7,50	2,67	2,61	2,53	2,47	3,34	3,26	3,16	3,05
	10,00	2,64	2,59	2,52	2,44	3,28	3,21	3,11	3,00

12. Wyniki badań doświadczalnych w zakresie efektywności energetycznej ε odzysku energii cieplnej w instalacji kanalizacji i przygotowania c.w.u.

12.1. Wprowadzenie

W prezentacji wyników dotyczących efektywności energetycznej ε dwóch wymienników *DWHR* zaaplikowanych w systemie przygotowania c.w.u. i instalacji kanalizacyjnej wykorzystano tzw. wykresy skrzynkowe. Wykresy te opracowano w oparciu o wartości statystyk opisowych zbiorów danych liczbowych uzyskanych w trakcie badań w warunkach doświadczalnych. Wykresy skrzynkowe, zwane też „pudełko-wąsy” posłużyły do przedstawienia rozkładu cech statystycznych wyników uzyskanych dla wszystkich scenariuszy kąpielowych.

Wykres skrzynkowy jest złożony z tzw. pudełka rozdzielonego pionową linią, która wyznacza wartość mediany oraz wąsów, które zaś ukazują odległości wartości minimalnej i maksymalnej. Wykres ten pozwala na odczytywanie poziomu rozproszenia danych pierwszego i trzeciego kwantyla, mediany oraz minimum i maksimum (Łuczak, 2007). Elementy wykresu typu „pudełko-wąsy” przedstawiono na rysunku 12.1.



Rysunek 12.1. Charakterystyka wykresu „pudełko-wąsy” (Łuczak, 2007)

Elementy zbioru danych, które odbiegają od środka rozkładu nazywa się wartościami ekstremalnymi bądź odstającymi. Długość pudełka ukazuje rozstęp ćwiartkowy uwzględniający 50% środkowych obserwacji ze zbioru danych. Linia wskazująca wartość mediany tworzy w pudełku dwa obszary. W pierwszym znajduje się 25% obserwacji o wartościach niższych od dolnego kwantyla, natomiast drugi przedział obejmuje 25%

obserwacji o wartościach wyższych od kwartyła górnego. Im dłuższy wykres, tym dane są bardziej rozproszone. Jeśli wykres układa się symetrycznie względem linii opisującej medianę, to można podejrzewać, że wykres cechy jest symetryczny. Jeżeli jednak pudełko nie jest symetryczne bądź wąsy charakteryzują się odmienną długością, to definiuje się rozkład asymetrycznym (Malarska, 2005).

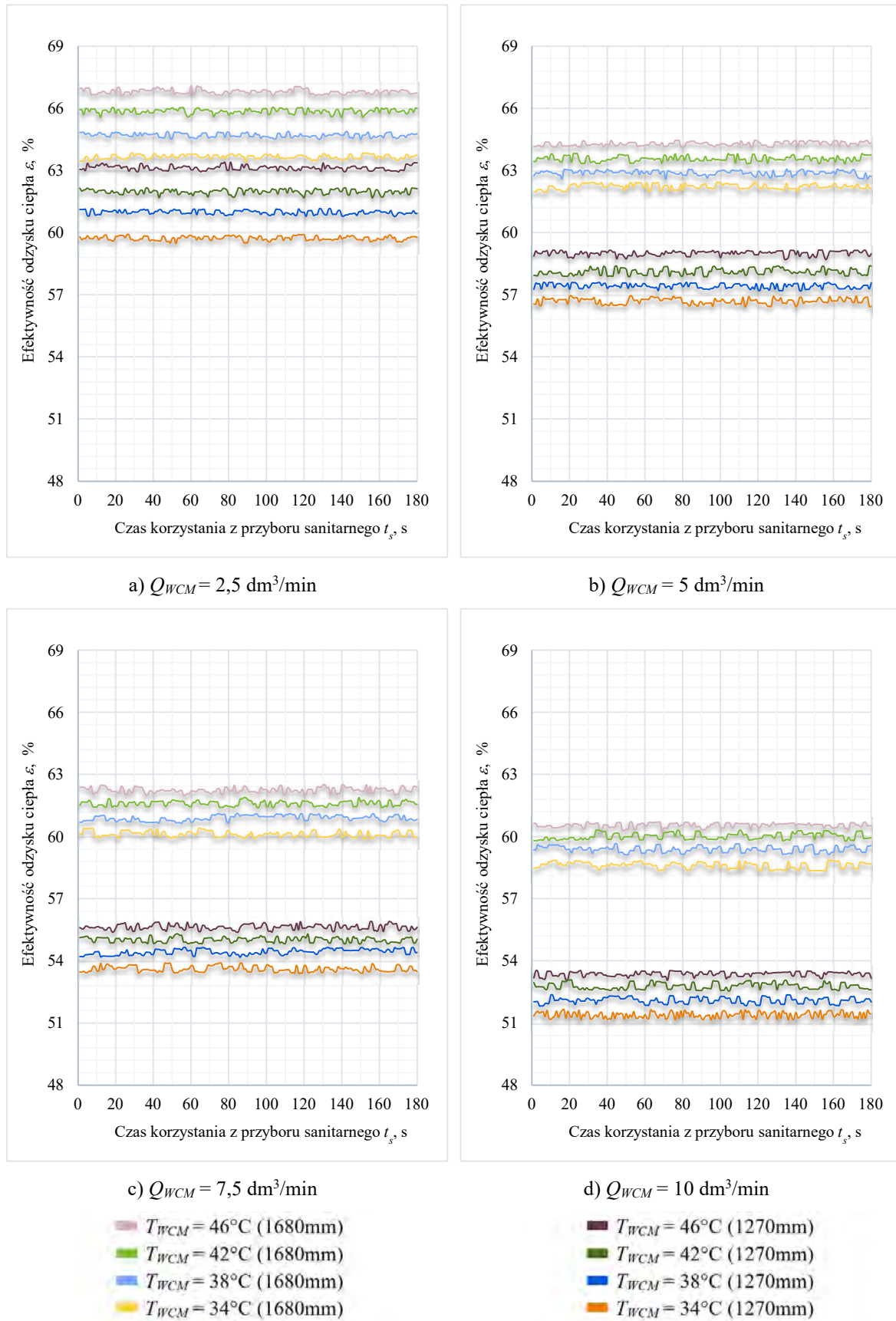
12.2. Badania doświadczalne - Konfiguracja I

12.2.1. Analiza wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na efektywność odzysku ciepła ε

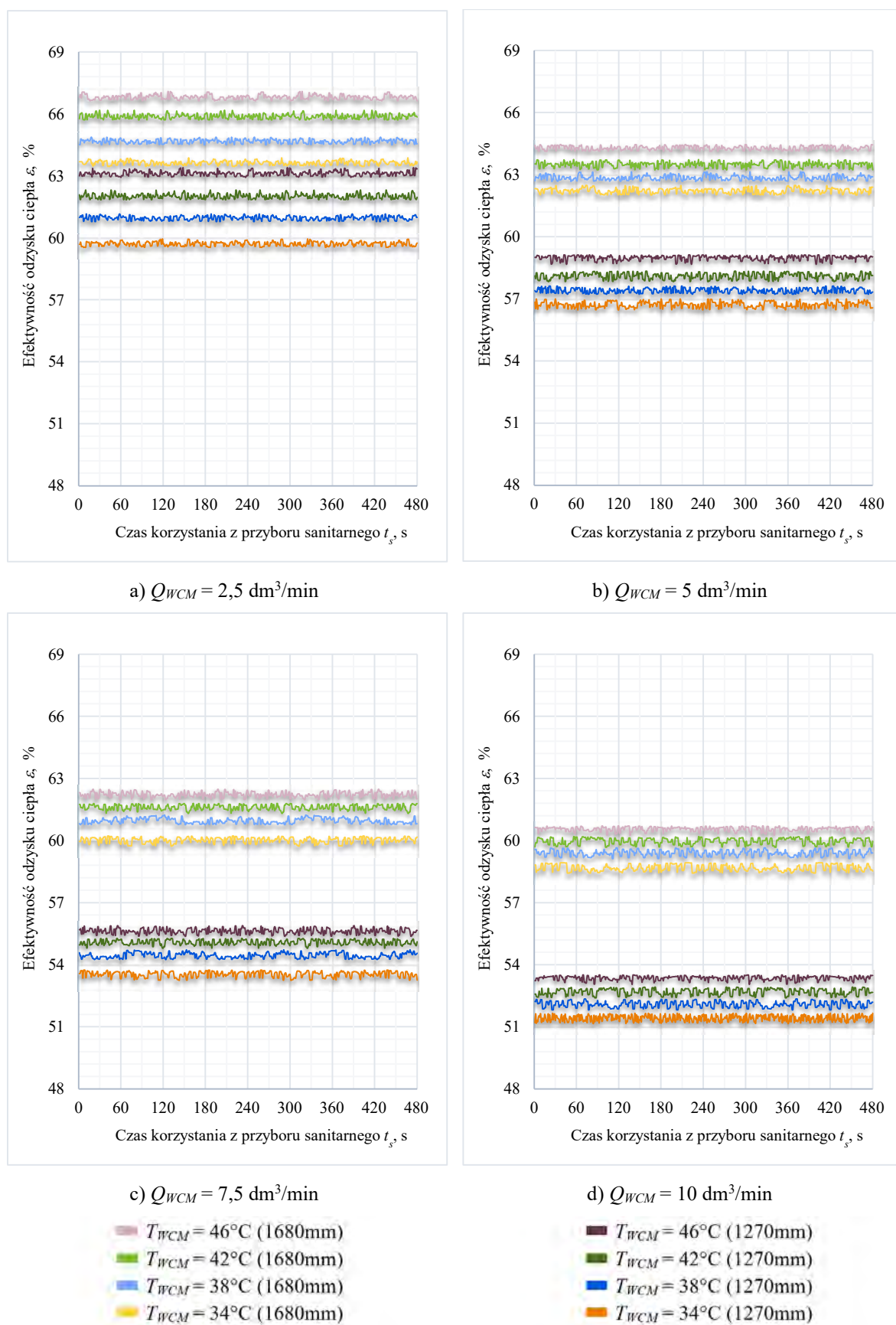
Analizy efektywności odzysku ciepła ε dla dwóch pionowych wymienników sporządzono na podstawie zarejestrowanych wartości temperatury ścieków szarych T_{SO} na odpływie z jednostki $DWHR$, temperatury wody ciepłej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , temperatury wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , temperatury wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} na odpływie z jednostki wymiany ciepła oraz temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} .

Zgodnie z przyjętym planem badawczym, analizy uwzględniały prowadzenie badań doświadczalnych przy czterech odmienny czasach korzystania z przyboru sanitarnego t_s (3 min, 8 min, 13 min, 18 min). Efektywność odzysku ciepła ε zarejestrowaną w czasie badań doświadczalnych dla przyjętych w planie badawczym wartości t_s przedstawiono kolejno na rysunkach od 12.2 do 12.5.

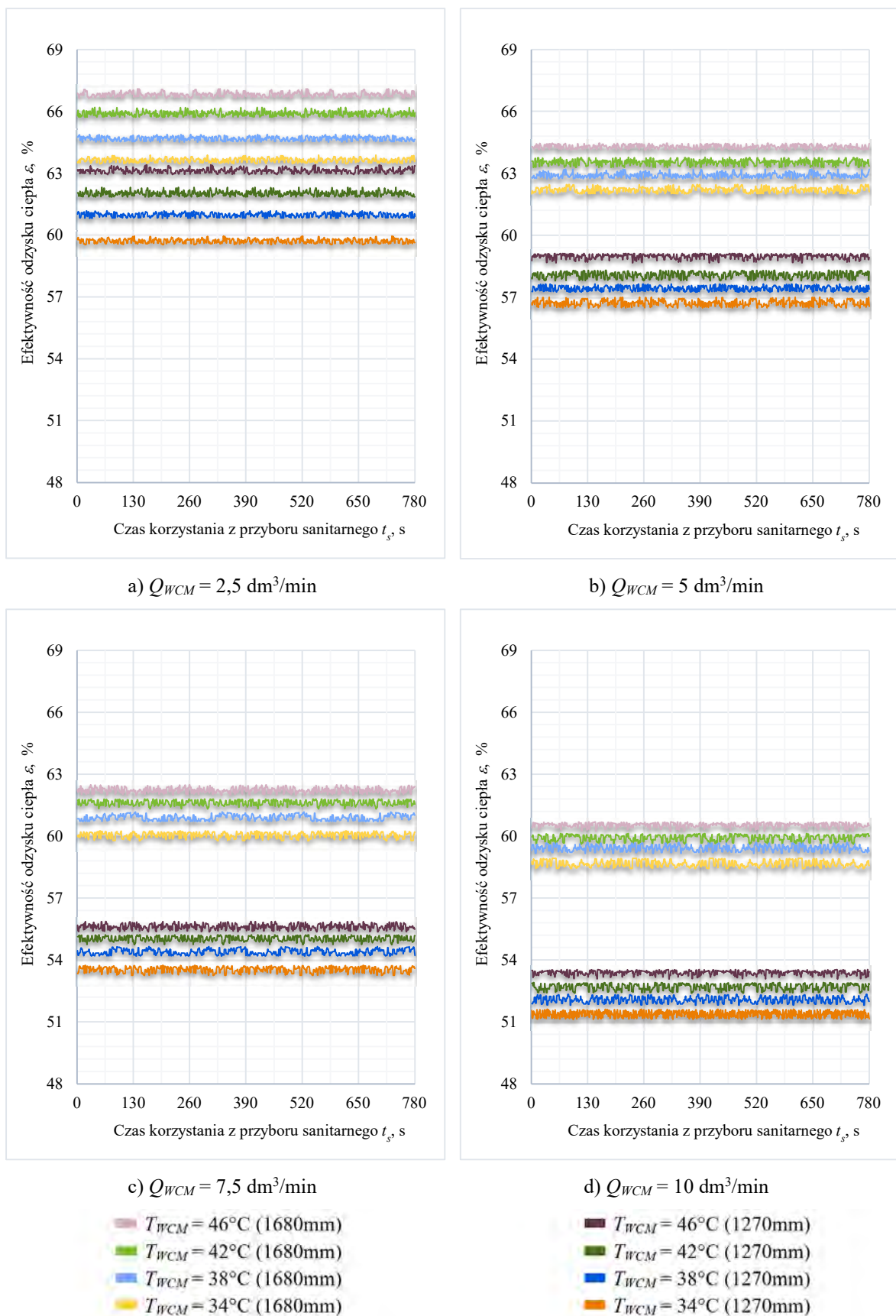
Przedstawione w rozdziale 12 wyniki uwzględniają celowe i zgodne z planem badawczym zmiany temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody kąpielowej Q_{WCM} przy ustabilizowanej i stałej w czasie wartości temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej $\approx 8^\circ\text{C}$. Rozkład efektywności odzysku ciepła ε w czasie t_s dla pozostałych wartości parametru T_{WZ} przedstawiono w załącznikach (Załącznik 19 do Załącznik 30).



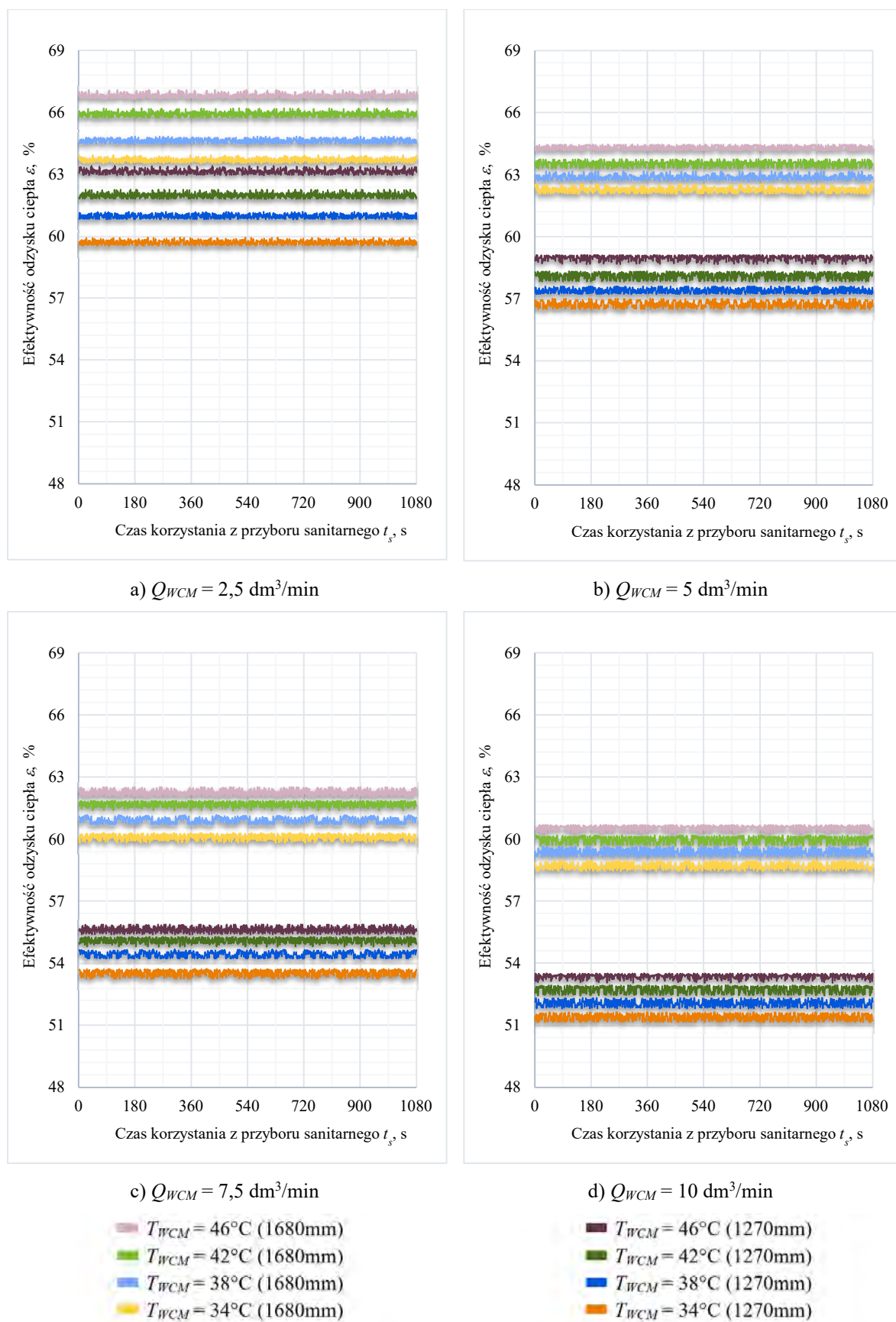
Rysunek 12.2. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody mieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody mieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C



Rysunek 12.3. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C



Rysunek 12.4. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody mieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody mieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C



Rysunek 12.5. Efektywność odzysku energii ϵ w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C

Analizując wyniki badań otrzymanych dla scenariuszy kąpielowych można stwierdzić, że dla odmiennych wartości parametru Q_{WCM} obserwuje się nieznaczne wahania wartości stopnia efektywności odzysku ciepła ε na przestrzeni czasu t_s . Niestabilność efektywności ε wynika ze zmienności wartości temperatur parametrów wejściowych T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WZ} . Nie zauważono, jednak tendencji wzrostu lub spadku efektywności odzysku ciepła ε czasie symulacji użytkowania przyboru sanitarnego t_s .

Wraz z wydłużaniem czasu analiz t_s nie zaobserwowano wyraźnej zmiany parametru wyjściowego ε względem wyników uzyskanych dla najkrótszego przyjętego w analizach czasu t_s równego 3 min. Różnice w rozkładzie wartości efektywności odzysku ciepła ε w odpowiadających sobie przypadkach badawczych (tożsamy pod względem wartości zmiennych Q_{WCM} i T_{WCM}) są niewielkie i mogą wynikać jedynie z odchyłeń wartości rejestrowanych temperatur tj. temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , temperatury wody na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} oraz temperatury wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} .

Jako, że wartość parametru t_s nie wpływa na zmianę efektywności wymiany ciepła ε , prezentacja wyników badań w zakresie oceny efektywności energetycznej ε odzysku energii cieplnej została sporządzona dla jednego, wybranego czasu korzystania z przyboru sanitarnego wynoszącego 18 min. Wartości środkowe zarejestrowanych w czasie badań temperatur, strumieni objętości wody oraz wyznaczone na ich podstawie wartości efektywności odzysku ciepła ε dla *Konfiguracji I* systemu i dla wymiennika o długości 1680 mm oraz czasu $t_s = 18$ min zostały zestawione w formie tabeli 12.1. Dla krótszego wymiennika wartości tego parametru przedstawiono w tabeli 12.2.

Tabela 12.1. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 18 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza T_{WCP} , °C	Temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} , °C	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego Q_{WPPA} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego Q_{WPPB} , dm ³ /min	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min	Efektywność odzysku ciepła ε , %
46,25	55,21	7,96	1,47	1,03	2,5	66,82
42,37	55,24	7,98	1,19	1,31	2,5	65,89

cd. Tabela 12.1.

38,13	55,22	7,95	0,96	1,54	2,5	64,65
34,45	55,36	7,91	0,79	1,71	2,5	63,69
46,36	55,14	7,55	3,06	1,94	5	64,31
42,33	55,43	7,51	2,46	2,54	5	63,55
38,21	55,25	7,51	2,00	3,00	5	62,86
34,35	55,37	7,56	1,63	3,37	5	62,01
46,65	54,85	8,15	4,79	2,71	7,5	62,24
42,45	55,05	7,97	3,84	3,66	7,5	61,64
38,06	55,04	7,91	3,07	4,43	7,5	60,91
34,45	54,97	7,99	2,55	4,95	7,5	60,13
46,22	55,23	7,91	6,26	3,74	10	60,57
42,31	55,20	7,72	5,18	4,82	10	60,00
38,17	55,26	7,68	4,20	5,80	10	59,39
34,28	55,19	7,89	3,43	6,57	10	58,66
46,19	55,30	11,98	1,41	1,09	2,5	65,58
42,26	55,24	11,98	1,13	1,37	2,5	64,75
38,20	55,22	11,92	0,90	1,60	2,5	63,40
34,27	55,22	11,90	0,71	1,79	2,5	62,53
46,46	55,30	11,94	2,94	2,06	5	63,33
42,41	55,30	11,52	2,35	2,65	5	62,93
38,47	55,23	12,01	1,88	3,12	5	61,81
34,23	55,34	12,03	1,45	3,55	5	60,96
46,41	54,32	11,95	4,69	2,81	7,5	61,67
42,27	55,18	11,89	3,60	3,90	7,5	60,79
38,13	55,17	11,95	2,85	4,65	7,5	60,14
34,82	55,25	11,93	2,35	5,15	7,5	59,22
46,32	55,24	12,12	6,06	3,94	10	59,93
42,18	55,34	12,02	4,83	5,17	10	59,27
38,23	55,26	11,96	3,89	6,11	10	58,74
34,18	55,28	11,96	3,06	6,94	10	58,12
46,27	55,57	14,51	1,36	1,14	2,5	64,86

cd. Tabela 12.1.

42,31	55,33	14,41	1,09	1,41	2,5	63,92
38,14	55,60	14,39	0,84	1,66	2,5	63,06
34,32	55,27	14,44	0,66	1,84	2,5	62,25
46,29	55,14	16,09	2,81	2,19	5	62,47
42,21	55,13	15,97	2,19	2,81	5	61,68
38,10	55,26	15,55	1,70	3,30	5	60,70
34,27	55,12	15,47	1,32	3,68	5	60,03
46,42	55,57	15,51	4,26	3,24	7,5	61,12
42,33	55,42	16,04	3,33	4,17	7,5	60,30
38,37	55,51	16,04	2,60	4,90	7,5	59,17
34,08	55,09	15,95	1,98	5,52	7,5	58,30
46,16	55,34	16,04	5,72	4,28	10	59,28
42,34	55,29	15,93	4,57	5,43	10	58,67
38,28	55,19	15,98	3,56	6,44	10	58,10
34,29	55,13	15,89	2,74	7,26	10	57,33
45,46	55,30	20,03	1,21	1,29	2,5	63,62
42,32	55,20	20,01	0,98	1,52	2,5	62,96
38,49	55,18	19,94	0,74	1,76	2,5	61,97
34,36	55,27	19,82	0,53	1,97	2,5	61,15
46,20	55,16	19,97	2,65	2,35	5	61,62
42,34	55,31	19,97	2,01	2,99	5	60,94
38,26	55,16	19,90	1,51	3,49	5	60,06
34,29	55,20	20,01	1,09	3,91	5	59,39
46,66	55,39	19,51	4,15	3,35	7,5	60,25
42,25	55,32	19,53	3,11	4,39	7,5	59,27
38,30	55,35	19,64	2,34	5,16	7,5	58,48
34,15	55,42	19,67	1,68	5,82	7,5	57,65
46,30	55,10	20,00	5,53	4,47	10	58,60
42,26	55,14	19,95	4,21	5,79	10	58,09
38,29	55,28	19,97	3,15	6,85	10	57,34
34,31	55,11	20,12	2,30	7,70	10	56,30

Tabela 12.2. Wartości średniowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 18 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ C$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WPP}, ^\circ C$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ C$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPPA}, dm^3/min$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPPB}, dm^3/min$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, dm^3/min$	Efektywność odzysku ciepła $\epsilon, \%$
46,30	55,17	8,10	1,54	0,96	2,50	63,13
42,11	55,28	8,09	1,25	1,25	2,50	61,96
38,26	55,18	8,01	1,03	1,47	2,50	60,98
34,13	55,31	8,01	0,84	1,66	2,50	59,70
46,12	55,32	8,11	3,13	1,87	5,00	59,00
42,20	55,16	8,07	2,61	2,39	5,00	58,11
38,15	55,15	7,99	2,14	2,86	5,00	57,40
34,31	55,32	7,86	1,77	3,23	5,00	56,73
46,24	55,11	8,02	4,93	2,57	7,50	55,62
42,29	55,13	7,84	4,10	3,40	7,50	55,06
38,20	55,14	7,89	3,37	4,13	7,50	54,42
34,26	55,24	7,88	2,77	4,73	7,50	53,57
46,18	55,14	7,82	6,65	3,35	10,00	53,39
42,28	55,25	7,89	5,56	4,44	10,00	52,75
38,13	55,30	7,77	4,59	5,41	10,00	52,06
34,20	55,30	7,63	3,81	6,19	10,00	51,39
46,26	55,15	12,14	1,49	1,01	2,50	61,92
42,33	55,34	12,18	1,19	1,31	2,50	60,96
38,09	55,17	11,96	0,94	1,56	2,50	59,88
34,19	55,17	11,91	0,77	1,73	2,50	58,81
46,29	55,29	11,86	3,08	1,92	5,00	58,03
42,13	55,20	11,98	2,49	2,51	5,00	57,27
38,23	55,34	11,81	2,01	2,99	5,00	56,61
34,36	55,18	11,75	1,61	3,39	5,00	55,89
46,23	55,28	12,11	4,72	2,78	7,50	55,05

cd. Tabela 12.2.

42,31	55,30	12,03	3,86	3,64	7,50	54,51
38,12	55,12	12,11	3,12	4,38	7,50	53,52
34,17	55,19	11,94	2,50	5,00	7,50	52,79
46,17	55,21	11,84	6,42	3,58	10,00	52,76
42,17	55,30	11,84	5,26	4,74	10,00	51,95
38,29	55,16	11,77	4,32	5,68	10,00	51,59
34,20	55,28	11,71	3,44	6,56	10,00	50,85
46,19	55,26	15,44	1,42	1,08	2,50	60,98
42,18	55,31	15,63	1,11	1,39	2,50	60,03
38,30	55,31	15,60	0,88	1,62	2,50	59,19
34,13	55,21	15,52	0,68	1,82	2,50	57,99
46,25	55,26	15,51	2,97	2,03	5,00	56,94
42,14	55,31	15,41	2,34	2,66	5,00	56,37
38,11	55,12	15,45	1,87	3,13	5,00	55,49
34,13	55,22	15,39	1,43	3,57	5,00	54,70
46,15	55,13	15,56	4,56	2,94	7,50	54,49
42,16	55,29	15,50	3,63	3,87	7,50	53,76
38,33	55,32	15,42	2,93	4,57	7,50	52,70
34,27	55,13	15,34	2,30	5,20	7,50	51,59
46,22	55,10	16,10	6,20	3,80	10,00	51,91
42,30	55,14	16,04	4,99	5,01	10,00	51,43
38,19	55,24	15,96	3,89	6,11	10,00	50,94
34,31	55,30	15,88	3,05	6,95	10,00	50,13
46,35	55,17	19,93	1,35	1,15	2,50	60,16
42,29	55,13	19,87	1,04	1,46	2,50	59,25
38,15	55,30	19,84	0,77	1,73	2,50	58,22
34,33	55,15	19,80	0,59	1,91	2,50	56,81
46,29	55,35	20,09	2,80	2,20	5,00	56,11
42,22	55,22	20,07	2,15	2,85	5,00	55,52
38,31	55,12	19,88	1,66	3,34	5,00	54,75
34,26	55,11	19,91	1,20	3,80	5,00	53,99

cd. Tabela 12.2.

46,30	55,26	19,86	4,33	3,17	7,50	53,89
42,33	55,09	19,79	3,40	4,10	7,50	52,73
38,20	55,20	19,71	2,58	4,92	7,50	51,93
34,15	55,13	19,75	1,89	5,61	7,50	50,78
46,28	55,32	19,83	5,87	4,13	10,00	51,44
42,22	55,17	19,67	4,62	5,38	10,00	50,70
38,28	55,21	19,72	3,53	6,47	10,00	50,09
34,11	55,34	19,66	2,57	7,43	10,00	49,06

Wyniki uzyskane dla pozostałych czasów t_s (3 min, 8 min, 13 min) dołączono do opracowania w formie załączników (Załącznik 31 do Załącznik 36).

12.2.2. Analiza efektywności odzysku energii ε pod kątem wpływu stosunku wartości strumieni objętości wody Q_{WZ} i ścieków przepływających Q_{SD} przez wymiennik

Na podstawie wyników prowadzonych badań przeanalizowano zmianę efektywności odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumieni objętości wody Q_{WZ} do ścieków szarych Q_{SD} przepływających w pionowym wymienniku.

Instalacja przygotowania *c.w.u.*, dla której przeprowadzono analizy pod kątem oceny efektywności odzysku ciepła ε była wyposażona w termostatyczny zawór mieszający, którym w trakcie realizacji badań doświadczalnych sterowano temperaturę wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznic T_{WCM} . Ustalenie oczekiwanej temperatury wody zmieszanej T_{WCM} na wypływie z zaworu wynikało z optymalnego rozdziału strumieni objętości wody na wyjściu z podgrzewacza Q_{WCP} i strumienia wody zimnej Q_{WZ} w instalacji przygotowania wody użytkowej.

Wartości strumieni objętości wody zimnej Q_{WZ} , wody wstępnie podgrzanej Q_{WWP} , wody zmieszanej na wypływie z zaworu mieszającego Q_{WCM} oraz strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} uzyskane w trakcie badań dla *Konfiguracji I* instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemu odzysku ciepła ujęto w tabeli 12.3 dla wymiennika o długości 1680 mm oraz w tabeli 12.4 dla jednostki o długości 1270 mm.

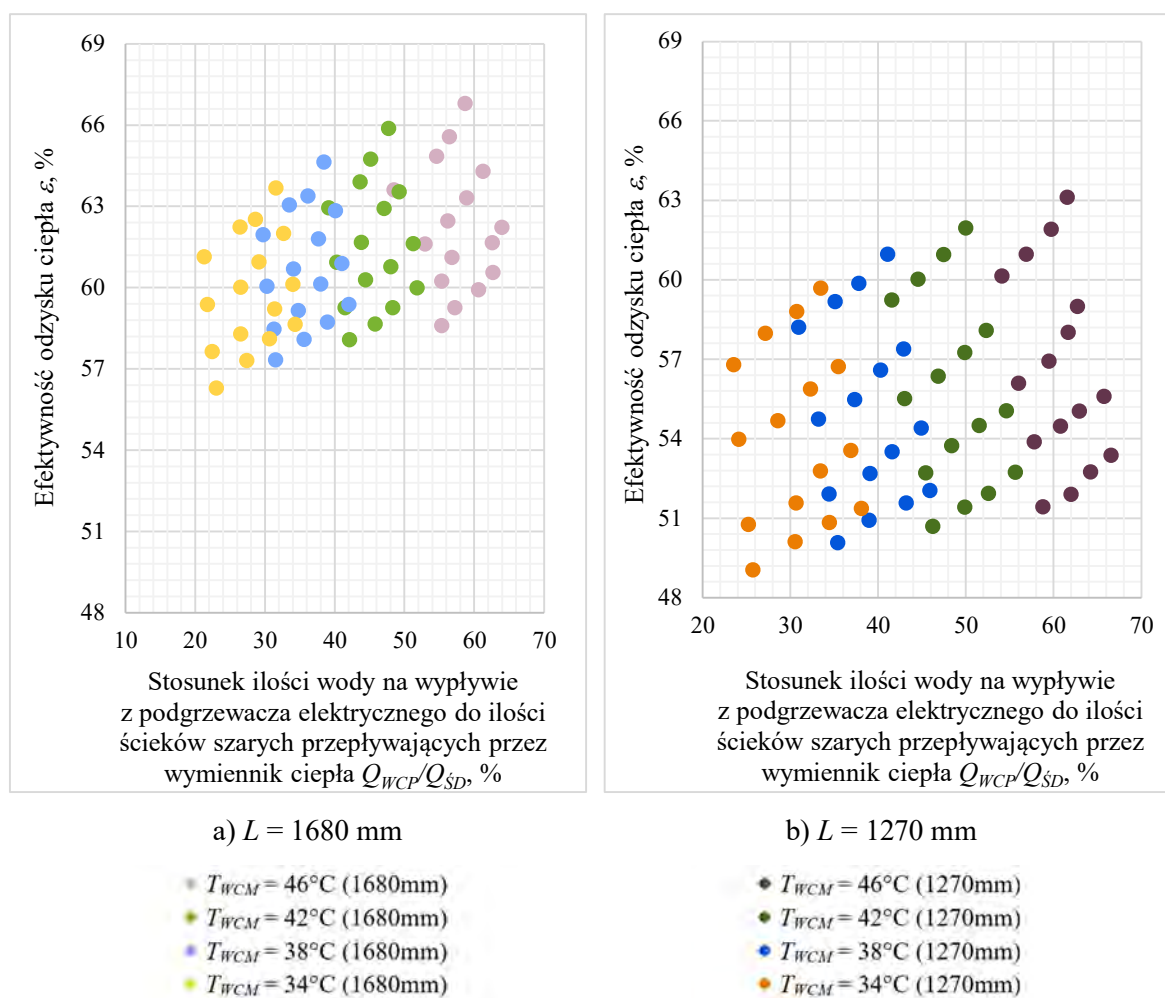
Tabela 12.3. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania c.w.u. i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracja I* dla wymiennika o długości 1680 mm

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZ} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do podgrzewacza Q_{WPPA} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WPPB} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min ($Q_{WCM} = Q_{WPPA} + Q_{WPPB}$)	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min ($Q_{SD} = Q_{WCM}$)	Stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła i , %
≈ 46	2,5	1,21÷1,47	1,03÷1,29	2,5	2,5	100
≈ 42		0,98÷1,19	1,31÷1,52			100
≈ 38		0,74÷0,96	1,54÷1,76			100
≈ 34		0,53÷0,79	1,71÷1,97			100
≈ 46	5	2,65÷3,06	1,94÷2,35	5	5	100
≈ 42		2,01÷2,46	2,54÷2,99			100
≈ 38		1,51÷2,00	3,00÷3,49			100
≈ 34		1,09÷1,63	3,37÷3,91			100
≈ 46	7,5	4,15÷4,79	2,71÷3,35	7,5	7,5	100
≈ 42		3,11÷3,84	3,66÷4,39			100
≈ 38		2,34÷3,07	4,43÷5,16			100
≈ 34		1,68÷2,55	4,95÷5,82			100
≈ 46	10	5,53÷6,26	3,74÷4,47	10	10	100
≈ 42		4,21÷5,18	4,82÷5,79			100
≈ 38		3,15÷4,20	5,80÷6,85			100
≈ 34		2,30÷3,43	6,57÷7,70			100

Tabela 12.4. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania c.w.u. i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją I* dla wymiennika o długości 1270 mm

Temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZ} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do podgrzewacza Q_{WWPA} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WWPB} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min ($Q_{WCM} = Q_{WWPA} + Q_{WWPB}$)	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min ($Q_{SD} = Q_{WCM}$)	Stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła i , %
≈ 46	2,5	1,35÷1,54	0,96÷1,15	2,5	2,5	100
≈ 42		1,04÷1,25	1,25÷1,46			100
≈ 38		0,77÷1,03	1,47÷1,73			100
≈ 34		0,59÷0,84	1,66÷1,91			100
≈ 46	5	2,80÷3,13	1,87÷2,20	5	5	100
≈ 42		2,15÷2,61	2,39÷2,85			100
≈ 38		1,66÷2,14	2,86÷3,34			100
≈ 34		1,20÷1,77	3,23÷3,80			100
≈ 46	7,5	4,33÷4,93	2,57÷3,17	7,5	7,5	100
≈ 42		3,40÷4,10	3,40÷4,10			100
≈ 38		2,58÷3,37	4,13÷4,92			100
≈ 34		1,89÷2,77	4,73÷5,61			100
≈ 46	10	5,87÷6,65	3,35÷4,13	10	10	100
≈ 42		4,62÷5,56	4,44÷5,38			100
≈ 38		3,53÷4,59	5,41÷6,47			100
≈ 34		2,57÷3,81	6,19÷7,43			100

W *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła stosunek ilości wody zimnej Q_{WZ} do ilości ścieków szarych Q_{SD} przepływających przez pionowy wymiennik ciepła wynosił 1:1. Efektywność energetyczna ε była tym wyższa im większy był stosunek ilości wody na wypływie z podgrzewacza do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik.

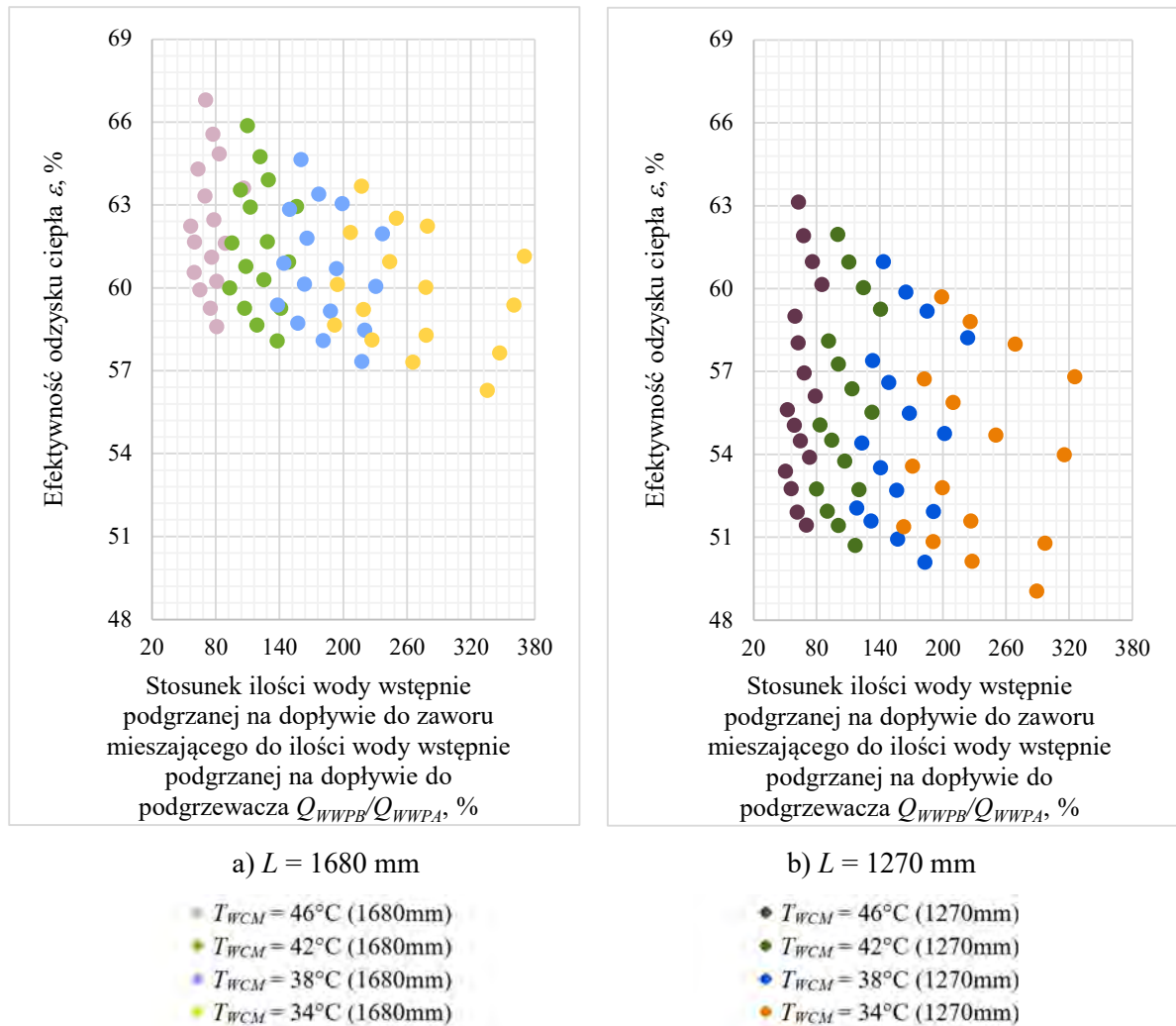


Rysunek 12.6. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumieni objętości wody na wypływie z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła $Q_{ŚD}$ w *Konfiguracji I*

Analizując słuszność wykorzystania pionowego wymiennika w *Konfiguracji I* systemu odzysku energii odpadowej oceniono, że jest ona tym bardziej zasadna im więcej wody wstępnie podgrzanej Q_{WWPA} w wymienniku kierowane jest do podgrzewacza elektrycznego. Wyniki potwierdzające tą obserwację zestawiono na rysunku 12.7.

Im wyższa jest temperatura wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} , tym większy stosunek strumienia wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza Q_{WCP} do strumienia ścieków przepływających przez wymiennik $Q_{ŚD}$.

Na podstawie uzyskanych wyników badań dotyczących efektywności odbioru energii ze ścieków szarych ε ocenia się, że instalacja pionowego wymiennika zarówno o długości 1680 mm jak i 1270 mm była tym bardziej zasadna im wyższa była temperatura wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} .

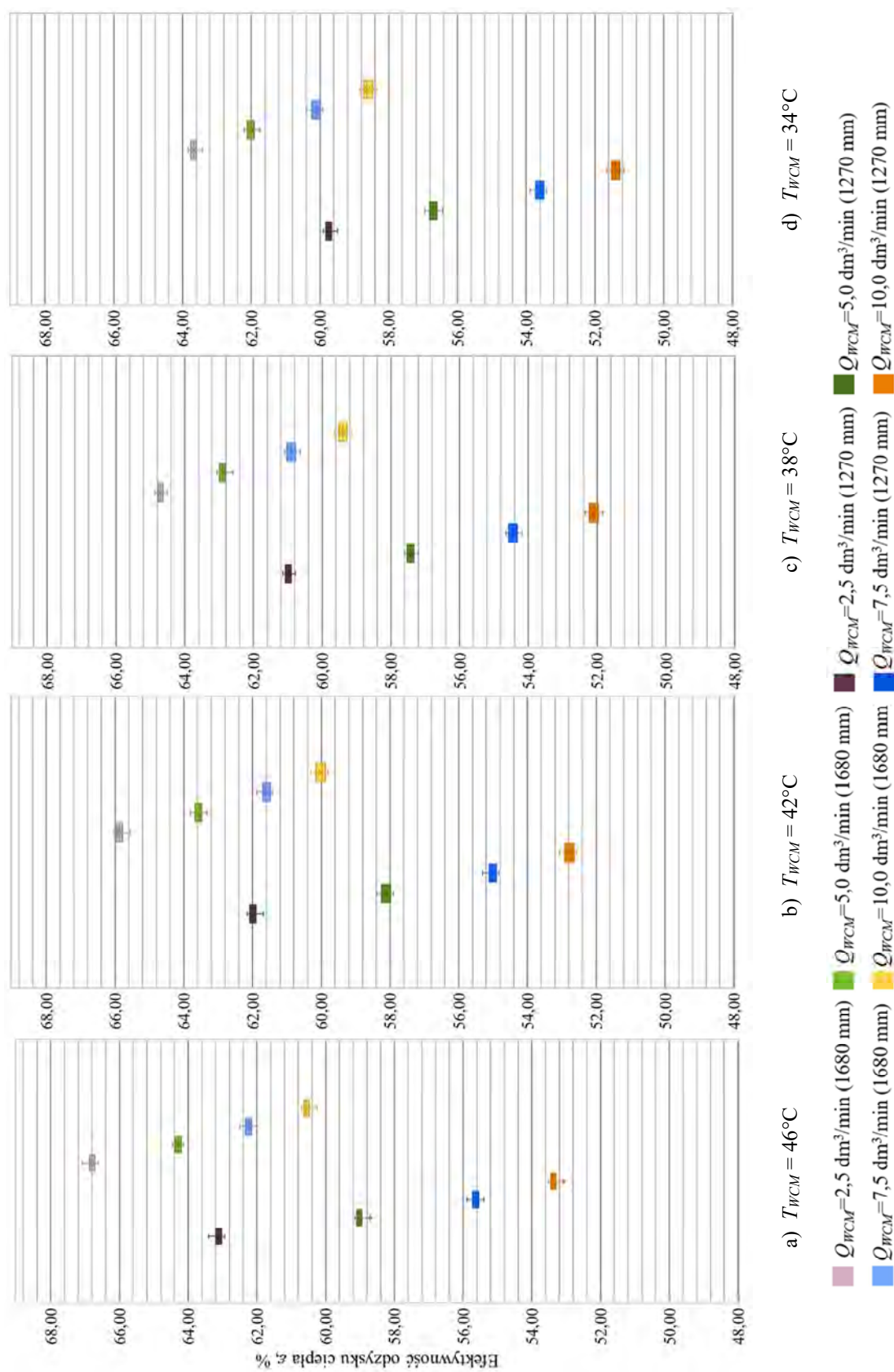


Rysunek 12.7. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego Q_{WWPB} do strumienia wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza Q_{WWPA} w Konfiguracji I

12.2.3. Analiza wpływu wartości parametrów wejściowych Q_{WCM} , T_{WC} i T_{WZ} na efektywność odzysku energii ε

Analizy wpływu temperatury T_{WCM} i wartości strumienia objętości wody Q_{WCM} na efektywność odzysku energii ε przeprowadzono w oparciu o wyniki uwzględniające zmienność temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} na dopływie do instalacji przygotowania c.w.u.

Rozkład wartości parametru ε przy różnych temperaturach wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} , zmiennym strumieniu objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} i przy stałej temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 8^\circ\text{C}$ ukazano przy wykorzystaniu wykresów typu „pudełko-wąsy” na rysunku 12.8.



Rysunek 12.8. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 8^\circ\text{C}$ dla Konfiguracji I

W zbiorze danych skupiających wyniki analiz laboratoryjnych prowadzonych dla temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} 8°C i dla odpowiadających sobie scenariuszy kąpielowych zauważono, że dłuższy wymiennik pozwolił na bardziej efektywny odzysk energii ε od 3,67 pp. do 7,33 pp. Wzrost stopnia efektywności odzysku energii ε w jednostce $DWHR$ o długości 1680 mm względem urządzenia o długości 1270 mm dla poszczególnych scenariuszy kąpielowych uwzględniających odmienne wartości wartości strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznica Q_{WCM} kształtował się następująco:

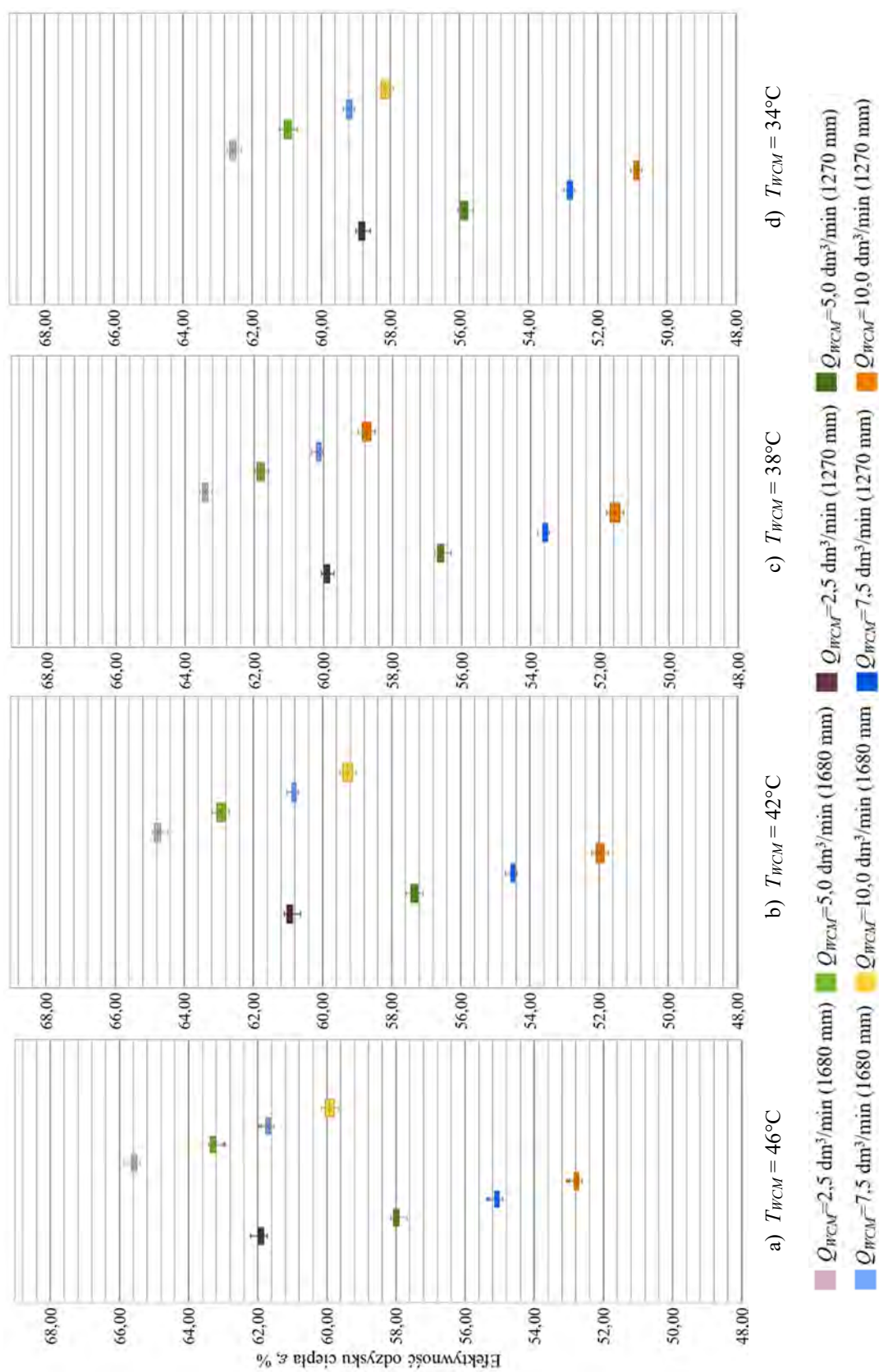
- od 3,69 do 7,18 pp., dla $T_{WCM} \approx 46^\circ\text{C}$,
- od 3,93 do 7,25 pp., dla $T_{WCM} \approx 42^\circ\text{C}$,
- od 3,67 do 7,33 pp., dla $T_{WCM} \approx 38^\circ\text{C}$,
- od 3,99 do 7,27 pp., dla $T_{WCM} \approx 34^\circ\text{C}$.

Na rysunku 12.9 ukazano rozkład wartości efektywności odzysku energii ε uzyskany w czasie analiz prowadzonych z uwzględnieniem odmiennych wartości parametru T_{WCM} oraz Q_{WCM} i przy stałej temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} równej 12°C.

Najwyższą wartość efektywności odzysku ciepła ε zarówno dla dłuższej jak i dla krótszej jednostki wymiany ciepła uzyskano w przypadkach, gdy strumień objętości wody cieplej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} wynosił 2,5 dm³/min, a temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła T_{SD} była równa około 46°C. Dla opisanego scenariusza kąpielowego maksymalna wartość parametru ε uzyskana podczas analiz prowadzonych dla urządzenia o długości 1680 mm została określona na poziomie 65,58%, natomiast krótszy z badanych wymienników (1270 mm) w opisanym przypadku badawczym charakteryzował się najniższą efektywnością ε wynoszącą blisko 61,92%. Najniższą wartość parametru ε zaobserwowano dla przypadku badawczego, gdzie zmienna wejściowa Q_{WCM} była bliska wartości 10 dm³/min, a temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła T_{SD} wyniosła około 34°C. W tym przypadku poziom efektywności ε osiągnął blisko 58,12% i 50,85% kolejno dla wymienników o długości 1680 mm oraz 1270 mm.

Analizując wyniki badań doświadczalnych prowadzonych dla odmiennych scenariuszy kąpielowych określono, że dłuższy wymiennik pozwolił na bardziej efektywny odzysk energii ε względem jednostki o długości 1270 mm. Dla poszczególnych przypadków badawczych określających odmienne wartości strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznica Q_{WCM} różnica stopnia odzysku energii odpadowej ε pomiędzy badanymi jednostkami $DWHR$ ukształtowała się następująco:

- od 3,66 do 7,17 pp., dla $T_{WCM} \approx 46^\circ\text{C}$,
- od 3,79 do 7,32 pp., dla $T_{WCM} \approx 42^\circ\text{C}$,



Rysunek 12.9. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{Wz} 12^{\circ}\text{C}$ dla Konfiguracji I

- od 3,52 do 7,15 pp., dla $T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$,
- od 3,72 do 7,27 pp., dla $T_{WCM} \approx 34^{\circ}\text{C}$.

Wyniki analiz efektywności odzysku energii uzyskane podczas badań doświadczalnych, gdzie temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} wynosiła 16°C ukazano na rysunku 12.10.

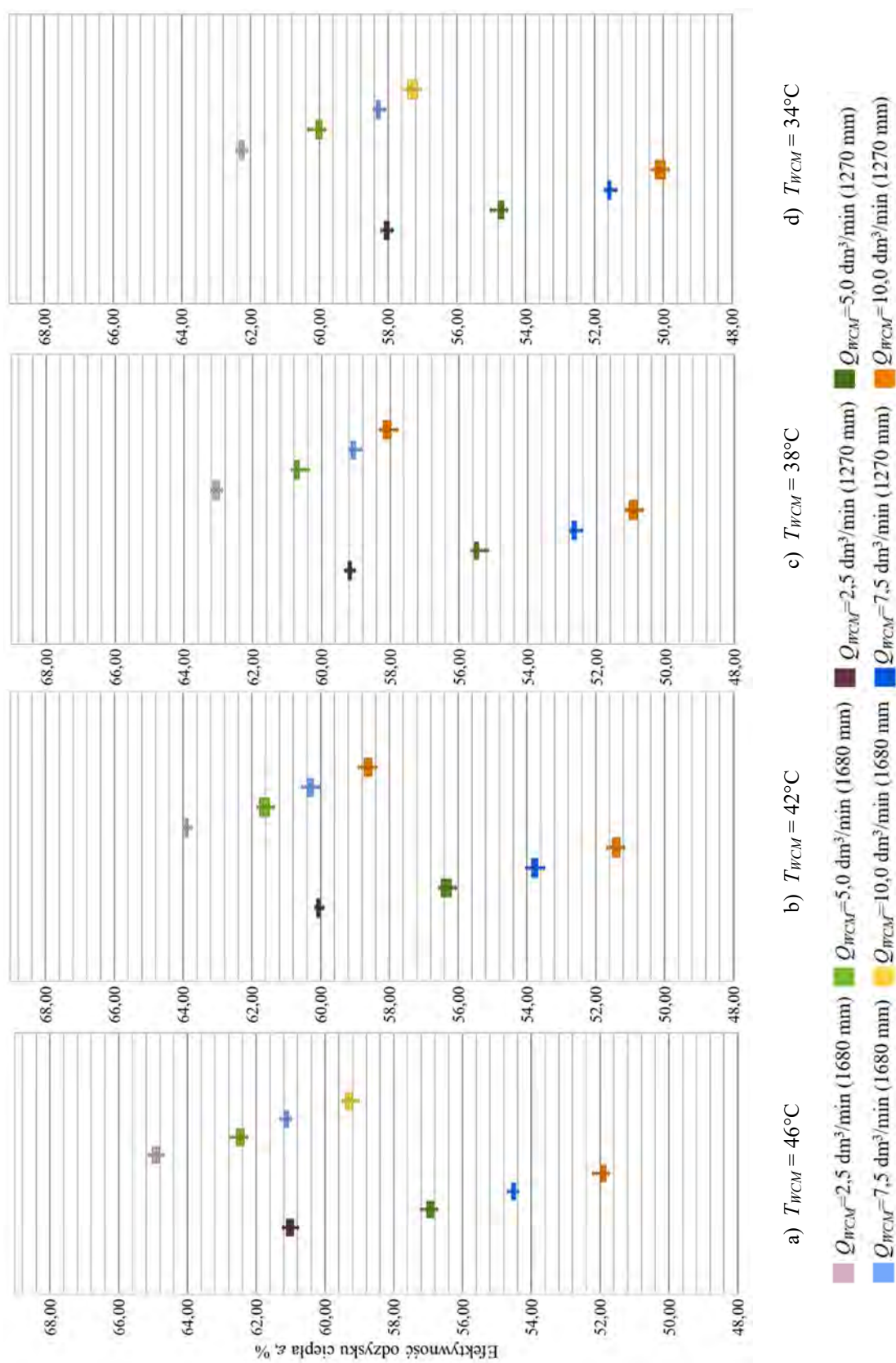
Na podstawie wyników badań uzyskanych dla wymiennika ciepła o długości 1680 mm określono, że maksymalna wartość efektywności odbioru energii ε wynosiła 64,86%, natomiast minimalna została określona na poziomie 60,98%. W przypadku krótszej jednostki *DWHR* najwyższy i najniższy stopień efektywności odzysku energii ε został określony kolejno na poziomie 57,33% i 50,13%. Tak jak we wcześniej opisanych przypadkach najbardziej korzystne wartości parametru ε osiągnięto w przypadku, gdy strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} wynosił $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody kąpielowej T_{WCM} była bliska 46°C . Najniższy stopień efektywności odzysku energii ε uzyskiwano, gdy parametr wejściowy Q_{WCM} wynosił $10 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody na wypływie z wylewki prysznic T_{WCM} była ustalona na poziomie 34°C .

Pionowy wymiennik ciepła o długości 1680 mm pozwolił na osiągnięcie bardziej efektywnego odbioru ciepła odpadowego ε względem jednostki o długości 1270 mm. Wzrost stopnia efektywności odzysku energii ε w dłuższym urządzeniu dla poszczególnych scenariuszy kąpielowych ukształtował się następująco:

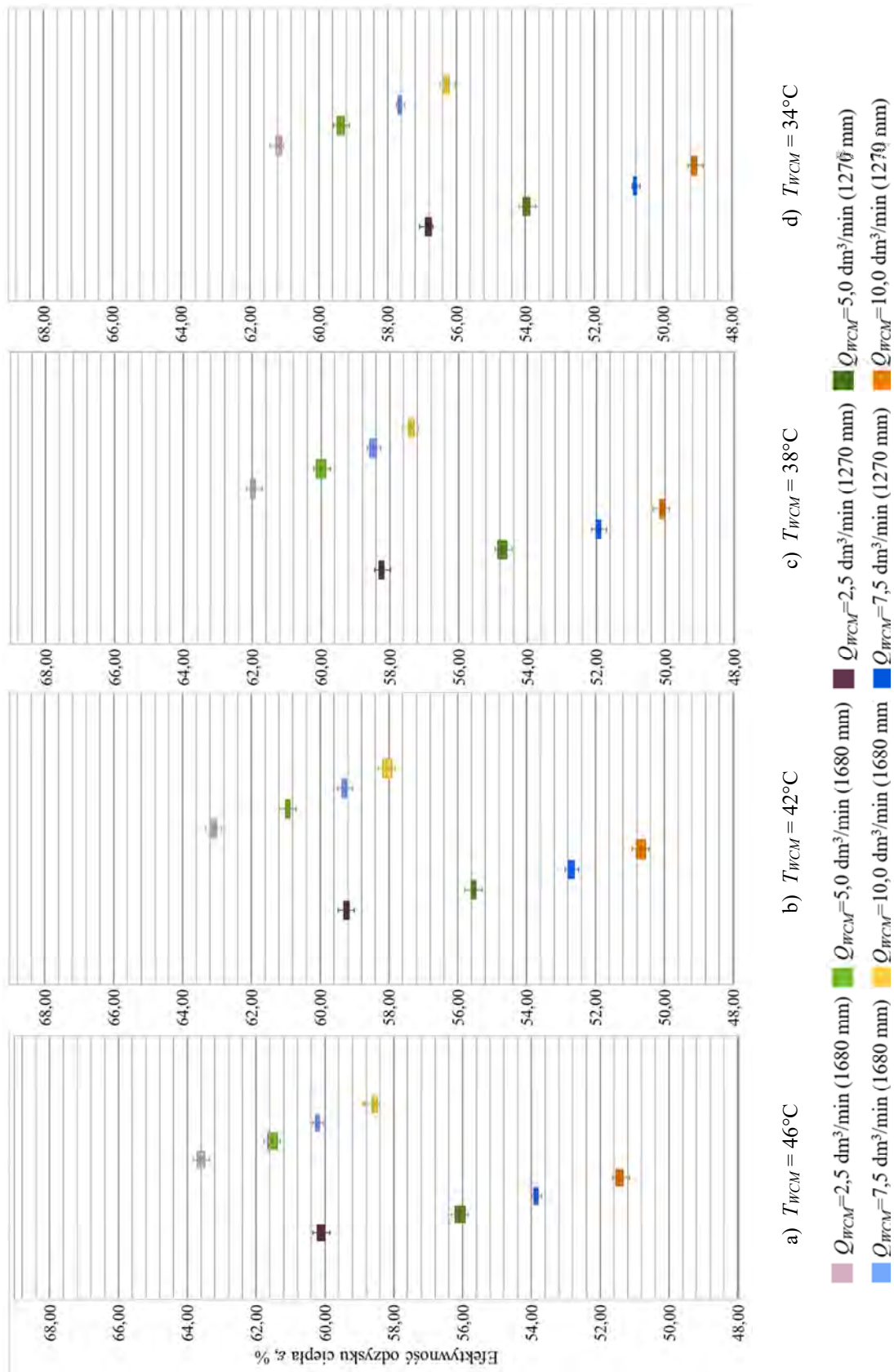
- od 3,88 do 7,37 pp., dla $T_{WCM} \approx 46^{\circ}\text{C}$,
- od 3,89 do 7,24 pp., dla $T_{WCM} \approx 42^{\circ}\text{C}$,
- od 3,87 do 7,16 pp., dla $T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$,
- od 4,26 do 7,20 pp., dla $T_{WCM} \approx 34^{\circ}\text{C}$.

Rozkład wartości efektywności odzysku energii ε dla analiz, gdzie temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} była najwyższa spośród rozpatrywanych przypadków i wynosiła 20°C został zaprezentowany na rysunku 12.11.

W zbiorze wyników uzyskanych dla analiz, gdzie temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} była bliska 20°C najwyższą wartość efektywności odzysku ciepła ε również uzyskano, gdy strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznic Q_{WCM} wyniósł $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody kąpielowej T_{WCM} była równa około 46°C . Dla opisanego scenariusza kąpielowego efektywność odbioru energii ze ścieków ε była równa 63,62% i 60,16% kolejno dla wymienników o długości 1680 mm oraz 1270 mm. Tak jak w poprzednich analizach najniższy poziom parametru ε uzyskano, gdy strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} wynosił $10 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody kąpielowej T_{WCM}



Rysunek 12.10. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 16^\circ\text{C}$ dla Konfiguracji I



Rysunek 12.1.1. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WC} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WC} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{Wz} 20^\circ\text{C}$ dla Konfiguracji I

wynosiła około 34°C. W tym przypadku poziom efektywności odbioru ciepła ε wyniósł 56,30% i 49,06% kolejno dla urządzeń o długości 1680 mm oraz 1270 mm.

Wzrost poziomu efektywności odzysku energii ε w jednostce *DWHR* o długości 1680 mm względem urządzenia o długości 1270 mm dla poszczególnych scenariuszy kąpielowych ukształtował się następująco:

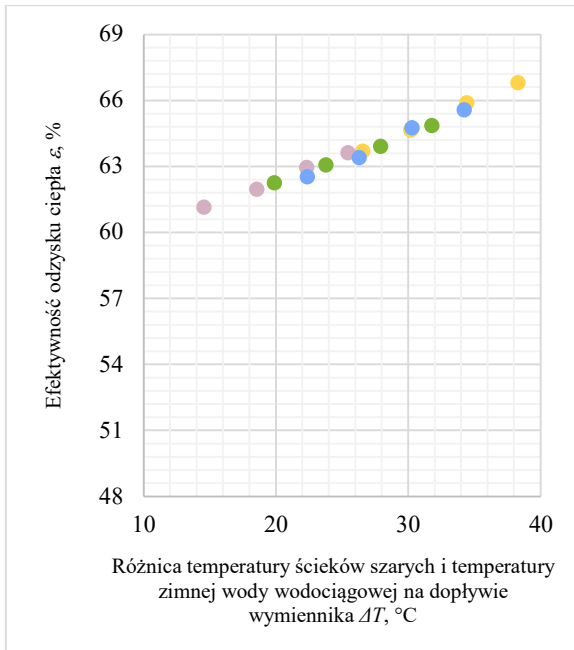
- od 3,46 do 7,16 pp., dla $T_{WCM} \approx 46^\circ\text{C}$,
- od 3,71 do 7,39 pp., dla $T_{WCM} \approx 42^\circ\text{C}$,
- od 3,75 do 7,25 pp., dla $T_{WCM} \approx 38^\circ\text{C}$,
- od 4,34 do 7,24 pp., dla $T_{WCM} \approx 34^\circ\text{C}$.

Analizując wyniki uzyskane w trakcie badań prowadzonych dla *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła określono, że najwyższy poziom efektywności odzysku energii ε osiągnięto dla scenariusza kąpielowego, który zakładał strumień objętości wody na wyjściu z wylewki Q_{WCM} na poziomie 2,5 dm³/min, wartość temperatury wody kąpielowej T_{WCM} wynoszącą 46°C oraz temperaturę wody zimnej T_{WZ} na poziomie 8°C. Najniższe wartości efektywności odbioru energii cieplnej ε odnotowano, gdy temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} została obniżona do około 34°C, temperatura wody zimnej T_{WZ} wynosiła blisko 20°C, a strumień wody na wypływie z przyboru sanitarnego Q_{WCM} ustalono na poziomie 10 dm³/min.

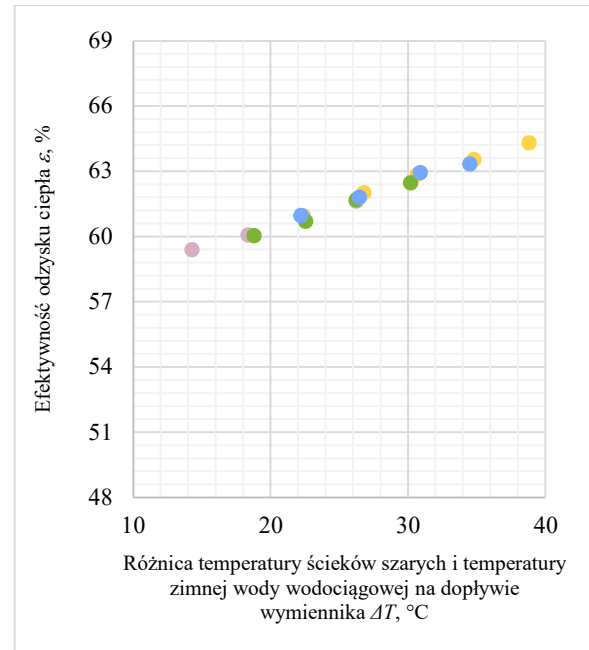
12.2.4. Analiza wpływu różnicy między temperaturą ścieków, a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT na efektywność odzysku energii ε

Wyniki analiz efektywności odbioru energii ε zdeponowanej w ściekach wskazują istotną zależność między wartością różnicy temperatury ścieków T_{SD} dopływających do wymiennika, a temperaturą wody zimnej na dopływie do jednostki *DWHR*. Badania laboratoryjne prowadzone dla *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła pozwoliły ocenić, że poziom efektywności odzysku ciepła ε zmniejsza się wraz ze spadkiem różnicy pomiędzy temperaturą ścieków T_{SD} , a temperaturą zimnej wody wodociągowej T_{WZ} .

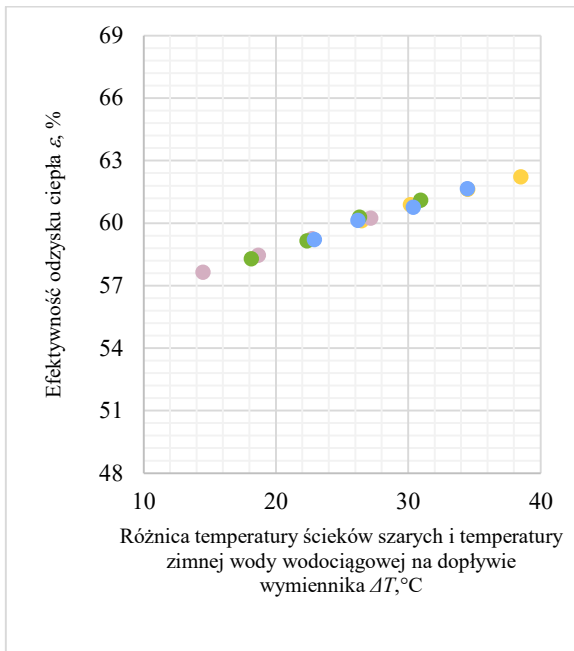
Dla scenariusza kąpielowego, który zakładał wartość strumienia objętości wody na wyjściu z wylewki prysznicowej Q_{WCM} na poziomie 2,5 dm³/min, najwyższy poziom efektywności odzysku energii ε osiągnięto, gdy różnica temperatury ścieków szarych T_{SD} i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika T_{WZ} wyniosła 38°C. Dla opisanego przypadku określono efektywność odzysku ciepła wynoszącą 66,82% oraz 63,13% kolejno w wymiennikach o długości 1680 mm i 1270 mm. Wyniki badań doświadczalnych prowadzane dla pionowego wymiennika ciepła typu „rura w rurze” o długości 1680 mm i 1270 mm przedstawiono na rysunkach 12.12. oraz 12.13.



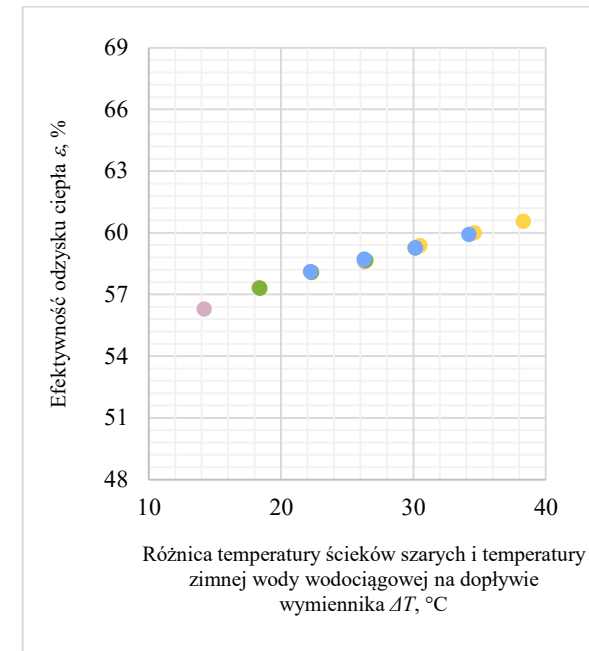
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



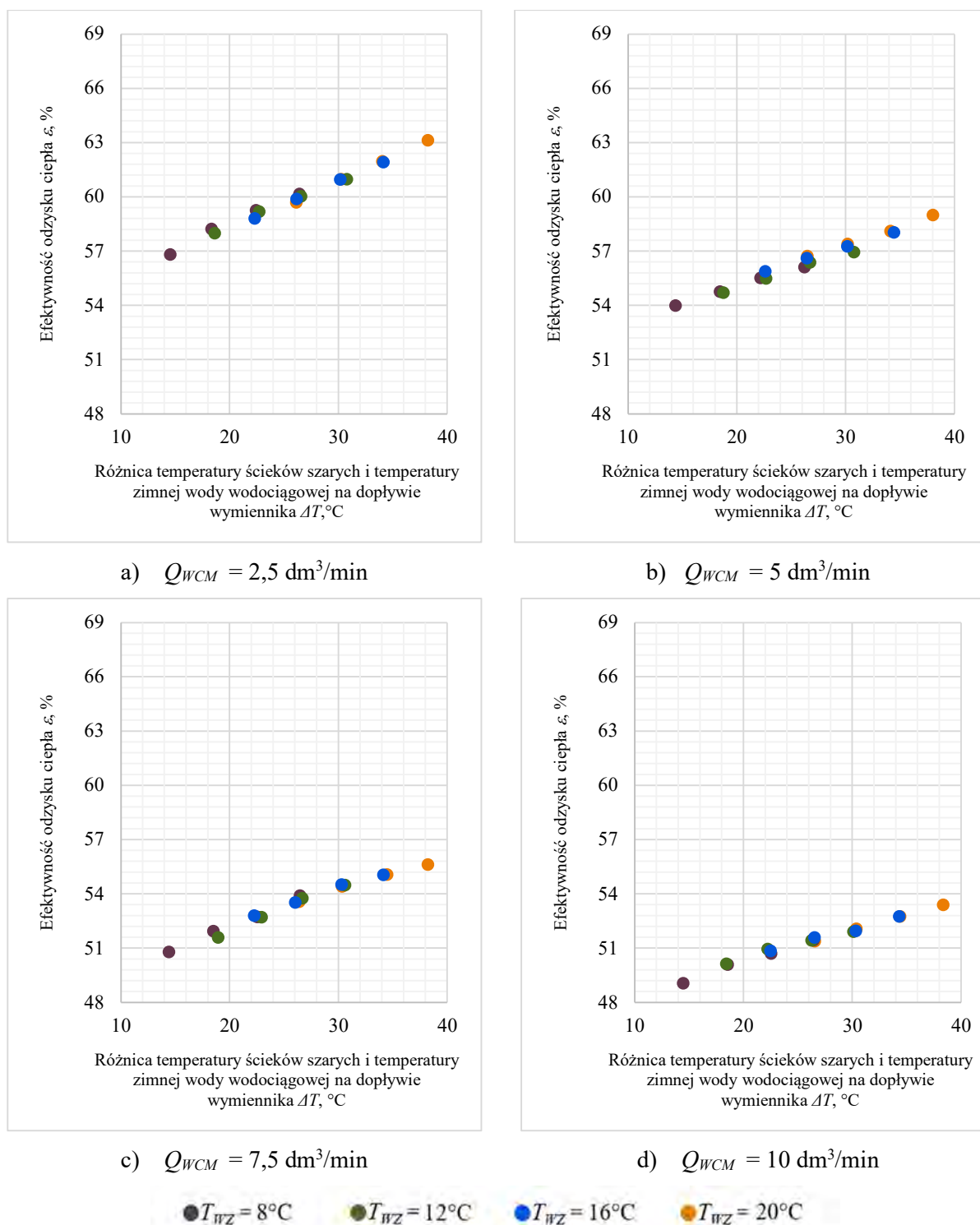
c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

● $T_{WZ} = 8^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 12^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 16^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 20^\circ\text{C}$

Rysunek 12.12. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1680 mm dla *Konfiguracji I* w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika $\Delta T, ^\circ\text{C}$



Rysunek 12.13. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1270 mm dla *Konfiguracja I* w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT , °C

Najniższe wartości efektywności odbioru energii cieplnej ε odnotowano, gdy różnica temperatury ścieków szarych T_{SD} i temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} wynosiła około 14°C, a strumień wody na wypływie z przyboru sanitarnego Q_{WCM} wynosił 10 dm³/min. Dla wymiennika o długości 1680 mm wartość parametru ε została określona na poziomie

56,30%, natomiast dla krótszej, badanej jednostki efektywność odbioru energii ε oszacowano, jako 49,06%.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań określono, że wraz ze wzrostem różnicy wartości pomiędzy temperaturą wody kąpielowej na odpływie z przyboru sanitarnego T_{WCM} , a temperaturą zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika T_{WZ} rośnie efektywność odzysku ciepła ε zdeponowanego w ściekach. Teza ta jest prawdziwa dla wszystkich analizowanych scenariuszy kąpielowych w *Konfiguracji I* systemu, uwzględniających odmienne wartości strumieni objętości wypływu wody użytkowej z wylewki prysznica Q_{WCM} .

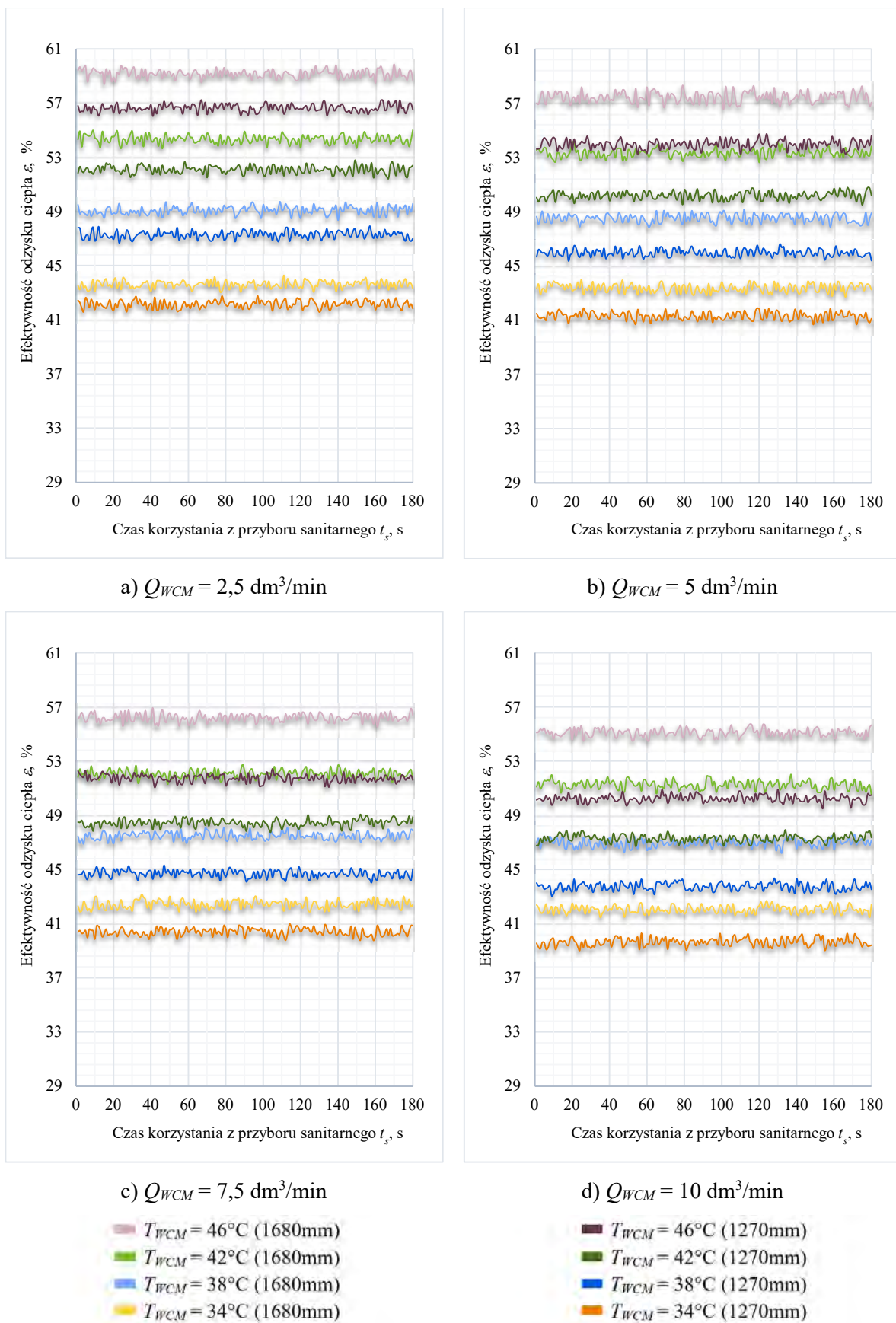
12.3. Badania doświadczalne - Konfiguracja II

12.3.1. Analiza wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na efektywność odzysku ciepła ε

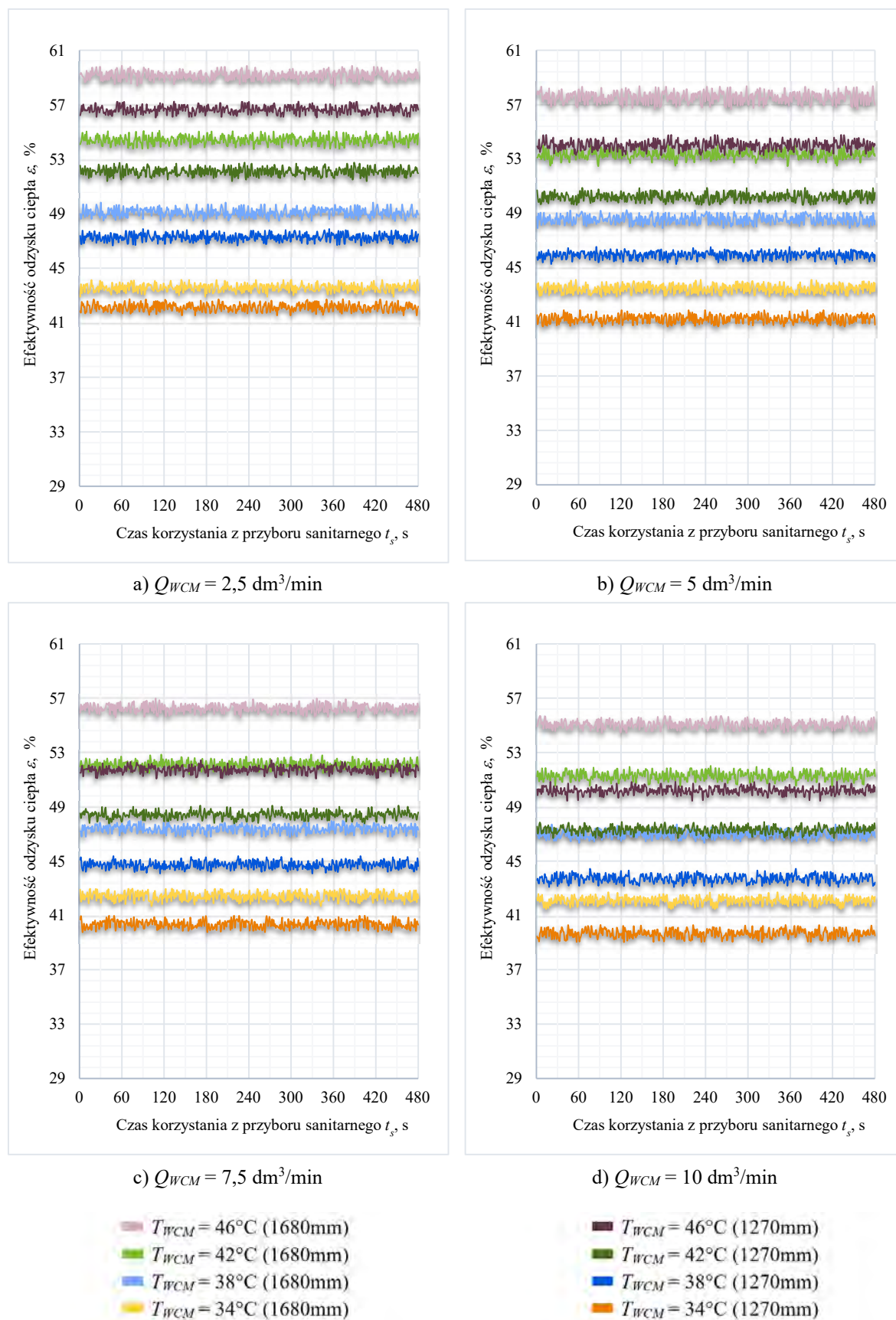
Efektywność odbioru energii ε uzyskana podczas badań *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła w funkcji czasu t_s zgodnie z przyjętym planem badawczym, tj. 3 min, 8 min, 13 min oraz 18 min przedstawiono kolejno na rysunku 12.14, rysunku 12.15, rysunku 12.16 oraz rysunku 12.17. Tak jak w przypadku analiz dla *Konfiguracji I*, wyniki uwzględniają celowe zmiany temperatury wody kąpielowej T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z wylewki prysznica Q_{WCM} , przy ustalonej wartości temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C. Wyniki przeprowadzonych badań dla pozostałych wartości parametru T_{WZ} przedstawiono w załącznikach (Załącznik 37 do Załącznik 48).

Efektywność ε odbioru energii zdeponowanej w ściekach szarych nie ulegała żadnym tendencjom na przestrzeni użytkowania przyboru sanitarnego t_s . Obserwowane w trakcie analiz doświadczalnych różnice wartości parametru ε nie były znaczące, a wynikały ze zmienności temperatur charakterystycznych T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WZ} , T_{WWP} .

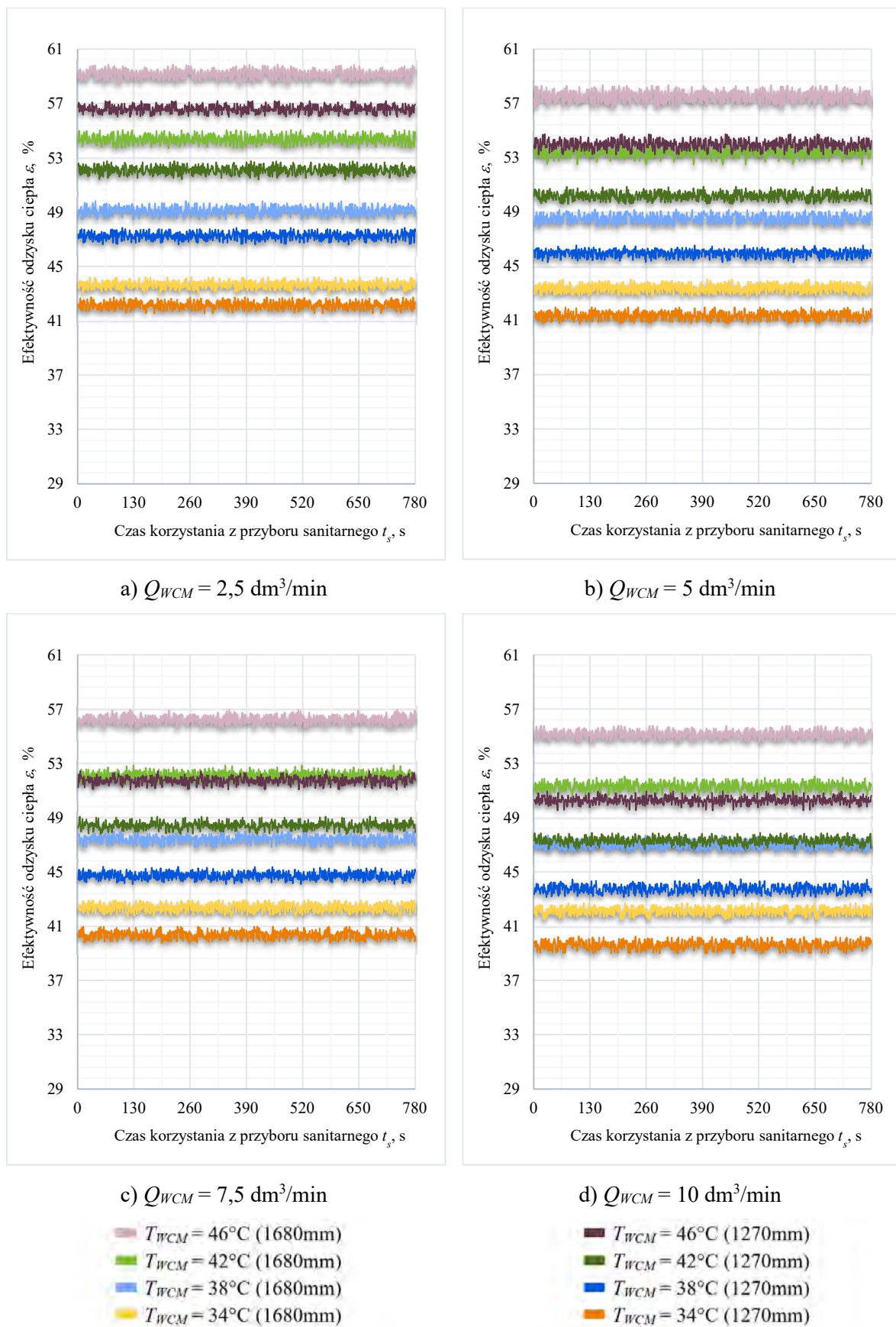
Nie zauważono, aby czas trwania kąpieli miał wpływ na zmianę trendu wartości ε uzyskiwanych podczas analiz, dlatego analiza wyników badań w zakresie oceny efektywności ε została sporządzona dla jednego, wybranego czasu t_s równego 18 minuty. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur, strumieni objętości wody i wartości parametrów ε uzyskane w trakcie badań dla wymienników o długości 1680 mm i 1270 mm zostały zestawione kolejno w tabeli 12.5 i 12.6.



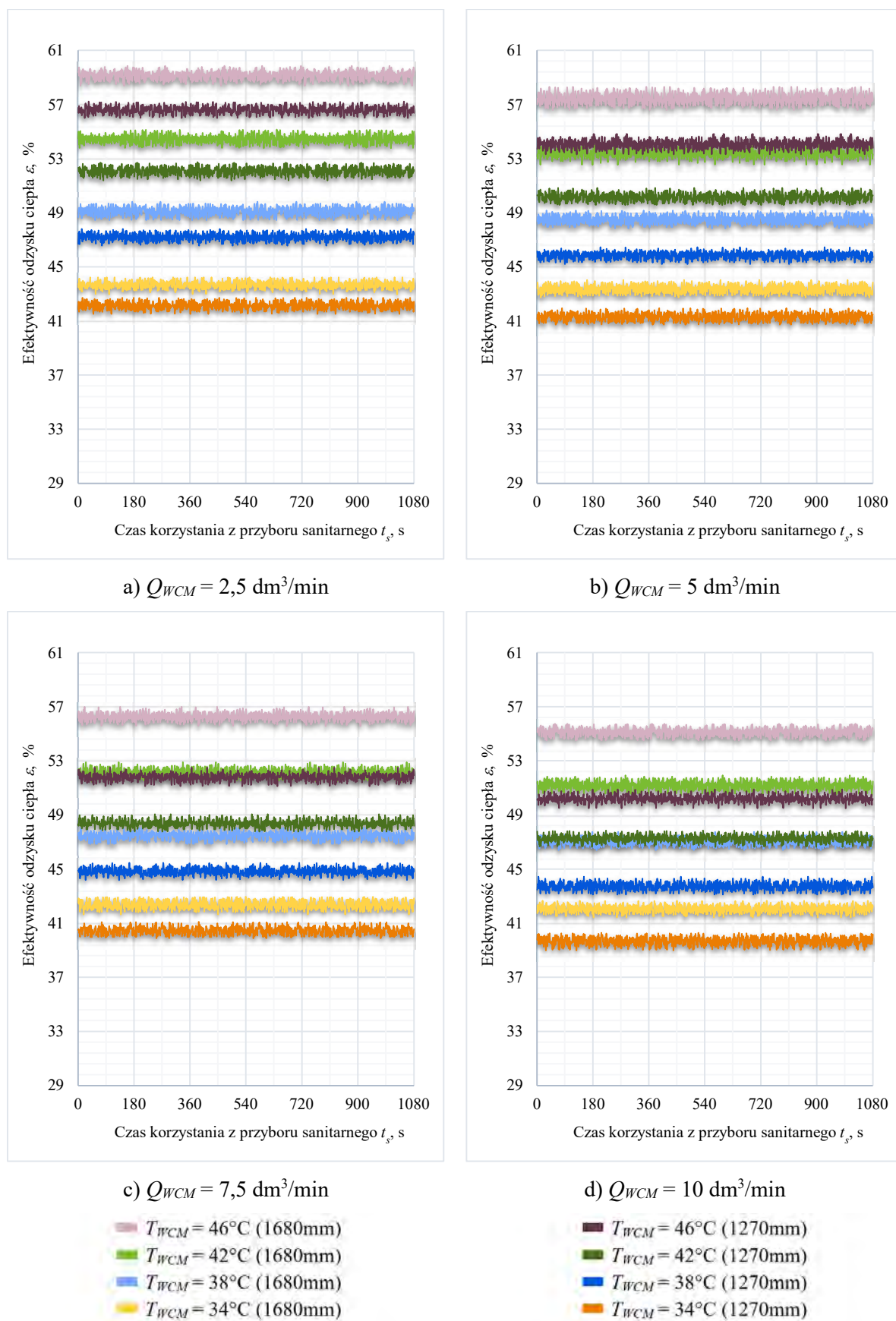
Rysunek 12.14. Efektywność odzysku energii ϵ w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody mieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody mieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C



Rysunek 12.15. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C



Rysunek 12.16. Efektywność odzysku energii ϵ w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody mieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody mieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C



Rysunek 12.17. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C

Tabela 12.5. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 18 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPPC}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZC}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\epsilon, \%$
46,15	55,25	8,11	2,02	0,48	2,50	59,14
42,37	55,14	8,06	1,82	0,68	2,50	54,43
38,32	55,21	7,97	1,61	0,89	2,50	49,11
34,24	55,06	7,97	1,39	1,11	2,50	43,66
46,23	55,36	7,54	4,05	0,95	5,00	57,45
42,20	55,08	7,50	3,65	1,35	5,00	53,36
38,19	55,36	7,70	3,20	1,80	5,00	48,49
34,21	55,25	7,68	2,79	2,21	5,00	43,36
46,25	55,01	8,12	6,10	1,40	7,50	56,27
42,33	55,15	8,06	5,46	2,04	7,50	52,14
38,24	55,17	8,03	4,81	2,69	7,50	47,48
34,18	55,37	8,00	4,15	3,35	7,50	42,37
46,20	55,05	8,08	8,12	1,88	10,00	55,14
42,12	55,39	7,96	7,20	2,80	10,00	51,18
38,31	55,21	7,93	6,42	3,58	10,00	47,00
34,27	55,15	7,95	5,58	4,42	10,00	42,08
46,09	55,27	12,02	1,97	0,53	2,50	57,42
42,13	55,27	11,96	1,74	0,76	2,50	52,25
38,14	55,35	11,89	1,51	0,99	2,50	46,65
34,35	55,18	11,90	1,30	1,20	2,50	40,80
46,29	55,23	12,02	3,97	1,03	5,00	56,14
42,26	55,15	11,99	3,51	1,49	5,00	51,52
38,32	55,31	11,56	3,06	1,94	5,00	46,44
34,16	55,20	11,57	2,59	2,41	5,00	40,55
46,34	55,42	12,08	5,93	1,57	7,50	55,13

cd. Tabela 12.5.

42,37	55,05	12,05	5,29	2,21	7,50	50,63
38,21	55,36	12,01	4,53	2,97	7,50	45,43
34,27	55,25	11,97	3,86	3,64	7,50	39,79
46,33	55,06	12,07	7,97	2,03	10,00	54,10
42,16	55,10	12,11	6,99	3,01	10,00	49,68
38,16	54,98	12,07	6,08	3,92	10,00	44,92
34,28	55,08	12,01	5,17	4,83	10,00	39,54
46,24	55,15	15,30	1,94	0,56	2,50	56,31
42,23	55,14	15,96	1,68	0,82	2,50	50,66
38,27	55,05	15,60	1,44	1,06	2,50	44,35
34,23	55,23	15,48	1,18	1,32	2,50	37,77
46,23	55,16	16,00	3,86	1,14	5,00	54,52
42,22	55,15	15,97	3,35	1,65	5,00	49,23
38,14	55,30	15,57	2,84	2,16	5,00	43,71
34,17	55,02	15,50	2,36	2,64	5,00	37,44
46,19	55,10	16,15	5,78	1,72	7,50	53,88
42,17	55,12	16,06	5,01	2,49	7,50	48,72
38,33	55,35	16,03	4,25	3,25	7,50	42,83
34,31	55,09	15,94	3,52	3,98	7,50	36,47
46,10	55,37	15,56	7,67	2,33	10,00	52,90
42,26	55,37	15,53	6,71	3,29	10,00	48,26
38,12	55,18	16,03	5,64	4,36	10,00	42,46
34,16	55,16	15,99	4,64	5,36	10,00	36,22
46,14	55,33	19,98	1,85	0,65	2,50	54,34
42,13	55,04	19,95	1,58	0,92	2,50	47,97
38,27	55,18	19,90	1,30	1,20	2,50	40,86
34,10	55,18	19,90	1,01	1,49	2,50	32,84
46,21	55,35	20,07	3,70	1,30	5,00	52,92
42,16	55,26	20,01	3,14	1,86	5,00	47,04
38,20	55,30	19,99	2,58	2,42	5,00	40,19
34,31	55,24	19,94	2,04	2,96	5,00	32,70

cd. Tabela 12.5.

46,17	55,27	20,11	5,56	1,94	7,50	52,19
42,27	55,07	20,02	4,76	2,74	7,50	46,51
38,24	55,25	20,03	3,88	3,62	7,50	39,71
34,15	55,30	20,13	2,99	4,51	7,50	32,08
46,15	55,27	20,10	7,41	2,59	10,00	51,25
42,24	55,15	20,06	6,32	3,68	10,00	45,84
38,36	55,16	20,02	5,22	4,78	10,00	39,52
34,15	55,12	19,95	4,04	5,96	10,00	32,07

Tabela 12.6. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 18 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPPC}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZC}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,20	55,34	8,13	2,02	0,48	2,50	56,57
42,22	55,31	8,08	1,81	0,69	2,50	52,06
38,12	55,24	8,05	1,59	0,91	2,50	47,22
34,21	55,30	7,96	1,39	1,11	2,50	42,13
46,35	55,06	7,89	4,08	0,92	5,00	54,09
42,17	55,28	7,93	3,62	1,38	5,00	50,14
38,11	55,40	7,81	3,18	1,82	5,00	45,87
34,27	55,17	7,78	2,80	2,20	5,00	41,32
46,27	55,03	8,01	6,10	1,40	7,50	51,82
42,10	55,32	8,02	5,40	2,10	7,50	48,39
38,36	55,03	7,95	4,84	2,66	7,50	44,80
34,35	55,06	7,87	4,21	3,29	7,50	40,46
46,13	55,21	8,08	8,07	1,93	10,00	50,19
42,12	55,28	8,02	7,22	2,78	10,00	47,25
38,19	55,13	7,94	6,41	3,59	10,00	43,74

cd. Tabela 12.6.

34,23	55,12	7,83	5,58	4,42	10,00	39,67
46,22	55,03	11,85	1,99	0,51	2,50	55,24
42,24	55,25	11,80	1,75	0,75	2,50	50,46
38,10	55,32	11,78	1,51	0,99	2,50	45,19
34,42	55,17	11,72	1,31	1,19	2,50	39,78
46,27	55,09	12,16	3,97	1,03	5,00	52,70
42,31	55,03	12,15	3,52	1,48	5,00	48,63
38,38	55,12	12,00	3,06	1,94	5,00	44,00
34,19	55,25	11,88	2,57	2,43	5,00	38,71
46,20	55,13	12,13	5,94	1,56	7,50	50,83
42,12	55,22	12,17	5,22	2,28	7,50	47,05
38,36	55,09	11,99	4,59	2,91	7,50	42,85
34,32	55,09	11,85	3,90	3,60	7,50	38,02
46,25	55,05	11,57	7,98	2,02	10,00	49,61
42,28	55,18	11,51	7,04	2,96	10,00	46,21
38,13	55,02	11,41	6,13	3,87	10,00	42,39
34,24	55,10	11,38	5,23	4,77	10,00	37,81
46,30	55,07	16,16	1,94	0,56	2,50	53,74
42,21	55,29	16,15	1,66	0,84	2,50	48,30
38,10	55,11	16,07	1,41	1,09	2,50	42,54
34,17	55,35	15,96	1,16	1,34	2,50	36,08
46,22	55,25	15,95	3,85	1,15	5,00	51,27
42,16	55,06	15,86	3,35	1,65	5,00	46,90
38,15	55,20	15,83	2,83	2,17	5,00	41,54
34,14	55,42	15,80	2,31	2,69	5,00	35,55
46,18	55,35	15,58	5,77	1,73	7,50	49,96
42,27	55,30	15,57	5,04	2,46	7,50	45,88
38,25	55,30	15,56	4,28	3,22	7,50	40,84
34,33	55,32	15,48	3,55	3,95	7,50	35,32
46,19	55,36	16,11	7,66	2,34	10,00	48,18
42,16	55,45	15,99	6,63	3,37	10,00	44,42

cd. Tabela 12.6.

38,16	55,14	15,98	5,66	4,34	10,00	39,97
34,29	55,15	15,93	4,68	5,32	10,00	34,58
46,11	55,13	20,24	1,85	0,65	2,50	51,86
42,25	55,24	20,14	1,57	0,93	2,50	46,07
38,37	55,06	20,07	1,31	1,19	2,50	39,49
34,25	55,09	19,95	1,02	1,48	2,50	32,04
46,16	55,38	19,93	3,70	1,30	5,00	49,68
42,21	55,05	19,87	3,17	1,83	5,00	44,86
38,30	55,13	19,81	2,62	2,38	5,00	39,08
34,16	55,20	19,84	2,03	2,97	5,00	31,65
46,14	55,04	19,85	5,60	1,90	7,50	48,66
42,19	55,06	19,78	4,76	2,74	7,50	43,72
38,20	55,06	18,78	4,01	3,49	7,50	38,91
34,18	55,04	19,77	3,06	4,44	7,50	31,26
46,27	55,28	19,60	7,47	2,53	10,00	47,39
42,29	55,35	19,54	6,35	3,65	10,00	43,05
38,26	55,22	19,50	5,25	4,75	10,00	37,73
34,28	55,22	19,72	4,15	5,85	10,00	30,99

Wyniki uzyskane dla pozostałych czasów t_s (3 min, 8 min, 13 min) dołączono do opracowania w formie załączników (Załącznik 49 do Załącznik 54).

12.3.2. Analiza efektywności odzysku energii ε pod kątem wpływu stosunku wartości strumieni objętości wody Q_{WZB} i ścieków przepływających Q_{SD} przez wymiennik

Na podstawie wyników badań uzyskanych dla czasu użytkowania przyboru sanitarnego t_s wynoszącego 18 minuty przeprowadzono analizę wpływu wartości strumieni objętości wody Q_{WZB} i ścieków szarych Q_{SD} przepływających przez wymiennik na wartość efektywności odzysku ciepła ε . Ustawienie oczekiwanej temperatury wody na wypływie z zaworu mieszającego T_{WCM} wymagało ustalenia przy użyciu zaworu termostatycznego optymalnego rozdziału strumienia objętości wody zmieszanej na wyjściu z podgrzewacza Q_{WCP} i strumienia objętości zimnej wody wodociągowej Q_{WZC} . Wraz ze spadkiem temperatury wody kąpielowej T_{WCM} zmniejszał się udział objętości wody zmieszanej na wyjściu z podgrzewacza

elektrycznego Q_{WCP} w całkowitym strumieniu wody na wypływie z wylewki prysznic Q_{WCM} (w *Konfiguracji II* prawdziwa jest zależność $Q_{WCM} = Q_{WCP} + Q_{WZC}$). Wartości charakterystycznych strumieni tj. strumieni objętości wody zimnej Q_{WZB} i Q_{WZC} , wody wstępnie podgrzanej Q_{WWPC} , oraz strumieni objętości ścieków szarych Q_{SD} ujęto w tabeli 12.7 i 12.8.

Tabela 12.7. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją II* dla wymiennika o długości 1680 mm

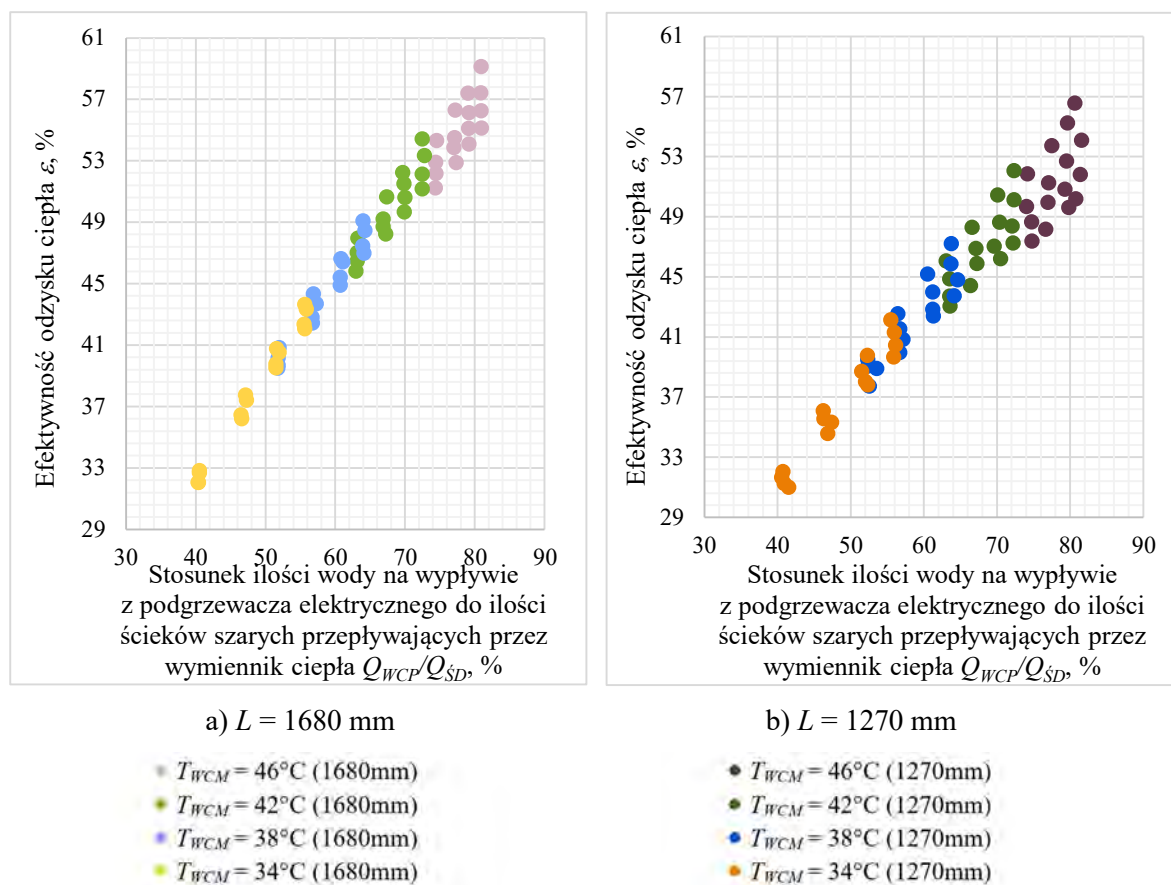
Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZB} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do podgrzewacza Q_{WWPC} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WZC} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min ($Q_{WCM} = Q_{WWPC} + Q_{WZC}$)	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min ($Q_{SD} = Q_{WCM}$)	Stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła i , %
≈ 46	1,85÷2,02	1,85÷2,02	0,48÷0,65	2,50	2,50	73,99÷80,69
≈ 42	1,58÷1,82	1,58÷1,82	0,68÷0,92			63,20÷72,86
≈ 38	1,30÷1,61	1,30÷1,61	0,89÷1,20			52,08÷64,23
≈ 34	1,01÷1,39	1,01÷1,39	1,11÷1,49			40,25÷55,80
≈ 46	3,70÷4,05	3,70÷4,05	0,95÷1,30	5,00	5,00	74,09÷80,91
≈ 42	3,14÷3,65	3,14÷3,65	1,35÷1,86			62,84÷72,94
≈ 38	2,58÷3,20	2,58÷3,20	1,80÷2,42			51,57÷63,98
≈ 34	2,04÷2,79	2,04÷2,79	2,21÷2,96			40,70÷55,76
≈ 46	5,56÷6,10	5,56÷6,10	1,40÷1,94	7,50	7,50	74,11÷81,31
≈ 42	4,76÷5,46	4,76÷5,46	2,04÷2,74			63,49÷72,77
≈ 38	3,88÷4,81	3,88÷4,81	2,69÷3,62			51,71÷64,08
≈ 34	2,99÷4,15	2,99÷4,15	3,35÷4,51			39,87÷55,27
≈ 46	7,41÷8,12	7,41÷8,12	1,88÷2,59	10,00	10,00	74,06÷81,16
≈ 42	6,32÷7,20	6,32÷7,20	2,80÷3,68			63,22÷72,03
≈ 38	5,22÷6,42	5,22÷6,42	3,58÷4,78			52,18÷64,25
≈ 34	4,04÷5,58	4,04÷5,58	4,42÷5,96			40,37÷55,76

Tabela 12.8. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania c.w.u. i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją II* dla wymiennika o długości 1270 mm

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZB} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do podgrzewacza Q_{WPPC} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WZC} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min ($Q_{WCM} = Q_{WPPC} + Q_{WZC}$)	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min ($Q_{SD} = Q_{WCM}$)	Stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła i , %
≈ 46	1,85÷2,02	1,85÷2,02	0,48÷0,65			74,16÷80,63
≈ 42	1,57÷1,81	1,57÷1,81	0,69÷0,93			62,99÷72,28
≈ 38	1,31÷1,59	1,31÷1,59	0,91÷1,19	2,50	2,50	52,29÷63,73
≈ 34	1,02÷1,39	1,02÷1,39	1,11÷1,48			40,70÷55,45
≈ 46	3,70÷4,08	3,70÷4,08	0,92÷1,30			73,99÷81,52
≈ 42	3,17÷3,62	3,17÷3,62	1,38÷1,83	5,00	5,00	63,49÷72,32
≈ 38	2,62÷3,18	2,62÷3,18	1,82÷2,38			52,35÷63,68
≈ 34	2,03÷2,80	2,03÷2,80	2,20÷2,97			40,51÷55,90
≈ 46	5,60÷6,10	5,60÷6,10	1,40÷1,90			74,72÷81,38
≈ 42	4,76÷5,40	4,76÷5,40	2,10÷2,74	7,50	7,50	63,52÷72,04
≈ 38	4,01÷4,84	4,01÷4,84	2,66÷3,49			53,53÷64,58
≈ 34	3,06÷4,21	3,06÷4,21	3,29÷4,44			40,84÷56,11
≈ 46	7,47÷8,07	7,47÷8,07	1,93÷2,53			74,74÷80,74
≈ 42	6,35÷7,22	6,35÷7,22	2,78÷3,65	10,00	10,00	63,54÷72,15
≈ 38	5,25÷6,41	5,25÷6,41	3,59÷4,75			52,52÷64,10
≈ 34	4,15÷5,58	4,15÷5,58	4,42÷5,85			41,46÷55,82

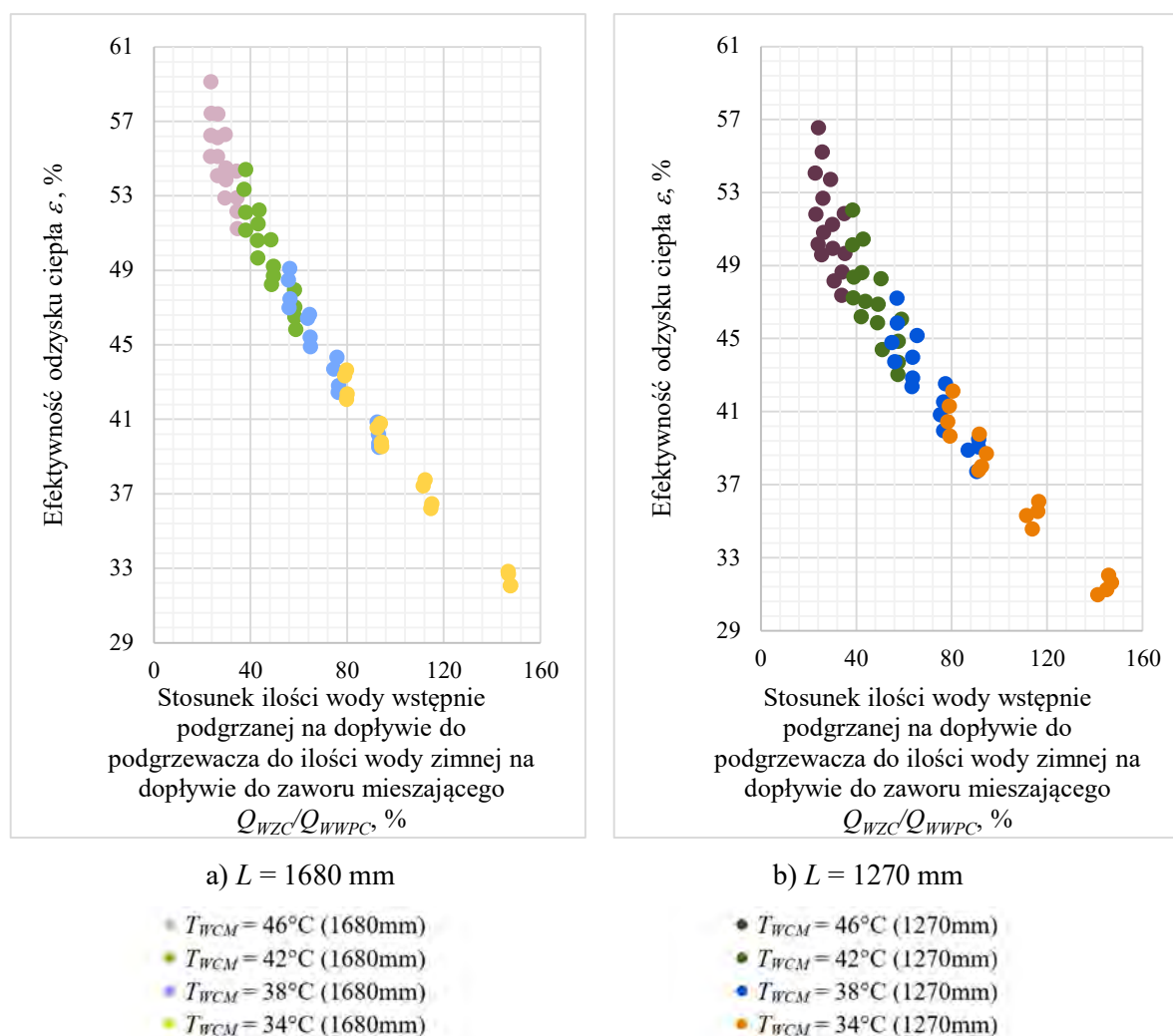
W *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła stosunek ilości wody zimnej Q_{WZB} do ilości ścieków szarych Q_{SD} przepływających przez pionowy wymiennik ciepła mieścił się w zakresie od 81,52 do 39,87%. Wraz ze wzrostem temperatury wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} zwiększał się udział wody zimnej na dopływie do wymiennika ciepła Q_{WZB} . Na rysunku 12.18. ukazano wartości efektywności odzysku energii ε ze ścieków szarych w zależności od stosunku ilości wody zimnej na dopływie do wymiennika Q_{WZB} (a tym samym, w *Konfiguracji II*, w zależności od wartości strumienia objętości wody podgrzanej w podgrzewaczu

elektrycznym kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WCP}) do ilości ścieków dopływających do wymiennika Q_{SD} .



Rysunek 12.18. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumieni objętości wody na wypływie z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła Q_{SD} w Konfiguracji II

Na podstawie wyników badań uzyskanych dla dwóch pionowych jednostek *DWHR* oceniono, że im większy strumień zimnej wody wodociągowej dopływającej do wymiennika Q_{WZB} (a tym samym strumienia wody ciepłej na wypływie z podgrzewacza Q_{WCP}) względem ilości ścieków szarych Q_{SD} , tym większa efektywność odbioru energii ε ze ścieków. W związku z powyższym w Konfiguracji II, im większy strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do podgrzewacza elektrycznego Q_{WWPC} , tym wyższe wartości efektywności ε , co przedstawiono na rysunku 12.19.



Rysunek 12.19. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku ilości wody zimnej dopływających do zaworu mieszającego Q_{WZC} i wody wstępnie podgrzanej kierowanej do podgrzewacza Q_{WWPC} w Konfiguracji II

Aplikacja pionowego wymiennika ciepła typu „rura w rurze” była tym bardziej zasadna pod względem możliwości odzysku energii ε , im wyższa była temperatura wody kąpielowej T_{WCM} , oraz w przypadkach, gdy temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} była najniższa wśród rozpatrywanych scenariuszy.

12.3.3. Analiza wpływu wartości parametrów wejściowych Q_{WCM} , T_{WCM} i T_{WZ} na efektywność odzysku energii ε

Badania odzysku ciepła odpadowego w instalacjach kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych obejmowały analizę wpływu temperatury wody kąpielowej T_{WCM} , strumienia objętości wody zmieszanej na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM} i temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} na efektywność odzysku energii ε . Rozkład wartości parametru ε przy temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} na poziomie 8°C przedstawiono na rysunku 12.20.

Najwyższa wartość efektywności odzysku energii ε uzyskana w ramach analiz *Konfiguracji II*, została zaobserwowana, gdy temperatura wody zimnej T_{WZ} była bliska 8°C i w przypadku scenariusza badawczego, który zakładał temperaturę wody kąpielowej T_{WCM} na poziomie 46°C przy strumieniu objętości wody na wyjściu z wylewki prysznicowej Q_{WCM} równym $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$. W opisanym przypadku badawczym parametr ε osiągnął wartość $59,14\%$ oraz $56,57\%$ kolejno dla urządzeń o długości 1680 mm oraz 1270 mm .

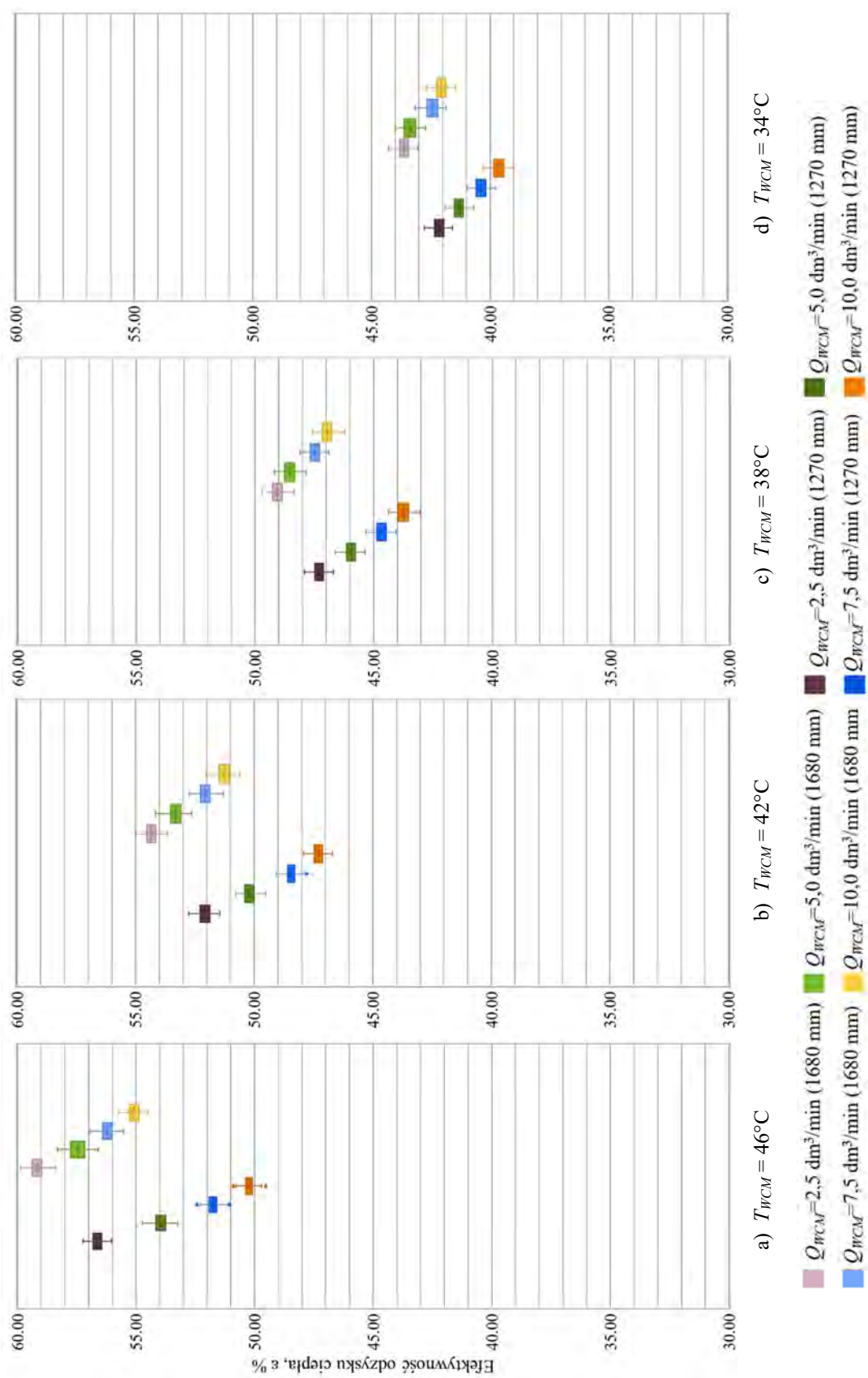
Efektywność energetyczna ε była najniższa, gdy parametr wejściowy Q_{WCM} ustalono na poziomie $10 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura ścieków dopływających do wymiennika ciepła T_{SD} wyniosła 34°C . Parametr ε osiągnął wówczas wartość $42,08\%$ dla wymiennika o długości 1680 mm oraz $39,67\%$ dla krótszego urządzenia.

Rozpatrując odpowiadające sobie scenariusze kąpielowe w zbiorze wyników uzyskanych przy temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} równej 8°C oceniono, że dłuższy wymiennik pozwolił na bardziej efektywny odzysk energii ε o blisko od $1,53 \text{ pp.}$ do $4,94 \text{ pp.}$

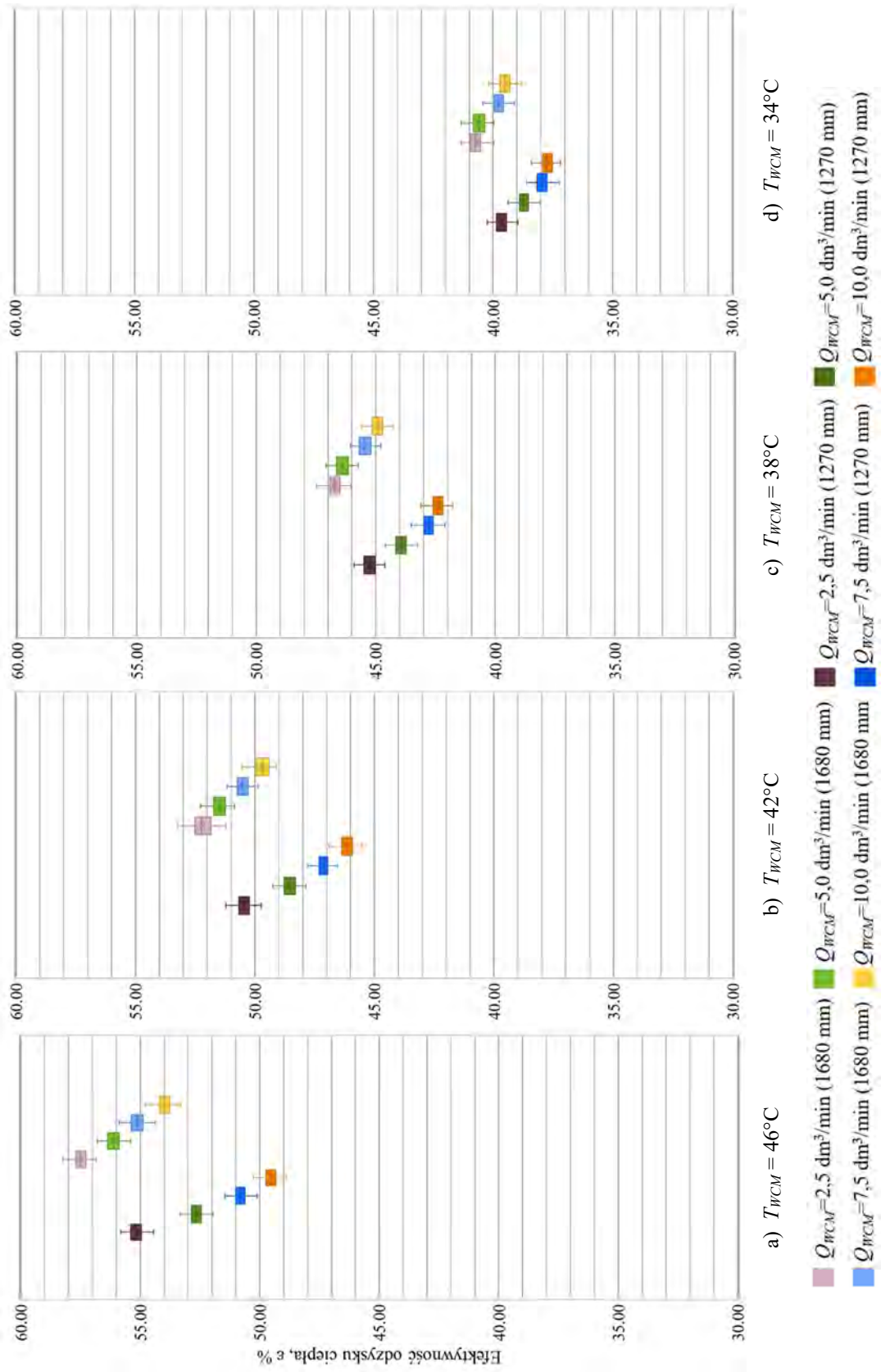
Wzrost zmiennej wyjściowej ε w wymienniku o długości 1680 mm względem krótszej jednostki dla poszczególnych scenariuszy kąpielowych uwzględniających odmienne wartości wartości strumieni objętości wody kąpielowej Q_{WCM} ukształtował się następująco:

- od $2,57$ do $4,94 \text{ pp.}$, dla $T_{WCM} \approx 46^{\circ}\text{C}$,
- od $2,37$ do $3,92 \text{ pp.}$, dla $T_{WCM} \approx 42^{\circ}\text{C}$,
- od $1,89$ do $3,26 \text{ pp.}$, dla $T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$,
- od $1,53$ do $2,41 \text{ pp.}$, dla $T_{WCM} \approx 34^{\circ}\text{C}$.

Zgodnie z przyjętym planem badawczym, w kolejnych etapach badań doświadczalnych zwiększano wartość parametru T_{WZ} . Na rysunku 12.21 przedstawiono efektywności odzysku ciepła ε w zależności od wartości zmiennych wejściowych T_{WCM} oraz Q_{WCM} dla parametru T_{WZ} równego 12°C .



Rysunek 12.20. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WC_M} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WC_M} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 8^\circ\text{C}$ dla *Konfiguracji II*



Rysunek 12.21. Efektywność odzysku ciepła ϵ w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{Wz} 12^\circ\text{C}$ dla Konfiguracji II

Najwyższą wartość efektywność odzysku energii zdeponowanej w ściekach ε osiągnięto w scenariuszu kąpielowym, gdzie strumień objętości wody ciepłej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} wynosił 2,5 dm³/min, a temperatura wody na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} była bliska 46°C. Dla opisanego scenariusza kąpielowego zaobserwowano najbardziej efektywny odzysk energii ε zarówno w przypadku wymiennika o długości 1680 mm jak i 1270 mm. W opisanym przypadku parametr ε wyniósł 57,42% i 55,24% kolejno dla dłuższej i krótszej jednostki *DWHR*. Najniższa wartość efektywności odzysku energii ε została określona dla przypadku badawczego, gdzie zmienna Q_{WCM} była bliska 10 dm³/min, a temperatura wody kąpielowej T_{WCM} wynosiła 34°C. W tym przypadku wartość efektywności ε wyznaczono na poziomie 39,54% i 37,81% kolejno dla wymienników o długości 1680 mm oraz 1270 mm. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach dłuższy wymiennik pozwolił na bardziej efektywny odzysk ciepła ε względem jednostki o długości 1270 mm, a różnica wartości ε ukształtowała się na poziomie:

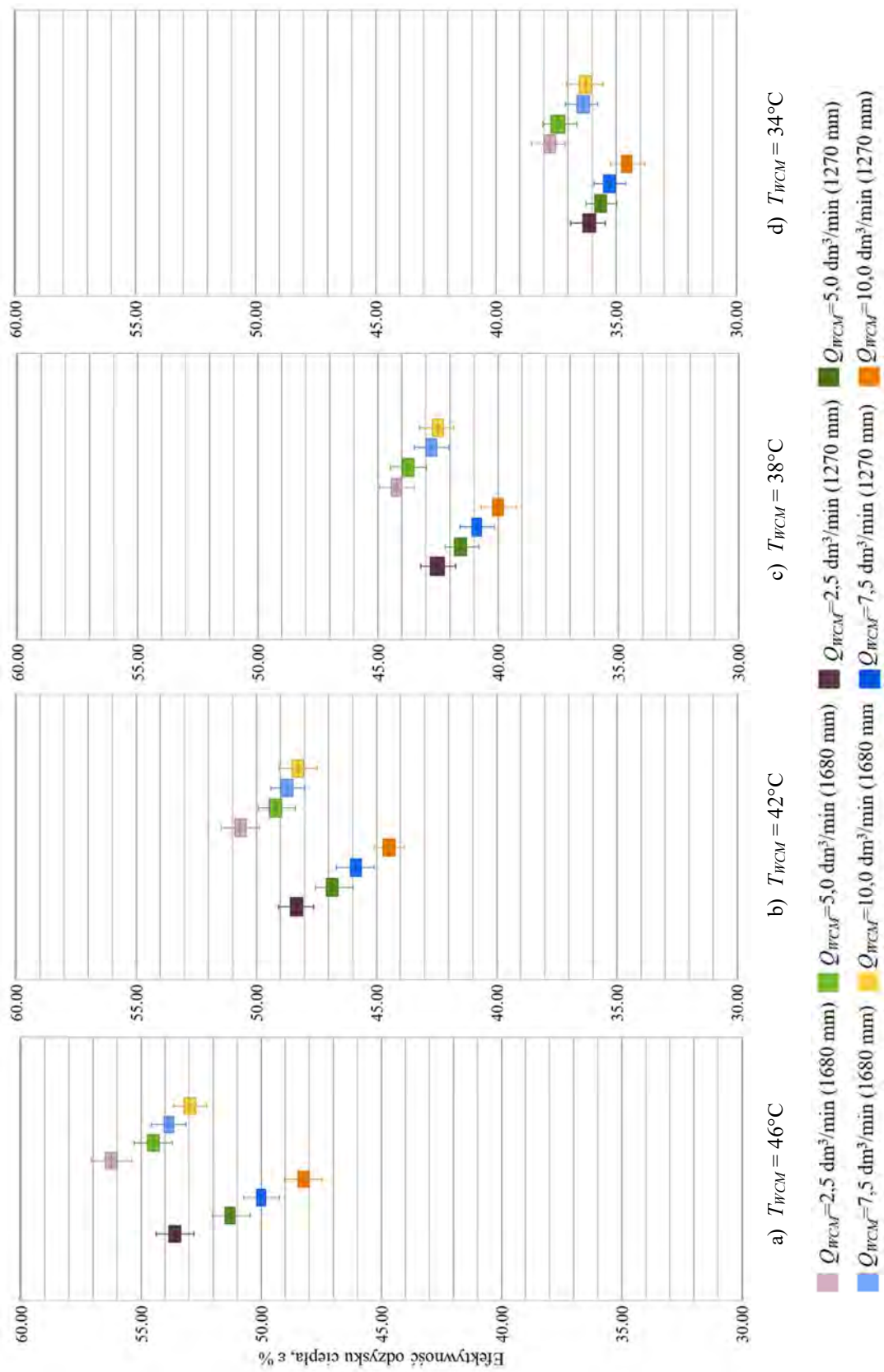
- od 2,18 do 4,49 pp., dla $T_{WCM} \approx 46^\circ\text{C}$,
- od 1,79 do 3,58 pp., dla $T_{WCM} \approx 42^\circ\text{C}$,
- od 1,47 do 2,58 pp., dla $T_{WCM} \approx 38^\circ\text{C}$,
- od 1,01 do 1,84 pp., dla $T_{WCM} \approx 34^\circ\text{C}$.

W kolejnym etapie badań *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła przeprowadzono analizy doświadczalne w przypadku, gdy temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} wynosiła 16°C. Uzyskane wyniki przedstawiono za pomocą wykresów „pudełko-wąs” i ukazano na rysunku 12.22.

Najwyższy stopień odbioru energii ε osiągnięto w przypadku wymiennika ciepła o długości 1680 mm i był on równy 56,31%. Najniższa wartość parametru ε została określona na poziomie 36,22%. W przypadku wymiennika o długości 1270 mm najwyższą i najniższą efektywność odzysku energii zdeponowanej w ściekach ε określono na poziomie kolejno 53,74% i 34,58%. Najwięcej energii udało się odzyskać w przypadku, gdy strumień objętości wody ciepłej na wyjściu wylewki prysznicza Q_{WCM} wynosił 2,5 dm³/min, a temperatura wody kąpielowej T_{WCM} osiągnęła wartość 46°C. Najniższy stopień efektywności ε odnotowano, gdy strumień objętości wody kąpielowej Q_{WCM} był równy 10 dm³/min, a temperatura wody na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła 34°C.

W trakcie badań pionowego wymiennika o długości 1680 mm osiągnięto wyższe wartości parametru ε względem krótszej jednostki, a różnica stopnia efektywności odzysku energii ε kształtowała się następująco:

- od 2,57 do 4,72 pp., dla $T_{WCM} \approx 46^\circ\text{C}$,



Rysunek 12.22. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{Wz} 16^\circ\text{C}$ dla Konfiguracji II

- od 2,33 do 3,84 pp., dla $T_{WCM} \approx 42^{\circ}\text{C}$,
- od 1,81 do 2,49 pp., dla $T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$,
- od 1,14 do 1,89 pp., dla $T_{WCM} \approx 34^{\circ}\text{C}$.

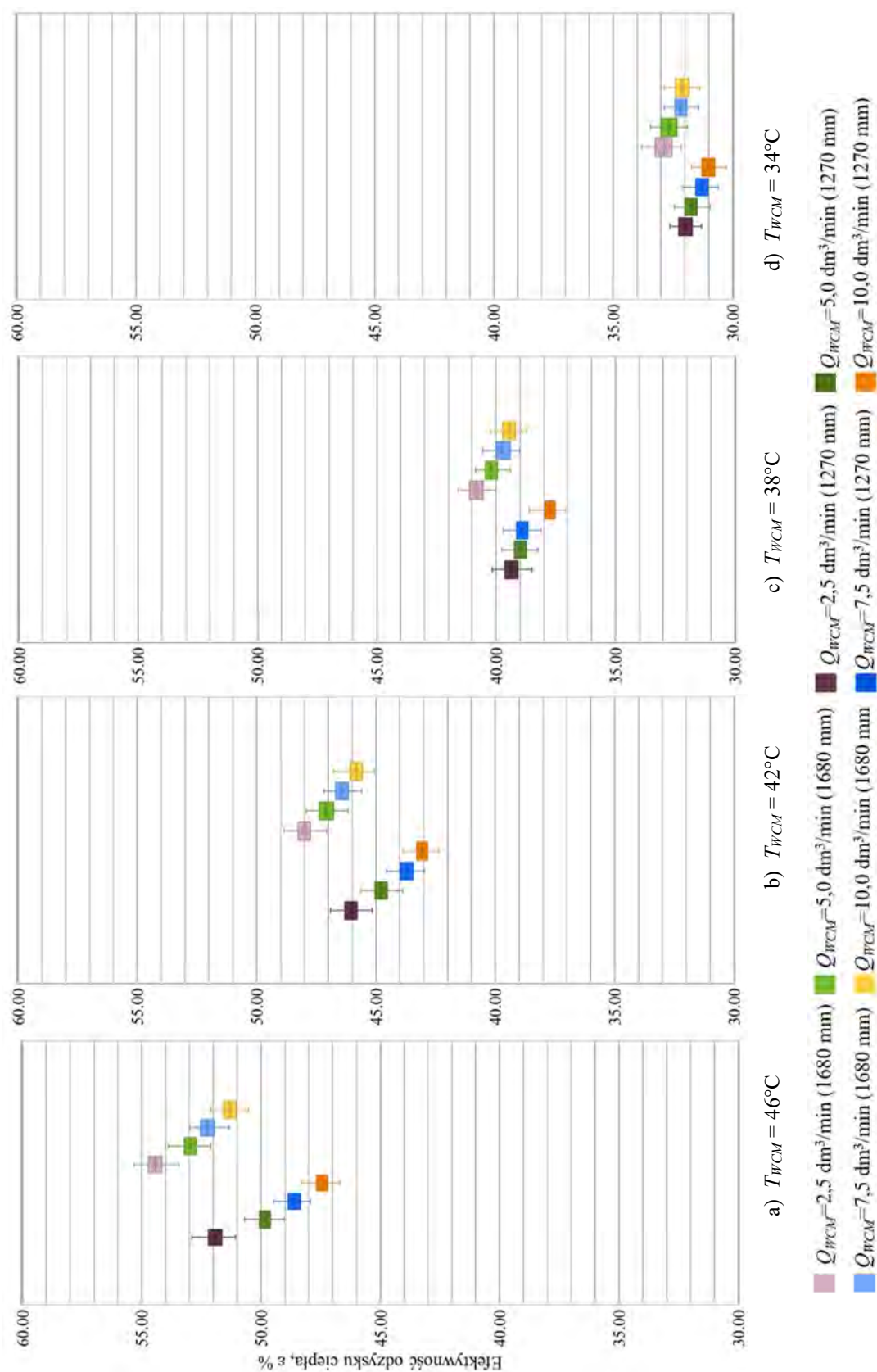
Najwyższa, przyjęta w planie badawczym wartość parametru T_{WZ} była bliska 20°C . Osiągnięte w trakcie analiz wartości parametru ε dla temperatury wody zimnej T_{WZ} na poziomie 20°C przedstawiono na rysunku 12.23.

Najwyższy stopień efektywność odzysku energii ε uzyskano, gdy strumień objętości wody Q_{WCM} wynosił $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody kąpielowej była bliska 46°C . Dla opisanego scenariusza kąpielowej efektywność odbioru energii ε wyniosła $54,34\%$ i $51,86\%$ kolejno dla wymienników o długości 1680 mm i 1270 mm . Najniższy poziom zmiennej wyjściowej ε otrzymano, gdy strumień objętości wody na wyjściu z wylewki prysznic Q_{WCM} był równy $10 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody T_{WCM} wynosiła 34°C . W opisanym scenariuszu kąpielowym parametr ε został określony na poziomie $32,07\%$ oraz $30,99\%$ kolejno dla dłuższej i krótszej jednostki $DWHR$.

Różnica efektywności odzysku energii ε między wymiennikiem o długości 1680 mm , a krótszym urządzeniem została określona na poziomie:

- od 2,49 do 3,86 pp., dla $T_{WCM} \approx 46^{\circ}\text{C}$,
- od 1,90 do 2,79 pp., dla $T_{WCM} \approx 42^{\circ}\text{C}$,
- od 0,81 do 1,79 pp., dla $T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$,
- od 0,80 do 1,08 pp., dla $T_{WCM} \approx 34^{\circ}\text{C}$.

Spośród wszystkich przyjętych scenariuszy kąpielowych analizowanych dla *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła, najwyższy poziom efektywność odzysku energii ε osiągnięto podczas, gdy strumień objętości wody na wyjściu z wylewki Q_{WCM} był równy $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, temperatura wody kąpielowej T_{WCM} wyniosła 46°C , natomiast temperatura wody zimnej T_{WZ} była równa 8°C . Dodatkowo najmniejsze wartości efektywność odbioru energii ε odnotowano, gdy temperatura wody T_{WCM} była bliska 34°C , temperatura wody zimnej T_{WZ} wyniosła 20°C , a strumień objętości wody Q_{WCM} ustalono na poziomie $10 \text{ dm}^3/\text{min}$.

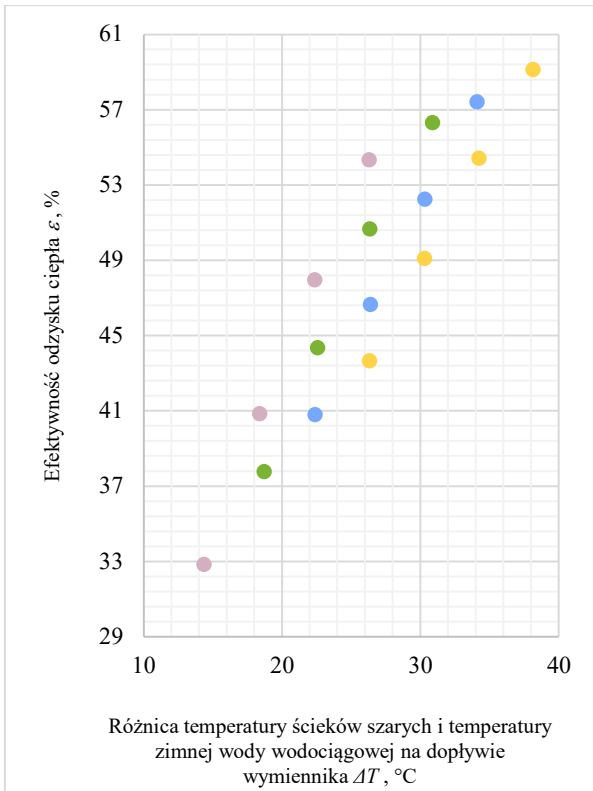


Rysunek 12.23. Efektywność odzysku ciepła ϵ w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{Wz} 20^\circ\text{C}$ dla Konfiguracji II

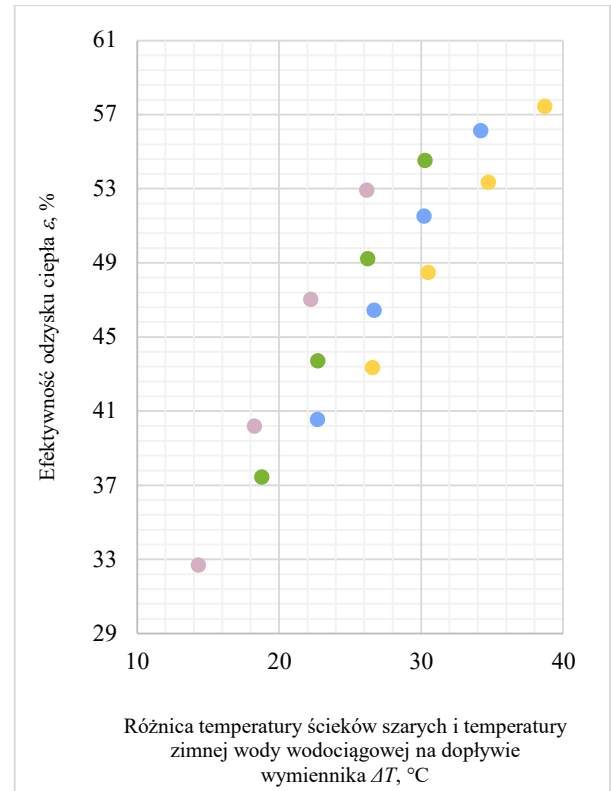
12.3.4. Analiza wpływu różnicy między temperaturą ścieków, a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT na efektywność odzysku energii ε

Dokonując analizy wyników badań zwrócono uwagę na wpływ wartości parametru ΔT , a więc różnicy między temperaturą ścieków T_{SD} przepływających przez wymiennik, a temperaturą wody zimnej na dopływie do urządzenia T_{WZ} . W każdym z analizowanych scenariuszy kąpielowych (odmiennych pod względem wartości parametru Q_{WCM}) najwyższe wartości efektywność odzysku energii ze ścieków ε otrzymywano, gdy temperatura wody wodociągowej na dopływie do instalacji T_{WZ} była równa 8°C, a wartość temperatury wody przeznaczonej do kąpieli T_{WCM} wynosiła 46°C, a zatem parametr ΔT osiągał wartość 38°C. W przypadku analiz wykonanych dla *Konfiguracji II*, zauważono, że efektywność odzysku energii ε rośnie wraz ze wzrostem parametru ΔT .

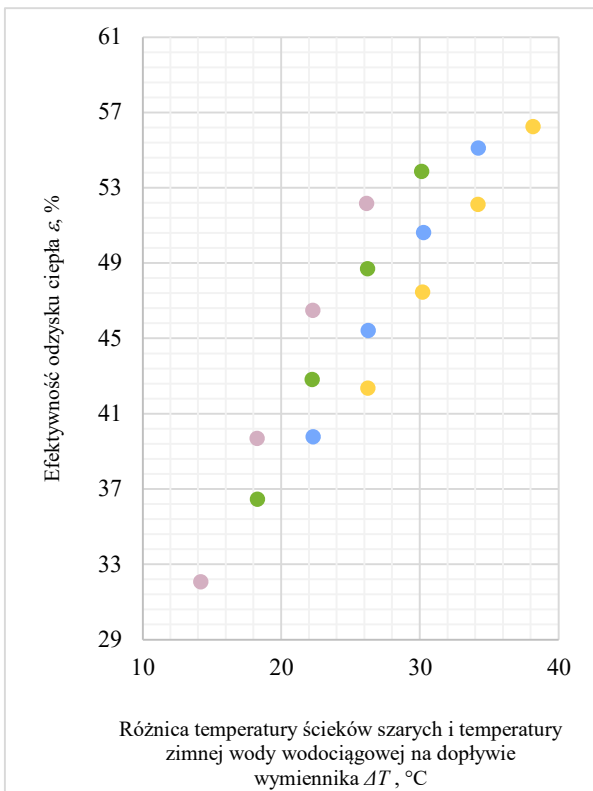
Szczegółowe wyniki analiz dotyczące badania wpływu wartości zmiennej ΔT na efektywność odbioru ciepła ze ścieków szarych ε przeprowadzone dla wymienników o długości 1680 mm i 1270 mm przedstawiono kolejno na rysunkach 12.24 oraz 12.25.



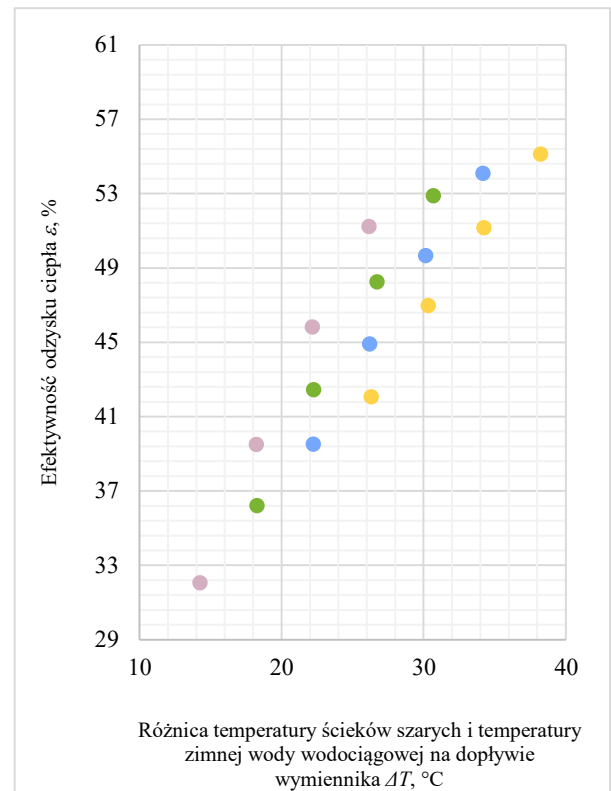
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



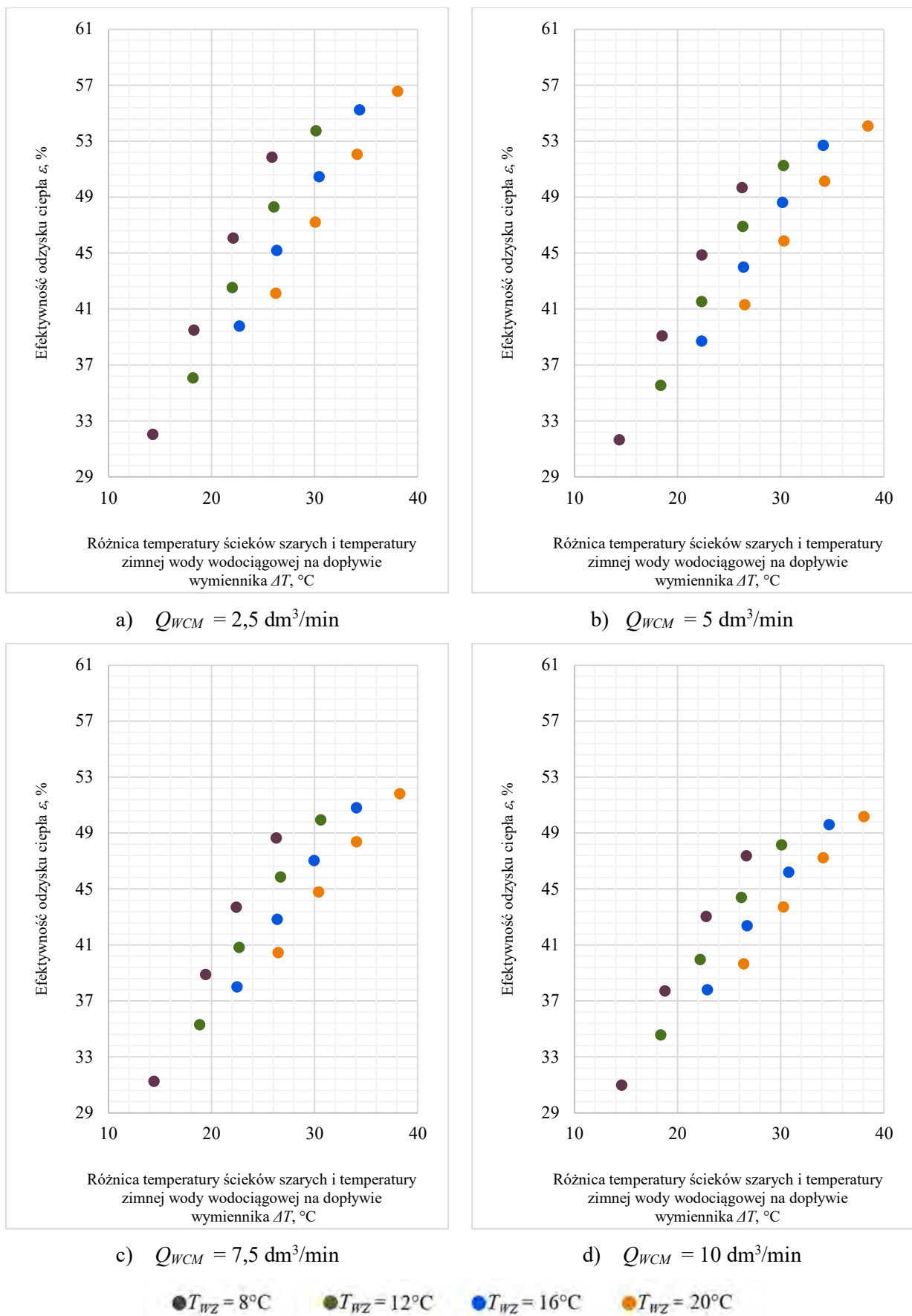
c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

● $T_{WZ} = 8^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 12^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 16^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 20^\circ\text{C}$

Rysunek 12.24. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1680 mm dla Konfiguracji II w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT , °C



Rysunek 12.25. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1270 mm dla Konfiguracji II w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika $\Delta T, ^\circ\text{C}$

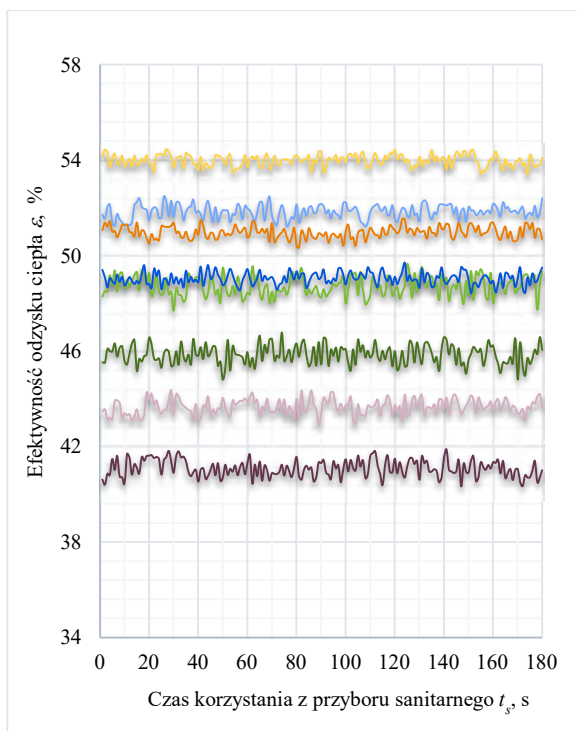
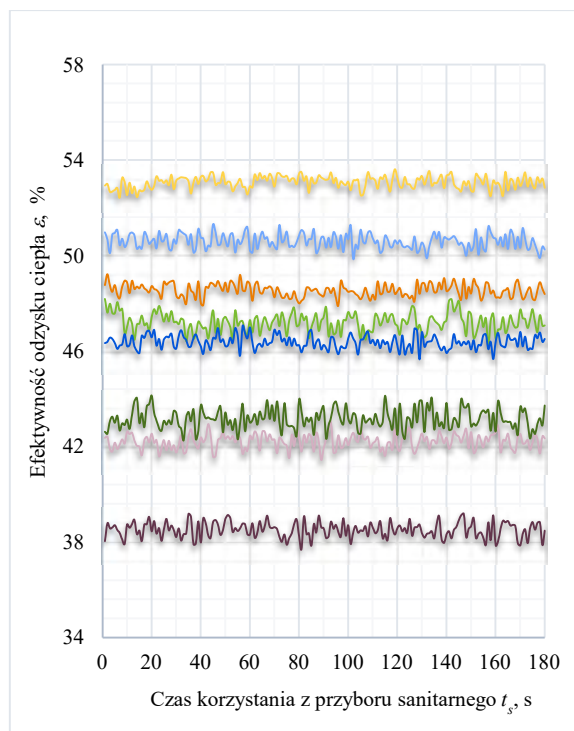
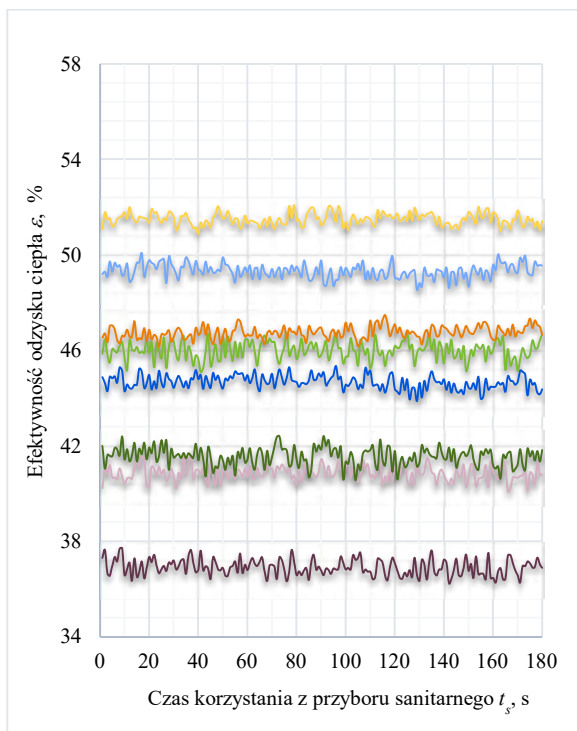
12.4. Badania doświadczalne - Konfiguracja III

12.4.1. Analiza wpływu czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s na efektywność odzysku ciepła ε

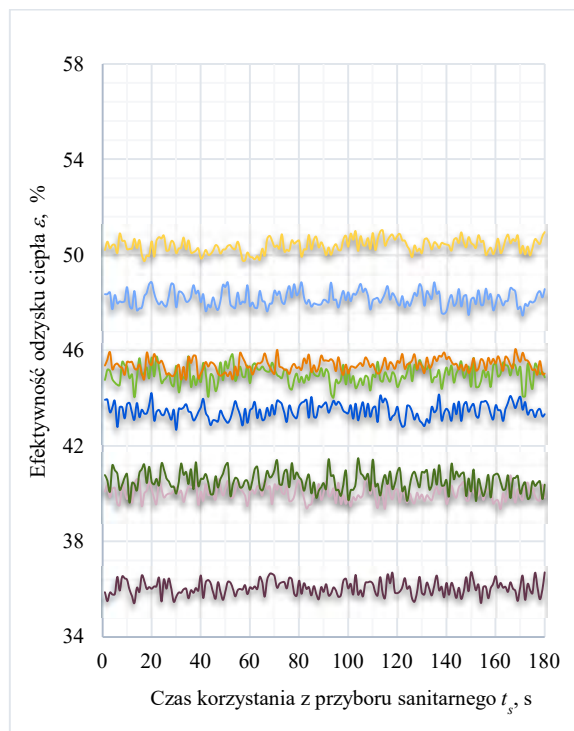
Analizy efektywności energetycznej ε systemu odbioru energii ze ścieków szarych w Konfiguracji III, tak jak w Konfiguracji I i II sporządzono na podstawie zarejestrowanych wartości temperatury wody zmieszanej na wyjściu z podgrzewacza elektrycznego T_{WCP} , temperatury wody ciepłej na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , temperatury wody wstępnie podgrzanej T_{WWP} oraz temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} .

W pierwszym etapie analiz wyników badań laboratoryjnych oceniono zmienność parametru ε dla różnych, przyjętych w planie badawczym czasów użytkowania przyboru sanitarnego t_s . Na rysunkach od 12.26 do 12.29 przedstawiono efektywność odzysku energii ε uzyskaną w trakcie analiz zakładających symulację kąpieli o czasie trwania kolejno 3 min, 8 min, 13 min oraz 18 min. Prezentowany zbiór danych charakteryzuje wartości parametru ε uzyskane dla temperatury wody zimnej T_{WZ} na poziomie 8°C. Rozkład efektywności odzysku ciepła ε w czasie t_s dla pozostałych wartości parametru T_{WZ} przedstawiono w załącznikach (Załącznik 55 do Załącznik 66).

Wydłużenie czasu t_s nie spowodowało zmiany trendu wartości efektywności odzysku ciepła ε w pionowych wymiennikach o długości 1680 mm oraz 1270 mm. Ocenia się, że tak jak w przypadku analiz prowadzonych dla Konfiguracji I i Konfiguracji II, widoczne wahania parametru ε wynikają z odchyłeń wartości rejestrowanych temperatur. Z uwagi na powyższe, prezentacja uzyskanych wyników badań doświadczalnych została sporządzona dla jednego, wybranego czasu korzystania z przyboru sanitarnego t_s równego 18 min. W tabelach 12.9 oraz 12.10 przedstawiono wartości środkowe temperatur i strumieni objętości wody uzyskanych w trakcie analiz dwóch wymienników ciepła, a także wyznaczone na ich podstawie wartości efektywności odzysku ciepła ε w Konfiguracji III systemu DWHR.

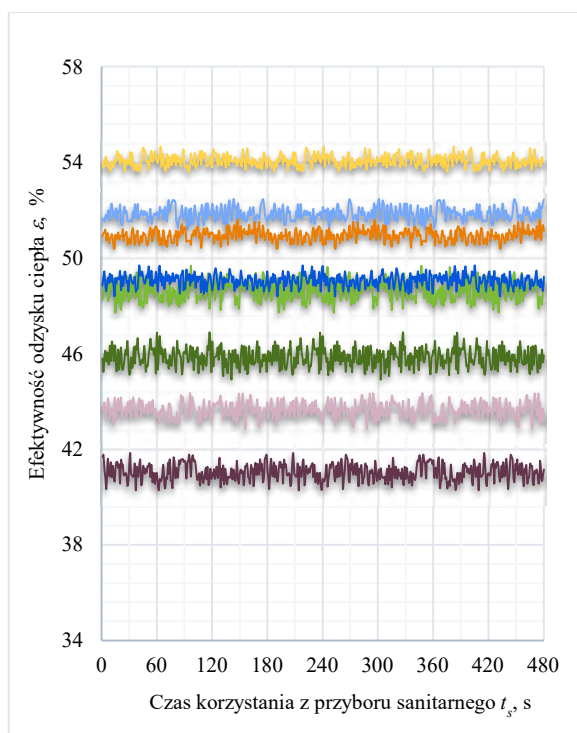
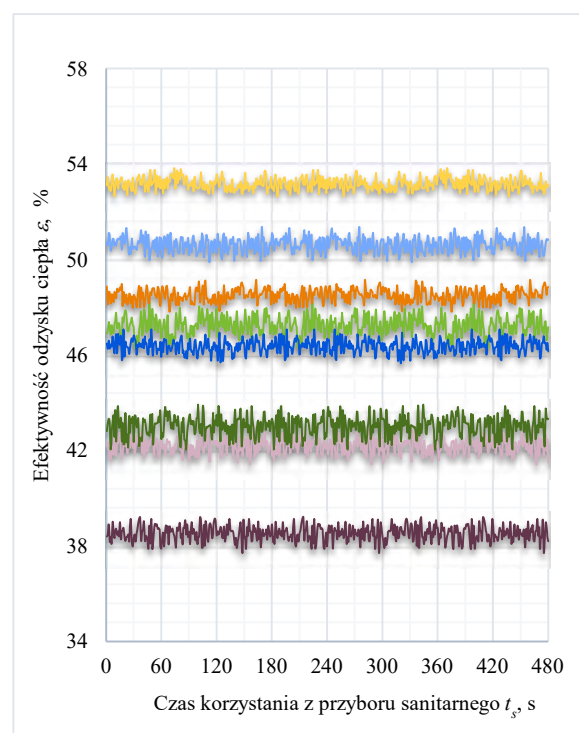
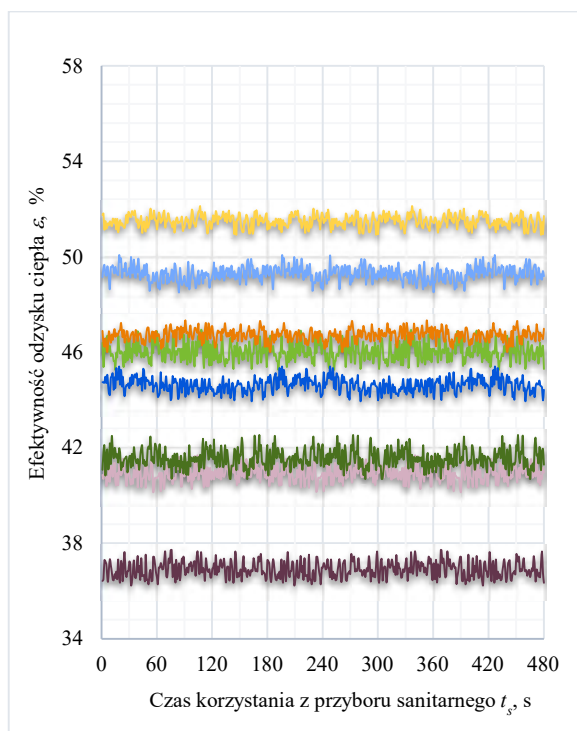
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

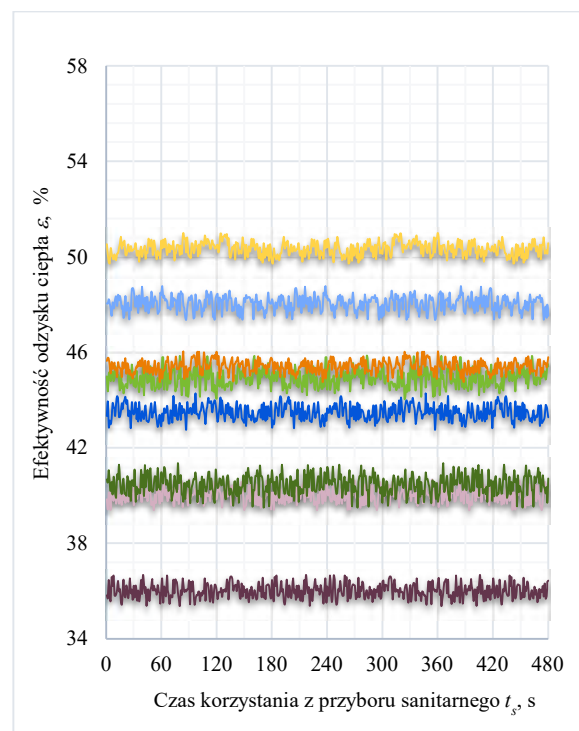
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Rysunek 12.26. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody mieszanej na wylwywie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody mieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C

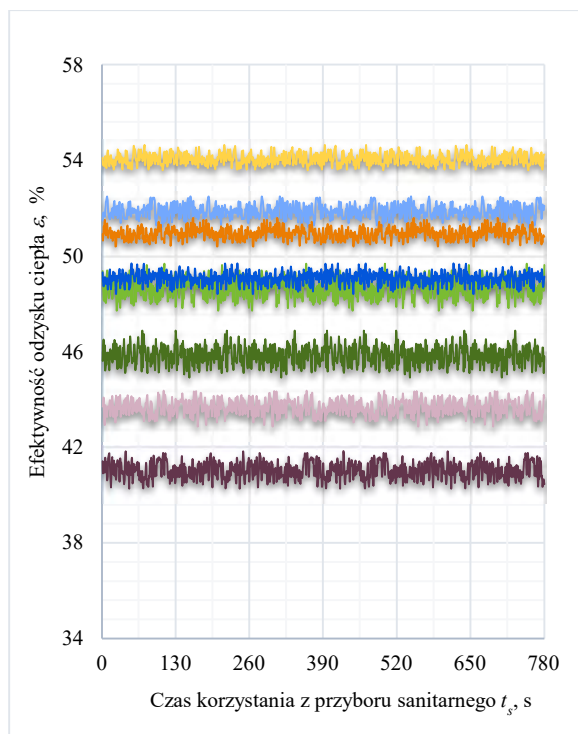
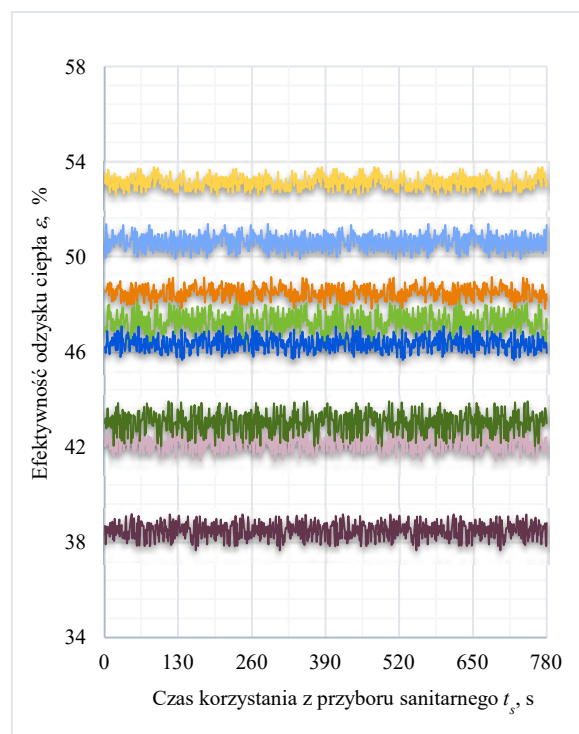
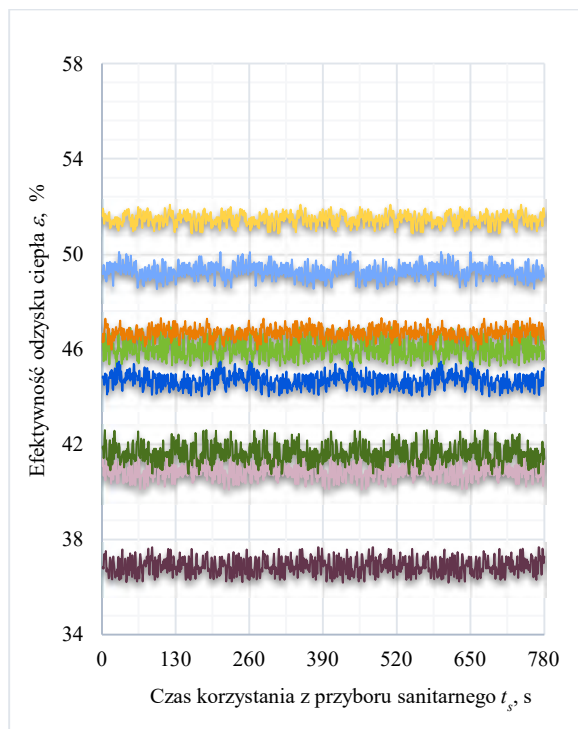
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

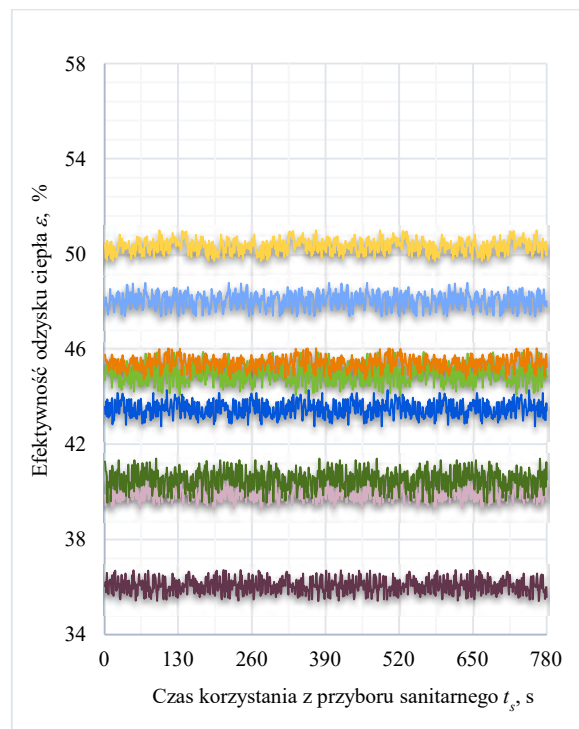
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Rysunek 12.27. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C

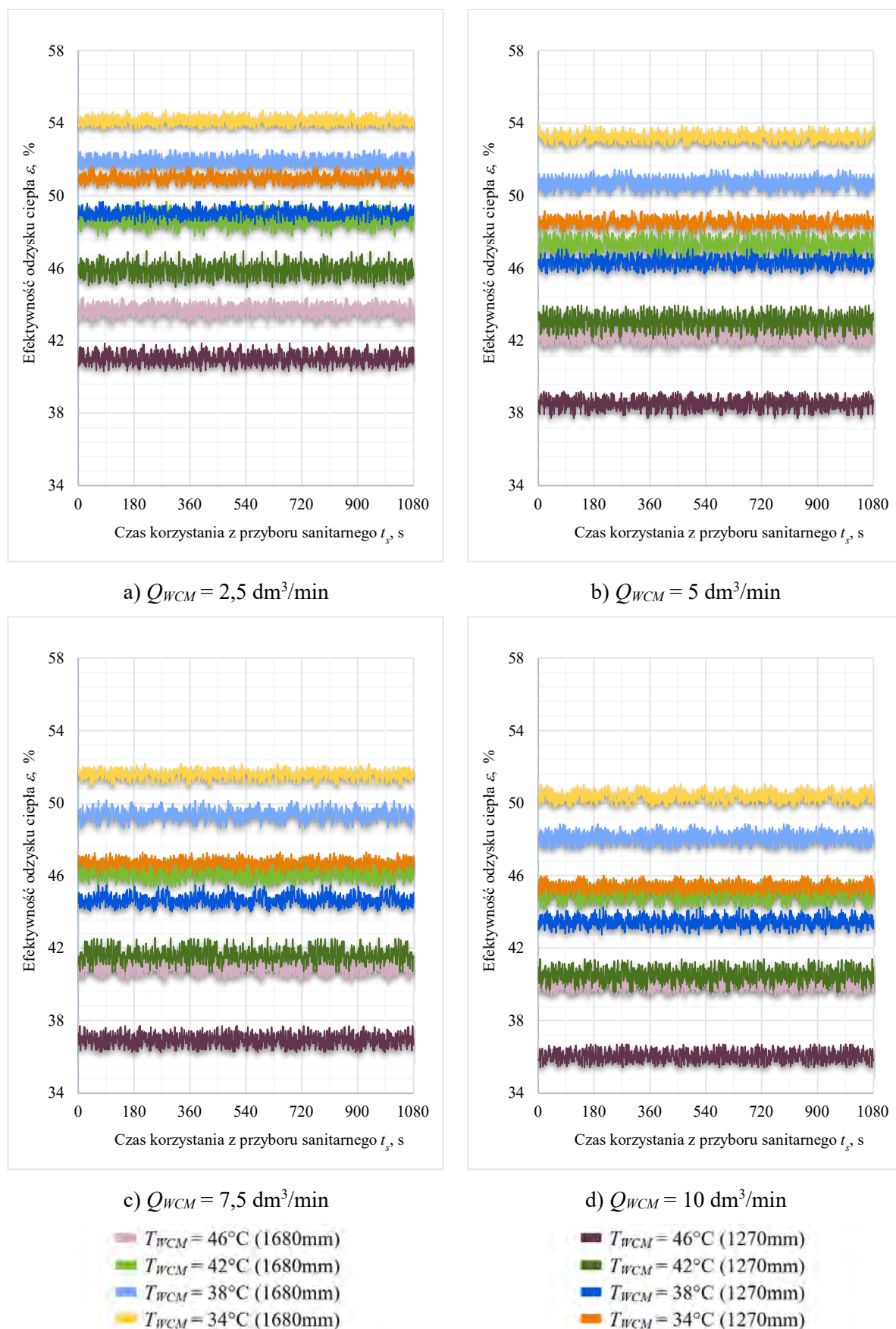
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Rysunek 12.28. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody mieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody mieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C



Rysunek 12.29. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wylocie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C

Tabela 12.9. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracja III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 18 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZE}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WFPD}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,28	55,31	7,91	1,14	1,36	2,50	43,68
42,40	55,30	7,83	0,93	1,57	2,50	48,73
38,45	55,25	7,81	0,78	1,72	2,50	51,89
34,41	55,17	7,72	0,65	1,85	2,50	54,07
46,46	55,14	8,15	2,35	2,65	5,00	42,31
42,47	55,17	7,98	1,93	3,07	5,00	47,28
38,51	55,34	7,93	1,59	3,41	5,00	50,69
34,51	55,34	8,05	1,31	3,69	5,00	53,18
46,56	55,29	7,88	3,61	3,89	7,50	40,94
42,42	55,13	8,14	2,95	4,55	7,50	46,07
38,45	55,30	8,13	2,44	5,06	7,50	49,36
34,59	55,29	7,98	2,04	5,46	7,50	51,57
46,24	55,11	7,93	4,87	5,13	10,00	40,01
42,31	55,16	7,91	4,01	5,99	10,00	44,95
38,59	55,21	7,90	3,36	6,64	10,00	48,19
34,24	55,24	7,88	2,76	7,24	10,00	50,39
46,40	55,31	12,07	1,10	1,40	2,50	44,57
42,51	55,26	11,89	0,89	1,61	2,50	49,37
38,34	55,29	11,83	0,73	1,77	2,50	52,20
34,58	55,12	11,81	0,60	1,90	2,50	54,36
46,22	55,16	12,20	2,26	2,74	5,00	43,03
42,45	55,12	12,14	1,83	3,17	5,00	48,22
38,60	55,22	11,99	1,50	3,50	5,00	51,30
34,55	55,31	11,91	1,22	3,78	5,00	53,27
46,51	55,33	12,16	3,45	4,05	7,50	42,16

cd. Tabela 12.9.

42,45	55,19	12,11	2,81	4,69	7,50	46,86
38,33	55,32	12,11	2,28	5,22	7,50	49,98
34,41	55,35	11,97	1,87	5,63	7,50	51,90
46,41	55,21	12,11	4,69	5,31	10,00	41,04
42,60	55,13	12,04	3,84	6,16	10,00	45,81
38,36	55,12	11,96	3,12	6,88	10,00	48,97
34,57	55,30	11,94	2,54	7,46	10,00	51,24
46,56	55,15	15,63	1,07	1,43	2,50	45,42
42,41	55,21	15,58	0,85	1,65	2,50	50,04
38,31	55,14	15,55	0,67	1,83	2,50	53,02
34,28	55,22	15,50	0,54	1,96	2,50	54,70
46,52	55,20	15,89	2,20	2,80	5,00	43,60
42,30	55,11	15,90	1,73	3,27	5,00	48,52
38,33	55,20	15,87	1,38	3,62	5,00	51,51
34,28	55,22	15,81	1,09	3,91	5,00	53,57
46,32	55,25	16,00	3,30	4,20	7,50	42,97
42,39	55,27	16,89	2,57	4,93	7,50	48,42
38,61	55,21	15,86	2,15	5,35	7,50	50,42
34,42	55,22	15,82	1,70	5,80	7,50	52,03
46,53	55,21	16,19	4,50	5,50	10,00	42,12
42,33	55,21	16,11	3,56	6,44	10,00	46,85
38,29	55,19	16,10	2,85	7,15	10,00	49,82
34,44	55,23	16,16	2,25	7,75	10,00	51,85
46,47	55,34	19,90	1,01	1,49	2,50	46,31
42,64	55,31	19,81	0,79	1,71	2,50	51,01
38,52	55,20	19,73	0,61	1,89	2,50	53,80
34,53	55,24	19,75	0,47	2,03	2,50	55,21
46,24	55,30	19,91	2,05	2,95	5,00	44,87
42,47	55,25	19,82	1,61	3,39	5,00	49,52
38,25	55,23	19,84	1,24	3,76	5,00	52,30
34,54	55,33	19,76	0,95	4,05	5,00	54,30

cd. Tabela 12.9.

46,63	55,31	19,93	3,17	4,33	7,50	44,04
42,54	55,13	19,92	2,48	5,02	7,50	48,56
38,36	55,28	19,82	1,92	5,58	7,50	51,12
34,43	55,15	19,83	1,47	6,03	7,50	52,69
46,56	55,23	19,94	4,29	5,71	10,00	43,06
42,67	55,11	19,92	3,38	6,62	10,00	47,67
38,29	55,24	19,92	2,58	7,42	10,00	50,48
34,48	55,16	19,87	1,98	8,02	10,00	52,07

Tabela 12.10. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 18 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZE}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPPD}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,23	55,21	8,16	1,19	1,31	2,50	41,03
42,38	55,45	8,11	0,98	1,52	2,50	45,88
38,30	55,12	8,09	0,82	1,68	2,50	49,06
34,32	55,29	8,02	0,68	1,82	2,50	50,97
46,37	55,30	7,52	2,50	2,50	5,00	38,54
42,30	55,08	7,45	2,08	2,92	5,00	43,11
38,13	55,32	7,40	1,72	3,28	5,00	46,35
34,33	55,33	7,43	1,44	3,56	5,00	48,55
46,26	55,13	7,75	3,85	3,65	7,50	36,87
42,20	55,14	7,74	3,19	4,31	7,50	41,56
38,31	55,28	7,69	2,67	4,83	7,50	44,68
34,15	55,26	7,74	2,22	5,28	7,50	46,70
46,24	55,18	7,94	5,19	4,81	10,00	36,02
42,35	55,29	7,92	4,32	5,68	10,00	40,53
38,08	55,15	7,87	3,61	6,39	10,00	43,45

cd. Tabela 12.10.

34,26	55,32	7,89	3,04	6,96	10,00	45,39
46,23	55,16	12,10	1,16	1,34	2,50	41,59
42,24	55,15	12,13	0,94	1,56	2,50	46,50
38,29	55,14	11,93	0,77	1,73	2,50	49,43
34,21	55,25	11,91	0,63	1,87	2,50	51,38
46,27	55,12	12,02	2,40	2,60	5,00	39,51
42,44	55,16	12,02	1,97	3,03	5,00	44,19
38,15	55,36	12,01	1,59	3,41	5,00	47,28
34,28	55,20	11,97	1,31	3,69	5,00	49,29
46,17	55,12	11,88	3,70	3,80	7,50	37,87
42,35	55,17	11,86	3,03	4,47	7,50	42,54
38,33	55,28	11,77	2,50	5,00	7,50	45,33
34,10	55,20	11,78	2,04	5,46	7,50	47,17
46,30	55,21	11,52	5,04	4,96	10,00	36,68
42,19	55,18	11,49	4,15	5,85	10,00	40,94
38,24	55,30	11,48	3,43	6,57	10,00	43,89
34,19	55,26	11,43	2,82	7,18	10,00	45,76
46,16	55,19	16,08	1,11	1,39	2,50	42,53
42,28	55,32	16,01	0,88	1,62	2,50	47,19
38,25	55,25	15,99	0,71	1,79	2,50	50,15
34,13	55,34	15,93	0,56	1,94	2,50	51,92
46,29	55,24	15,92	2,31	2,69	5,00	40,25
42,24	55,29	15,92	1,85	3,15	5,00	44,79
38,14	55,19	15,83	1,48	3,52	5,00	47,62
34,26	55,29	15,81	1,18	3,82	5,00	49,48
46,14	55,26	15,88	3,52	3,98	7,50	38,94
42,34	55,20	15,74	2,87	4,63	7,50	43,28
38,26	55,31	15,69	2,32	5,18	7,50	45,74
34,27	55,28	15,61	1,86	5,64	7,50	47,27
46,35	55,28	16,00	4,80	5,20	10,00	37,83
42,27	55,30	15,97	3,87	6,13	10,00	42,15

cd. Tabela 12.10.

38,23	55,22	15,91	3,13	6,87	10,00	44,90
34,12	55,09	15,86	2,49	7,51	10,00	46,42
46,27	55,21	20,21	1,05	1,45	2,50	43,74
42,33	55,28	20,17	0,82	1,68	2,50	48,26
38,32	55,17	20,08	0,64	1,86	2,50	50,99
34,35	55,37	20,10	0,48	2,02	2,50	52,43
46,29	55,34	19,73	2,20	2,80	5,00	41,11
42,30	55,17	19,72	1,73	3,27	5,00	45,67
38,25	55,29	19,72	1,35	3,65	5,00	48,25
34,23	55,22	19,57	1,03	3,97	5,00	49,88
46,19	55,28	19,99	3,34	4,16	7,50	40,05
42,27	55,21	19,96	2,66	4,84	7,50	44,07
38,18	55,20	19,88	2,08	5,42	7,50	46,59
34,17	55,18	19,85	1,59	5,91	7,50	47,82
46,25	55,26	19,93	4,55	5,45	10,00	38,93
42,29	55,21	19,93	3,62	6,38	10,00	42,84
38,26	55,20	19,85	2,84	7,16	10,00	45,39
34,12	55,34	19,82	2,15	7,85	10,00	46,58

Wyniki uzyskane dla pozostałych czasów t_s użytkowania przyboru sanitarnego dołączono do opracowania w formie załączników (Załącznik 67 do Załącznik 72).

12.4.2. Analiza efektywności odzysku energii ε pod kątem wpływu stosunku wartości strumieni objętości wody Q_{WZD} i ścieków przepływających Q_{SD} przez wymiennik

Analiza efektywności odzysku ciepła ε w zależności od wartości strumieni objętości wody Q_{WZD} i ścieków szarych Q_{SD} przepływających w wymiennikach ciepła wymagała rejestracji strumieni objętości mediów na dopływie do badanych jednostek $DWHR$, a te zaś wynikają z wartości strumienia objętości Q_{WCM} i temperatury T_{WCM} wody na wypływie z wylewki prysznicza.

Wartości strumieni objętości wody zimnej Q_{WZD} i Q_{WZE} , wody wstępnie podgrzanej Q_{WWPD} , wody zmieszanej na wypływie z zaworu mieszającego Q_{WCM} oraz strumieni objętości ścieków

Q_{SD} uzyskane podczas analiz *Konfiguracji III* instalacji przygotowania c.w.u. i systemu odzysku ciepła ujęto w tabeli 12.11 i 12.12.

Tabela 12.11. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania c.w.u. i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją III* dla wymiennika o długości 1680 mm

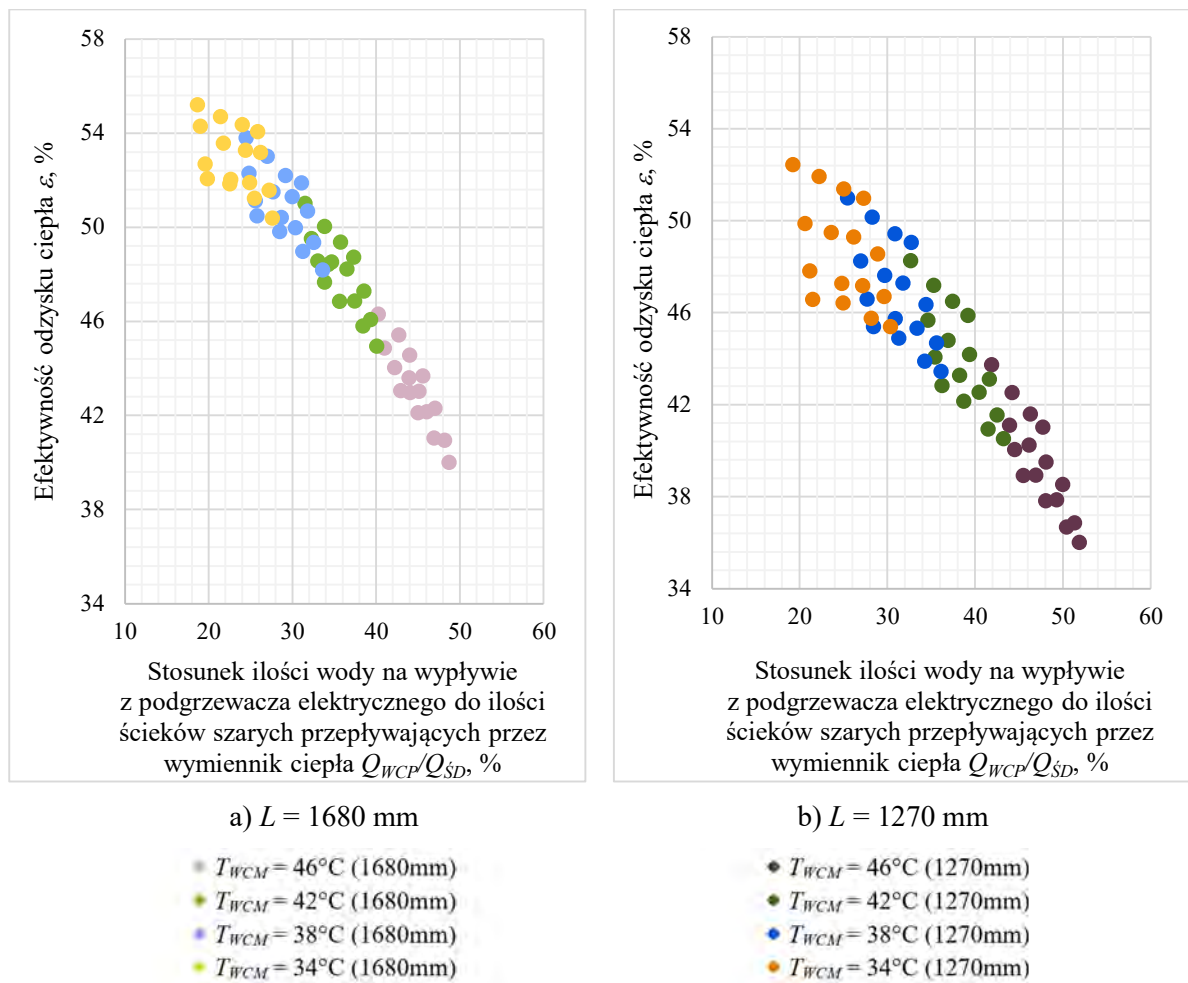
Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZD} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do podgrzewacza Q_{WZE} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WPPD} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min ($Q_{WCM} = Q_{WPPD} + Q_{WZE}$)	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min ($Q_{SD} = Q_{WCM}$)	Stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła i , %
≈ 46	1,36÷1,49	1,01÷1,14	1,36÷1,49	2,50	2,50	54,40÷59,75
≈ 42	1,57÷1,71	0,79÷0,93	1,57÷1,71			62,66÷68,49
≈ 38	1,72÷1,89	0,61÷0,78	1,72÷1,89			68,93÷75,51
≈ 34	1,85÷2,03	0,47÷0,65	1,85÷2,03			74,17÷81,35
≈ 46	2,65÷2,95	2,05÷2,35	2,65÷2,95	5,00	5,00	52,97÷58,99
≈ 42	3,07÷3,39	1,61÷1,93	3,07÷3,39			61,46÷67,73
≈ 38	3,41÷3,76	1,24÷1,59	3,41÷3,76			68,19÷75,18
≈ 34	3,69÷4,05	0,95÷1,31	3,69÷4,05			73,80÷81,01
≈ 46	3,89÷4,33	3,17÷3,61	3,89÷4,33	7,50	7,50	51,81÷57,78
≈ 42	4,55÷5,02	2,48÷2,95	4,55÷5,02			60,66÷66,96
≈ 38	5,06÷5,58	1,92÷2,44	5,06÷5,58			67,46÷74,44
≈ 34	5,46÷6,03	1,47÷2,04	5,46÷6,03			72,76÷80,45
≈ 46	5,13÷5,71	4,29÷4,87	5,13÷5,71	10,00	10,00	51,29÷57,05
≈ 42	5,99÷6,62	3,38÷4,01	5,99÷6,62			59,93÷66,17
≈ 38	6,64÷7,42	2,58÷3,36	6,64÷7,42			66,39÷74,24
≈ 34	7,24÷8,02	1,98÷2,76	7,24÷8,02			72,39÷80,16

Tabela 12.12. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania c.w.u. i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją III* dla wymiennika o długości 1270 mm

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , °C	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZD} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zimnej kierowanej do podgrzewacza Q_{WZE} , dm ³ /min	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WPPD} , dm ³ /min	Strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} , dm ³ /min ($Q_{WCM} = Q_{WPPD} + Q_{WZE}$)	Strumień objętości ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła Q_{SD} , dm ³ /min ($Q_{SD} = Q_{WCM}$)	Stosunek ilości wody zimnej do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła i , %
≈ 46	1,31÷1,45	1,05÷1,19	1,31÷1,45	2,50	2,50	52,29÷58,11
≈ 42	1,52÷1,68	0,82÷0,98	1,52÷1,68			60,82÷67,35
≈ 38	1,68÷1,86	0,64÷0,82	1,68÷1,86			67,28÷74,53
≈ 34	1,82÷2,02	0,48÷0,68	1,82÷2,02			72,73÷80,78
≈ 46	2,50÷2,80	2,20÷2,50	2,50÷2,80	5,00	5,00	50,03÷56,07
≈ 42	2,92÷3,27	1,73÷2,08	2,92÷3,27			58,37÷65,39
≈ 38	3,28÷3,65	1,35÷1,72	3,28÷3,65			65,60÷73,03
≈ 34	3,56÷3,97	1,03÷1,44	3,56÷3,97			71,11÷79,39
≈ 46	3,65÷4,16	3,34÷3,85	3,65÷4,16	7,50	7,50	48,68÷55,48
≈ 42	4,31÷4,84	2,66÷3,19	4,31÷4,84			57,51÷64,59
≈ 38	4,83÷5,42	2,08÷2,67	4,83÷5,42			64,41÷72,32
≈ 34	5,28÷5,91	1,59÷2,22	5,28÷5,91			70,38÷78,85
≈ 46	4,81÷5,45	4,55÷5,19	4,81÷5,45	10,00	10,00	48,13÷54,51
≈ 42	5,68÷6,38	3,62÷4,32	5,68÷6,38			56,78÷63,77
≈ 38	6,39÷7,16	2,84÷3,61	6,39÷7,16			63,87÷71,57
≈ 34	6,96÷7,85	2,15÷3,04	6,96÷7,85			69,63÷78,50

W *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła stosunek ilości wody zimnej Q_{WZD} do ilości ścieków Q_{SD} na dopływie do wymiennika ciepła mieścił się w zakresie od 48,13 do 81,35%. Wraz ze wzrostem temperatury wody przeznaczonej do kąpieli T_{WCM} zwiększał się udział wody zimnej kierowanej do podgrzewacza elektrycznego Q_{WZE} , a tym samym malał strumień objętości wody dopływającej do wymiennika ciepła Q_{WZD} . Efektywność energetyczna systemu ε była tym wyższa im mniejszy był strumień wody kierowanej do podgrzewacza elektrycznego Q_{WZE} . Na rysunku 12.30. przedstawiono rozkład efektywności odzysku energii ε w zależności

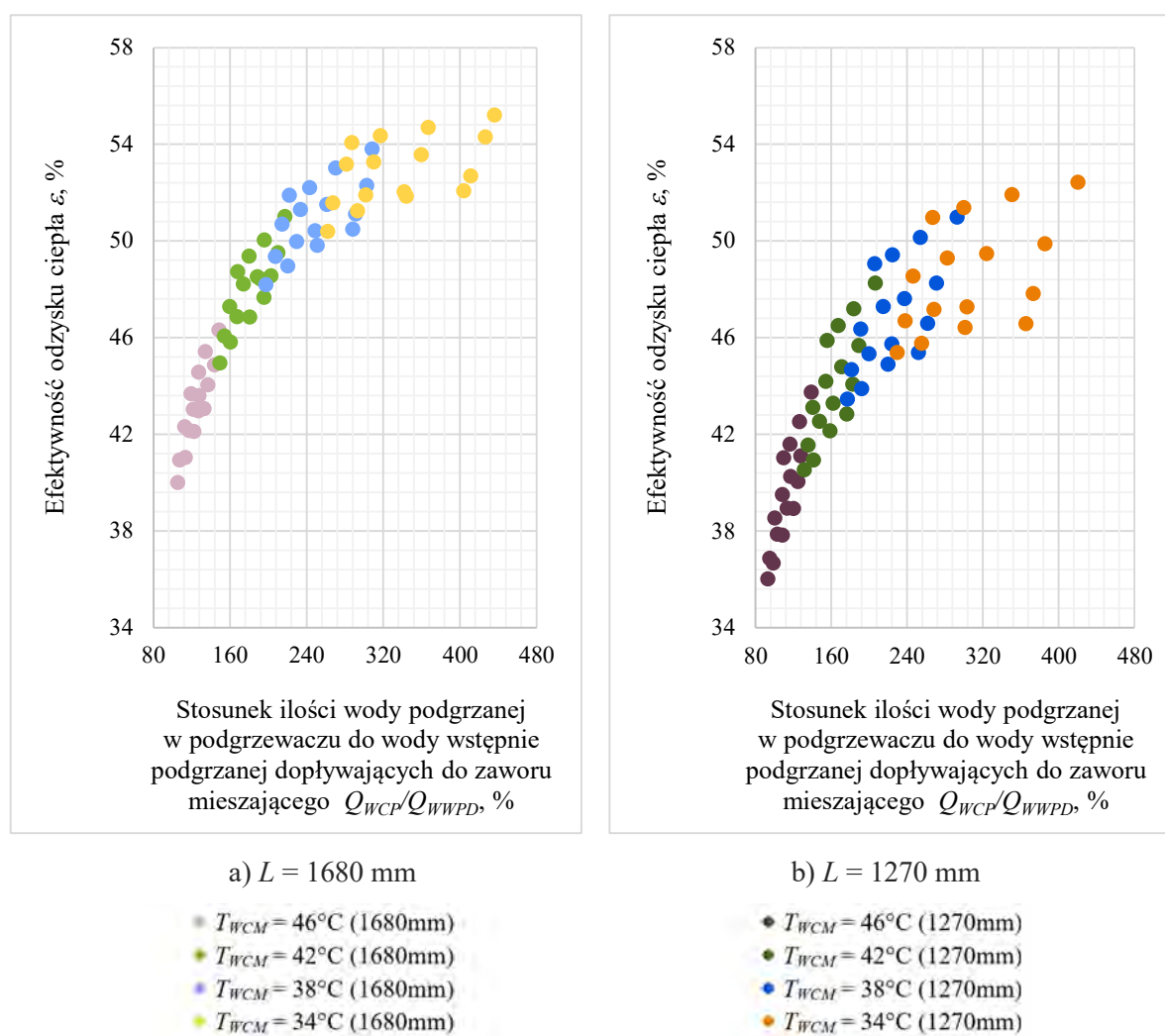
od stosunku strumienia objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZD} do ilości ścieków szarych dopływających do wymiennika Q_{SD} .



Rysunek 12.30. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumieni objętości wody na wypływie z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła Q_{SD} w *Konfiguracji III*

Zgodnie z założeniami projektowymi *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła wartość strumienia objętości wody zimnej kierowanej do wymiennika ciepła Q_{WZD} były taka sama jak strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej kierowanej do zaworu mieszającego Q_{WWPD} .

Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła jest tym bardziej zasadna im mniejszy jest stosunek strumienia objętości wody zimnej na dopływie do podgrzewacza Q_{WZE} do strumienia objętości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła Q_{SD} , a tym samym im większy stosunek strumienia objętości wody podgrzanej w podgrzewaczu Q_{WCP} do strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej dopływającej do zaworu mieszającego Q_{WWPD} , co ukazuje rysunek 12.31.



Rysunek 12.31. Efektywność odzysku ciepła ε dla *Konfiguracji III* w zależności od wartości stosunku strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej dopływającej do zaworu mieszającego i wody podgrzanej w podgrzewaczu Q_{WCP}/Q_{WWPD}

Aplikacja wymiennika ciepła zgodna z koncepcją projektową opisaną, jako *Konfiguracja III* charakteryzowała się tym wyższą efektywnością ε im niższa była temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} , a także w sytuacji im niższa była temperatura wody zimnej na dopływie do zaworu mieszającego T_{WZ} .

12.4.3. Analiza wpływu wartości parametrów wejściowych Q_{WCM} , T_{WCM} i T_{WZ} na efektywność odzysku energii ε

Zmienność parametru ε uzyskana dla przyjętych w planie badawczym scenariuszy kąpielowych o odmiennych wartościach temperatury wody kąpielowej T_{WCM} , strumieniach objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} i przy stałej temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} 8°C przedstawiono na rysunku 12.32.

Dla wymienników o długości 1680 mm i 1270 mm najwyższy stopień efektywności ε odbioru energii uzyskano, gdy strumień objętości wody na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM}

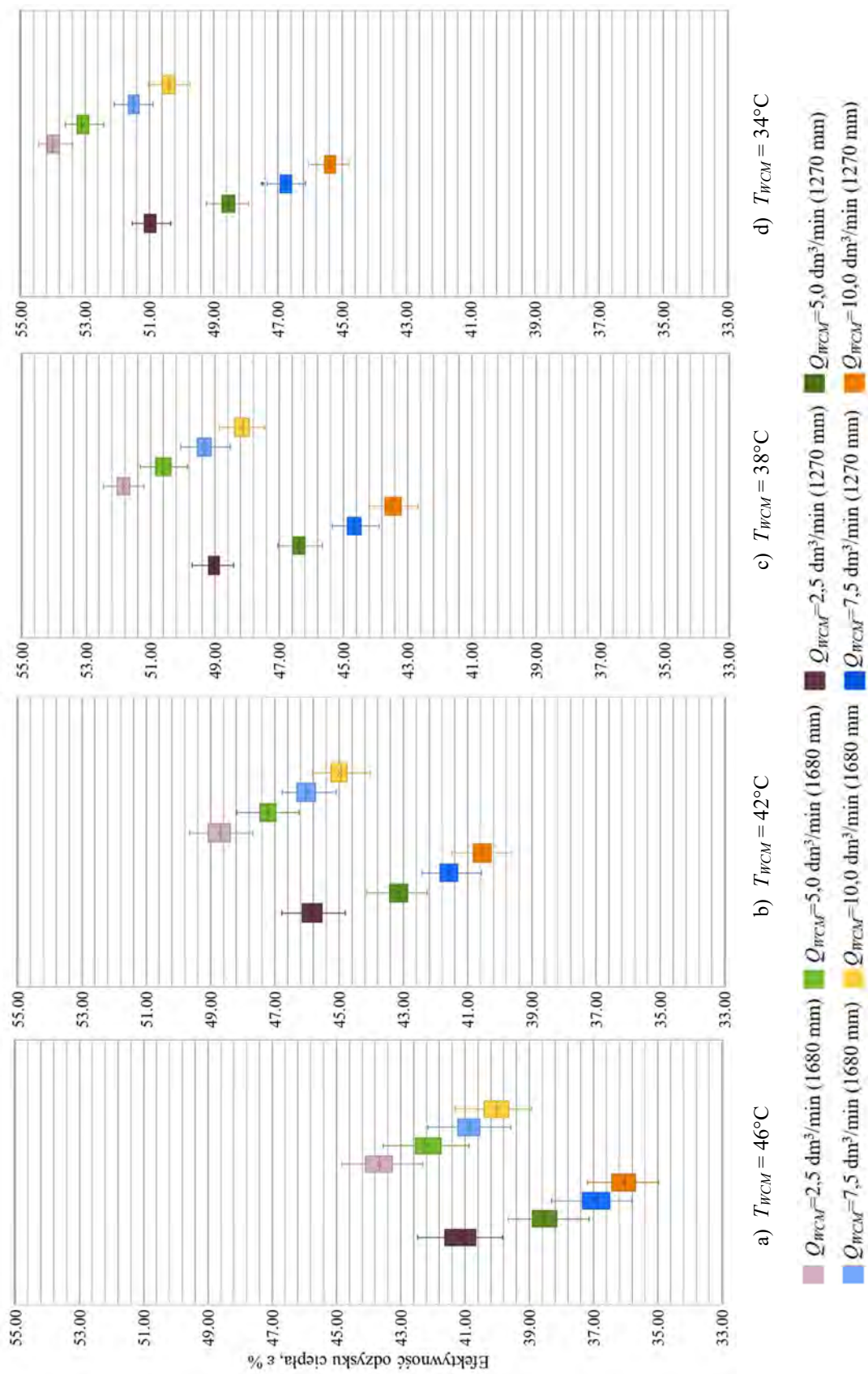
był bliski wartości $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wyniosła około 34°C . W opisanym przypadku uzyskano efektywności ε na poziomie $54,07\%$ oraz $50,97\%$ kolejno dla dłuższego i krótszego urządzenia. Najniższą efektywność ε określono, gdy temperatura wody kąpielowej T_{WCM} była bliska 46°C , a jej strumień objętości Q_{WCM} ustalono na poziomie $10 \text{ dm}^3/\text{min}$. W opisanym przypadku parametr ε osiągnął wartości $40,01\%$ oraz $36,02\%$ dla dłuższego i krótszego urządzenia.

Analizując wyniki badań dla temperatury T_{WZ} równej 8°C zauważono, że dłuższy wymiennik pozwolił na bardziej efektywny odzysk ciepła ε o około od 2,65 pp. do 5,00 pp. Wzrost efektywności odzysku energii ε w jednostce o długości 1680 mm względem krótszego wymiennika i dla odpowiadających sobie scenariuszy kąpielowych ukształtował się następująco:

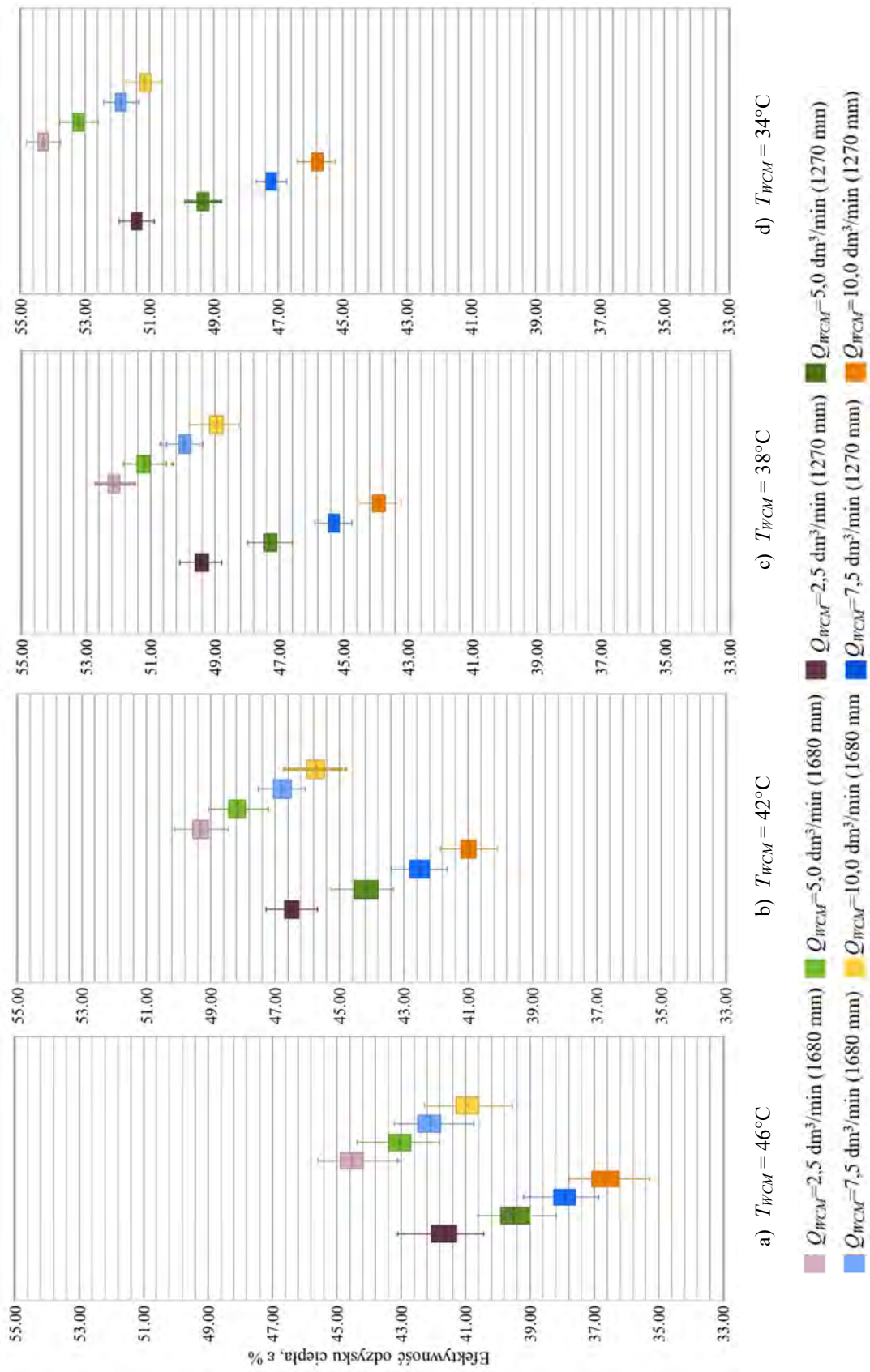
- od 2,65 do 4,07 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 46^\circ\text{C}$,
- od 2,86 do 4,51 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 42^\circ\text{C}$,
- od 2,83 do 4,75 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 38^\circ\text{C}$,
- od 3,09 do 5,00 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 34^\circ\text{C}$.

Rozkład wartości efektywności odzysku energii ε uzyskany podczas badań doświadczalnych dla wartości parametru T_{WZ} równej 12°C przedstawiono na rysunku 12.33.

Najwyższą wartość stopnia efektywność odzysku energii ε zarówno dla dłuższej jak i krótszej jednostki $DWHR$ zaobserwowano w przypadkach badawczych, gdy strumień objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} wynosił $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody przeznaczonej do kąpieli T_{WCM} przyjmowała wartość 34°C . Dla opisanego scenariusza kąpielowego parametru ε przyjął wartość $54,36\%$ oraz $51,38\%$ kolejno dla dłuższej i krótszej jednostki $DWHR$. Najniższy stopień parametru ε wyznaczono dla przypadku badawczego, gdzie strumień objętości wody kąpielowej Q_{WCM} był bliski wartości $10 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura T_{WCM} wyniosła około 46°C .



Rysunek 12.32. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 8^\circ\text{C}$ dla *Konfiguracji III*



Rysunek 12.33. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} 12°C dla Konfiguracji III

Najniższa wartość parametru ε zaobserwowana podczas analiz zmiennej T_{WZ} równej 12°C osiągnęła wartości 41,04% i 36,68% kolejno dla dłuższego i krótszego urządzenia.

Analizując wyniki badań oszacowano, że jednostka o długości 1680 mm pozwoliła osiągnąć wyższy stopień odzysku energii ε względem urządzenia o długości 1270 mm. Dłuższy wymiennik pozwolił na bardziej efektywny odzysk ciepła ε o około od 2,78 pp. do 5,43 pp. Dla poszczególnych przypadków badawczych o odmiennych wartościach parametru Q_{WCM} różnica stopnia odzysku energii ε między badanymi jednostkami *DWHR* była następująca:

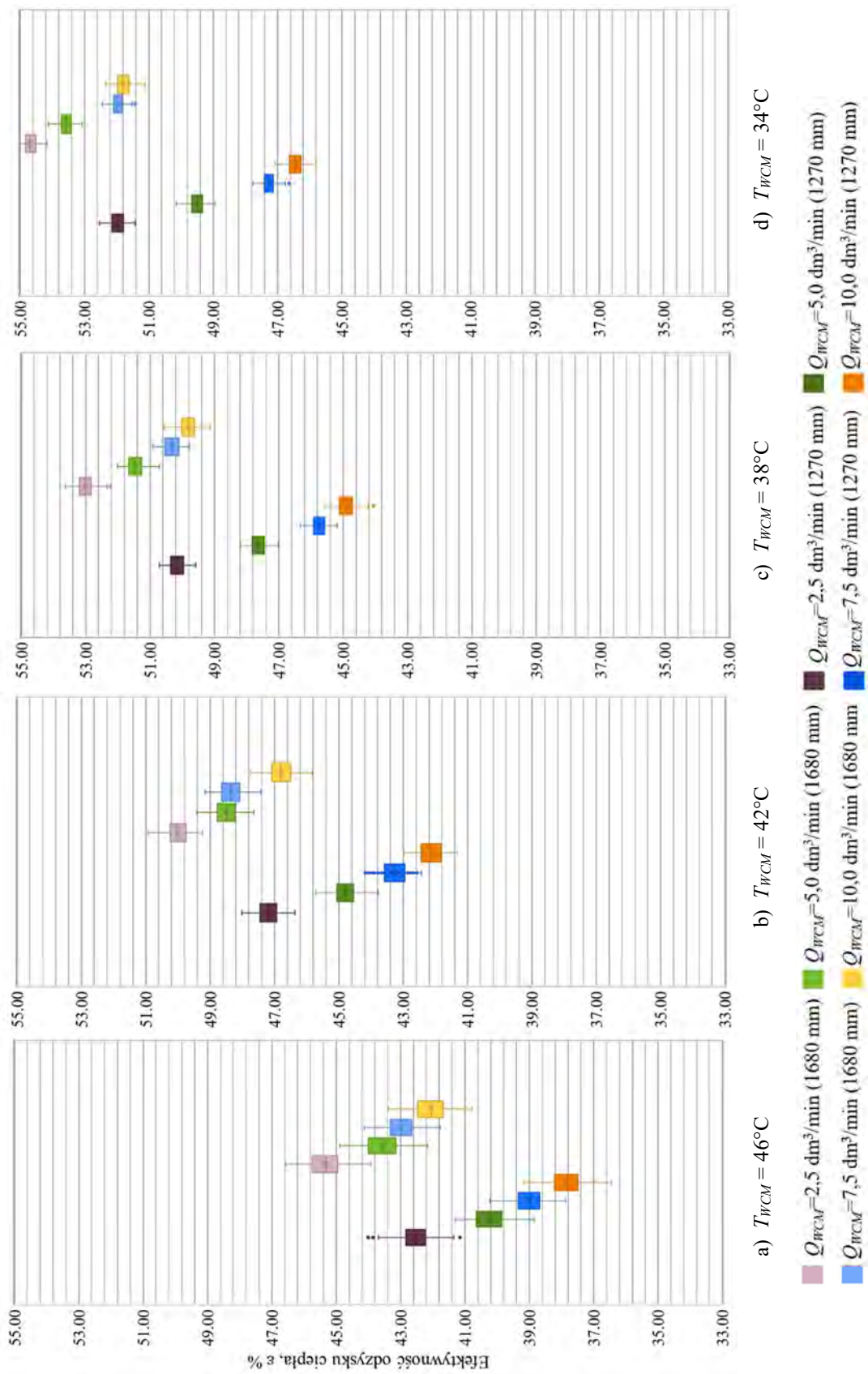
- od 2,97 do 4,36 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 46^{\circ}\text{C}$,
- od 2,87 do 4,87 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 42^{\circ}\text{C}$,
- od 2,78 do 5,08 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$,
- od 2,99 do 5,43 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 34^{\circ}\text{C}$.

Na rysunku 12.34. przedstawiono wyniki analiz doświadczalnych uzyskanych podczas badań, gdy temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} została ustalona na poziomie 16°C . Najwyższa odnotowana efektywności odzysku ciepła ε została określona dla scenariusza, gdzie temperatura zmieszanej wody na wyjściu z wylewki prysznicza T_{WCM} wynosiła 34°C , a strumień objętości wody Q_{WCM} ustalono na poziomie $2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$. W opisanym przypadku poziom efektywności ε wyniósł 54,70% oraz 51,92% kolejno dla urządzeń o długości 1680 mm oraz 1270 mm.

Najniższe zaobserwowane wartości efektywności odbioru energii ε wyniosły 42,12% i 37,83%, kolejno w przypadku analiz dłuższej i krótszej jednostki *DWHR*. Te najmniej korzystne wartości zmiennej ε uzyskano w przypadku, gdy strumień objętości wody cieplej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} wynosił $10 \text{ dm}^3/\text{min}$, a temperatura wody kąpielowej T_{WCM} była ustalona na poziomie blisko 46°C .

Wyższe wartości efektywności odbioru ciepła odpadowego ε uzyskano w jednostce o długości 1680 mm. Różnica uzyskanej wartości parametru ε względem wymiennika o długości 1270 mm, dla poszczególnych scenariuszy kąpielowych ukształtował się następująco:

- od 2,89 do 4,29 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 46^{\circ}\text{C}$,
- od 2,85 do 5,14 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 42^{\circ}\text{C}$,
- od 2,87 do 4,92 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$,
- od 2,79 do 5,43 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 34^{\circ}\text{C}$.



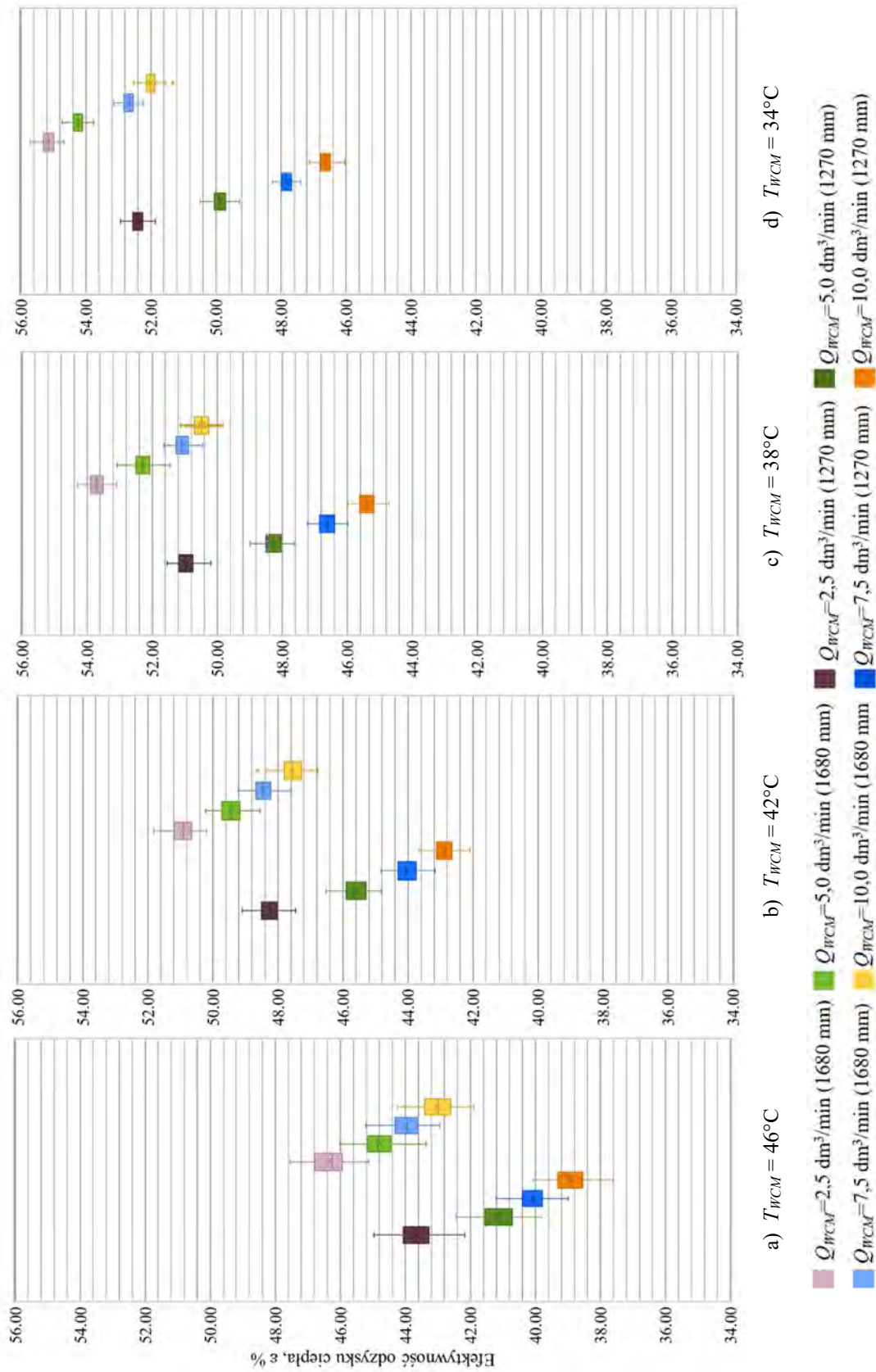
Rysunek 12.34. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WC} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WC} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 16^{\circ}\text{C}$ dla Konfiguracji III

Rozkład wartości efektywności odzysku energii ε dla scenariusza, gdzie temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} była najwyższa spośród rozpatrywanych przypadków i wynosiła 20°C został zaprezentowany na rysunku 12.35. Tak jak we wcześniej opisanych przypadkach badawczych najwyższa wartość zmiennej wyjściowej ε została określona, gdy strumień objętości wody ciepłej na wyjściu zaworu mieszającego Q_{WCM} wyniósł 2,5 dm³/min, a temperatura wody kąpielowej osiągnęła 34°C. Dla opisanego scenariusza kąpielowego efektywność odbioru energii ε została określona na poziomie 55,21% i 52,43% kolejno dla wymienników o długości 1680 mm oraz 1270 mm. Najniższą wartość efektywności ε zaobserwowano w przypadku, gdy strumień objętości wody Q_{WCM} był równy 10 dm³/min, a temperatura wody kąpielowej T_{WCM} wynosiła 46°C. W tym przypadku parametr ε przyjmował wartości bliskie 43,06% oraz 38,93% kolejno dla urządzeń o długości 1680 mm oraz 1270 mm.

Na podstawie wyników analiz prowadzonych dla temperatury zimnej wody wodociągowej T_{WZ} bliskiej 20°C i dla odpowiadających sobie scenariuszy kąpielowych zauważono, że dłuższy wymiennik pozwolił na bardziej efektywny odzysk ciepła ε o około 2,57 pp. do 5,49 pp. Wzrost stopnia efektywności odzysku energii ε w urządzeniu o długości 1680 mm dla poszczególnych scenariuszy kąpielowych został określony na poziomie:

- od 2,57 do 4,14 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 46^\circ\text{C}$,
- od 2,75 do 4,83 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 42^\circ\text{C}$,
- od 2,81 do 5,09 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 38^\circ\text{C}$,
- od 2,79 do 5,49 pp., gdy temperatura $T_{WCM} \approx 34^\circ\text{C}$.

Analizując wszystkie wyniki uzyskane w podczas badań prowadzonych dla *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła określono, że dla wymiennika o długości 1680 mm i 1270 mm najniższe wartości parametru odnotowano, gdy temperatura wody kąpielowej T_{WCM} była równa 46°C, temperatura wody zimnej T_{WZ} była bliska 8°C, a strumień wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM} określono na poziomie 10 dm³/min. Najwyższy poziom efektywności odzysku ciepła ε dwóch badanych urządzeń uzyskano, gdy wartość strumienia objętości wody na wyjściu z wylewki Q_{WCM} była równa 2,5 dm³/min, temperatura wody T_{WCM} została ustalona na poziomie 34°C, a temperatura wody zimnej T_{WZ} była równa 20°C.



Rysunek 12.35. Efektywność odzysku ciepła ϵ w zależności od wartości temperatury T_{WSCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WSCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 20^\circ\text{C}$ dla Konfiguracji III

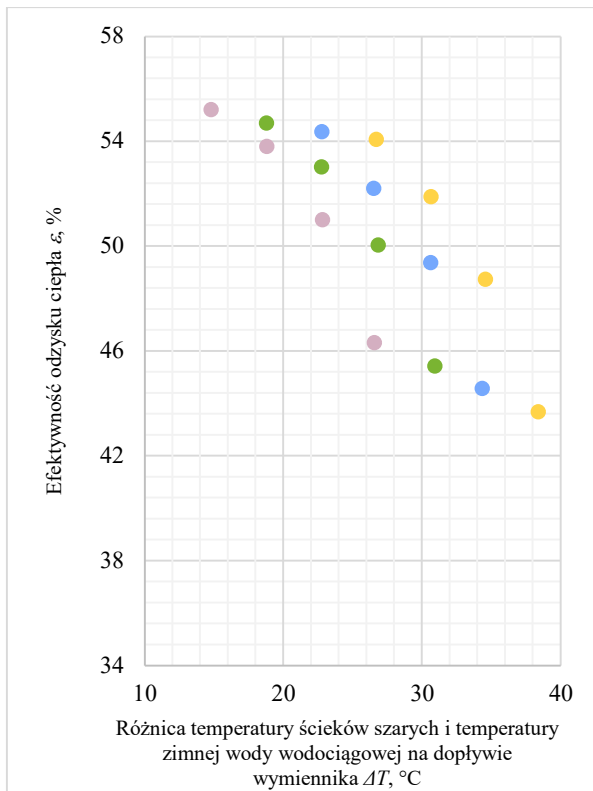
12.4.4. Analiza wpływu różnicy między temperaturą ścieków, a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT na efektywność odzysku energii ε

Wyniki analiz laboratoryjnych przeprowadzonych dla *Konfiguracji III* instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemu odzysku ciepła wskazują na wyraźną zależność poziomu uzyskiwanej efektywności odzysku ciepła ε względem wartości parametru ΔT , a więc różnicy między temperaturą ścieków T_{SD} , a temperaturą wody wodociągowej T_{WZ} .

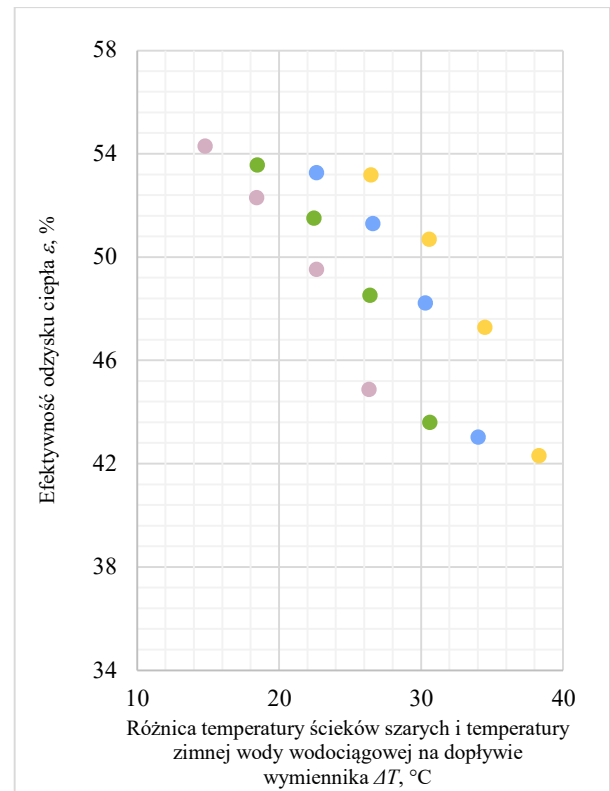
Najwyższy stopień efektywności odzysku energii ε ze ścieków szarych osiągnięto, gdy różnica temperatury ścieków szarych na dopływie do wymiennika T_{SD} i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika T_{WZ} wyniosła około 14°C. Dla opisanego przypadku określono efektywność odzysku energii ε na poziomie 55,21% oraz 52,43% kolejno dla jednostki o długości 1680 mm i 1270 mm. Wyniki analiz w zakresie wpływu różnicy między temperaturą ścieków T_{SD} , a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT na efektywność odzysku energii ε ukazano na rysunkach 12.36. oraz 12.37.

Dla wymiennika o długości 1680 mm najniższy uzyskany poziom efektywności odzysku energii ε określono na poziomie 40,01%, natomiast dla krótszej jednostki wymiany ciepła minimalna osiągnięta wartość parametru ε była bliska 36,02%. Wartości te zostały zaobserwowane w przypadku, gdy temperatura ścieków T_{SD} wynosiła 46°C, temperatura zimnej wody wodociągowej T_{WZ} była równa 8°C. Dla opisanego przypadku wartość parametru ΔT była równa wartości 38°C.

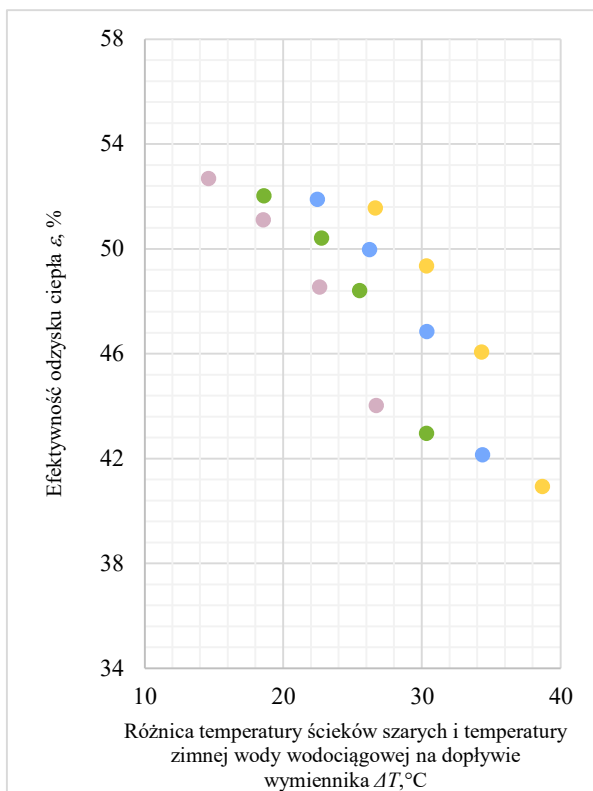
Analizy wyników badań prowadzonych w warunkach laboratoryjnych pozwoliły ocenić, iż wartość parametru ε maleje wraz ze wzrostem różnicy między temperaturą ścieków szarych, a temperaturą zimnej wody wodociągowej ΔT . Wniosek ten dotyczy wszystkich scenariuszy kąpielowych analizowanych dla *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła.



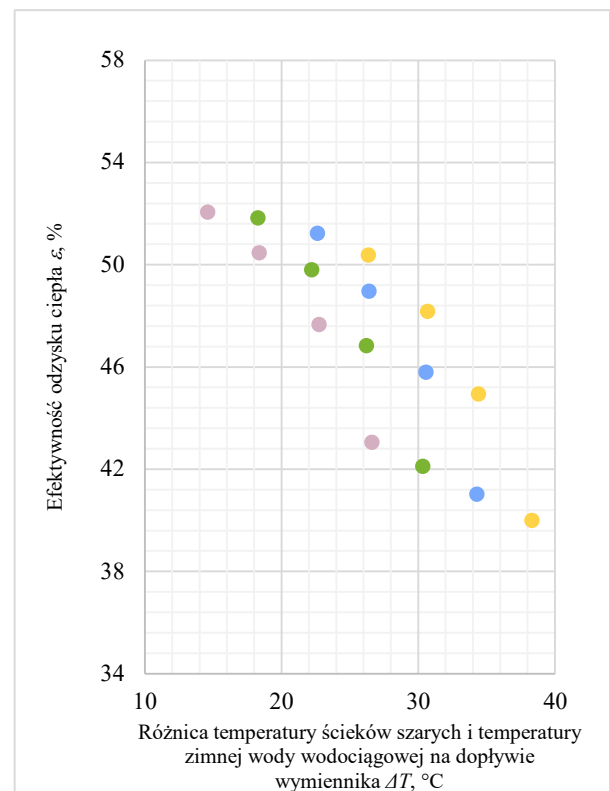
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



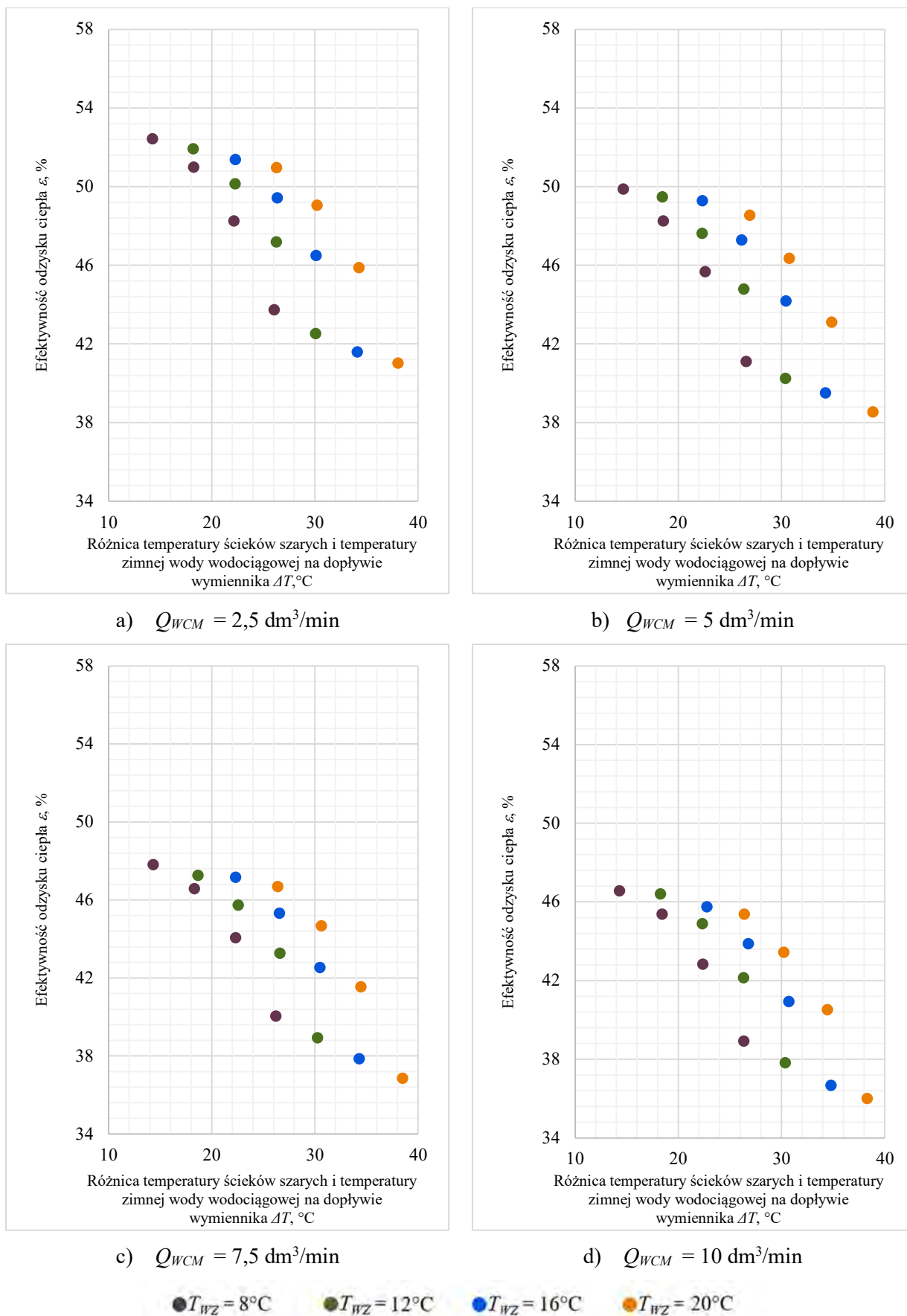
c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

● $T_{WZ} = 8^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 12^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 16^\circ\text{C}$ ● $T_{WZ} = 20^\circ\text{C}$

Rysunek 12.36. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1680 mm dla Konfiguracji III w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika $\Delta T, ^\circ\text{C}$



Rysunek 12.37. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1270 mm dla Konfiguracji III w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika $\Delta T, ^\circ\text{C}$

13. Analiza efektywności finansowej systemu odzysku ciepła odpadowego w budynku mieszkalnym – przypadek studyjny

13.1. Wprowadzenie

W ramach realizacji rozprawy doktorskiej przeprowadzono analizę efektywności finansowej zastosowania systemu odzysku ciepła ze ścieków w budynku jednorodzinnym. Opracowano analizę *Life Cycle Cost (LCC)* dla odmiennych rozwiązań projektowych systemu odzysku energii ze ścieków szarych powstających podczas korzystania z prysznicza. Wskazano koncepcję projektową systemu, który będzie cechował się najwyższą wartością inwestycji w długoterminowym okresie eksploatacji t_a (15 lat).

Metodyka obliczeniowa analizy finansowej *LCC* przeprowadzonej w ramach niniejszej rozprawy została szczegółowo opisana w rozdziale 7. Całkowity koszt cyklu życia *LCC* projektu instalacji przygotowania *c.w.u.*, który nie zakładał montażu wymiennika ciepła wyznaczono wykorzystując formułę (7.1), natomiast całkowity koszt cyklu życia *LCC* instalacji przygotowania *c.w.u.* wyposażonej w wymiennik ciepła określono w oparciu o wzór (7.2).

W pierwszym etapie analizy efektywności finansowej przeprowadzono kalkulację kosztów *LCC* przyjmując ceny jednostkowe energii elektrycznej obowiązujące w Polsce w 2023 roku, natomiast drugi etap kalkulacji kosztów *LCC* obejmował analizę scenariuszową zakładającą zmiany cen energii elektrycznej oparte na podstawie prognoz eksperckich.

13.2. Charakterystyka przypadku studyjnego i konfiguracje systemu odzysku ciepła

Obiekt, dla którego przeprowadzono analizę efektywności finansowej, to dom jednorodzinny z poddaszem użytkowym, zasilany w wodę z sieci wodociągowej.

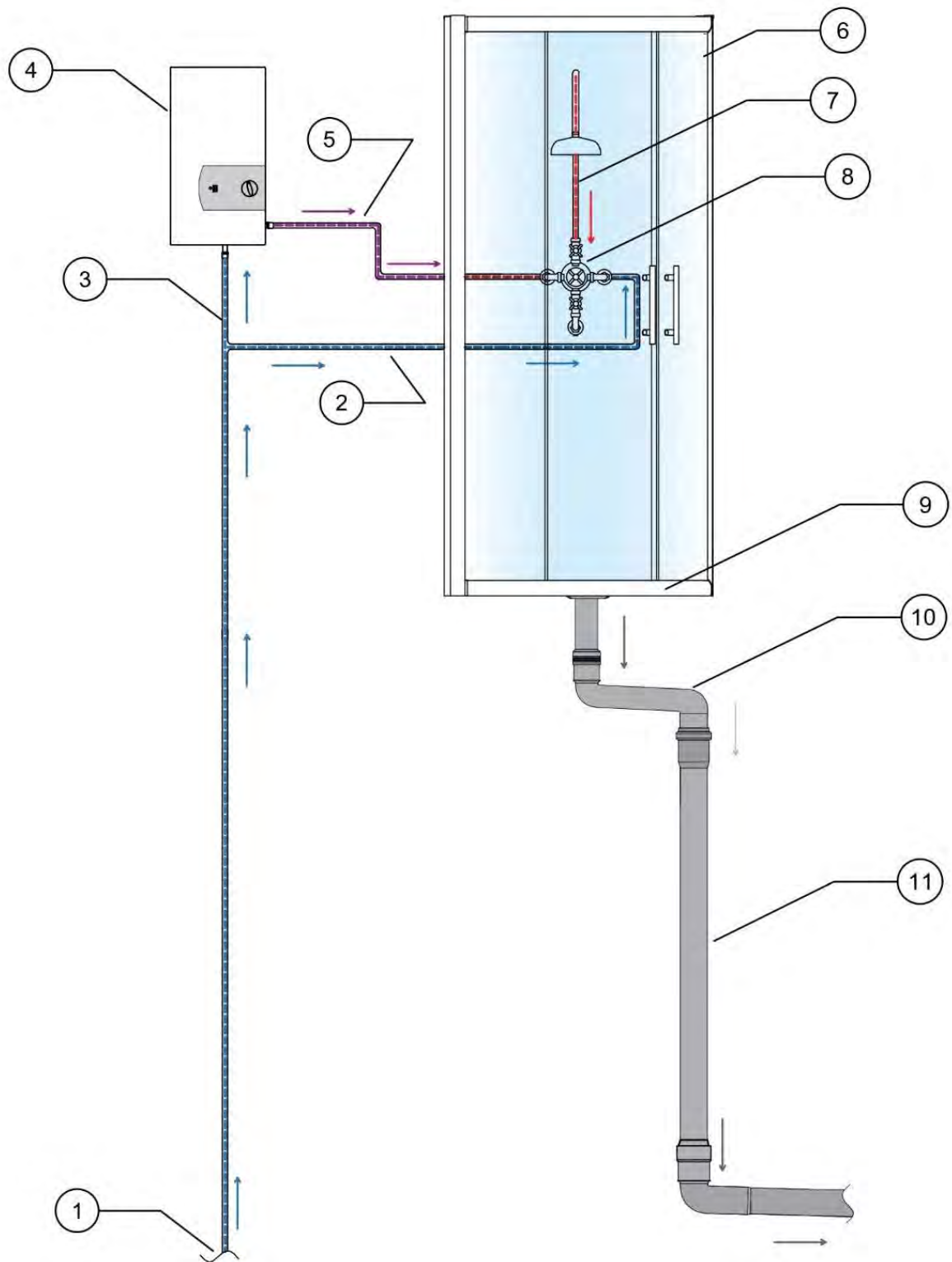
Z uwagi na rozmieszczenie pomieszczeń, w budynku wykorzystywany jest podgrzewacz elektryczny umieszczony w łazience na parterze, która to znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie z kuchnią. Urządzenie to podgrzewa wodę wykorzystywaną w kuchni oraz w łazience na parterze i na piętrze budynku.

W ramach pracy przeprowadzono ocenę kosztów cyklu życia *LCC* czterech konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.* w budynku jednorodzinnym z czego trzy przyjęte w analizie koncepcje projektowe zakładały montaż pionowego wymiennika ciepła typu „rura w rurze” o długości 1680 mm. Jest to wymiennik *Q-Blue Showersave*, który w ramach niniejszej pracy poddano kompleksowym analizom doświadczalnym efektywności odzysku ciepła ε i efektywności temperaturowej ε_T .

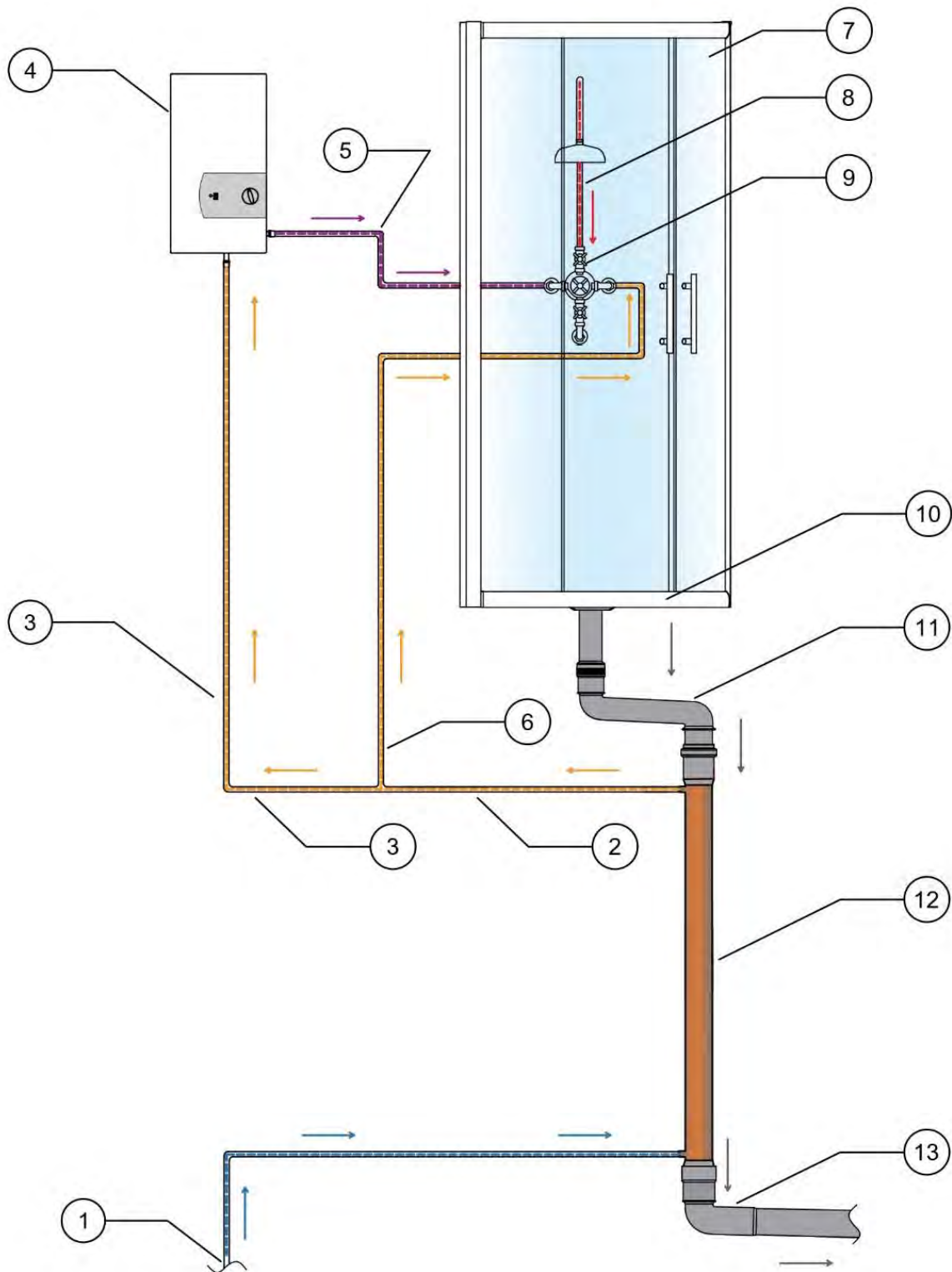
Analizę efektywności finansowej systemu odzysku ciepła przeprowadzono dla następujących konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.*:

- *Konfiguracja 0* – konwencjonalna instalacja przygotowania *c.w.u.*, która nie jest wyposażona w wymiennik ciepła odpadowego ze ścieków (rys. 13.1),
- *Konfiguracja I* – instalacja przygotowania *c.w.u.* wyposażona w pionowy wymiennik ciepła, w którym wstępnie podgrzana woda jest kierowana zarówno do podgrzewacza elektrycznego jak i do baterii mieszającej (rys. 13.2),
- *Konfiguracja II* – instalacja przygotowania *c.w.u.* wyposażona w pionowy wymiennik ciepła, w którym wstępnie podgrzana woda jest kierowana do podgrzewacza elektrycznego (rys. 13.3),

Konfiguracja III – instalacja przygotowania *c.w.u.* wyposażona w pionowy wymiennik ciepła, w którym wstępnie podgrzana woda doprowadzana jest do baterii mieszającej (rys. 13.4).

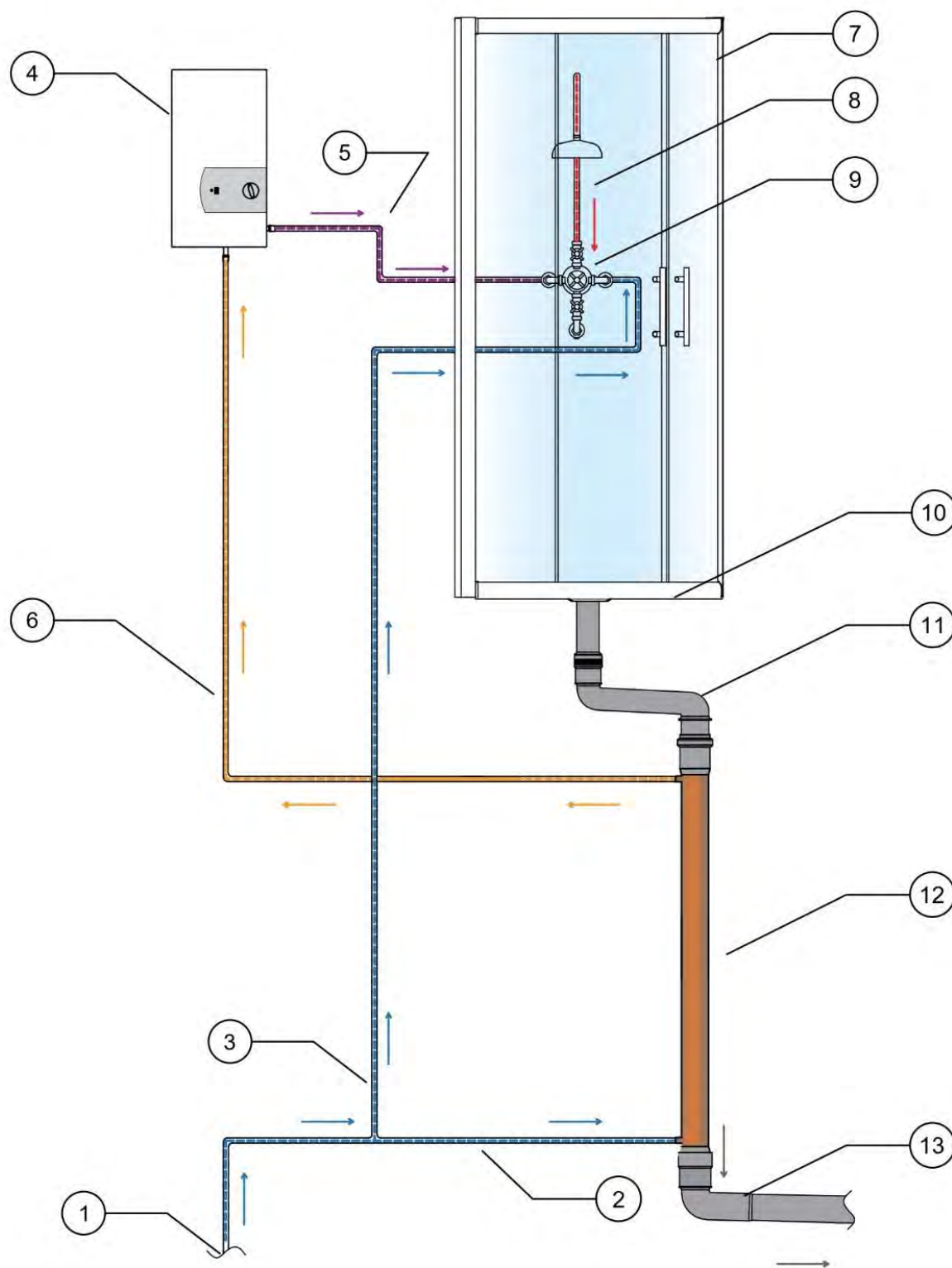


Rysunek 13.1. Schemat systemu przygotowania *c.w.u.* i instalacji kanalizacji sanitarnej w *Konfiguracji 0*; 1 – dopływ wody zimnej do instalacji; 2 – dopływ wody zimnej do zaworu mieszającego; 3 – dopływ wody do podgrzewacza elektrycznego; 4 – przepływowy podgrzewacz elektryczny; 5 – dopływ wody ciepłej do zaworu mieszającego; 6 – kabina prysznicowa; 7 – wylewka prysznicowa; 8 – zawór mieszający; 9 – brodzik prysznicowy; 10 – podejście kanalizacyjne; 11 – pion kanalizacyjny



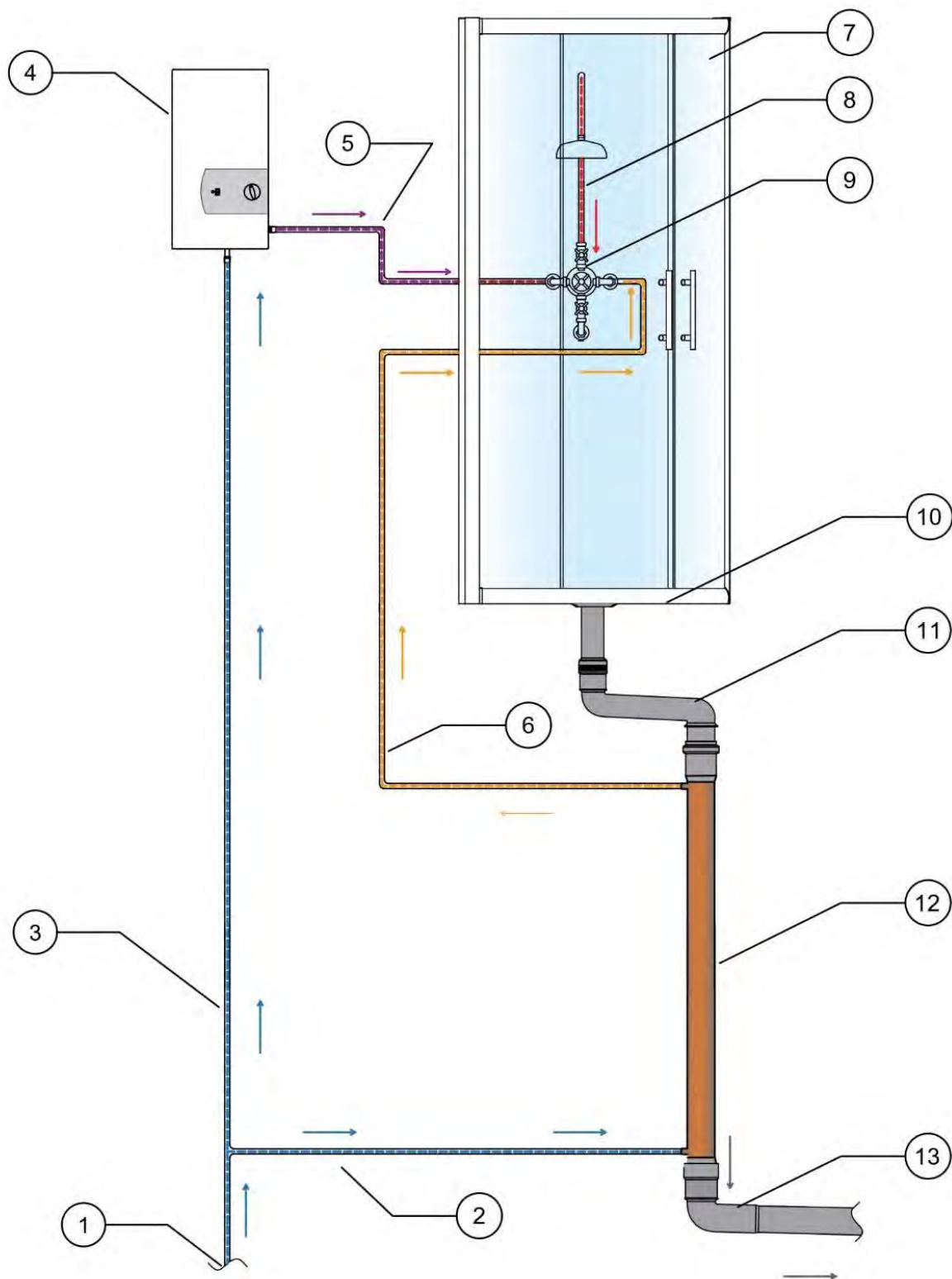
Rysunek 13.2. Schemat systemu odzysku ciepła w instalacji przygotowania *c.w.u.* i kanalizacji sanitarnej w *Konfiguracji I*;

- 1 – dopływ wody zimnej do wymiennika ciepła; 2 – odpływ wody wstępnie podgrzanej z wymiennika ciepła; 3 – dopływ wody wstępnie podgrzanej do podgrzewacza elektrycznego; 4 – przepływowy podgrzewacz elektryczny; 5 – dopływ wody ciepłej do zaworu mieszającego; 6 – dopływ wody wstępnie podgrzanej do zaworu mieszającego; 7 – kabina prysznicowa; 8 – wylewka prysznicowa; 9 – zawór mieszający; 10 – brodzik prysznicowy; 11 – podejście kanalizacyjne; 12 – pionowy wymiennik ciepła; 13 – przewód odpływowy ścieków szarych



Rysunek 13.3. Schemat systemu odzysku ciepła w instalacji przygotowania c.w.u. i kanalizacji sanitarnej w Konfiguracji II;

1 – dopływ wody zimnej do instalacji; 2 – dopływ wody zimnej do wymiennika ciepła; 3 – dopływ wody zimnej do zaworu mieszającego; 4 – przepływowy podgrzewacz elektryczny; 5 – dopływ wody ciepłej do zaworu mieszającego; 6 – dopływ wody wstępnie podgrzanej do podgrzewacza elektrycznego; 7 – kabina prysznicowa; 8 – wylewka prysznicza; 9 – zawór mieszający; 10 – brodzik prysznicza; 11 – podejście kanalizacyjne; 12 – pionowy wymiennik ciepła; 13 – przewód odpływowy ścieków szarych



Rysunek 13.4. Schemat systemu odzysku ciepła w instalacji przygotowania *c.w.u.* i kanalizacji sanitarnej dla *Konfiguracji III*;

1 – dopływ wody zimnej do instalacji; 2 – dopływ wody zimnej do wymiennika ciepła; 3 – dopływ wody zimnej do podgrzewacza elektrycznego; 4 – przepływowy podgrzewacz elektryczny; 5 – dopływ wody ciepłej do zaworu mieszającego; 6 – dopływ wody wstępnie podgrzanej do zaworu mieszającego; 7 – kabina prysznicowa; 8 – wylewka prysznicowa; 9 – zawór mieszający; 10 – brodzik prysznicowy; 11 – podejście kanalizacyjne; 12 – pionowy wymiennik ciepła; 13 – przewód odpływowy ścieków szarych

13.3. Analiza zmiennych wejściowych i wyjściowych

13.3.1. Temperatury i strumienie objętości mediów określające scenariusze kąpielowe analizowane dla przypadku studyjnego

Określając wartości parametrów wejściowych w analizie *LCC* uwzględniono zmienne wejściowe przyjęte w planie badań realizowanych w ramach analiz efektywności temperaturowej ε_T pionowego wymiennika ciepła (*Q-Blue Showersave*) o długości 1680 mm oraz efektywności energetycznej ε systemu *DWHR* wykorzystującego tą jednostkę. Przyjęto również, że budynek jednorodzinny zamieszkują 4 osoby.

Dla wszystkich scenariuszy kąpielowych ujętych w analizie *LCC* założono, że temperatura ścieków szarych na odpływie z brodzika prysznicowego T_{SD} będzie równa temperaturze wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} . Pominięto straty ciepła w wyniku korzystania z przyboru sanitarnego. Określono, że dla wszystkich scenariuszy kąpielowych przyjętych w analizie finansowej temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego T_{WCM} będzie równa 38°C. Wartość ta jest uwzględniona w wymaganiach dotyczących badań efektywności wymienników ciepła *CSAB55.1-2015 (CSA. B55.1-15..., 2015)*.

Temperatura wody zimnej T_{WZ} , temperatura wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} oraz strumień objętości wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica Q_{WCM} , a także czas użytkowania przyboru sanitarnego t_s determinują zużycie wody i energii potrzebnej do jej podgrzania, dlatego przyjęcie reprezentatywnych wartości wskazanych zmiennych wejściowych (T_{WZ} , T_{WCM} , Q_{WCM} , t_s) było istotne z uwagi na prowadzoną analizę finansową dla budynku jednorodzinnego.

Na rynku dostępne są baterie prysznicowe charakteryzujące się szerokim zakresem przepływu znamionowego, co znacznie utrudnia określenie reprezentatywnej wartości strumienia Q_{WCM} w danym przyborze sanitarnym w budynku mieszkalnym. Ponadto należy zwrócić uwagę, iż rzeczywisty strumień objętości wypływu wody z punktów sanitarnych w obiekcie jest także zależny od ciśnienia wody panującego w instalacji wodociągowej. Z uwagi na powyższe nie jest możliwym określenie typowej wartości strumienia Q_{WCM} dla budynków mieszkalnych. Reprezentatywna wartość parametru Q_{WCM} została ustalona w oparciu o zakresy strumieni objętości wody na wypływie z wylewki prysznica uwzględnione w normie *CSA B55.1-2015 (CSA. B55.1-15..., 2015)* oraz wartości Q_{WCM} przyjęte w analizach efektywności ε_T oraz ε pionowej jednostki *DWHR*. Przyjęto wykorzystanie głowicy o natężeniu przepływu, która pozwala na osiągnięcie strumienia objętości wody na wypływie z zaworu mieszającego na poziomie 7,5 dm³/min. Czas użytkowania przyboru sanitarnego t_s w analizie

LCC dla przypadku studyjnego przyjęto na poziomie 8 min (*EST Domestic...*, 2018; *Residential End Uses of Water...*, 2016).

Wartości temperatur i strumieni objętości wody charakterystyczne dla scenariuszy kąpielowych badanych w ramach analizy przypadku studyjnego, a tym samym wielkości uzyskane podczas badań doświadczalnych wymiennika ciepła o długości 1680 mm dla czterech konfiguracji instalacji zestawiono w tabeli 13.1.

Tabela 13.1. Wartości temperatur i strumieni objętości wody i ścieków szarych przyjęte w ramach analizy finansowej przypadku studyjnego

Parametr	Jednostka	Konfiguracja 0	Konfiguracja I	Konfiguracja II	Konfiguracja III
Strumień objętości wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza; Q_{WCM}	dm ³ /min	7,5	7,5	7,5	7,5
Strumień objętości wody kierowanej do podgrzewacza elektrycznego; Q_{WWPA} lub Q_{WZA} lub Q_{WZE} lub Q_{WWPC}	dm ³ /min	4,55	2,84	4,55	2,27
Temperatura wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza; T_{WCM}	°C	38,11	38,11	38,26	38,24
Temperatura zimnej wody wodociągowej; T_{WZ}	°C	12,03	12,03	12,01	12,09
Temperatura wody cieplej na wypływie z podgrzewacza elektrycznego; T_{WCP}	°C	55,16	55,16	55,24	55,26
Temperatura wody na dopływie do podgrzewacza elektrycznego; T_{WWP} lub T_{WZA}	°C	12,03	27,71	31,66	12,09
Temperatura ścieków szarych na dopływie do wymiennika ciepła; T_{SD}	°C	-	38,11	38,26	38,24
Temperatura ścieków szarych na odpływie z wymiennika ciepła; T_{SO}	°C	-	22,43	26,33	25,15

Wartości temperatur i strumieni objętości wody i ścieków szarych zestawione w tabeli 13.1 uzyskano podczas analiz doświadczalnych wymiennika w czasie t_s równym 8 min, dla temperatury T_{WCM} równej 38°C, przy strumieniu objętości wody na wyjściu z wylewki prysznicza Q_{WCM} na poziomie 7,5 dm³/min i przy temperaturze wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C.

13.3.2. Zmienne determinujące koszt cyklu życia *LCC* inwestycji analizowane dla przypadku studyjnego

Nakłady inwestycyjne $K_{I,KON}$ w konfiguracji konwencjonalnej (bez wymiennika ciepła) określono z wykorzystaniem formuły obliczeniowej (7.3) uwzględniając koszty zakupu materiałów i armatury oraz wykonania instalacji kanalizacyjnej i instalacji przygotowania *c.w.u.*

Nakłady inwestycyjne $K_{I,DWHR}$ w konfiguracjach, które zakładały montaż wymiennika ciepła określono z wykorzystaniem wzoru (7.4) wliczając koszty zakupu materiałów i armatury, wykonania instalacji kanalizacyjnej i instalacji przygotowania *c.w.u.* oraz uwzględniając cenę katalogową jednostki *DWHR*. Nakłady inwestycyjne oszacowano z uwzględnieniem aktualnych cen materiałów i usług montażowo-budowlanych (*Wskaźniki cen produkcji budowlano-montażowe...*, 2022).

W systemach, w których uwzględniono aplikację pionowego wymiennika ciepła dodatkowo wliczono cenę katalogową jednostki *DWHR* wynoszącą 4756 zł. Nakłady inwestycyjne dla poszczególnych konfiguracji systemu przygotowania *c.w.u.* i instalacji kanalizacyjnej wynosiły:

- 17997 zł (*Konfiguracja 0*),
- 23256 zł (*Konfiguracja I*),
- 23146 zł (*Konfiguracja II*),
- 23216 zł (*Konfiguracja III*).

Koszty eksploatacyjne inwestycji, w każdym z analizowanych przypadków projektowych wynikały z zapotrzebowania na energię elektryczną oraz z ilości wody przeznaczanej do kąpieli w kabinie prysznicowej. Koszty eksploatacyjne $K_{E,KON}$ konwencjonalnego systemu przygotowania *c.w.u.* określono z wykorzystaniem wzoru (7.5), natomiast koszty eksploatacyjne $K_{E,DWHR}$ systemu uwzględniającego aplikację wymiennika ciepła wyznaczono w oparciu o formułę obliczeniową (7.6).

Zapotrzebowanie na energię potrzebną do przygotowania *c.w.u.* w instalacji współdziałającej z podgrzewaczem elektrycznym określono zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 7. Ilość energii $E_{KON,E}$ potrzebnej do podgrzania wody w systemie konwencjonalnym obliczono ze wzoru (7.7). W przypadku systemów uwzględniających montaż wymiennika ciepła zgodnie z rozwiązaniem projektowym *Konfiguracja I* i *Konfiguracja II* zapotrzebowanie na energię $E_{DWHR,E I,II}$ wyznaczono w oparciu o formułę (7.8). Energię $E_{DWHR,E III}$ potrzebną do przygotowania wody do celów kąpielowych w systemie zaprojektowanym według rozwiązania *Konfiguracja III* wyznaczono wykorzystując wzór (7.9).

Opłaty wynikające ze zużycia energii elektrycznej do przygotowania wody do celów kąpielowych określono w oparciu o jednostkową cenę energii elektrycznej c_{JE} oraz na podstawie szacunków ilości energii $E_{KON,E}$, $E_{DWHR,E I,II}$ oraz $E_{DWHR,E III}$ potrzebnej do podgrzania wody. Ceny dostaw energii elektrycznej określono w oparciu o taryfę (G11) dla usług dystrybucji energii elektrycznej PGE w dla gospodarstw domowych w 2023 roku (*PGE cennik..., 2023*). Jednostkowe ceny wody c_{JW} i ścieków c_{JS} określono na podstawie taryfy zbiorowego zaopatrzenia w wodę i zbiorowego odprowadzania ścieków na terenie Gminy Rzeszów obowiązującej w 2023 roku (*MPWiK Rzeszów ceny..., 2023*). Opłaty jednostkowe zużycia wyżej opisanych mediów określono na poziomie:

- 1,01 zł/kWh – cena brutto dla usług energii elektrycznej w gospodarstwach domowych,
- 10,02 zł/m³ – cena dla usług zbiorowego zaopatrzenia w wodę i odprowadzanie ścieków.

W badaniach oszacowano czas eksploatacji instalacji przygotowania *c.w.u.* nie uwzględniając przerw w czasie użytkowania instalacji (urlopy i wyjazdy domowników). Wszystkie zmienne uwzględnione w analizie kosztów cyklu życia inwestycji *LCC*, zestawiono w tabeli 13.2.

Tabela 13.2. Wartości przyjęte w analizie *LCC* systemu przygotowania *c.w.u.* i instalacji kanalizacyjnej w budynku mieszkalnym

Parametr	Jednostka	Konfiguracja 0	Konfiguracja I	Konfiguracja II	Konfiguracja III
Nakłady inwestycyjne w roku bazowym; $K_{I,KON}; K_{I,DWHR}$	zł	17997	23256	23146	23216
Roczny koszt dostarczonej wody i odprowadzonych ścieków; K_{WS}	zł/m ³	658	658	658	658
Roczny koszt pobranej energii elektrycznej; $K_{KON,E}; K_{DWHR,E I, II}; K_{DWHR,E III}$	zł/kWh	2034	810	1114	1018
Liczba użytkowników systemu; LM	-	4	4	4	4
Czas eksploatacji systemu; t	lata	15	15	15	15
Stopa dyskontowa; r	-	0,05	0,05	0,05	0,05
Sprawność instalacji; η_e	-	0,98	0,98	0,98	0,98

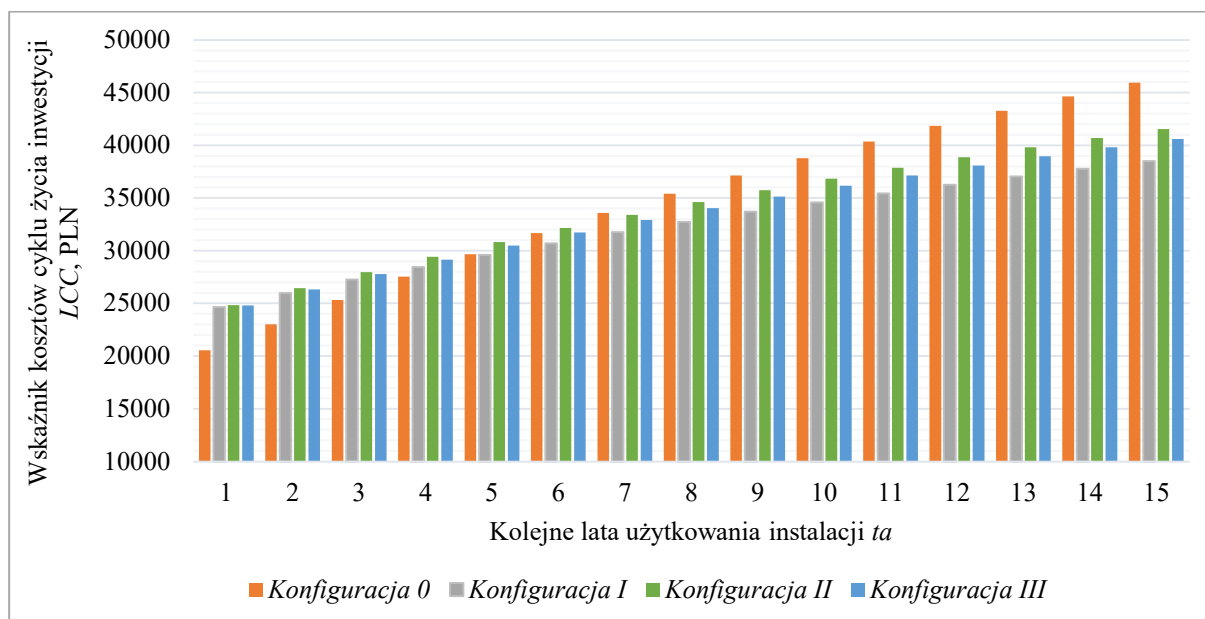
13.4. Wyniki analizy finansowej

Analizując zasadność finansową inwestycji związanej z montażem wymiennika ciepła porównywano wartości wskaźników *LCC* poszczególnych konfiguracji systemów *DWHR* względem wskaźników *LCC* określonych dla instalacji konwencjonalnej. Rentowność inwestycji warunkowało uzyskanie dodatnich przepływów finansowych w danym okresie eksploatacji systemu tzn. uzyskanie niższych wartości wskaźnika *LCC* w przypadku projektów alternatywnych (*Konfiguracja I*, *Konfiguracja II*, *Konfiguracja III*) względem projektu bazowego (*Konfiguracja 0*).

Na podstawie uzyskanych wyników analizy oceniono, że zastosowanie wymiennika ciepła jest zasadne pod względem finansowym (tzn. koszt zakupu wymiennika ciepła zwraca się po 15-letnim okresie eksploatacji systemu) przy wyborze rozwiązania projektowego opisanego jako *Konfiguracja I* i *Konfiguracja III*.

Dla przyjętych wartości parametrów obliczeniowych wyznaczono, że w przypadku *Konfiguracji I* dodatnie przepływy pieniężne będą obserwowane w 5 roku użytkowania systemu, natomiast w przypadku *Konfiguracji II* oraz *Konfiguracji III* dodatnie przepływy finansowe będą możliwe do uzyskania w 7 roku eksploatacji instalacji. Dla ujętego w analizie przypadku studyjnego najmniej korzystnym rozwiązaniem byłoby prowadzenie przewodów wody wstępnie podgrzanej tylko do podgrzewacza elektrycznego (*Konfiguracja II*).

Wskaźniki kosztu cyklu życia *LCC* wszystkich czterech konfiguracji systemu przygotowania *c.w.u.* przedstawiono na rysunku 13.3.



Rysunek 13.3. Wskaźniki kosztów życia *LCC* instalacji przygotowania *c.w.u.* i kanalizacji sanitarnej według odmiennych układów konfiguracji instalacji

Wartość wskaźnika kosztów cyklu życia inwestycji *LCC* oszacowano uwzględniając stopę dyskontową r na poziomie 5%. Wskaźnik *LCC* w 15 roku eksploatacji instalacji określono na poziomie:

- 45939 zł (*Konfiguracja 0*),
- 38493 zł (*Konfiguracja I*),
- 41545 zł (*Konfiguracja II*),
- 40614 zł (*Konfiguracja III*).

W *Konfiguracji 0* i w *Konfiguracji III* do podgrzewacza elektrycznego dopływa zimna woda wodociągowa o temperaturze $T_{WZ} \approx 12^{\circ}\text{C}$, natomiast w *Konfiguracji I* i w *Konfiguracji II* do podgrzewacza doprowadzana jest woda wstępnie podgrzana (o temperaturze kolejno $T_{WWP} = 27,71^{\circ}\text{C}$ oraz $T_{WWP} = 31,66^{\circ}\text{C}$). Ilość energii potrzebnej do podgrzania wody do celów kąpielowych ($T_{WCM} \approx 38^{\circ}\text{C}$) w skali roku, dla przyjętych zmiennych wejściowych została określona na poziomie:

- 2013,59 kWh, (*Konfiguracja 0*),
- 801,67 kWh, (*Konfiguracja I*),
- 1103,29 kWh, (*Konfiguracja II*),
- 1007,73 kWh, (*Konfiguracja III*).

Oszacowano, że rozwiązanie projektowe opisane jako *Konfiguracja I* w 15 roku eksploatacji systemu umożliwia redukcję kosztów cyklu życia *LCC* systemu względem instalacji konwencjonalnej (*Konfiguracja 0*) o 7446 zł.

W przypadku zastosowania *Konfiguracji II*, dla przypadku studyjnego w 15 roku użytkowania systemu *DWHR* oszczędności kosztów *LCC* związane z aplikacją wymiennika ciepła wyniosą 4394 zł względem instalacji konwencjonalnej.

Konfiguracja III systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków umożliwia redukcję kosztów cyklu życia *LCC* na poziomie 5326 zł w porównaniu do kosztów ponoszonych względem instalacji konwencjonalnej (*Konfiguracja 0*).

13.5. Analiza wrażliwości inwestycji

W celu oceny opłacalności inwestycji dokonano analizy wpływu zmiany kosztów cen energii elektrycznej c_{JE} na efektywność finansową przedsięwzięcia w przeciągu 15-letniego okresu eksploatacji systemu. Analiza wrażliwości inwestycji z uwzględnieniem ryzyka związanego z ewentualnymi zmianami średniorocznych kosztów wytwarzania energii elektrycznej w polskim systemie elektroenergetycznym może być istotna w kontekście podjęcia decyzji związanej z aplikacją wymiennika ciepła w systemie przygotowania *c.w.u.* i instalacji

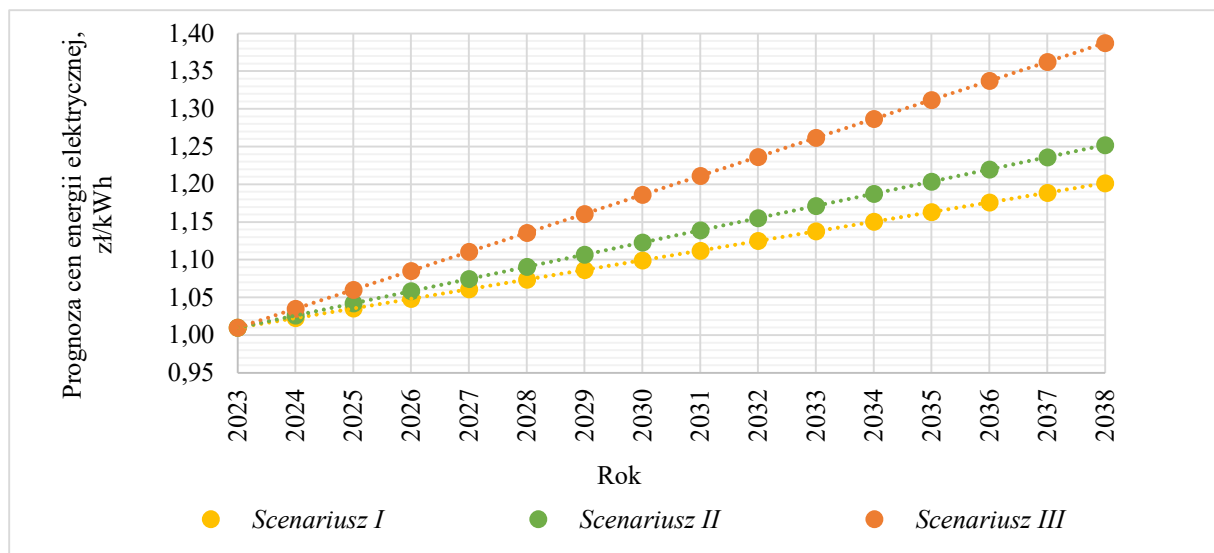
kanalizacyjnej zwłaszcza w dobie widma globalnego kryzysu energetycznego. Analiza wrażliwości inwestycji została sporządzona zgodnie z metodyką uwzględniającą analizy scenariuszowe zmian wartości danej zmiennej (*Andrews, 1995; Stec i Kordana, 2015*) tj. cen energii elektrycznej c_{JE} . Prognozowane zmiany cen energii ustalono w oparciu o dane przedstawione według szacunków *ENERGY INSTRAT* do 2040 roku (*ENERGY INSTRAT...,2022*).

Do 2040 roku analitycy przewidują wzrost kosztów energii elektrycznej c_{JE} . Tendencja ta wynika m.in. ze specyfiki polskiej energetyki, uzależnienia gospodarki od paliw kopalnych, niewielkiego udziału źródeł odnawialnych oraz energii odpadowej oraz rosnące ceny uprawnień do emisji CO₂ (*Debata scenariusz cen..., 2015; Efektywność wykorzystania..., 2022; ENERGY INSTRAT...,2022*).

W przeprowadzonej analizie wrażliwości przyjęto trzy scenariusze dotyczące zmian cen energii c_{JE} w latach 2023-2038, co odpowiada 15-letniemu czasowi eksploatacji ta instalacji przygotowania *c.w.u.* Wszystkie scenariusze rozważane w analizie dotyczą wzrostu jednostkowej ceny energii c_{JE} względem 2023 roku, jednak każdy z nich został opracowany przez inny zespół ekspertów i opisuje odmienną prognozę zmian wartości parametru c_{JE} . W badaniach przyjęto następujące scenariusze:

- *Scenariusz I* – sumaryczny wzrost cen energii elektrycznej o 21,50% wg. *Instytutu Energetyki Odnawialnej* do 2040 roku względem 2023 roku,
- *Scenariusz II* – sumaryczny wzrost cen energii elektrycznej o 27,20% wg. *PEP2040* do 2040 roku względem 2023 roku,
- *Scenariusz III* – sumaryczny wzrost cen energii elektrycznej o 42,40% wg. *Narodowej Agencji Bezpieczeństwa Energetycznego (ENERGY INSTRAT...,2022)* do 2040 roku względem 2023 roku.

Średnioroczne wahania ceny energii elektrycznej w polskim systemie energetycznym w perspektywie okresu od 2023 do 2040 roku opracowane przez analityków *ENERGY INSTRAT* przedstawiono na rysunku 13.4.



Rysunek 13.4. Średnioroczna zmiana cen brutto energii elektrycznej w latach 2020-2040 przy uwzględnieniu trzech scenariuszy wariacji tego parametru (scenariusze cen energii elektrycznej wg. *ENERGY INSTRAT, 2022*)

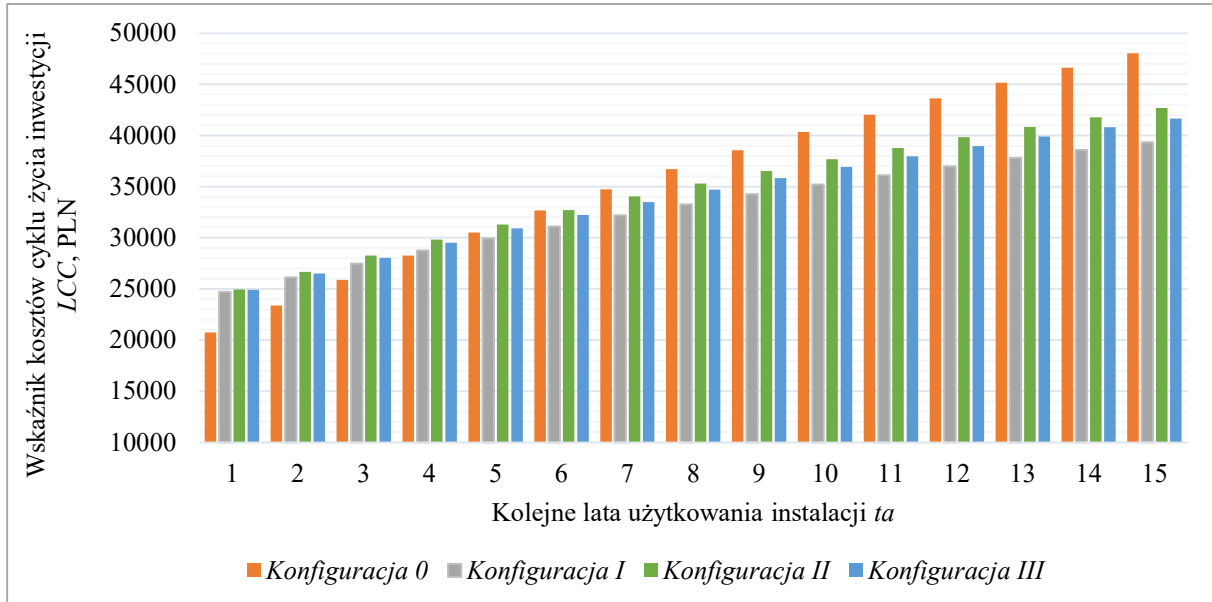
Scenariuszowa analiza wrażliwości inwestycji została sporządzona dla, czterech konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.* z uwzględnieniem wszystkich wartości parametrów wejściowych przyjętych w analizie kosztów *LCC*, poza jednostkową ceną energii elektrycznej c_{JE} .

Wyniki analizy wrażliwości inwestycji na zmiany wartości parametru obliczeniowego c_{JE} zgodne z przewidywaniami *Instytutu Energetyki Odnawialnej (Scenariusz I)* oraz na podstawie prognoz ujętych w strategii *PEP2040 (Scenariusz II)* przedstawiono kolejno na rysunku 13.5 i na rysunku 13.6. Wskaźniki kosztów życia *LCC* instalacji przygotowania *c.w.u.* i instalacji kanalizacyjnej określone z uwzględnieniem zmian cen energii elektrycznej c_{JE} na podstawie przewidywań *Narodowej Agencji Bezpieczeństwa Energetycznego (Scenariusz III)* przedstawiono na rysunku 13.7.

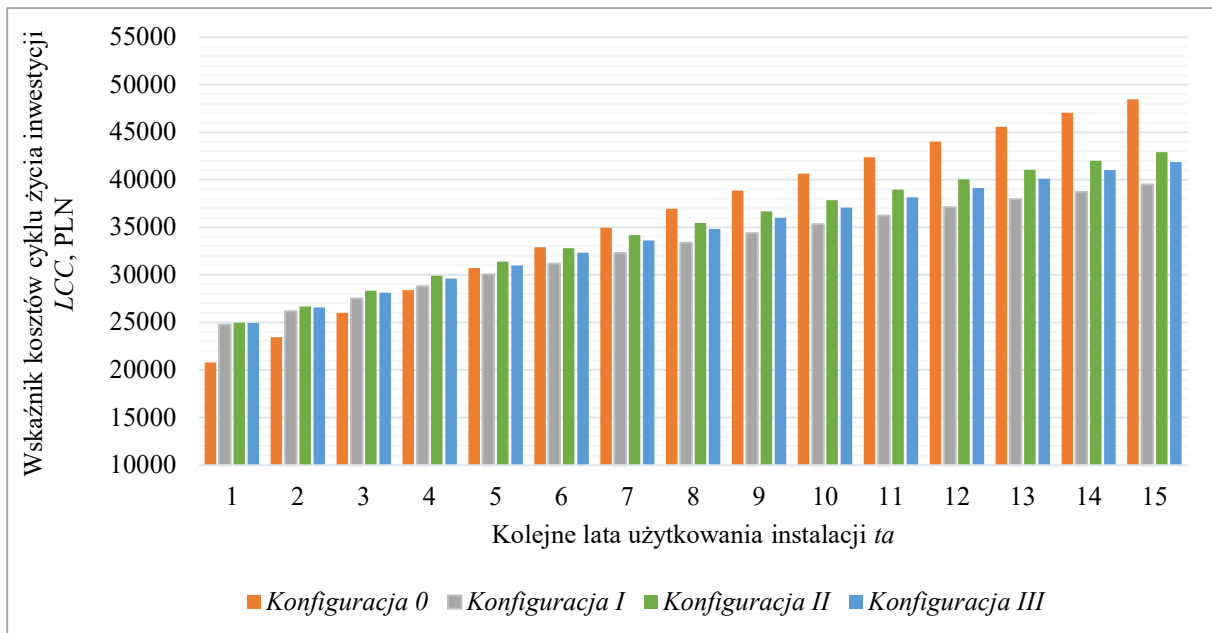
Uwzględnienie wzrostu cen energii elektrycznej c_{JE} , a w konsekwencji wzrost kosztów eksploatacyjnych K_E wpływa na zwiększenie redukcji kosztów *LCC* inwestycji związanej z montażem wymiennika ciepła względem instalacji konwencjonalnej dla wszystkich ujętych w analizie konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.*

Analiza wrażliwości wykazała, że wzrost cen elektrycznej w przypadku *Konfiguracji I* nie powoduje skrócenia okresu uzyskania redukcji kosztów *LCC*. Dla *Konfiguracji II* czas ten skraca się z 7 do 6 lat ale tylko przy *Scenariuszu II* i *Scenariuszu III* zmiany cen. W *Konfiguracji III* okres redukcji kosztów *LCC* względem instalacji konwencjonalnej skraca się do 6 dla *Scenariusza I* i *Scenariusza II*, natomiast dla *Scenariusza III* okres ten wynosi 5 lat. Analiza wrażliwości wykazała, że wzrost cen elektrycznej c_{JE} może istotnie poprawiać zasadność

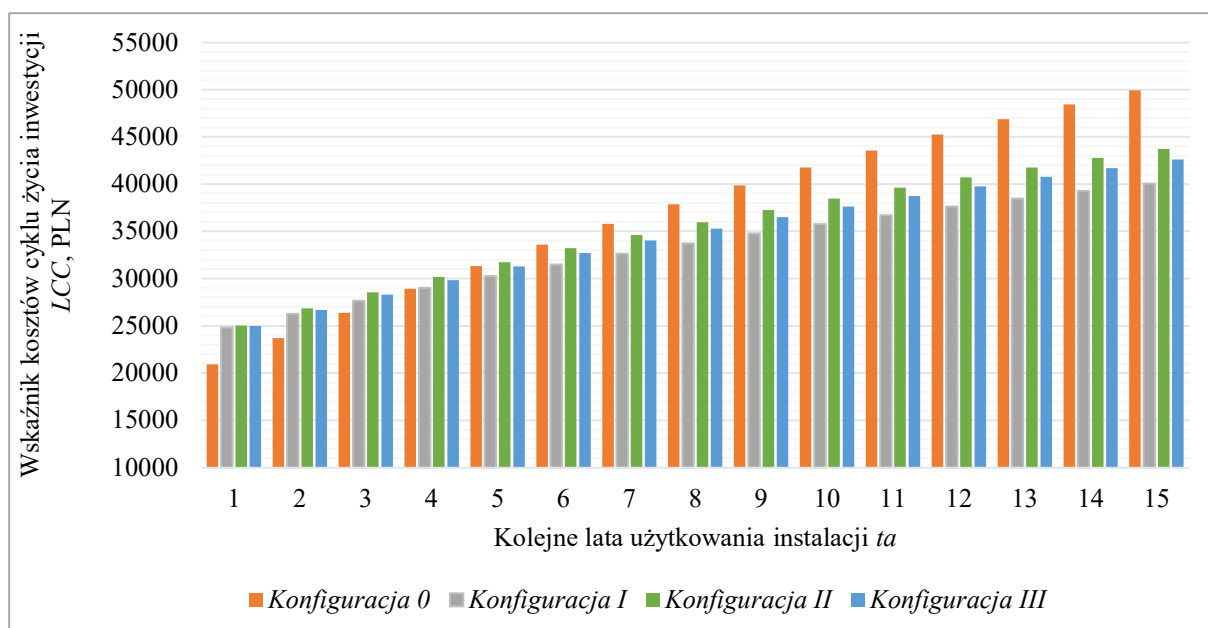
finansową inwestycji. Należy jednak zwrócić uwagę, że wartości wskaźników *LCC* poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.* nie są tak samo podatne na zmianę parametru obliczeniowego c_{JE} . Można także wnioskować, że czas zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych może ulec dalszemu skróceniu wraz z przyjęciem scenariusza zakładającego bardziej negatywną prognozę wzrostu cen energii elektrycznej c_{JE} .



Rysunek 13.5. Wskaźniki kosztów życia *LCC* poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.* i kanalizacji sanitarnej przy uwzględnieniu zmienności kosztów energii elektrycznej c_{JE} zgodnie ze *Scenariuszem I*



Rysunek 13.6. Wskaźniki kosztów życia *LCC* poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.* i kanalizacji sanitarnej przy uwzględnieniu zmienności kosztów energii elektrycznej c_{JE} zgodnie ze *Scenariuszem II*



Rysunek 13.7. Wskaźniki kosztów życia LCC poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania c.w.u. i kanalizacji sanitarnej przy uwzględnieniu zmienności kosztów energii elektrycznej c_{JE} zgodnie ze *Scenariuszem III*

Na podstawie wyników uzyskanych dla analizy finansowej stwierdza się, że ryzyko inwestycje maleje wraz ze spadkiem nakładów związanych z zakupem i montażem jednostki $DWHR$, które stanowią istotny wkład pieniężny w tego typu projektach. Warto zauważyć, że inwestycje proekologiczne, które umożliwiają redukcję zużycia energii i emisję CO_2 często podlegają dotacjom rządowym, a obecność programów wsparcia finansowego na zakup wymiennika ciepła mogłaby zauważalnie wpłynąć na popularyzację technologii $DWHR$ w obiektach mieszkalnych, co jest istotne zwłaszcza w dobie światowego kryzysu energetyczno-klimatycznego.

14. Podsumowanie i wnioski końcowe

Zmiany klimatu są niepodważalnym skutkiem rozwoju gospodarczego, któremu towarzyszy emisja gazów cieplarnianych ze spalania paliw kopalnych. Taki stan rzeczy ma negatywny wpływ na środowisko i wszystkie aspekty życia człowieka oraz przyszłych pokoleń.

Zmniejszenie ilości spalanych paliw kopalnych oraz ograniczenie emisji gazów cieplarnianych należy uznać za priorytet w działaniach zmierzających do osiągnięcia neutralności klimatycznej. Aby urzeczywistnić ambitne, a zarazem konieczne cele klimatyczne UE konieczne jest wykorzystanie nowych, niskoemisyjnych technologii energetycznych oraz alternatywnych źródeł energii, w tym energii odpadowej.

Jednym z największych konsumentów energii jest sektor budowlany, w którym obserwuje się znaczny potencjał niewykorzystanego ciepła odpadowego. Wykorzystanie energii odpadowej ze ścieków szarych w obiektach mieszkalnych może znacznie zmniejszyć zapotrzebowanie energetyczne budynku na cele podgrzewania wody, a w konsekwencji może wpływać na ograniczenie wydobycia i spalania paliw kopalnych na energetyczne potrzeby mieszkalnictwa.

Podstawową metodą odbioru energii odpadowej zawartej w ściekach szarych jest zastosowanie wymienników ciepła instalowanych na odpływach z przyborów sanitarnych. Zastosowanie tego typu urządzeń w instalacjach kanalizacyjnych oraz w instalacjach przygotowania *c.w.u.* pozwala na zmniejszenie zapotrzebowania na energię potrzebną do podgrzania wody na cele użytkowe oraz zmniejsza koszty związane z eksploatacją budynku.

W niniejszej rozprawie przeprowadzono badania doświadczalne w zakresie oceny efektywności temperaturowej ε_T pionowych wymienników ciepła typu „rura w rurze” oraz zrealizowano badania efektywności odzysku energii ε systemów odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych w instalacji kanalizacyjnej i przygotowania ciepłej wody na cele użytkowe odwzorowując warunki w budynku mieszkalnym. Kompleksowo przebadano trzy możliwe konfiguracje projektowe systemu odzysku ciepła i przygotowania *c.w.u.* uwzględniając odmienne warunki eksploatacyjne systemu.

Na podstawie wyników badań doświadczalnych w ramach realizacji pracy przeprowadzono analizę kosztów cyklu życia (*LCC*) systemu odzysku ciepła dla przypadku studyjnego, którym był budynek jednorodzinny, a ponadto przeanalizowano wpływ zmian parametrów wejściowych na uzyskiwane efekty finansowe inwestycji. Systemy odzysku ciepła w instalacji kanalizacyjnej i przygotowania ciepłej wody mogą różnić się m.in. rodzajem zastosowanego

wymiennika, rozwiązaniem projektowym konfiguracji prowadzenia przewodów wody wstępnie podgrzanej oraz wody zimnej, a co za tym idzie udziałami przepływających mediów uczestniczących w wymianie ciepła, które wypływają na uzyskiwane efekty energetyczne, a w konsekwencji również na efektywność finansową inwestycji.

W zakresie podjętej tematyki badawczej, na podstawie zrealizowanych w szerokim zakresie badań doświadczalnych i analiz uzyskano wyniki o znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym na podstawie, których sformułowano wnioski końcowe które potwierdzają postawione w pracy tezy.

1. Dokonując analizy efektywności odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych z wykorzystaniem jednostek *DWHR (Drain Water Heat Recovery)* należy rozróżnić pojęcie efektywności temperaturowej ε_T i efektywności odzysku energii ε . Efektywność temperaturowa ε_T nie uwzględnia charakterystyki instalacji, jej konfiguracji hydraulicznej oraz rozdzielów i przepływów strumieni mediów oraz ich stosunków. Parametr ε_T nie może być podstawą do udzielenia odpowiedzi na pytanie o efektywność finansową inwestycji polegającej na zastosowaniu systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków. Efektywność temperaturowa ε_T może znaleźć zastosowanie do określania przyrostu temperatury wody wodociągowej przepływającej w wymienniku.
2. Efektywność odzysku energii ε daje możliwość uwzględnienia w swojej charakterystyce rozwiązania projektowego (konfiguracji), które decyduje o rozdziale wszystkich przepływów i udziale strumieni masowych wody i ścieków w systemie. Efektywność temperaturowa ε_T jest bliska efektywności odzysku energii ε tylko w przypadku, gdy stosunek strumieni przepływających w wymienniku czynników - wody i ścieków wynosi 1.
3. Dla całego zakresu zrealizowanych badań doświadczalnych, analizując tożsame scenariusze kąpielowe, najbardziej korzystnym pod względem energetycznym rozwiązaniem instalacji przygotowywania ciepłej wody użytkowej i systemu odzysku ciepła odpadowego jest *Konfiguracja I*.
4. W przypadku braku możliwości zastosowania *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła i przy spełnieniu warunku, że pożądana temperatura wody zmieszanej T_{WCM} przeznaczanej do kąpieli jest niższa niż 38°C *Konfiguracja II* może okazać się rozwiązaniem bardziej zasadnym finansowo aniżeli *Konfiguracja III*.
5. W przypadku braku możliwości zastosowania *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła i przy spełnieniu warunku, że pożądana temperatura wody zmieszanej T_{WCM}

przeznaczonej do kąpieli jest wyższa lub równa 38°C Konfiguracja III może okazać się rozwiązaniem bardziej zasadnym finansowo aniżeli Konfiguracja II.

6. Dla wszystkich konfiguracji systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków wyniki badań wskazują na wzrost efektywności temperaturowej ε_T oraz efektywności odzysku energii ε wraz ze spadkiem wartości strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznica Q_{WCM} . W związku z tym, zaleca się stosowanie w instalacjach wyposażonych w system odzysku ciepła wodoszczędnych słuchawek prysznicowych i aeratorów.
7. Wraz ze wzrostem długości wymiennika ciepła wzrasta efektywność temperaturowa ε_T i efektywność odzysku energii ε przy równoczesnym spadku wartości tych parametrów przypadających na jednostkę powierzchni A wymiennika ciepła. Należy przewidywać, że istnieje taka graniczna długość wymiennika ciepła dla określonych uwarunkowań projektowych i eksploatacyjnych, której zwiększenie nie powoduje wzrostu efektywności temperaturowej ε_T i efektywności odzysku energii ε .

W zakresie przeprowadzonej dla przypadku studyjnego analizy finansowej wykorzystującej wyniki badań doświadczalnych w zakresie efektywności energetycznej systemu odzysku ciepła odpadowego można sformułować szereg wniosków.

1. Konfiguracja systemu odzysku ciepła ma istotne znaczenie w aspekcie wysokości uzyskiwanych oszczędności finansowych oraz czasu eksploatacji, po jakim one powstają.
2. Jak wykazała analiza scenariuszowa prognozowane wzrosty cen energii elektrycznej C_{JE} mogą znacząco wpłynąć na osiąganą efektywność finansową inwestycji, co jest związane ze skróceniem okresu uzyskiwania przez inwestora dodatnich przepływów pieniężnych.
3. Wartości wskaźników LCC poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania *c.w.u.* nie są tak samo podatne na zmianę cen elektrycznej C_{JE} .
4. Można wnioskować, że czas zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych ulegnie dalszemu skróceniu wraz z przyjęciem scenariusza zakładającego bardziej negatywną prognozę wzrostu cen energii elektrycznej C_{JE} .

15. Proponowane kierunki dalszych badań

Dokonując analizy możliwych strategii dalszego rozwoju badań w temacie odzysku ciepła odpadowego w instalacjach kanalizacyjnych sformułowano kierunki dalszych badań, których wyniki mogą okazać się istotne w kontekście poprawy efektywności odzysku ciepła, zwiększenia korzyści finansowych i popularyzacji systemów odbioru energii zdeponowanej w ściekach.

Zdefiniowano sześć głównych kierunków perspektywicznych badań:

1. Analiza energetyczna i finansowa instalacji systemów odzysku ciepła w obiektach wielokondygnacyjnych, w tym w budynkach użyteczności publicznej oraz w obiektach, gdzie obserwuje się znaczne zużycie wody o wysokiej temperaturze np. w pralniach.
2. Analiza energetyczna i finansowa zbiorczych systemów odzysku ciepła w sektorze budowlanym w kontekście celowości łączenia strumieni ścieków pochodzących z różnych budynków np. w obrębie osiedli domów jednorodzinnych.
3. Opracowanie rozwiązań wysokosprawnych wymienników ciepła, których konstrukcja pozwoliłaby ograniczać koszty wytwórcze i ceny sprzedażowe urządzeń.
4. Opracowanie narzędzi do wspomagania procesu podejmowania decyzji w kontekście wyboru optymalnej konfiguracji systemu odzysku ciepła w zależności od przewidywanych parametrów eksploatacyjnych systemu.
5. Badania i rozwój narzędzi optymalizacyjnych doboru parametrów technicznych wymienników.
6. Rozwój narzędzi wykorzystujący metody numeryczne w tym *Computational Fluid Dynamics (CFD)* w celu projektowania i zarządzania projektami wykorzystującymi technologię *DWHR*.

16. Bibliografia

- Adhikari P., (2017):** *Feasibility Study of Waste Heat Recovery from Laundry Facility: Case Study-Mr Washing Man Oy*, https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/122785/EE_Thesis_Prakash_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y (dostęp z dnia 12.01.2022).
- Adoption of the Paris Agreement, (2015),** <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> (dostęp z dnia 12.01.2022).
- Amanowicz Ł., (2021):** *Peak Power of Heat Source for Domestic Hot Water Preparation (DHW) for Residential Estate in Poland as a Representative Case Study for the Climate of Central Europe*. *Energies*, 14, 8047.
- Andersen M., Bales C., Dalenbäck J.-O., (2022):** *Economic Analysis of Heat Distribution Concepts for a Small Solar District Heating System*. *Energies*, 15, 4737.
- AR6 Synthesis Report: Climate Change, (2022):** https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf (dostęp z dnia 12.01.2022).
- Bartkowiak S., Fisk R., Funk A., Hair J., Skerlos S.J., (2010):** *Residential drain water heat recovery systems: modeling, analysis, and implementation*. *Journal of Green Building*, 5, 85–94.
- Beentjes I., Manouchehri R., Collins M.R., (2014):** *An investigation of drain-side wetting on the performance of falling film drain water heat recovery systems*, *Energy and Buildings*, 82, 660–667.
- Bieniasz B., Smusz R., Stawarz R., Szewczyk M., Wilk J., Wolańczyk F., (2001):** *Wymiana Ciepła i masy. Laboratorium*, Wydanie II, Rzeszów.
- Bugajski P., (2011):** *Wpływ temperatury ścieków na wielkość wybranych wskaźników zanieczyszczeń z oczyszczalni działającej w układzie sekwencyjnym SBR*, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* Nr 2/2011, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, s. 7–15 Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi.
- Broniszewski M., Werle S., (2020a):** *CO2 reduction methods and evaluation of proposed energy efficiency improvements in Poland's large industrial plant*. *Energy*, 202, 117704.
- Broniszewski M., Werle S., (2020b):** *Modernizacje efektywności energetycznej w zakładzie przemysłowym: studium przypadku*. *Chemia i inżynieria ekologiczna S*, t. 27, nr 2, s. 183–193.
- Ceconet D., Raček J., Callegari A., Hlavínek P., (2020):** *Energy Recovery from Wastewater: A Study on Heating and Cooling of a Multipurpose Building with Sewage-Reclaimed Heat Energy*, *Sustainability*, 12(1), 116.
- Cichowicz R., Wielgosiński G., (2015):** *Effect of urban traffic on the immission of carbon dioxide in the university campus*. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 22(2), 189–200.

Chae K.J., Kang J., (2013): *Estimating the energy independence of a municipal wastewater treatment plant incorporating green energy resources.* Energy Conversion and Management, 75, 664–672.

Chudzicki J., (2011): *Techniczne możliwości oszczędzania wody i energii w budynkach użyteczności publicznej – wnioski ze STEP-u.* Energia i Budynek, 2, 22-25.

Chudzicki J., Sosnowski S., (2011): *Instalacje kanalizacyjne. Projektowanie, wykonanie, eksploatacja.* Wydanie trzecie. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa.

Christodoulides P., Agathokleous R., Aresti L., Kalogirou S. A., Tassou S. A., Florides G. A., (2022): *Waste Heat Recovery Technologies Revisited with Emphasis on New Solutions, Including Heat Pipes, and Case Studies.* Energies, 15, 384.

Climate Transparency Report, (2021): <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2021/10/CT2021-Highlights-Report.pdf> (dostęp z dnia 12.01.2022).

Cooperman A., Brodrick J., (2011): *Drain Water Heat Recovery.* ASHRAE Journal, 53, 58–62.

CSA B55.1-2015 *Test Method for Measuring Efficiency and Pressure Loss of Drain Water Heat Recovery Units.*

Dawei L., Zhigen H., Wencheng G., (2018): *Multi-Attribute Group-Decision on a Construction Diversion Scheme for Hydropower Projects Based on Perception Utility,* Energies, 11, 3027.

Debata: Scenariusz cen energii elektrycznej do 2030 roku, (2018): *Wpływ wzrostu cen i taryf energii elektrycznej na opłacalność inwestycji w OZE,* Targi RE-energy Expo, Warszawa.

De Paepe M., Theuns E., Lenaers S., Van Loon J., (2003): *Heat recovery system for dishwashers,* Journal of Applied Thermal Engineering, 23, 743–756.

Dudkiewicz E., Ludwińska A., Rajski K., (2019): *Implementation of greywater heat recovery system in hospitals,* E3S Web of Conferences 116, 00018.

Durđević D., Balić D., Franković B., (2019): *Wastewater heat utilization through heat pumps: The case study of City of Rijeka.* Journal of Cleaner Production. 231, 207–213.

Efektywność wykorzystania energii w latach 2010-2020, (2022): <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/efektywnosc-wykorzystania-energii-w-latach-2010-2020,5,17.html> (dostęp z dnia 27.05.2022).

Energia 2021, (2022): <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/energia-2021-folder,1,9.html> (dostęp z dnia 27.05.2022).

ENERGY INSTRAT, (2021): https://energy.instrat.pl/different_prices_scenarios (dostęp z dnia 12.12.2022).

EST Domestic hot water consumption, (2018): *Measurement of Domestic Hot Water Consumption in Dwellings,* Technical Report, Energy Saving Trust: London, UK, 1–62.

Eslami-Nejad P., Bernier M., (2009): *Impact of Grey Water heat recovery on the electrical demand of domestic hot water heaters*, In Proceedings of the Eleventh International IBPSA Conference, Building Simulation, 2009, Glasgow, Scotland, 27–30 July, 681–687.

Europejski Zielony Ład, (2019): https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, (dostęp z dnia 14.01.2022).

Forman C., Kolawole Muritala I., Pardemann R., Meyer B., (2016): *Estimating the global waste heat potential*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 57, 1568–1579.

Global Carbon Budget, (2021): https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/21/files/GCP_CarbonBudget_2021.pdf, (dostęp z dnia 12.01.2022).

Gou X., Fu Y., Shah I.A., Li Y., Xu G., Yang Y., Wang E., Liu L., Wu J., (2016): *Research on a Household Dual Heat Source Heat Pump Water Heater with Preheater Based on ASPEN PLUS*, Energies, 9, 1026.

Greenhouse gas emissions in the EU, (2022): https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quarterly_greenhouse_gas_emissions_in_the_EU#Greenhouse_gas_emissions (dostęp z dnia 01.01.2022).

Hewitt N.J., Henderson P., (2001): *Drainwater Heat Recovery System – An Energy Conservation Project*, University of Ulster: Coleraine, Northern Ireland, UK.

Hobler T., (1970): *Ruch ciepła i wymienniki*, WNT, Warszawa.

Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2021 The Physical Science Basis, (2021): https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf (dostęp z dnia 11.01.2022).

Jaber H., Khaled M., Olabi A.G., (2019): *A short review on the techniques of waste heat recovery from domestic applications*, Energy Sources, 7, 1–16.

Juan Y.K., Chen Y., Lin J.M., (2016): *Greywater reuse system design and economic analysis for residential buildings in Taiwan*, Water, 8, 546.

Łuczak J., (2007): *Metody i techniki zarządzania jakością*, Quality Progress, Poznań.

Kaczor G., Bugajski P., Krzysztof Chmielowski K., (2016): *Wpływ lokalizacji oczyszczalni na temperaturę dopływających do niej ścieków*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich Nr II/2/2016, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, 615–626, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi.

Kimmels, A., (2011): *Shower Water Heat Recovery: Overview of Commercially Available DWHR*, https://www.meanderhr.com/report/meanderhr_com_shower_DWHR_overview.pdf (dostęp z dnia 14.05.2021).

Kmieć A., (2005): *Procesy cieplne i aparaty*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.

- Kneifel J., Webb D., (2020):** *LIFE CYCLE COSTING MANUAL for the Federal Energy Management Program*, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Energy, Washington.
- Kolaszewski A., (2000):** *Odzysk ciepła ze ścieków w krytej pływalni*, *Materiały Budowlane*, 2, 48–49.
- Kostowski E., (1993):** *Promieniowanie cieplne*, WNT, Warszawa.
- Kostowski E., (2000):** *Przepływ ciepła*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Kordana S., (2017):** *SWOT analysis of wastewater heat recovery systems application*, E3S Web of Conferences 17, 00042.
- Kordana S., (2018):** *An assessment of the potential for shower water heat recovery*, E3S Web of Conferences 45, 00034.
- Kordana S., Pochwat K., Słyś D., Starzec M., (2019):** *Opportunities and threats of implementing drain water heat recovery units in Poland*, *Resources*, 8(2), 88.
- Kordana S., Słyś D., (2017):** *Analysis of profitability of using a heat recovery system from grey water discharged from the shower (case study of Poland)*, E3S Web of Conferences 22, 00085.
- Kordana S., Słyś D., Dziopak J., (2014):** *Rationalization of water and energy consumption in shower systems of single-family dwelling houses*, *Journal of Cleaner Production*, 82, 58-69.
- Kordana-Obuch S., Starzec M., (2022):** *Horizontal Shower Heat Exchanger as an Effective Domestic Hot Water Heating Alternative*, *Energies*, 15, 4829.
- Kordana-Obuch S., Starzec M., Słyś D., (2021):** *Assessment of the Feasibility of Implementing Shower Heat Exchangers in Residential Buildings Based on Users' Energy Saving Preferences*, *Energies*, 14, 5547.
- Kramarz J., (2019):** *Kaskadowy spiralny absorber ciepła*, (Rp.25423), Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polski, Warszawa.
- Kretschmer F., Simperler L., Ertl T., (2016):** *Analysing wastewater temperature development in a sewer system as a basis for the evaluation of wastewater heat recovery potentials*. *Energy and Buildings*, 128, 639–648.
- Larrinaga P., Campos-Celador A., Legarreta J., Diarce G., (2021):** *Evaluation of the theoretical, technical and economic potential of industrial waste heat recovery in the Basque Country*, *Journal of Cleaner Production*, 312, 127494.
- Liebersbach J., Żabnieńska-Góra A., Polarczyk I., Sayegh M.A., (2021):** *Feasibility of Grey Water Heat Recovery in Indoor Swimming Pools*. *Energies*, 14, 4221.
- Malarska A., (2005):** *Statystyczna analiza danych*, SPSS Polska, Kraków.
- Manouchehri R., Collins MR., (2016):** *An experimental analysis of the impact of temperature on falling film drain water heat recovery system effectiveness*, *Energy and Buildings*, 130,1–7.

- Manouchehri R., Collins M. R., (2020):** *Modelling the steady-state performance of coiled falling-film drain water heat recovery systems using rated data*, Resources, 9(6), 69.
- Manouchehri R., Collins M. R., (2022):** *Investigating the Impact of Plumbing Configuration on Energy Savings for Falling-Film Drain Water Heat Recovery Systems*, Energies, 15 (3), 1141.
- Matus C., Bussenius P., Herraz P., Riberi V., Prieto M., (2021):** *Nature Is for Trees, Culture Is for Humans: A Critical Reading of the IPCC Report*, Sustainability, 13(21), 11903.
- Mazhar A., Liu S., Shukla A., (2018):** *A key review of non-industrial greywater heat harnessing*, Energies, 11, 386.
- McNabola A., Shields K., (2013):** *Efficient drain water heat recovery in horizontal domestic shower drains*. Energy and Buildings, 59, 44–49.
- Mazur A., Stec A., Słyś D., (2018):** *Pionowy spiralny wymiennik ciepła*, (Pat.230910), Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polski, Warszawa.
- MPWiK Rzeszów ceny wody i ścieków, (2023):** <https://mpwik.rzeszow.pl/strona-glowna/informacje-o-oplatkach>, (dostęp z dnia 04.01.2023).
- Natural Resources Canada, (2022):** <https://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/showTable.cfm?type=CP§or=res&juris=ca&rn=2&page=0> (dostęp z dnia: 02.06.2022).
- Nagpal H., Spriet J., Krishna Murali M., McNabola A., (2021):** *Heat Recovery from Wastewater—A Review of Available Resource*, Water, 13, 1274.
- Navaratnam S., (2022):** *Selecting a Suitable Sustainable Construction Method for Australian High-Rise Building: A Multi-Criteria Analysis*. Sustainability, 14, 7435.
- Niewitecka K., (2018):** *Possibilities of heat energy recovery from greywater systems*, E3S Web of Conferences, EDP Sciences, 30, 03003, 1–8.
- Oleśkiewicz-Popiel C., Amanowicz Ł., (2017):** *Eksperymenty w technice cieplnej*. ISBN 978-83-7775-446-7. Wyd. 2. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Oteng-Peprah M., Acheampong M.A., de Vries N.K., (2018):** *Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception-a Review*, Water, Air, & Soil Pollution, 229, 255.
- Paduchowska J., Żabnieńska-Góra A., Polarczyk I., (2019):** *Energy-saving analysis of grey water heat recovery systems for student dormitory*, E3S Web of Conferences 116, 00056.
- PGE cennik taryfowy energii elektrycznej dla odbiorców z grup taryfowych G, (2023):** <https://www.gkpgc.pl/dla-domu/oferta/oferta-taryfowa> (dostęp z dnia 14.01. 2023).
- Piotrowska B., Słyś D., (2023a):** *Comprehensive Analysis of the State of Technology in the Field of Waste Heat Recovery from Grey Water*, Energies 2023, 16, 137.

Piotrowska B., Słyś D., (2023b): *Variant analysis of financial and energy efficiency of the heat recovery system and domestic hot water preparation for a single-family building: The case of Poland*, Journal of Building Engineering, 65, 2023, 105769.

Piotrowska B., Słyś D., Kordana-Obuch S., Pochwat K., (2020): *Critical Analysis of the Current State of Knowledge in the Field of Waste Heat Recovery in Sewage Systems*, Resources, 9, 6, 1–14.

PN-EN 1717:2003 *Ochrona przed wtórnym zanieczyszczeniem wody w instalacjach wodociągowych i ogólne wymagania dotyczące urządzeń zapobiegających zanieczyszczeniu przez przepływ zwrotny.*

PN-EN 12056-1:2002 *Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków-Część 1: Postanowienia ogólne i wymagania.*

Polański Z., (1984): *Planowanie doświadczeń w technice.* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Pochwała S., Kotas P., (2018): *Possibility of obtaining wastewater heat from a sewage treatment plant by the means of a heat pump-A case study.* E3S Web Conf., 44, 00144.

Pochwat K., Kordana-Obuch S., Starzec M., Piotrowska B., (2020): *Financial Analysis of the Use of Two Horizontal Drain Water Heat Recovery Units*, Energies, 13, 4113.

Pochwat K., Kordana S., Starzec M., Słyś D., (2019): *Comparison of two-prototype near-horizontal Drain Water Heat Recovery units on the basis of effectiveness*, Energy, 173, 1196–1207.

Polityka energetyczna Polski do 2040, (2021), <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski> (dostęp z dnia 15.01.2022).

Pomianowski M.Z., Johra H., Marszał-Pomianowska A., Zhang C., (2020): *Sustainable and energy-efficient domestic hot water systems: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 128, 109900.

Pudlik W., (2012): *Wymiana i wymienniki ciepła*, Podręcznik dla studentów wydziałów mechanicznych specjalizujących się w technikach cieplnych i chłodniczych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Wydanie V – cyfrowe.

Ratajczak K., Michalak K., Narojczyk M., Amanowicz Ł., (2021): *Real Domestic Hot Water Consumption in Residential Buildings and Its Impact on Buildings' Energy Performance—Case Study in Poland*, Energies, 14(16).

Ravichandran A., Diaz-Elsayed N., Thomas S., Zhang Q., (2021): *An assessment of the influence of local conditions on the economic and environmental sustainability of drain water heat recovery systems*, Journal of Cleaner Production, 279, 123589.

Raznjević K., (1966): *Tablice cieplne z wykresami*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Residential End Uses of Water Version 2, (2016): https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/ETS/Resources/WaterConservationResidential_End_Uses_of_Water.pdf (dostęp z dnia 07.03.2023).

Rozporządzenie Ministra Budownictwa..., (2016): *Rozporządzenie Ministra Budownictwa w sprawie w sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych.*

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej..., (2019): *Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych.*

Safarpour H., Tabesh M., Shahangian S.A., Hajibabaei M., Sitzenfrei R., (2022): *Life Cycle Sustainability Assessment of Wastewater Systems under Applying Water Demand Management Policies.* Sustainability, 14, 7736.

Sayegh M.A., Ludwińska A., Rajski K., Dudkiewicz E., (2021): *Environmental and energy saving potential from greywater in hotels,* Science of the Total Environment, 20;761:143220.

Schestak I., Spriet J., Styles D., Prysor Williams A., (2020): *Emissions down the drain: Balancing life cycle energy and greenhouse gas savings with resource use for heat recovery from kitchen drains,* Journal of Environmental Management, 1, 271:110988.

Schmid F., (2008): *Sewage water: Interesting heat source for heat pumps and chillers,* In Proceedings of the 9th International IEA Heat Pump Conference, Zürich, Switzerland, 1–12.

Selimli S., Abajja K.M.A., (2021): *Recovery of greywater thermal energy with a wire on a tube heat exchanger attached to a dishwasher,* Water Environment Federation, 93, 1333–1345.

Semkov K., Mooney E., Connolly E., Adley C., (2014): *Efficiency improvement through waste heat reduction,* Applied Thermal Engineering 70(1), 716-722.

Shen G., Lee Z.E., Amadeh A., Zhang K.M., (2021): *A data-driven electric water heater scheduling and control system,* Energy and Buildings, 242(1), 110924.

Słyś D., (2006a): *Efekt ekonomiczny zastosowania instalacji do wykorzystania wód opadowych w budownictwie jednorodzinym,* INSTAL, 66-69.

Słyś D., (2006b): *Wykorzystanie wód opadowych w instalacji sanitarnej budynków mieszkalnych,* Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, XV, 192-201.

Słyś D., (2009): *Potential of rainwater utilization in residential housing in Poland,* Water and Environment Journal, 23, 4, 318 – 325.

Słyś D., (2011): *Financial Analysis of Implementation of Rainwater Utilization System in Modernized Multi-Family Residential Building*, NOVA SCIENCE PUBLISHERS, Water Recycling and Water Management, 249-258.

Słyś D., (2013): *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne.

Słyś D., Bewszko T., (2010): *LCC analysis of rainwater utilization system in multi-family residential buildings*, Archives of Environmental Protection, 36, 4, 107-118.

Słyś D., Kordana S., (2011): *Odzysk ciepła odpadowego w instalacjach i systemach kanalizacyjnych*, Wydawnictwo i Handel Książkami "KABE".

Słyś D., Kordana S., (2014): *Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heat Recovery unit in residential housing*, Energy and Buildings, 71:1–11.

Słyś D., Pochwat K., Czarniecki D. (2020): An analysis of waste heat recovery from wastewater on livestock and agriculture farms, Resources, 9(1), 3.

Słyś D., Stec A., Dziopak J., (2015): *The analysis of possibilities of using the rainwater harvesting systems in residential buildings in Poland, Storm water management. Examples from Czech Republic, Slovakia and Poland*, Springer, ISBN 978-3-319-25833-1, 67-81.

Słyś D., Stec A., Kordana S., Pochwat K., (2017): *Energo i wodooszczędne systemy w budownictwie mieszkaniowym*, Technologia Wody, IX, 1 (51), 30-36.

Słyś D., Stec A., (2014): *The analysis of variants of water supply systems in multi-family residential building*, Chemistry and Engineerings-Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 21, 4, 623-635.

Słyś D., Stec A., Zelenakova M., (2012): *A LCC analysis of rainwater management variants*, Ecological Chemistry and Engineerings- Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 3, 19, 359-372.

Soboń A., Słyś D., Ruszel M., Wiącek A., (2021): *Prospects for the Use of Hydrogen in the Armed Forces*, Energies, 14, 7089.

Sohail U., Kwiatek C., Fung A.S., Joksimovic D., (2019): *Techno-Economic Feasibility of Wastewater Heat Recovery for A Large Hospital in Toronto, Canada*, Proceedings, 23, 1.

Spriet J., McNabola A., (2018): *Decentralized Drain Water Heat Recovery: Interaction between Wastewater and Heating Flows on a Single Residence Scale*, Proceedings, 2, 583.

Statystyki emisji gazów cieplarnianych, (2022): https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Greenhouse_gas_emission_statistics_-_carbon_footprints (dostęp z dnia 14.01.2022).

Stec A., Kordana S. (2015): *Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems*, Resources, Conservation and Recycling, 105, 84-94.

- Stec A., Kordana S., Słyś D., (2017):** *Analysing the financial efficiency of use of water and energy saving systems in single-family homes*, Journal of Cleaner Production, 151.
- Stec A., Mazur A., Słyś D., (2018):** *Pionowy wymiennik ciepła*, (Pat.230590), Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polski, Warszawa.
- Tanha K., Fung A.S., Kumar R., (2015a):** *Performance of two domestic solar water heaters with drain water heat recovery units: Simulation and experimental investigation*, Applied Thermal Engineering, 90.
- Tanha K., Fung A.S., Kumar R., (2015b):** *Simulation and experimental investigation of two hybrid solar domestic water heaters with drain water heat recovery*, International Journal of Energy Research 39(14).
- Todorović D., Tomić M., Bojanić R., Bajatović D., Anđelković A.S., (2020):** *A comparative analysis of a heat pump application with grey wastewater source for domestic hot water preparation in hotels*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 141, 559–572.
- Torras S., Oliet C., Rigola J., Oliva A., (2016):** *Drain water heat recovery storage-type unit for residential housing*, Applied Thermal Engineering, 103, 670–683.
- Wanjiru E., Xia X., (2017):** *Optimal energy-water management in urban residential buildings through grey water recycling*, Sustainable Cities and Society, 32, 654–668.
- Esty W.W., Banfield J. D., (2003):** *The Box-Percentile Pot*, Journal of Statistical Software, 8(17).
- Wiśniewski S., (1991):** *Termodynamika techniczna*, PWN, Warszawa.
- Wiśniewski, S., Wiśniewski, T.S., (2009):** *Wymiana Ciepła*, Warszawa.
- Wolańczyk, F., (2007):** *Termodynamika. Przykłady i zadania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- Wong L., Mui K.W., Guan Y., (2010):** *Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong Kong*. Applied Energy, 87, 703–709.
- World Energy Outlook, (2021):** <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf> (dostęp z dnia 17.01.2022).
- Wskaźniki cen produkcji budowlano-montażowej, (2022):** <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ceny-handel/wskazniki-cen/wskazniki-cen-produkcji-budowlano-montazowej-w-czerwcu-2022-roku,15,43.html> (dostęp z dnia 17.01.2022).
- Wybrane tablice ciepłne, (2006):** *Materiały pomocnicze do ćwiczeń z termodynamiki i wymiany ciepła*, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki Wydział Inżynierii Środowiska Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza Zakład Procesów Ciepłych, Miernictwa i Ochrony Powietrza, Kraków.

Yang N., Li F., Liu Y., Dai T., Wang Q., Zhang J., Dai Z., Yu B., (2022): *Environmental and Economic Life-Cycle Assessments of Household Food Waste Management Systems: A Comparative Review of Methodology and Research Progress*, Sustainability, 14, 7533.

Zagórski J., (1993): *Zarys techniki cieplnej*. WNT, Warszawa.

Zaloum C., GUSdorf J., Parekh A., (2007): *Performance Evaluation of Drain Water Heat Recovery Technology at the Canadian Centre for Housing Technology*, Sustainable Buildings and Communities, National Resources Canada: Ottawa, ON, Canada.

Zarzycki R., (2010): *Wymiana ciepła i ruch masy w inżynierii środowiska*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Zhang P., Ye J., Zeng G., (2005): *Thermal Effects*, Water Environmental Resources, 87, 1901–1913, 58.

Zhu J.J., Wang X., Anderson P.R., (2020): *Modeling and spatial optimization of wastewater-source heat pump implementation in a wastewater collection system*, Urban Water Journal, 16, 698–708.

Zużycie energii w gospodarstwach domowych, (2022): https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households#Energy_consumption_in_households_by_type_of_end-use (dostęp z dnia 17.01.2022).

Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska dotyczy analiz doświadczalnych efektywności temperaturowej ε_T i efektywności odzysku energii cieplnej ε przy wykorzystaniu systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych współdziałającego z pionowym wymiennikiem ciepła typu „rura w rurze” w różnych warunkach eksploatacyjnych i odmiennych konfiguracjach projektowych tego systemu w aspekcie jego implementacji w instalacjach wodno-kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy stwierdzono, że dotychczas publikowane badania nie uwzględniają analiz pionowych wymienników typu „rura w rurze”, a w tym analiz prowadzonych dla odmiennych konfiguracji systemu odzysku ciepła. Badania prowadzone w zakresie odzysku energii odpadowej ze ścieków szarych opierają się jedynie na analizach efektywności odzysku ciepła ε systemów odzysku ciepła nie uwzględniając rozpoznania i zdefiniowania wartości efektywności temperaturowej ε_T .

Podstawą do wykonania analiz doświadczalnych efektywności temperaturowej ε_T i efektywności odzysku ciepła ε był model fizyczny systemu odzysku ciepła wyposażony w dwa pionowe wymienniki typu „rura w rurze” o odmiennych długościach. Model ten umożliwił przeprowadzenie kompleksowych badań symulacyjnych funkcjonowanie instalacji przygotowywania *c.w.u.* i odzysku ciepła w warunkach zbliżonych do rzeczywistych dla szerokiego zakresu zmiennych wejściowych zdefiniowanego w planie badawczym.

W ramach realizacji celu pracy oraz weryfikacji postawionych tez opracowano model obliczeniowy umożliwiający wyznaczenie efektywności energetycznej ε systemu odzysku ciepła odpadowego i instalacji przygotowania *c.w.u.* dla trzech odmiennych konfiguracji projektowych.

Opracowano model rachunku kosztów cyklu życia systemu odzysku ciepła odpadowego ze ścieków szarych i instalacji przygotowania *c.w.u.* dla przypadku studyjnego opierając się na założeniach metodologii *Life Cycle Cost (LCC)*. Analiza finansowa została rozszerzona o analizę wrażliwości inwestycji z uwzględnieniem ryzyka związanego z ewentualnymi zmianami średniorocznych kosztów wytwarzania energii elektrycznej w polskim systemie elektroenergetycznym.

Rozwój badań w tematyce odzysku ciepła odpadowego w instalacjach wodno-kanalizacyjnych obiektów mieszkalnych może przyczynić się do popularyzacji technologii odbioru energii ze ścieków, których aplikacja może zauważalnie obniżyć zapotrzebowanie energetyczne i koszty utrzymania budynku.

Abstract

This doctoral dissertation is focused on the analysis of experimental studies on the temperature efficiency ε_T and the heat recovery efficiency ε in utilizing a waste heat recovery system from graywater, which operates in conjunction with a vertical heat exchanger of the "pipe-in-pipe" type under various operating conditions and different design configurations of this system, regarding its implementation in water and graywater installations of residential buildings.

Based on the analysis of existing knowledge, it has been observed that previous published research does not consider analyses of vertical "pipe-in-pipe" heat exchangers, including analyses conducted for different configurations of the heat recovery system. The studies conducted on the recovery of waste heat from graywater only rely on analyses of energy efficiency ε of heat recovery systems, without considering the recognition and definition of temperature efficiency ε_T values.

The basis for conducting experimental analyses of temperature efficiency ε_T and energy efficiency ε was a research model of the heat recovery system equipped with two vertical "pipe-in-pipe" heat exchangers of different lengths. This model enabled comprehensive simulation studies of the operation of hot water preparation and heat recovery installations under conditions similar to real-life scenarios, encompassing a wide range of defined input variables specified in the research plan.

In order to achieve the goal of the study and verify the formulated theses, a computational model was developed to determine the energy efficiency ε of the graywater heat recovery system and the hot water preparation installation for three different design configurations. A life cycle cost calculation model was developed for the waste heat recovery system from graywater and the hot water preparation installation for the selected case study, based on the assumptions of the *Life Cycle Cost (LCC)* methodology. The financial analysis was expanded to include an investment sensitivity analysis considering the risk associated with potential changes in average annual electricity generation costs in the Polish power system.

Advancement in research on waste heat recovery in water and graywater installations of residential buildings can contribute to the popularization of technologies for harnessing energy recovery from graywater, whose application can significantly reduce energy demand and maintenance costs of buildings.

Spis rysunków

Rysunek 3.1. Podział wymienników ciepła	21
Rysunek 3.2. Idea działania pionowego wymiennika ciepła typu „rura w rurze”	22
Rysunek 3.3. Struktura zużycia energii w gospodarstwach domowych	25
Rysunek 4.1. Mechanizmy przenikania ciepła	36
Rysunek 4.2. Przewodzenie ciepła przez ściankę płaską jednowarstwową.....	40
Rysunek 4.3. Przewodzenie ciepła przez ściankę płaską wielowarstwową.....	41
Rysunek 4.4. Przewodzenie ciepła przez ściankę cylindryczną jednowarstwową	43
Rysunek 4.5. Przewodzenie ciepła przez ściankę cylindryczną wielowarstwową	44
Rysunek 5.1. Schemat układu przewodów <i>Konfiguracji I</i> instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i systemu odzysku ciepła odpadowego.....	49
Rysunek 5.2. Schemat układu przewodów <i>Konfiguracji II</i> instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i systemu odzysku ciepła odpadowego.....	51
Rysunek 5.3. Schemat układu przewodów <i>Konfiguracji III</i> instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i systemu odzysku ciepła odpadowego.....	53
Rysunek. 8.1. Schemat ideowy systemu odzysku ciepła odpadowego z instalacji kanalizacyjnej i przygotowania <i>c.w.u.</i>	61
Rysunek. 8.2. Stanowisko badawcze systemu odzysku ciepła w instalacji kanalizacyjnej i przygotowania <i>c.w.u.</i> , mieszczącego się w <i>Laboratorium Techniki Pomiarowych i Sterowania Transportem Wody i Ścieków, Katedry Infrastruktury i Gospodarki Wodnej</i>	62
Rysunek 8.3. Budowa pionowego wymiennika ciepła typu „rura w rurze” <i>Showersave QB1-12,16</i>	63
Rysunek 9.1. Czynnikiowy model obiektu badań	66
Rysunek 10.1. Plan badań doświadczalnych	68
Rysunek 11.1. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w <i>Konfiguracji I</i> systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$	78
Rysunek 11.2. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w <i>Konfiguracji I</i> systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$	79

Rysunek 11.3. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ 87

Rysunek 11.4. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ 88

Rysunek 11.5. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ 96

Rysunek 11.6. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} i przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ 97

Rysunek 12.1. Charakterystyka wykresu „pudełko-wąsy”100

Rysunek 12.2. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznic T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 102

Rysunek 12.3. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznic T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 103

Rysunek 12.4. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznic T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 104

Rysunek 12.5. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznic T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 105

- Rysunek 12.6. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumieni objętości wody na wypływie z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła Q_{SD} w *Konfiguracji I*114
- Rysunek 12.7. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumienia objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza Q_{WWPB} do strumienia wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego Q_{WWPA} w *Konfiguracji I*.....115
- Rysunek 12.8. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 8^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji I*116
- Rysunek 12.9. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 12^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji I*118
- Rysunek 12.10. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 16^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji I*120
- Rysunek 12.11. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 20^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji I*121
- Rysunek 12.12. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1680 mm dla *Konfiguracji I* w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT123
- Rysunek 12.13. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1270 mm dla *Konfiguracji I* w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT 124
- Rysunek 12.14. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicowej T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 126
- Rysunek 12.15. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicowej T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 127
- Rysunek 12.16. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicowej T_{WCM} i strumieni objętości

wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 128

Rysunek 12.17. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 129

Rysunek 12.18. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumieni objętości wody na wypływie z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła Q_{SD} w *Konfiguracji II*137

Rysunek 12.19. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku ilości wody zimnej dopływających do zaworu mieszającego Q_{WZC} i wody wstępnie podgrzanej kierowanej do podgrzewacza Q_{WWPC} w *Konfiguracji II*138

Rysunek 12.20. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 8^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji II*140

Rysunek 12.21. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 12^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji II*141

Rysunek 12.22. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 16^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji II*143

Rysunek 12.23. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej $T_{WZ} 20^{\circ}\text{C}$ dla *Konfiguracji II*145

Rysunek 12.24. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1680 mm dla *Konfiguracji II* w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT 147

Rysunek 12.25. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1270 mm dla *Konfiguracji II* w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT148

Rysunek 12.26. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C 150

- Rysunek 12.27. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C151
- Rysunek 12.28. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C152
- Rysunek 12.29. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 8°C153
- Rysunek 12.30. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości stosunku strumieni objętości wody na wypływie z podgrzewacza elektrycznego Q_{WCP} do ilości ścieków szarych przepływających przez wymiennik ciepła Q_{SD} w *Konfiguracji III*161
- Rysunek 12.31. Efektywność odzysku ciepła ε dla *Konfiguracji III* w zależności od wartości stosunku strumienia objętości wody podgrzanej w podgrzewaczu i wody wstępie podgrzanej dopływającej do zaworu mieszającego Q_{WCP}/Q_{WVPD} 162
- Rysunek 12.32. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} 8°C dla *Konfiguracji III*164
- Rysunek 12.33. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} 12°C dla *Konfiguracji III*165
- Rysunek 12.34. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} 16°C dla *Konfiguracji III*167
- Rysunek 12.35. Efektywność odzysku ciepła ε w zależności od wartości temperatury T_{WCM} i strumienia objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} przy temperaturze zimnej wody wodociągowej T_{WZ} 20°C dla *Konfiguracji III*169
- Rysunek 12.36. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1680 mm dla *Konfiguracji II* w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT 171

Rysunek 12.37. Efektywność odzysku ciepła ε w pionowym wymienniku o długości 1270 mm dla <i>Konfiguracji III</i> w zależności od różnicy temperatury ścieków szarych i temperatury zimnej wody wodociągowej na dopływie wymiennika ΔT	172
Rysunek 13.1. Schemat systemu przygotowania <i>c.w.u.</i> i instalacji kanalizacji sanitarnej dla <i>Konfiguracji 0</i>	175
Rysunek 13.2. Schemat systemu odzysku ciepła w instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i kanalizacji sanitarnej dla <i>Konfiguracji I</i>	176
Rysunek 13.3. Schemat systemu odzysku ciepła w instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i kanalizacji sanitarnej dla <i>Konfiguracji II</i>	177
Rysunek 13.4. Schemat systemu odzysku ciepła w instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i kanalizacji sanitarnej dla <i>Konfiguracji III</i>	178
Rysunek 13.3. Wskaźniki kosztów życia <i>LCC</i> instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i kanalizacji sanitarnej według odmiennych układów konfiguracji instalacji	183
Rysunek 13.4. Średnioroczna zmiana cen brutto energii elektrycznej w latach 2020-2040 przy uwzględnieniu trzech scenariuszy wariacji tego parametru	186
Rysunek 13.5. Wskaźniki kosztów życia <i>LCC</i> poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i kanalizacji sanitarnej przy uwzględnieniu zmienności kosztów energii elektrycznej c_{JE} zgodnie ze <i>Scenariuszem I</i>	187
Rysunek 13.6. Wskaźniki kosztów życia <i>LCC</i> poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i kanalizacji sanitarnej przy uwzględnieniu zmienności kosztów energii elektrycznej c_{JE} zgodnie ze <i>Scenariuszem II</i>	187
Rysunek 13.7. Wskaźniki kosztów życia <i>LCC</i> poszczególnych konfiguracji instalacji przygotowania <i>c.w.u.</i> i kanalizacji sanitarnej przy uwzględnieniu zmienności kosztów energii elektrycznej c_{JE} zgodnie ze <i>Scenariuszu III</i>	188

Spis tabel

Tabela 3.1. Średnia efektywność ε odbioru energii odpadowej ze ścieków w zależności od wybranych parametrów charakteryzujących system odzysku ciepła	23
Tabela 3.2. Podział systemów grawitacyjnej kanalizacji bytowo-gospodarczej	26
Tabela 4.1. Wartości stałych dla równania kryterialnego konwekcji swobodnej	34
Tabela 8.1. Dane techniczne pionowych wymienników ciepła typu „rura w rurze” <i>Showersave QBI-12 oraz QBI-16</i>	34
Tabela 10.1. Wartości przyjętych zmiennych wejściowych określonych dla badanego modelu rzeczywistego systemu odzysku ciepła odpadowego	67
Tabela 10.2. Własności cieplne wody przy ciśnieniu nasycenia dla wybranych wartości temperatur	69
Tabela 11.1. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\dot{S}O}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1680 mm w <i>Konfiguracji I</i> systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}	73
Tabela 11.2. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\dot{S}O}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1270 mm w <i>Konfiguracji I</i> systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}	76
Tabela 11.3. Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ między dwoma badanymi wymiennikami ciepła w <i>Konfiguracji I</i> systemu odzysku ciepła	80
Tabela 11.4. Efektywność temperaturowa ε_T w odniesieniu do powierzchni wymiany ciepła A badanych jednostek <i>DWHR</i> w <i>Konfiguracji I</i> systemu odzysku ciepła	81
Tabela 11.5. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\dot{S}O}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1680 mm w <i>Konfiguracji II</i> systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}	82
Tabela 11.6. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków $T_{\dot{S}O}$ rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1270 mm w <i>Konfiguracji II</i> systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznicza Q_{WCM}	85
Tabela 11.7. Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ między dwoma badanymi wymiennikami ciepła w <i>Konfiguracji II</i> systemu odzysku ciepła	89

Tabela 11.8. Efektywność temperaturowa ε_T w odniesieniu do powierzchni wymiany ciepła A badanych jednostek *DWHR* w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła90

Tabela 11.9. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków T_{SO} rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1680 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznic Q_{WCM} 91

Tabela 11.10. Wartości środkowe charakterystycznych temperatur wody T_{WCM} , T_{WCP} , T_{WWP} , T_{WZ} i ścieków T_{SO} rejestrowane w trakcie badań wymiennika o długości 1270 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła w czasie $t_s = 18$ min, przy zmiennych wartościach strumienia objętości wody na wypływie z wylewki prysznic Q_{WCM} 93

Tabela 11.11. Różnica efektywności temperaturowej $\Delta\varepsilon_T$ między dwoma badanymi wymiennikami ciepła w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła98

Tabela 11.12. Efektywność temperaturowa ε_T w odniesieniu do powierzchni wymiany ciepła A badanych jednostek *DWHR* w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła99

Tabela 12.1. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 18 min106

Tabela 12.2. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 18 min109

Tabela 12.3. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją I* dla wymiennika o długości 1680 mm112

Tabela 12.4. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją I* dla wymiennika o długości 1270 mm113

Tabela 12.5. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 18 min130

Tabela 12.6. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 18 min132

Tabela 12.7. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją II* dla wymiennika o długości 1680 mm135

Tabela 12.8. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją II* dla wymiennika o długości 1270 mm136

Tabela 12.9. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracja III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 18 min154

Tabela 12.10. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracja III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 18 min156

Tabela 12.11. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją III* dla wymiennika o długości 1680 mm159

Tabela 12.12. Wartości charakterystycznych strumieni objętości wody i ścieków przepływających w instalacji przygotowania *c.w.u.* i systemie odzysku ciepła w układzie prowadzenia przewodów wody zimnej i wstępnie podgrzanej zgodnej z *Konfiguracją III* dla wymiennika o długości 1270 mm160

Tabela 13.1. Wartości temperatur i strumieni objętości wody i ścieków szarych przyjęte w ramach analizy finansowej przypadku studyjnego180

Tabela 13.2. Wartości przyjęte w analizie *LCC* systemu przygotowania *c.w.u.* i instalacji kanalizacyjnej w budynku mieszkalnym182

Spis załączników

- Załącznik. 1. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min223
- Załącznik. 2. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min223
- Załącznik. 3. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min224
- Załącznik. 4. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min224
- Załącznik. 5. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min225
- Załącznik. 6. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min225
- Załącznik. 7. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min226
- Załącznik. 8. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia

objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min226

Załącznik. 9. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min227

Załącznik. 10. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min227

Załącznik. 11. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min228

Załącznik. 12. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min228

Załącznik. 13. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min229

Załącznik. 14. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min229

Załącznik. 15. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min230

Załącznik. 16. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia

- objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min230
- Załącznik. 17. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min231
- Załącznik. 18. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^{\circ}\text{C}$; $\approx 42^{\circ}\text{C}$; $\approx 38^{\circ}\text{C}$; $\approx 34^{\circ}\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min231
- Załącznik. 19. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C 232
- Załącznik. 20. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C 233
- Załącznik. 21. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C 234
- Załącznik. 22. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C 235
- Załącznik. 23. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C 236
- Załącznik. 24. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C 237

- Załącznik. 25. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C238
- Załącznik. 26. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C239
- Załącznik. 27. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C240
- Załącznik. 28. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C241
- Załącznik. 29. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C242
- Załącznik. 30. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji I* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C243
- Załącznik. 31. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 3 min244
- Załącznik. 32. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 3 min247
- Załącznik. 33. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 8 min250

- Załącznik. 34. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 8 min253
- Załącznik. 35. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 13 min256
- Załącznik. 36. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 13 min259
- Załącznik. 37. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C262
- Załącznik. 38. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C263
- Załącznik. 39. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C264
- Załącznik. 40. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C265
- Załącznik. 41. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C266
- Załącznik. 42. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C267

- Załącznik. 43. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C268
- Załącznik. 44. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C269
- Załącznik. 45. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C270
- Załącznik. 46. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C271
- Załącznik. 47. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C272
- Załącznik. 48. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C273
- Załącznik. 49. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 3 min274
- Załącznik. 50. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 3 min277
- Załącznik. 51. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 8 min280

- Załącznik. 52. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 8 min283
- Załącznik. 53. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 13 min286
- Załącznik. 54. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 13 min289
- Załącznik. 55. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C292
- Załącznik. 56. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C293
- Załącznik. 57. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C294
- Załącznik. 58. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C295
- Załącznik. 59. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C296
- Załącznik. 60. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C297

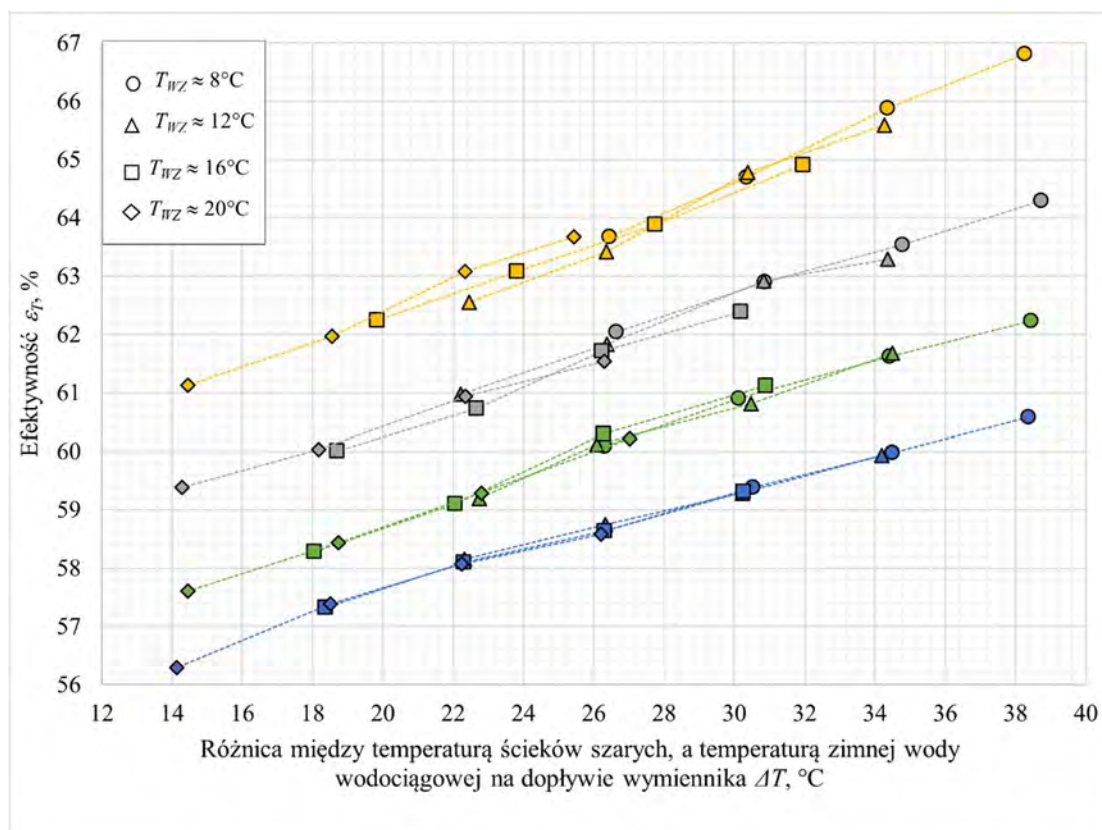
- Załącznik. 61. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C298
- Załącznik. 62. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C299
- Załącznik. 63. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C300
- Załącznik. 64. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C301
- Załącznik. 65. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C302
- Załącznik. 66. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji III* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C303
- Załącznik. 67. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 3 min304
- Załącznik. 68. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 3 min307
- Załącznik. 69. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 8 min310

Załącznik. 70. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 8 min313

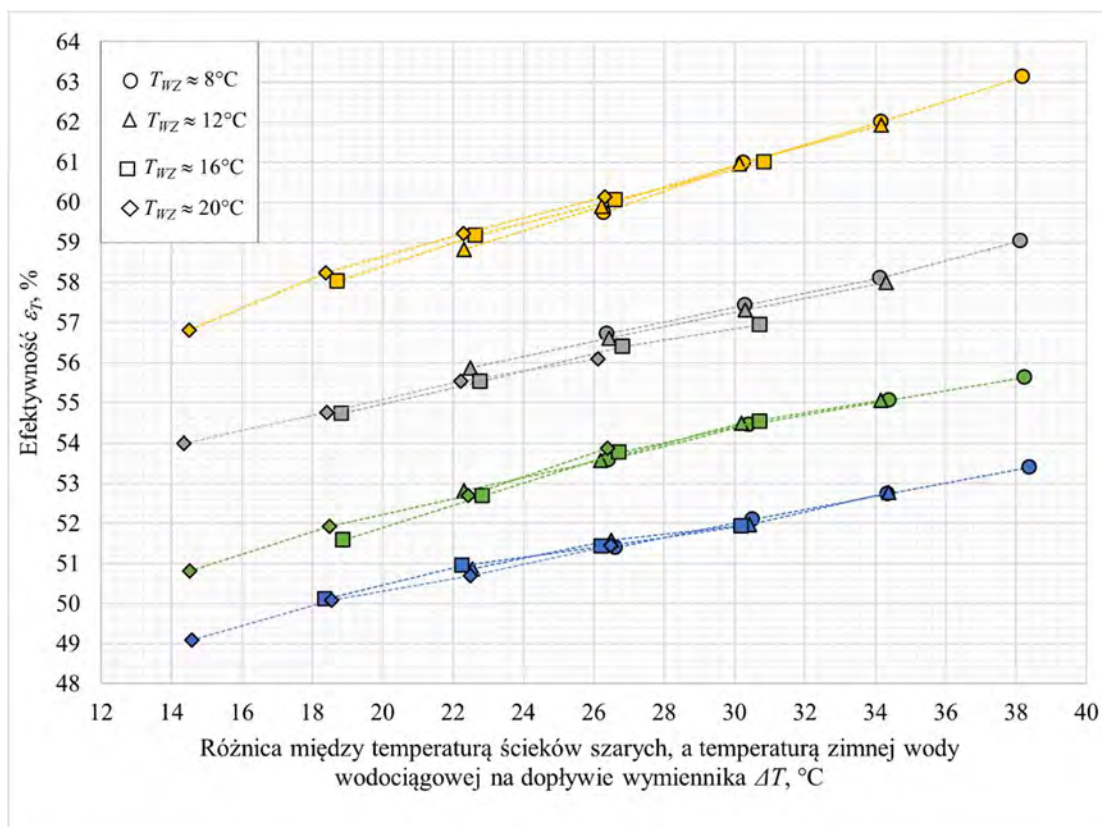
Załącznik. 71. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 13 min316

Załącznik. 72. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 13 min319

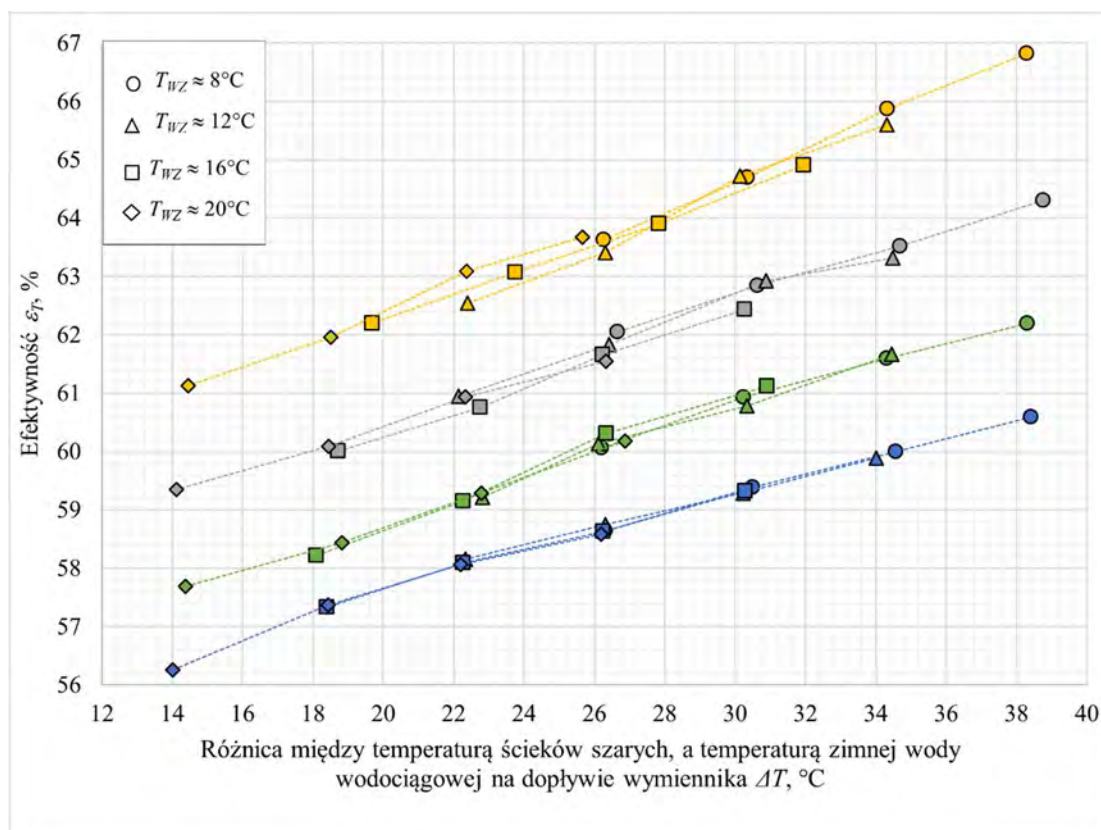
Załącznik. 1. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min



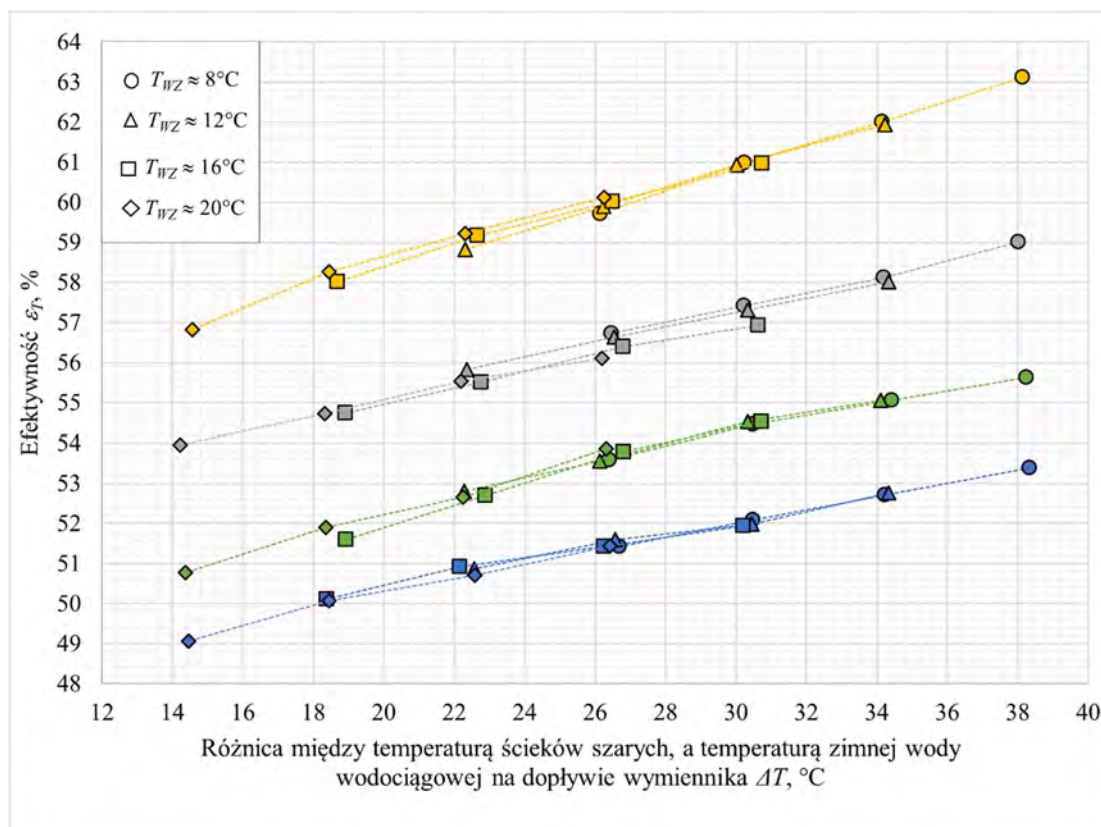
Załącznik. 2. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min



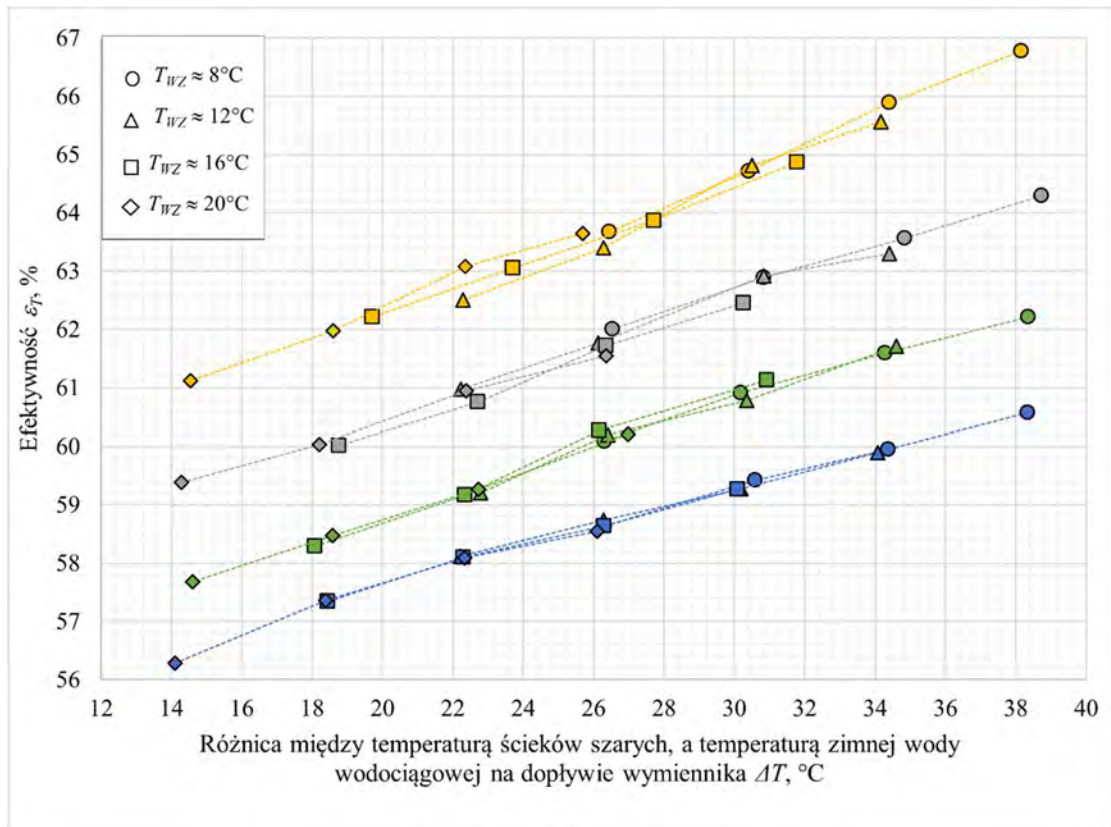
Załącznik. 3. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min



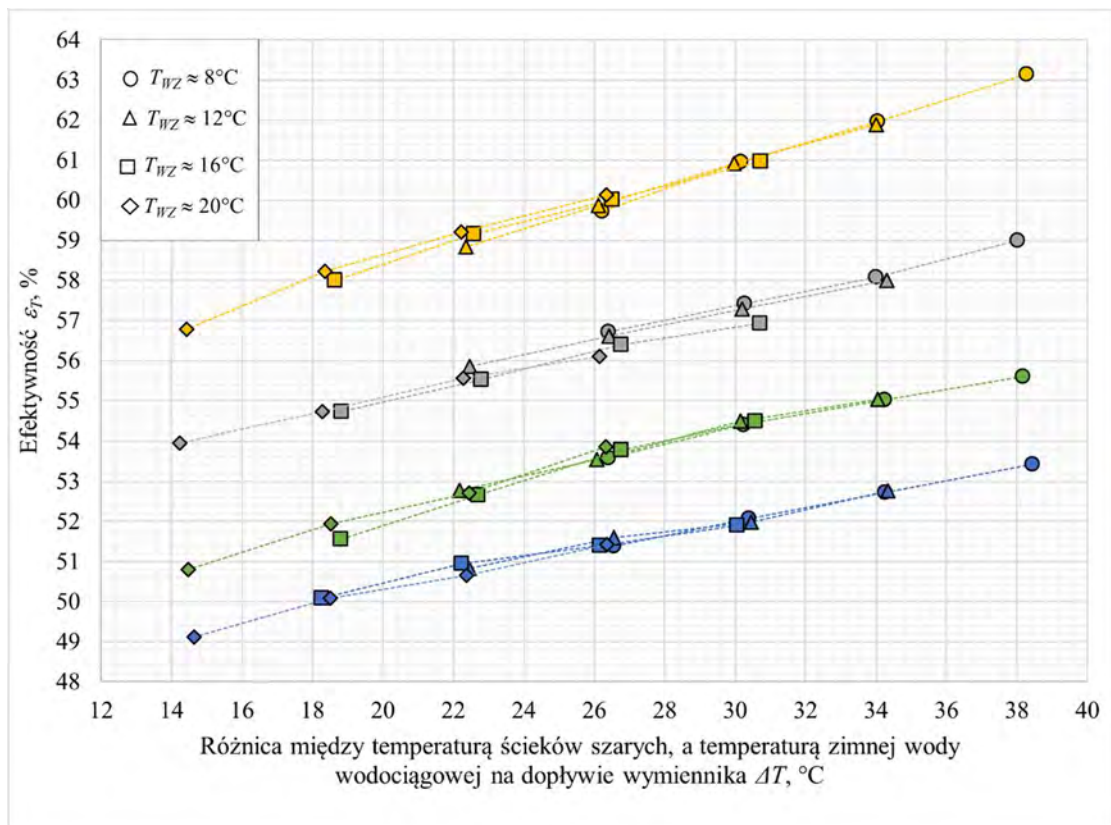
Załącznik. 4. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min



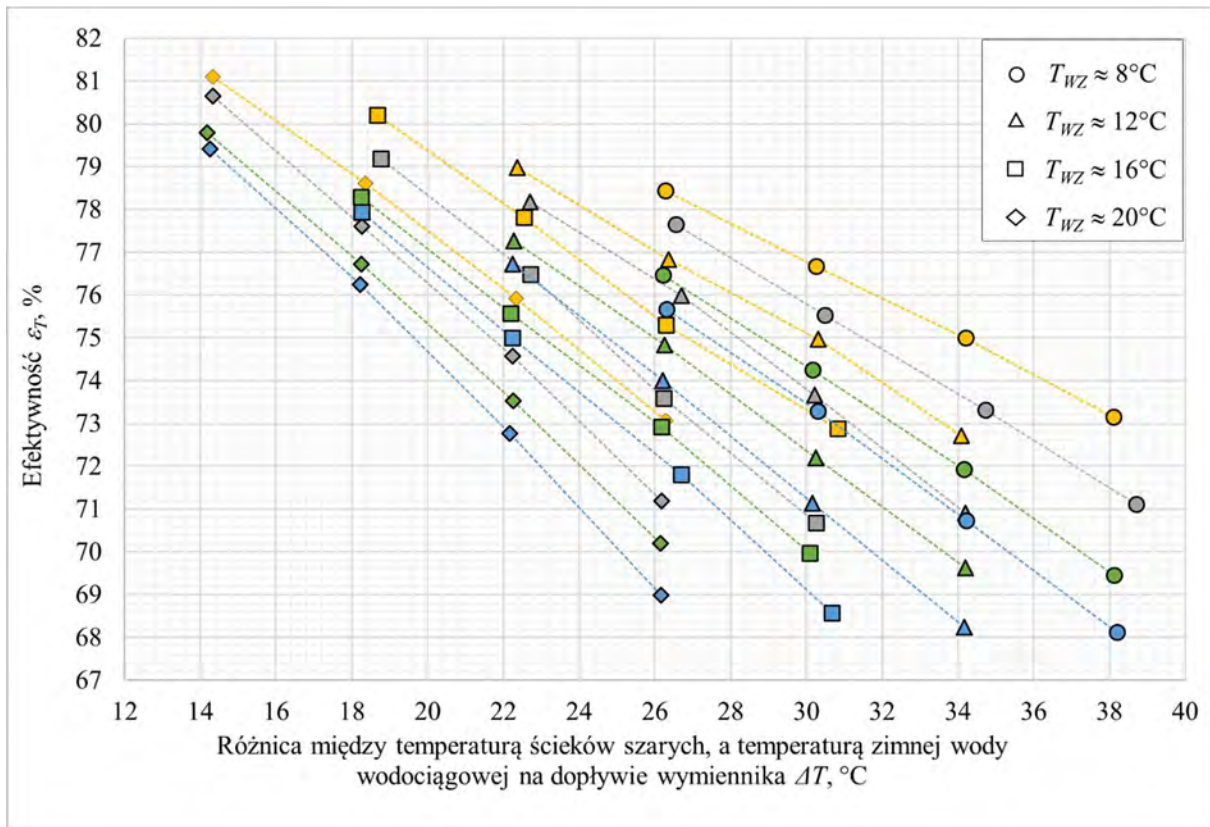
Załącznik. 5. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min



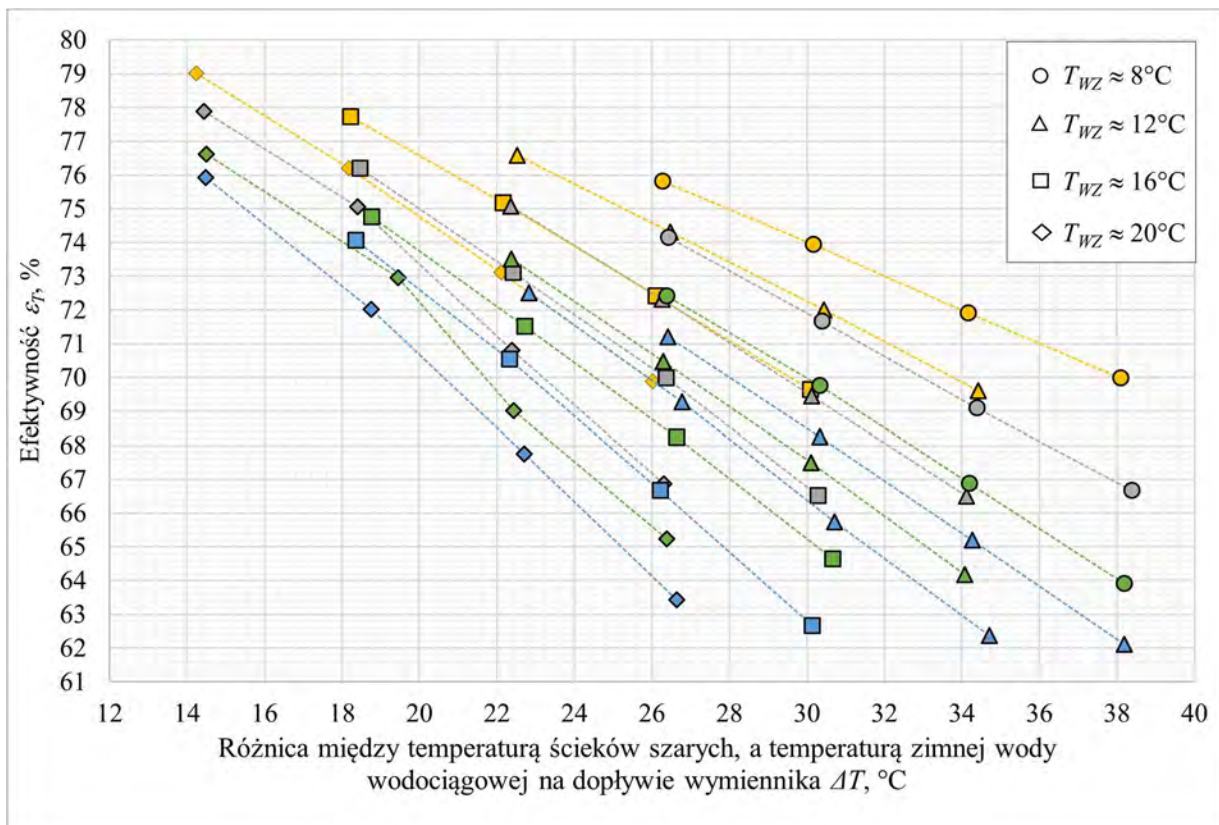
Załącznik. 6. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji I systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min



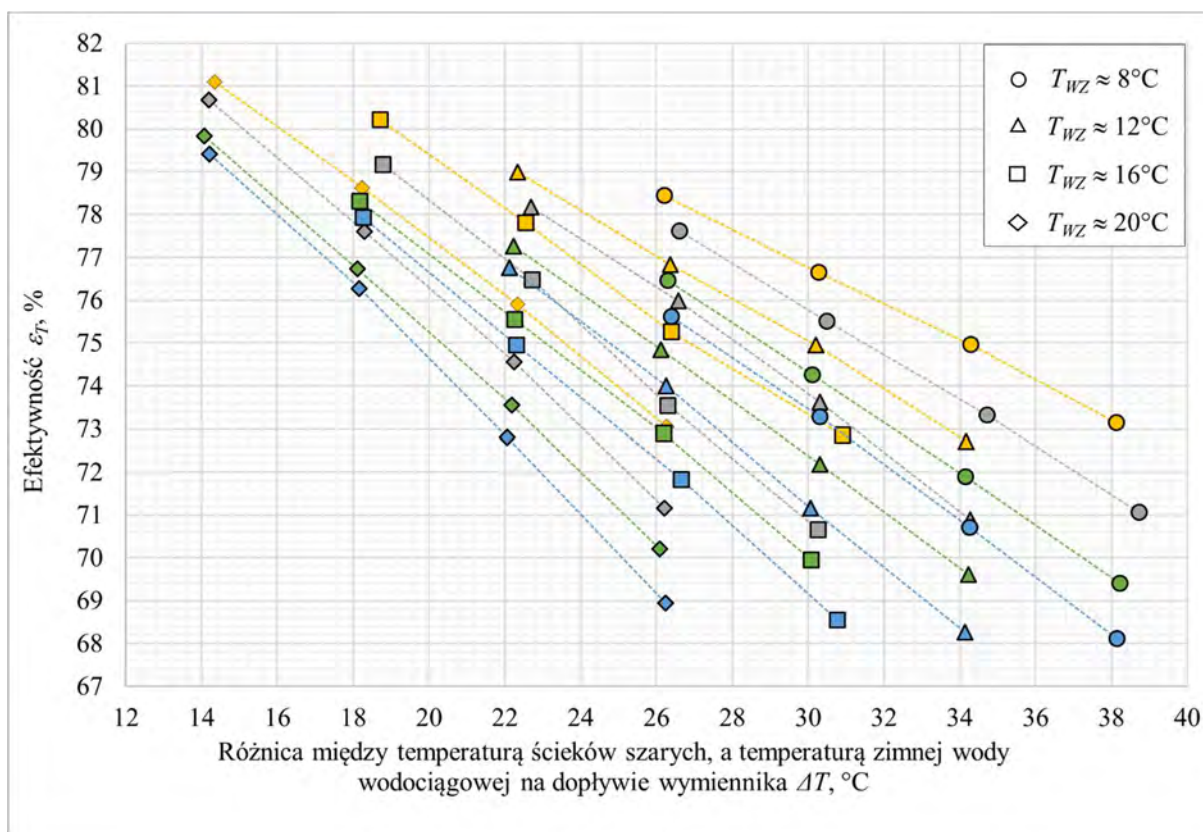
Załącznik. 7. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji II systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min



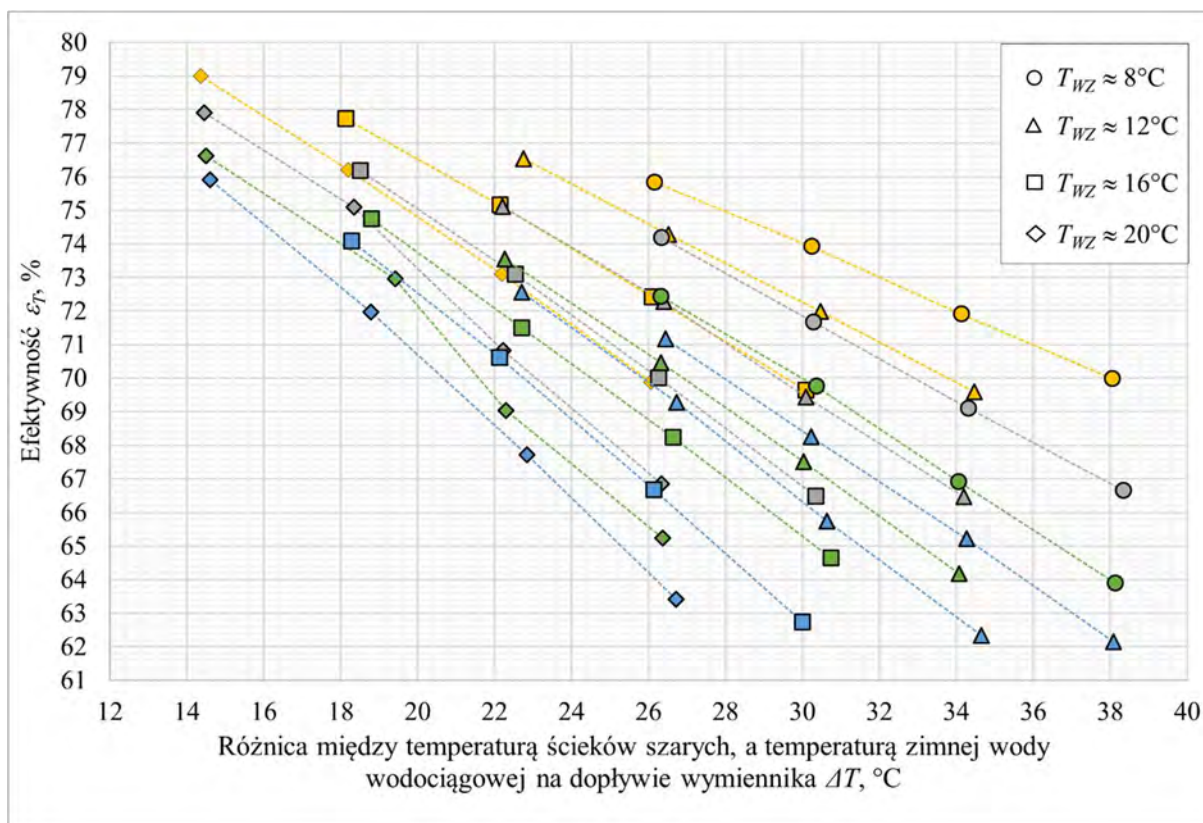
Załącznik. 8. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji II systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min



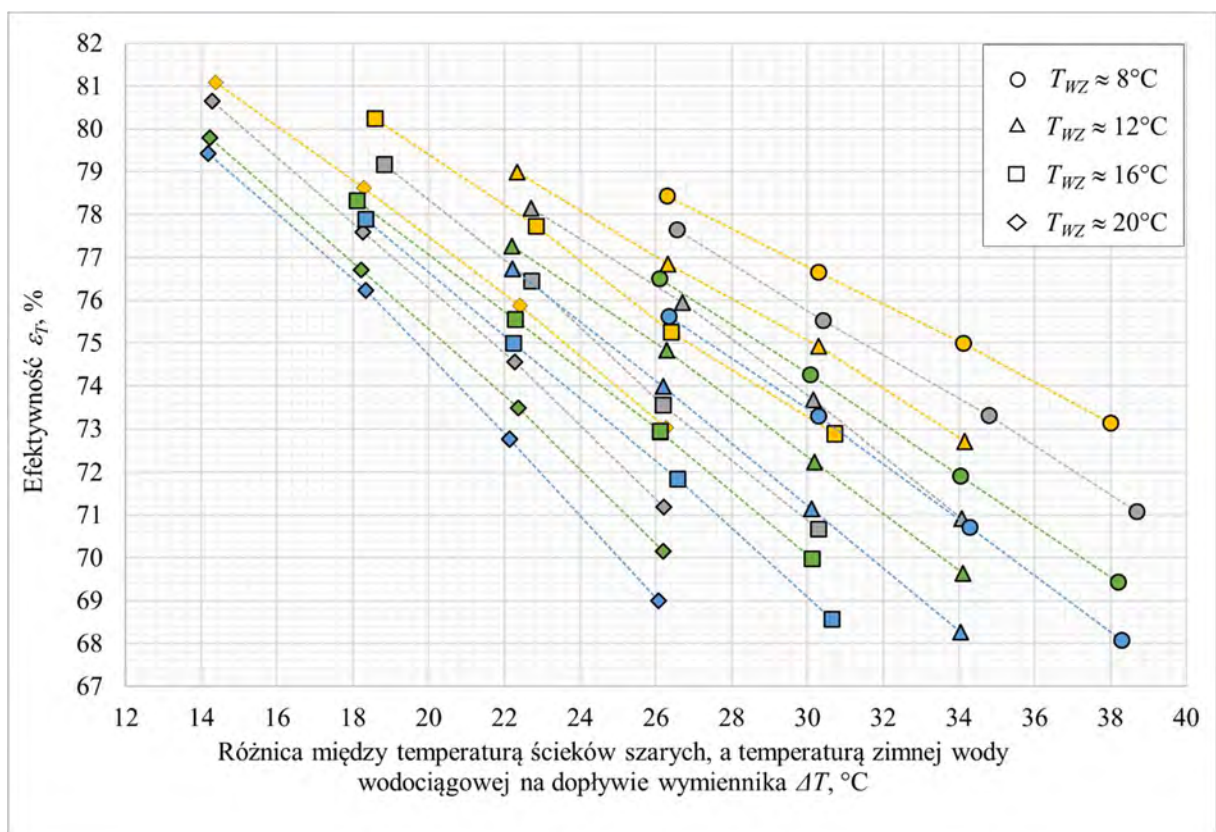
Załącznik. 9. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji II systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min



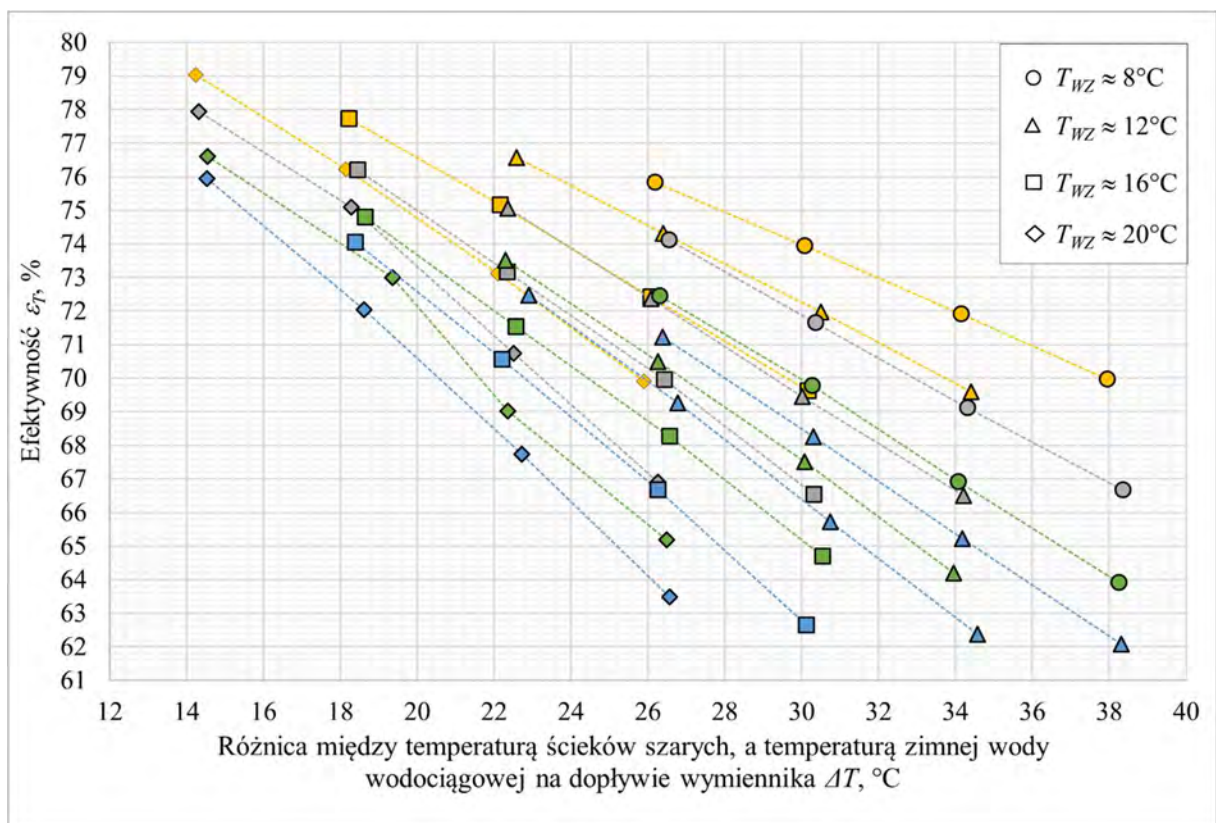
Załącznik. 10. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji II systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min



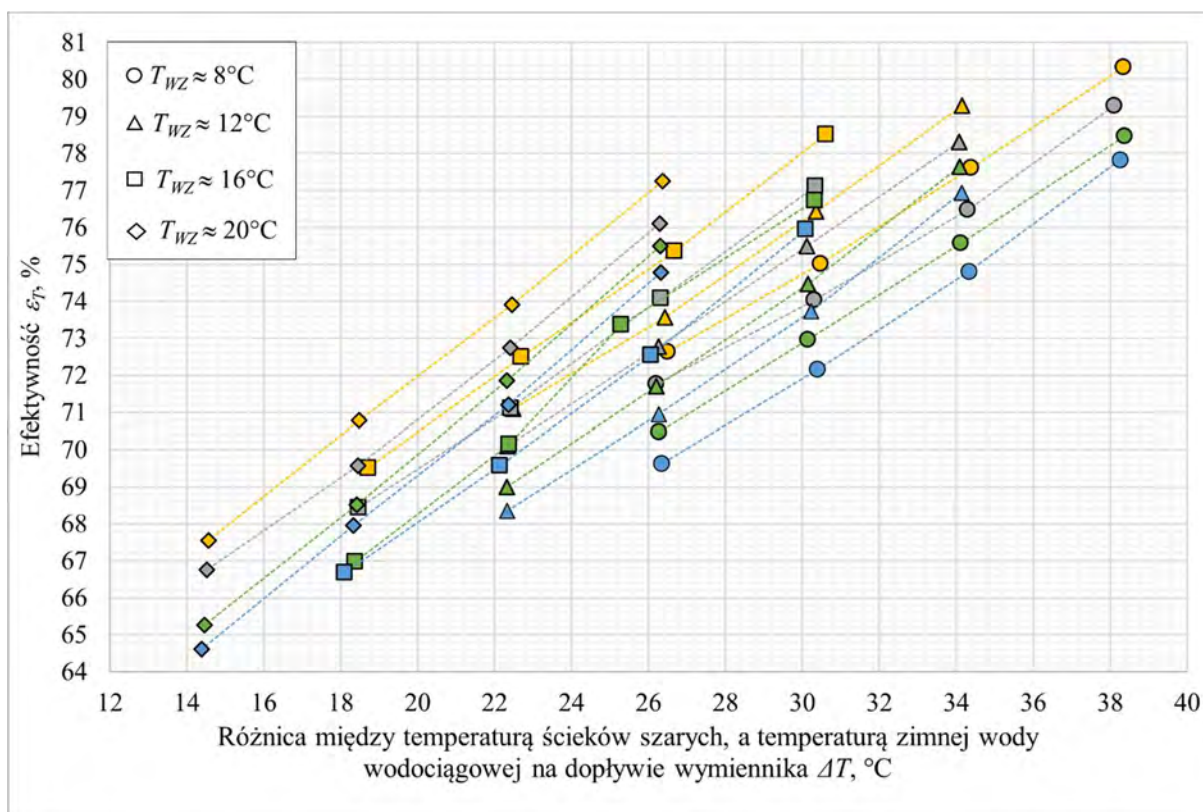
Załącznik. 11. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji II systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min



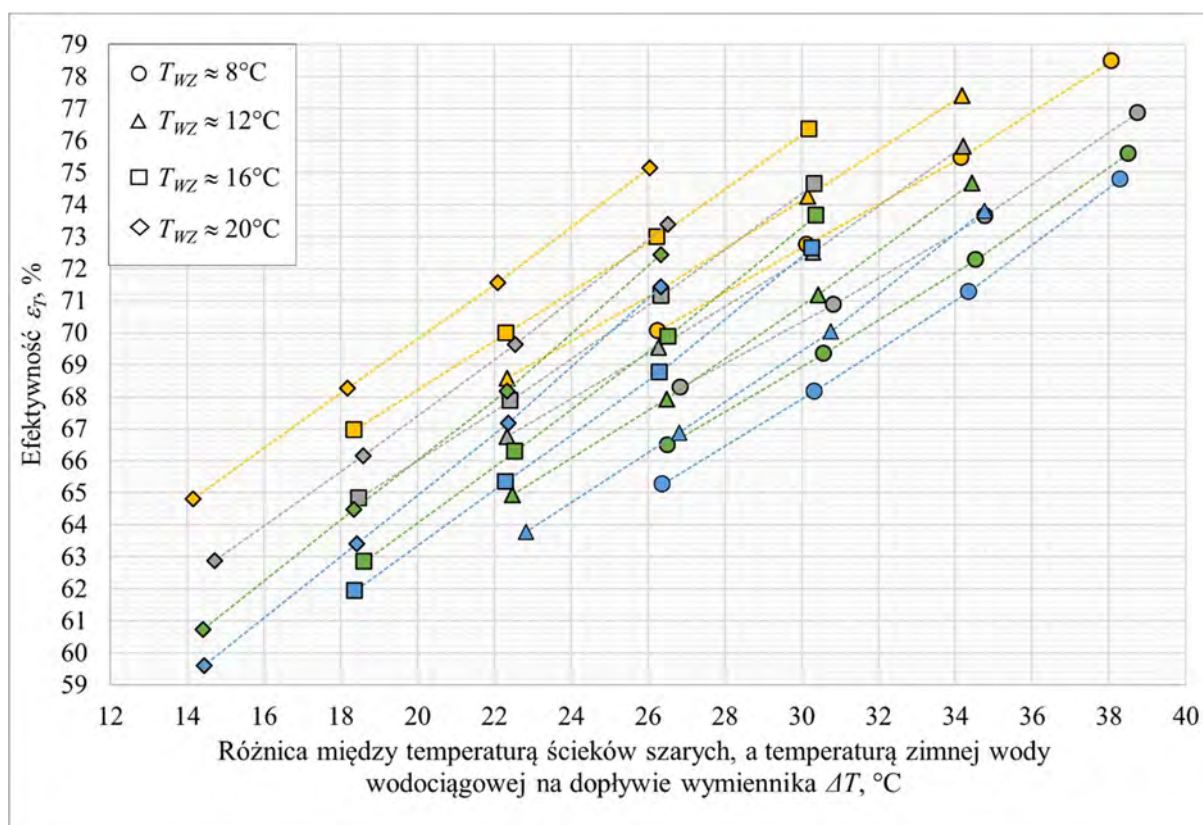
Załącznik. 12. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji II systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min



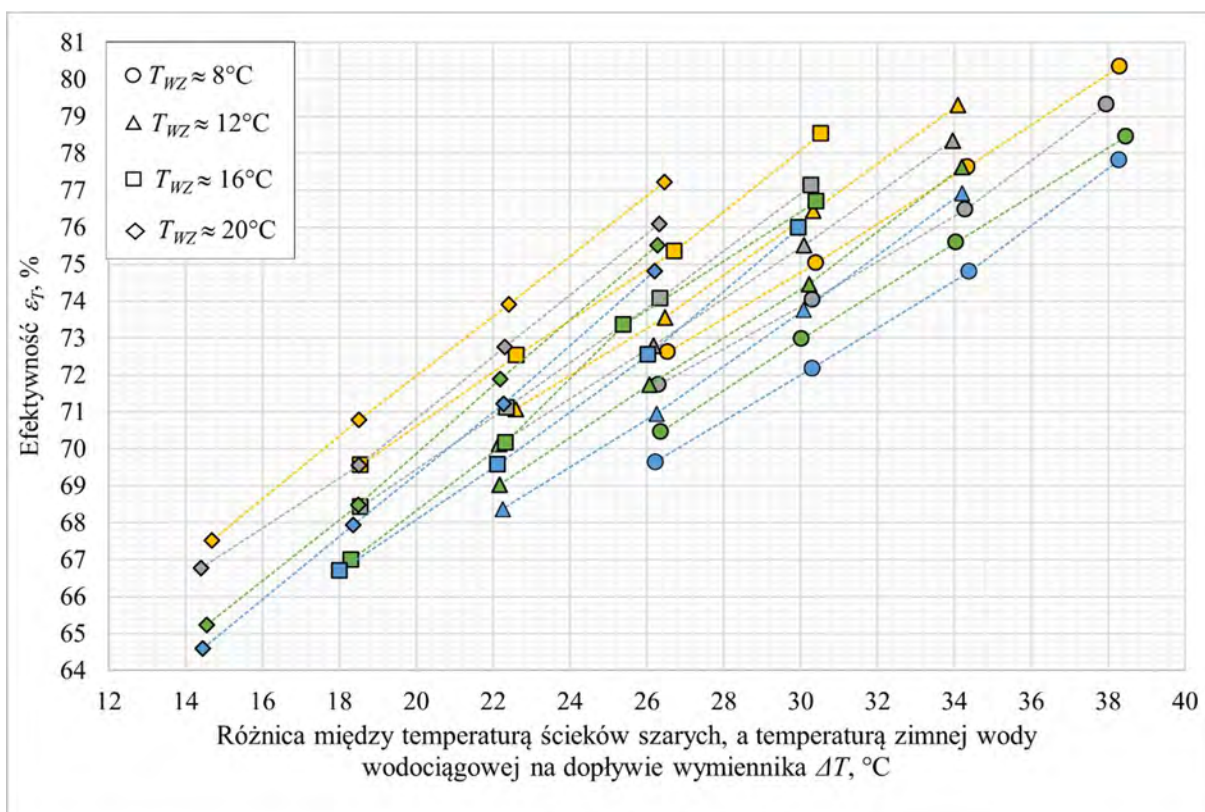
Załącznik. 13. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min



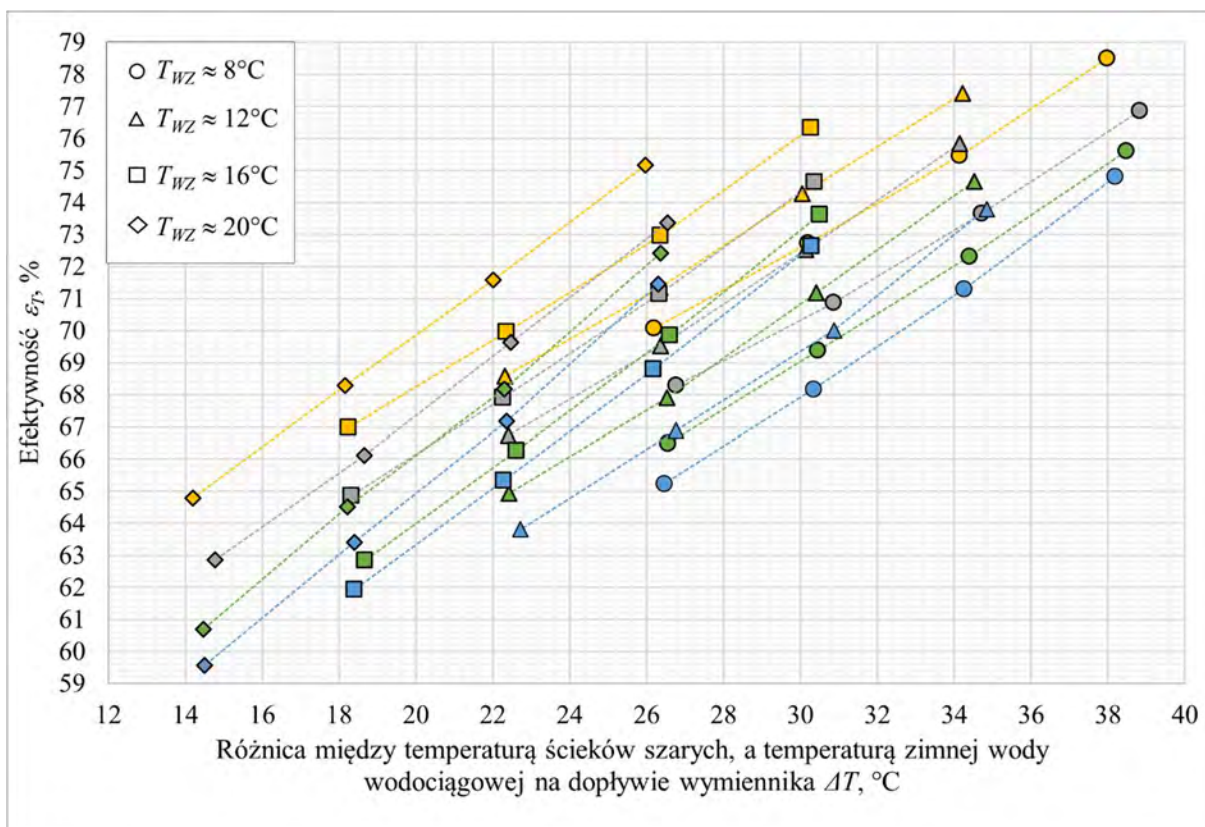
Załącznik. 14. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 3 min



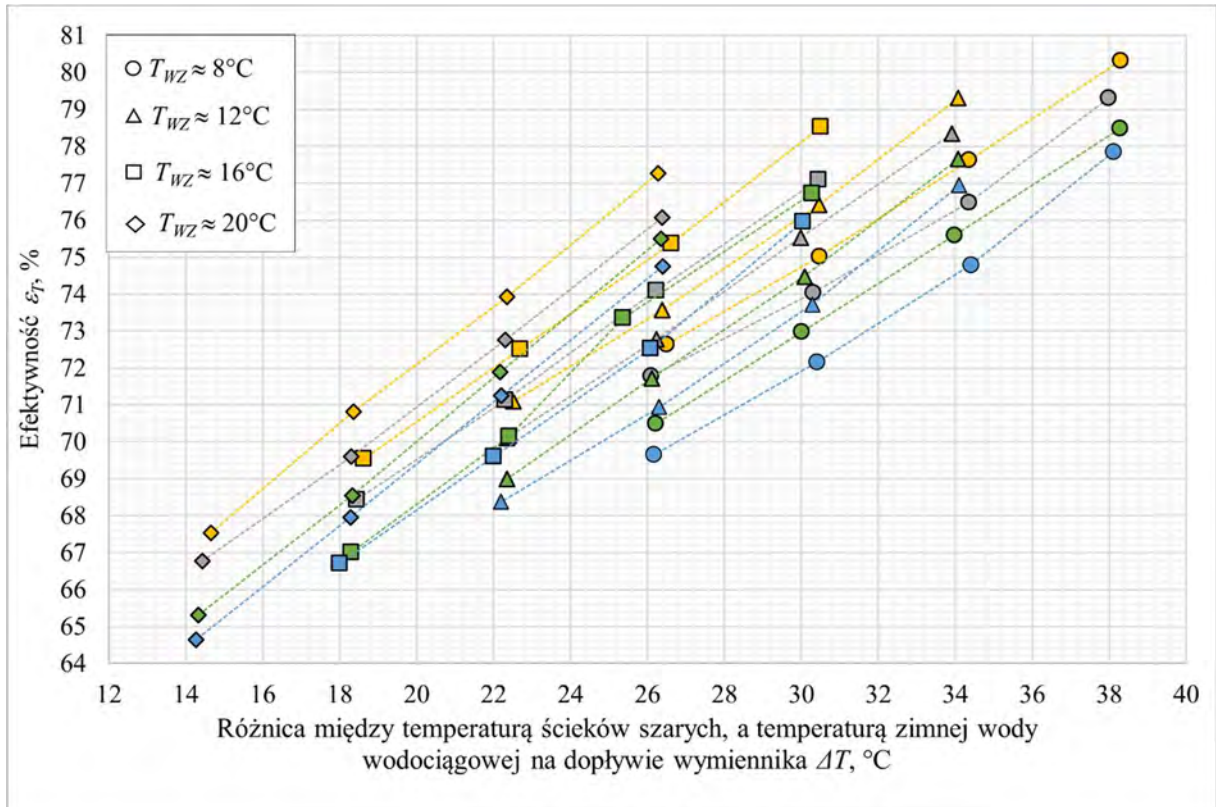
Załącznik. 15. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min



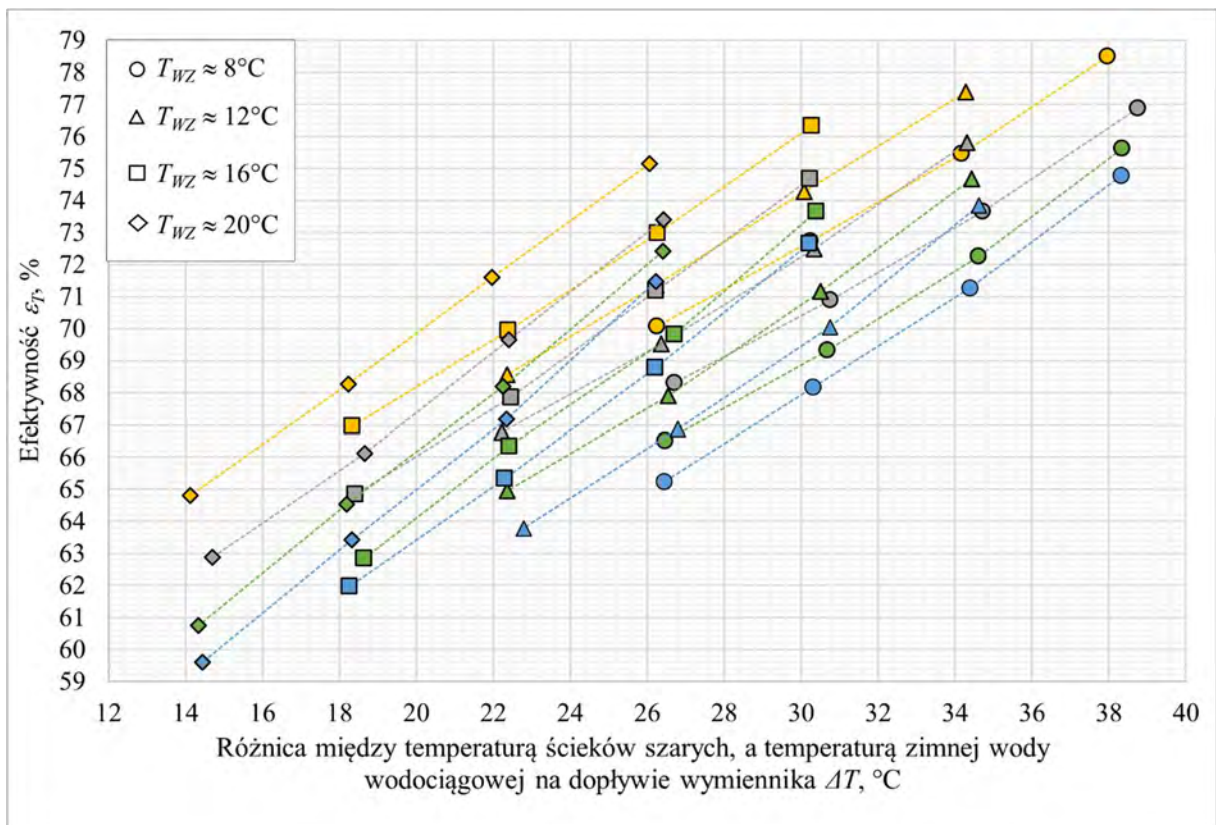
Załącznik. 16. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 8 min



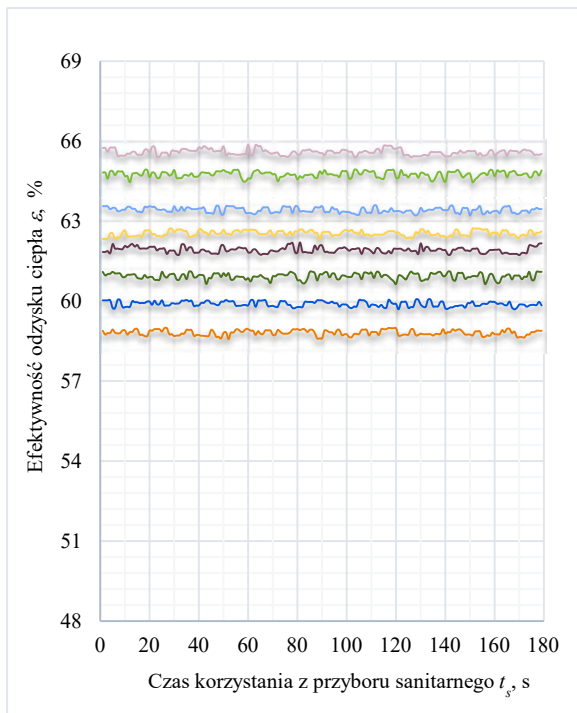
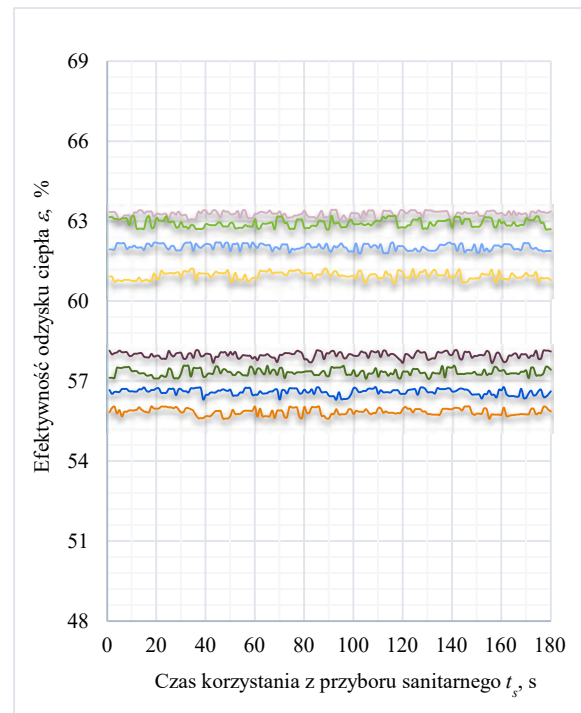
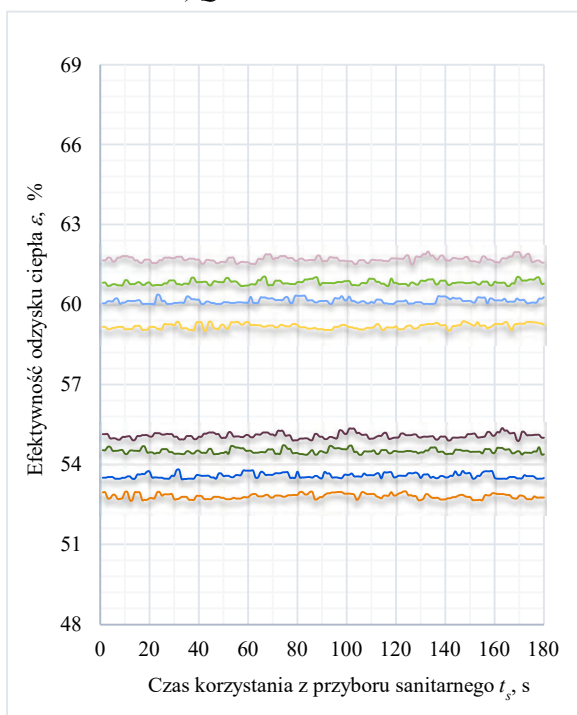
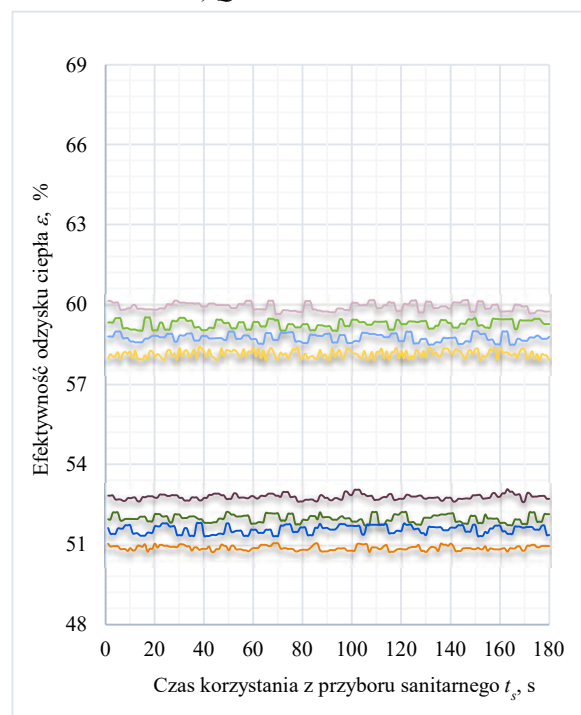
Załącznik. 17. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1680 mm w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min



Załącznik. 18. Charakterystyki efektywności ε_T pionowego wymiennika ciepła o długości 1270 mm w Konfiguracji III systemu odzysku ciepła dla zmiennych wartości strumienia objętości ścieków szarych Q_{SD} , przy temperaturze ścieków $T_{SD} \approx 46^\circ\text{C}$; $\approx 42^\circ\text{C}$; $\approx 38^\circ\text{C}$; $\approx 34^\circ\text{C}$ i czasu t_s równego 13 min



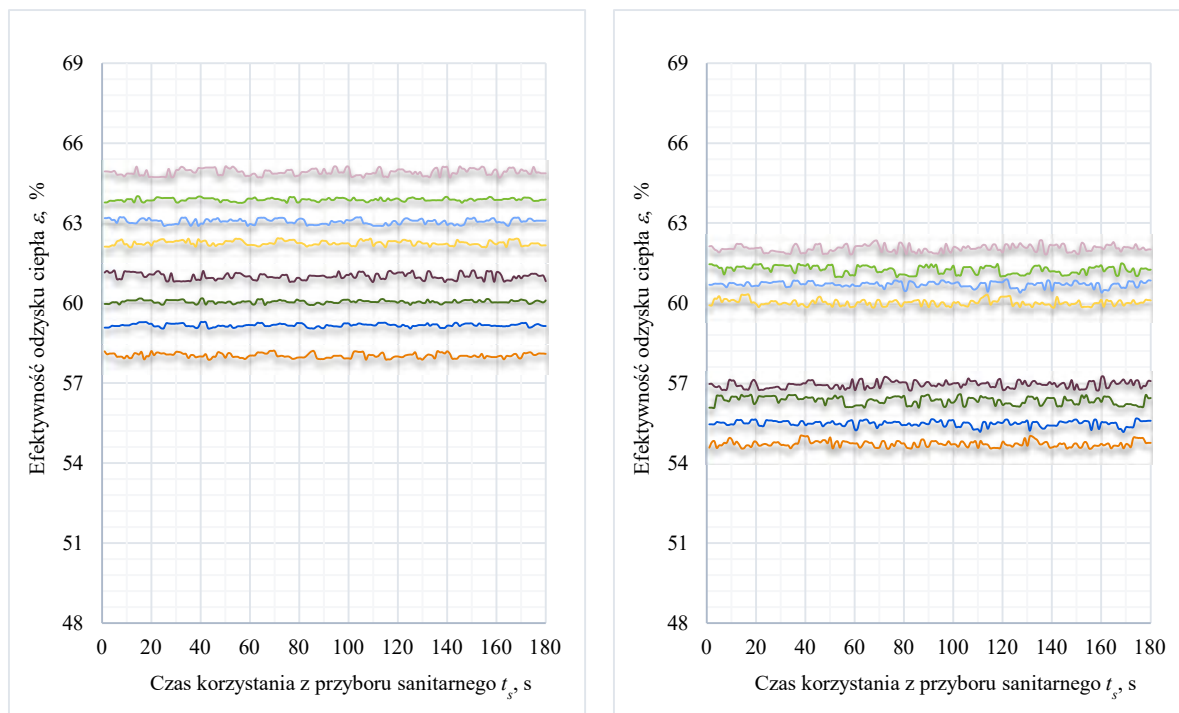
Załącznik. 19. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

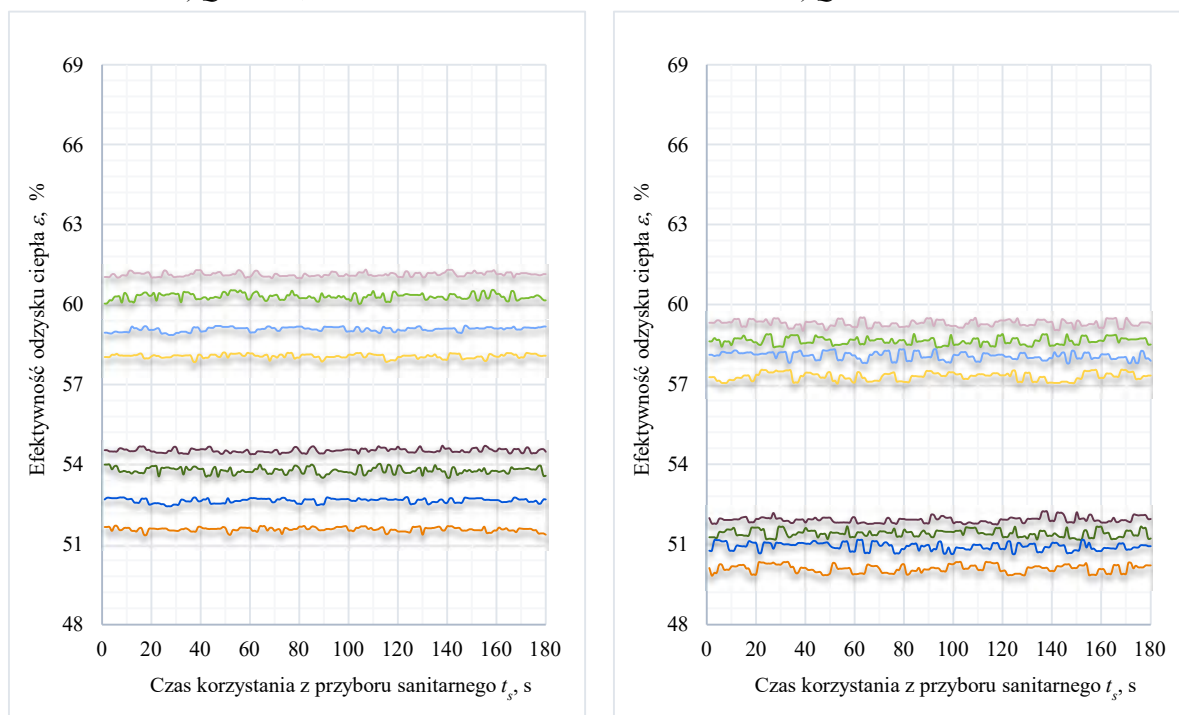
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 20. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C



a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



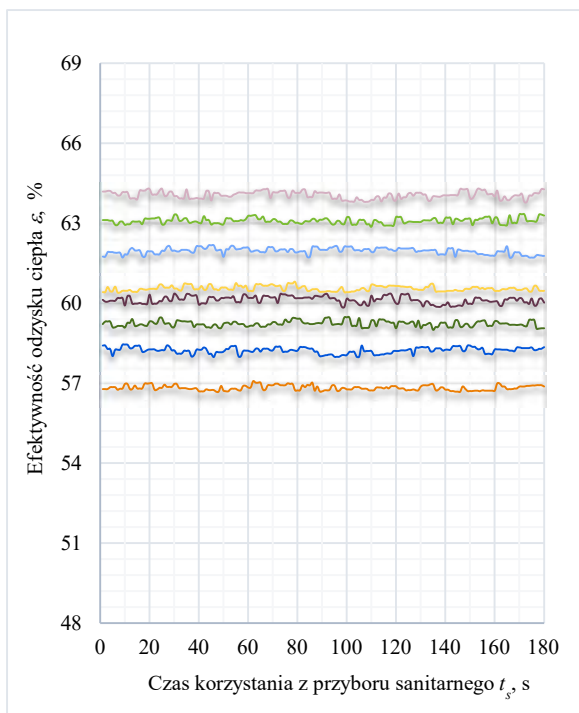
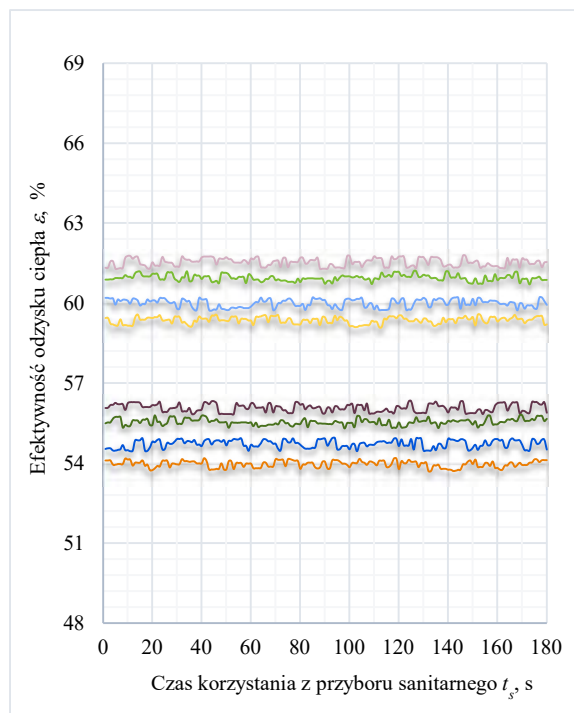
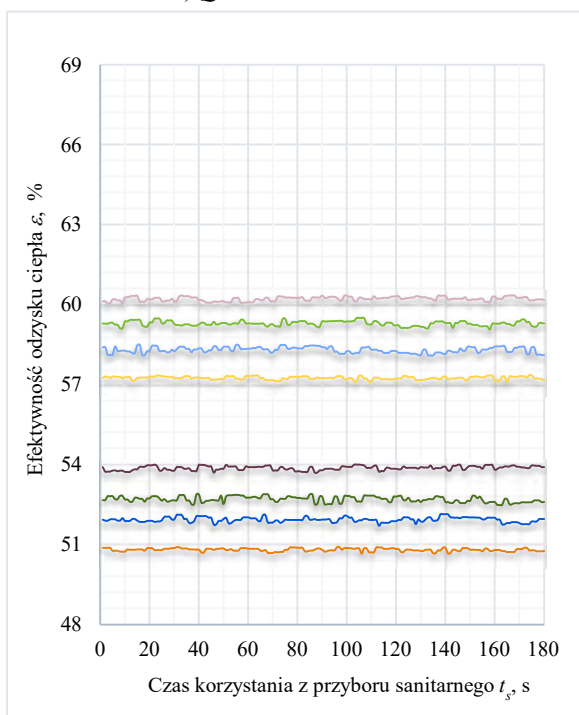
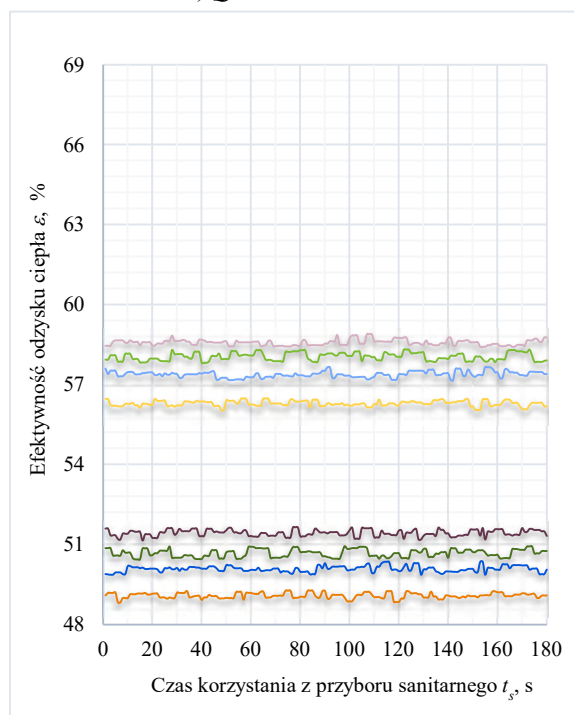
c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

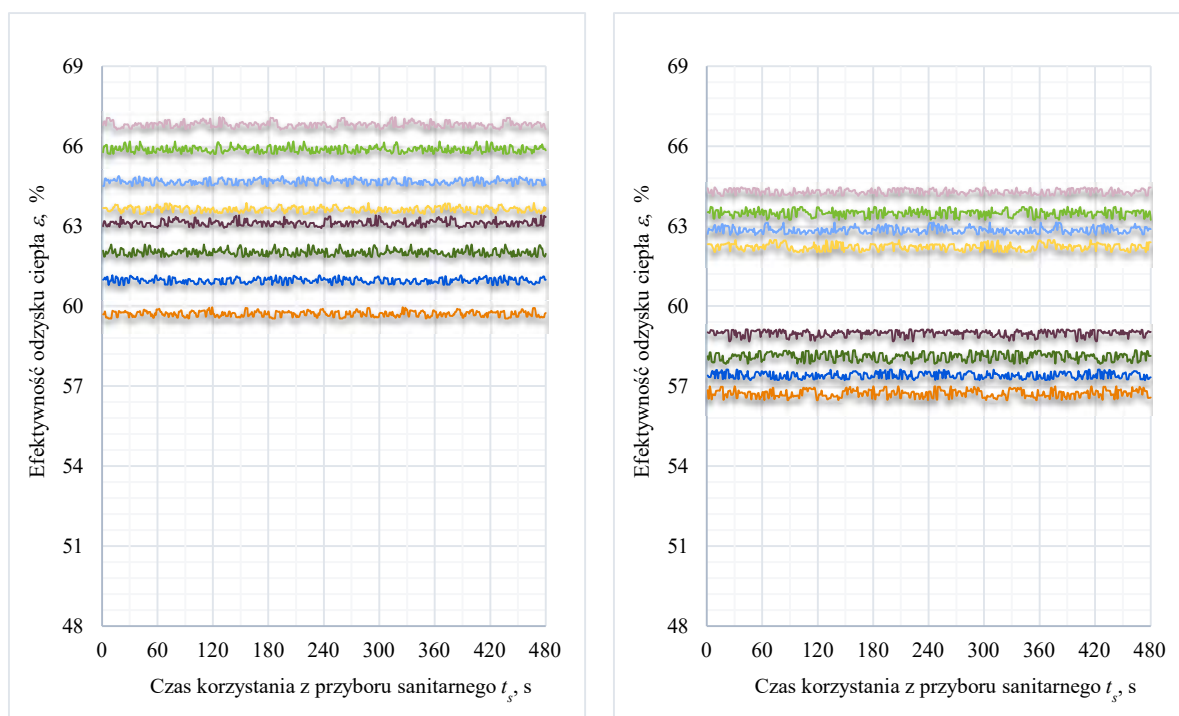
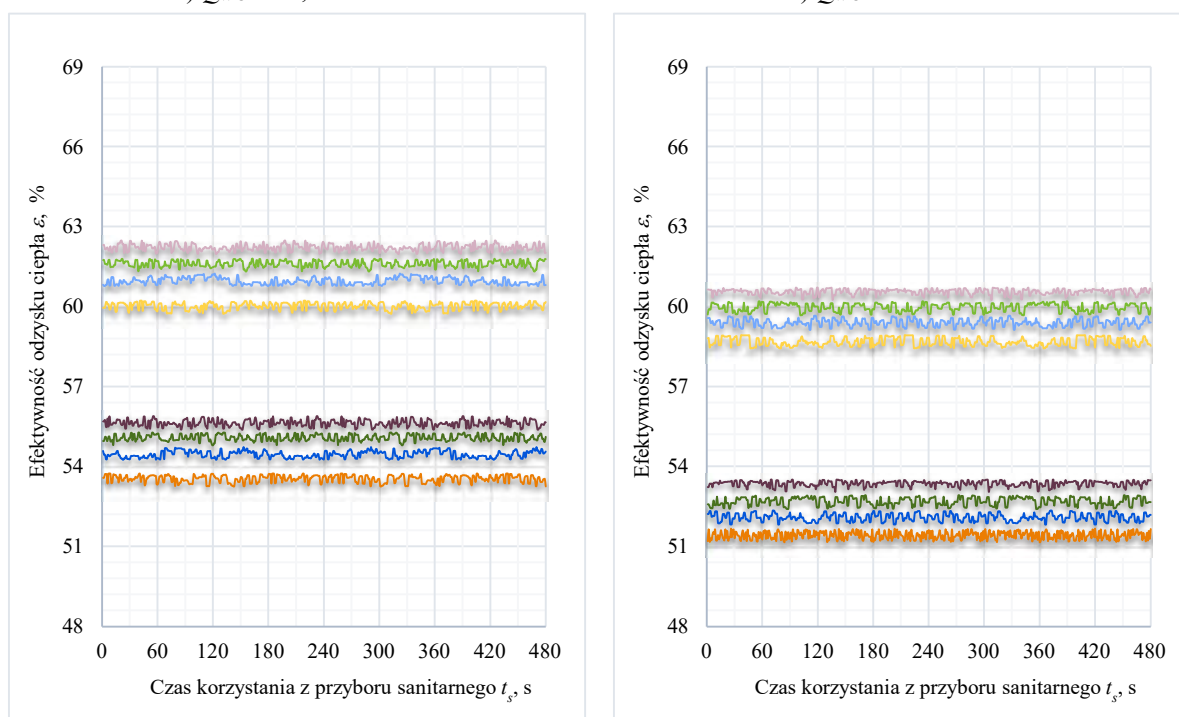
Załącznik. 21. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

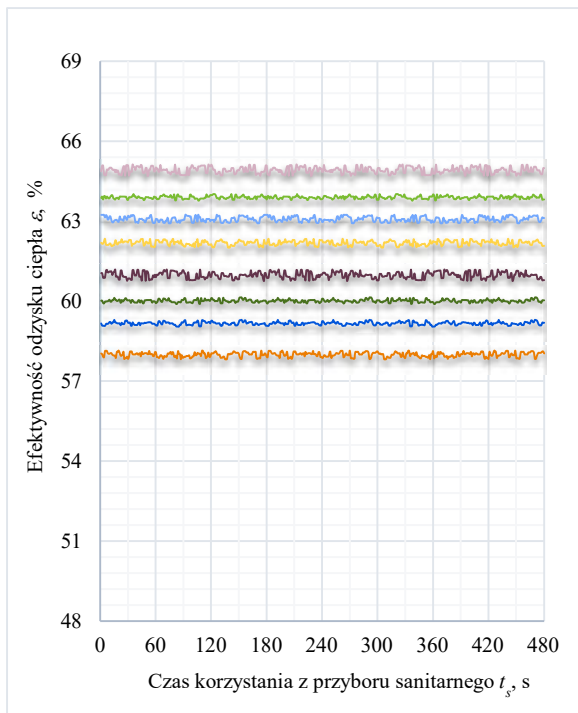
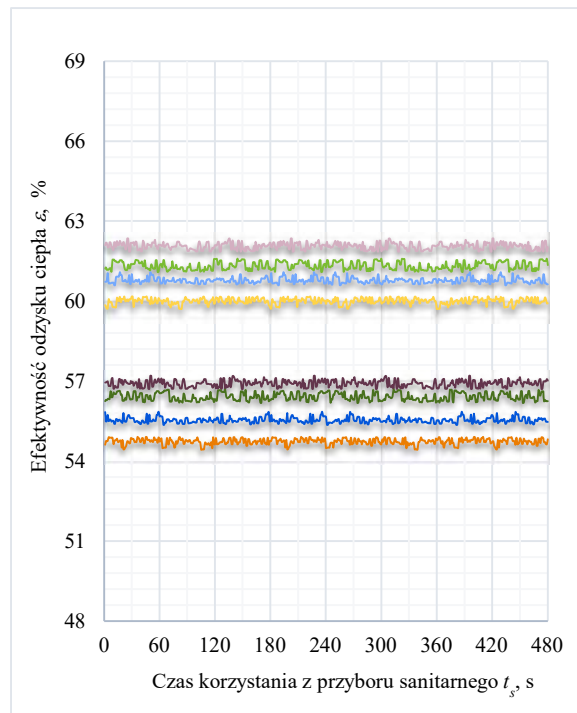
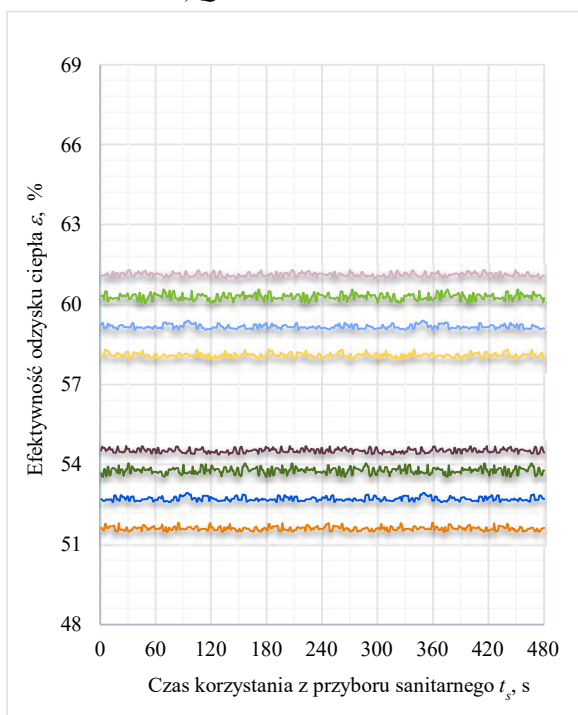
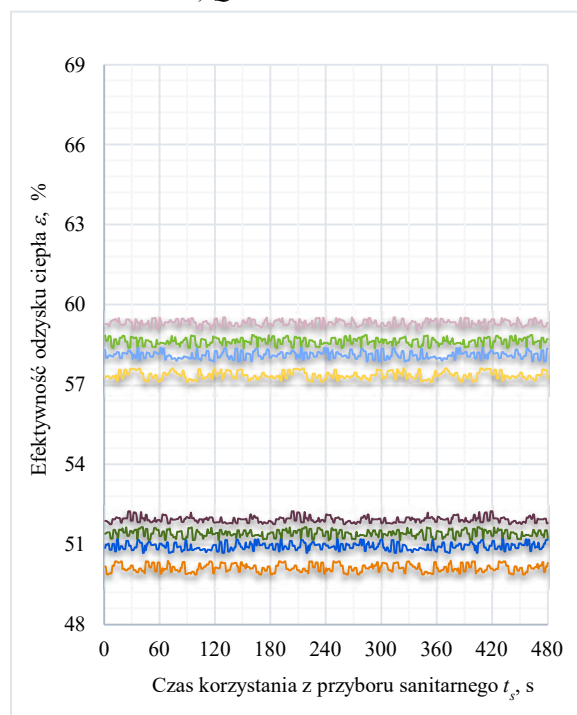
Załącznik. 22. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

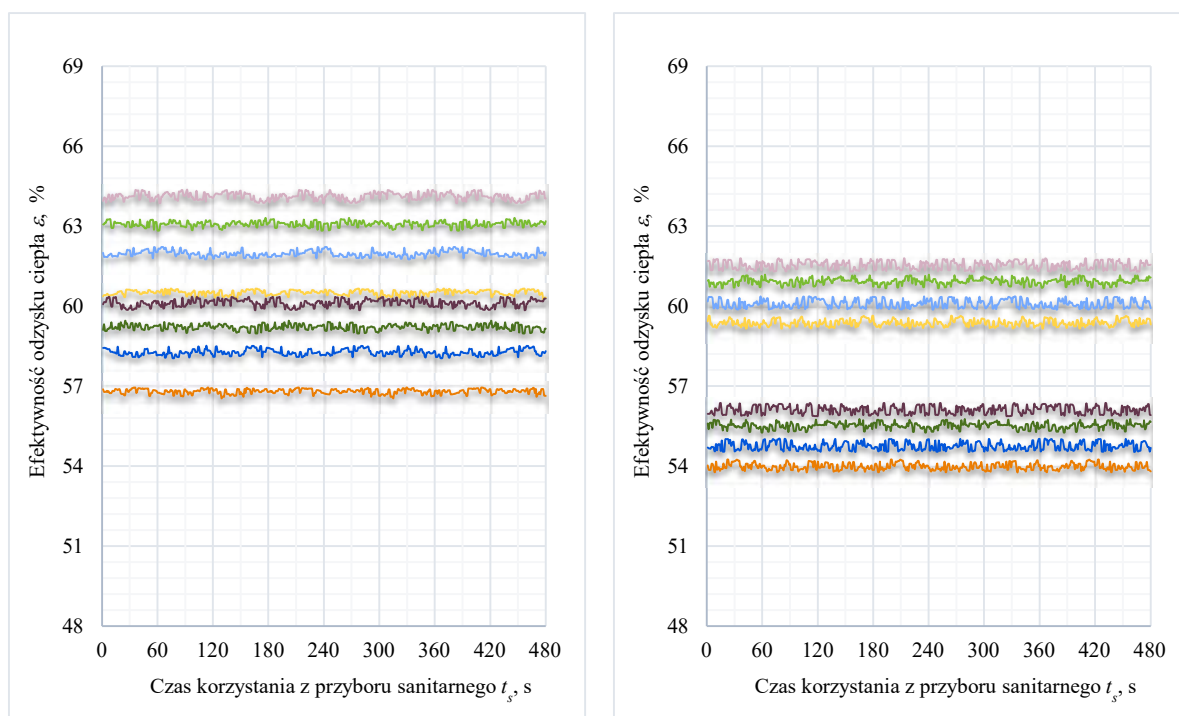
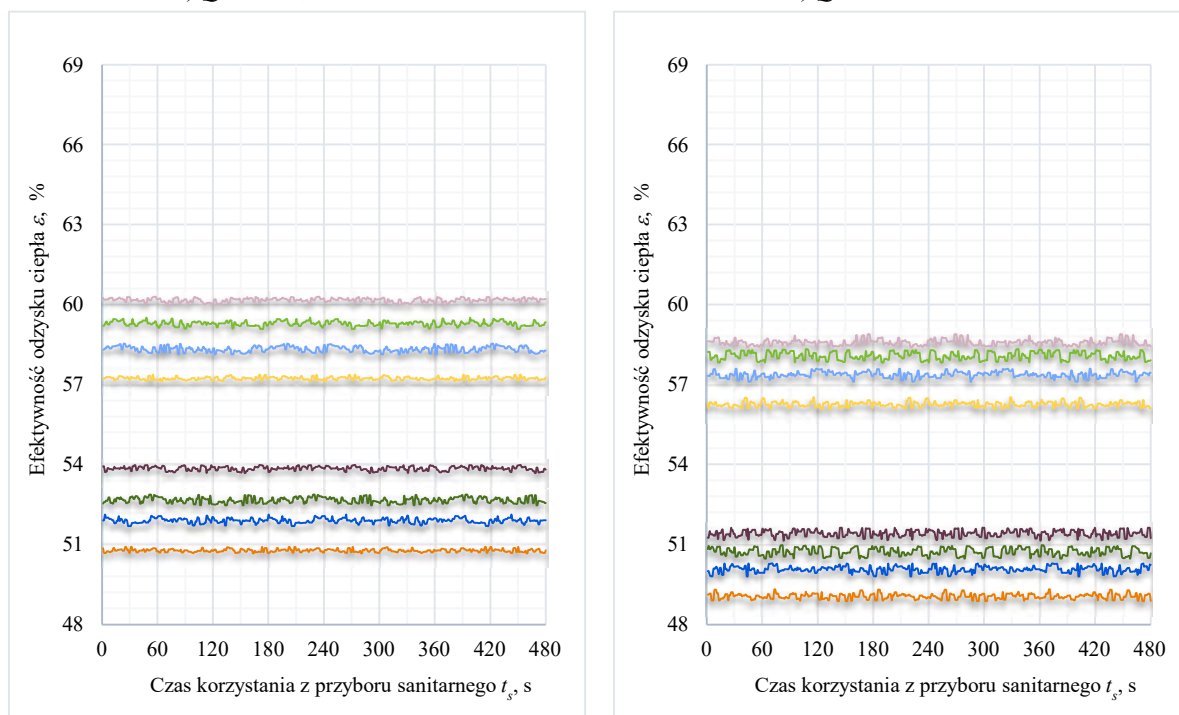
Załącznik. 23. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

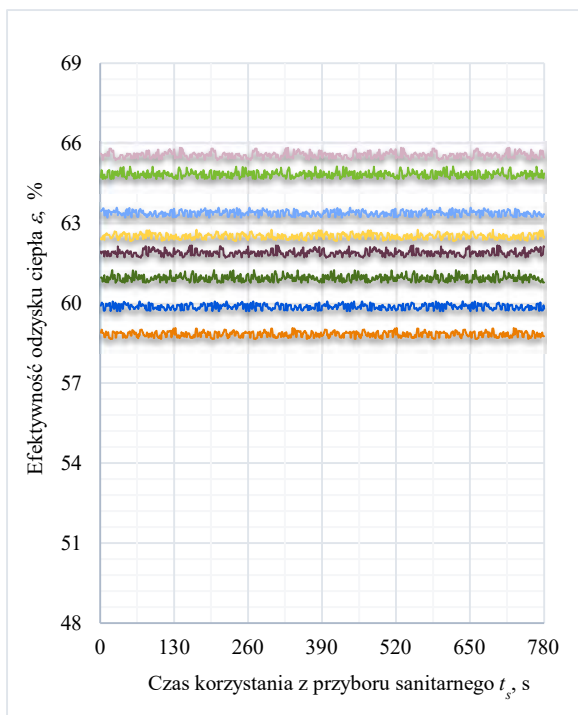
Załącznik. 24. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

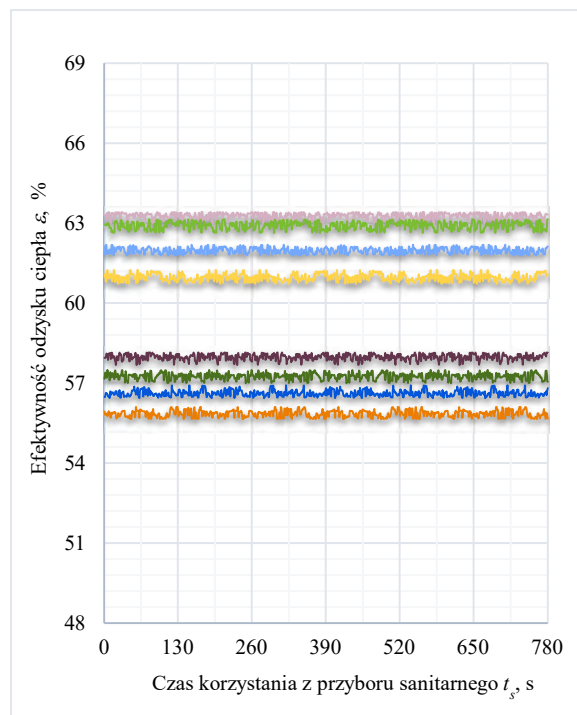
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

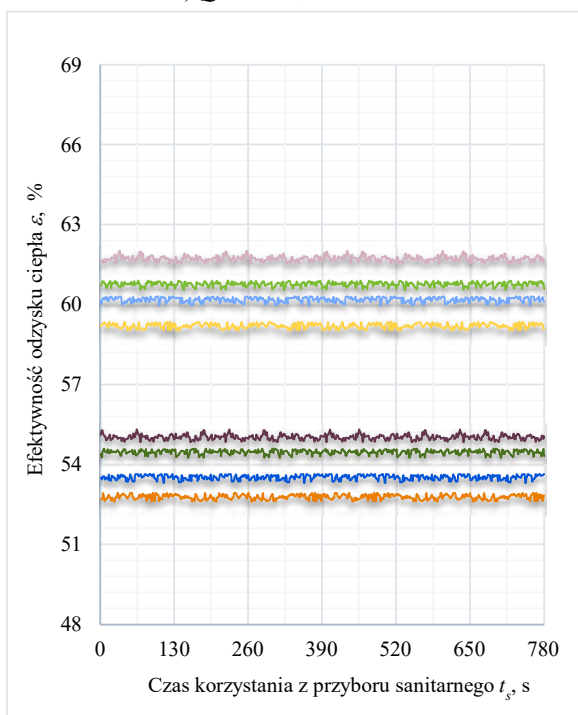
Załącznik. 25. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C



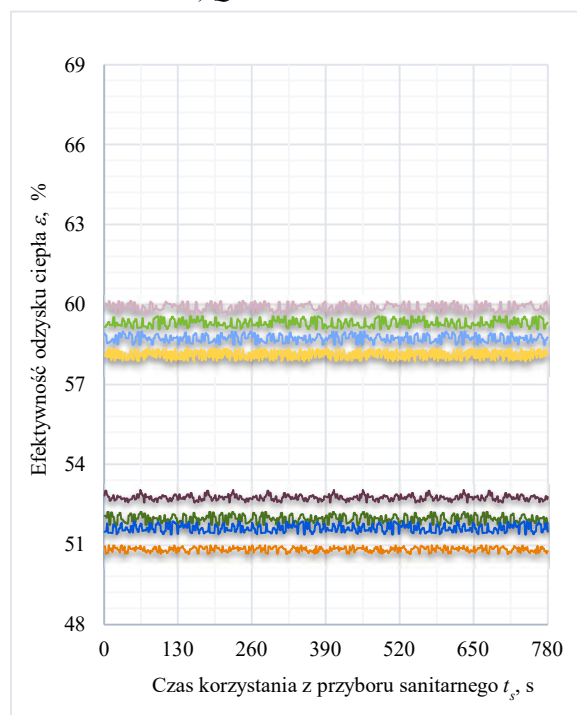
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

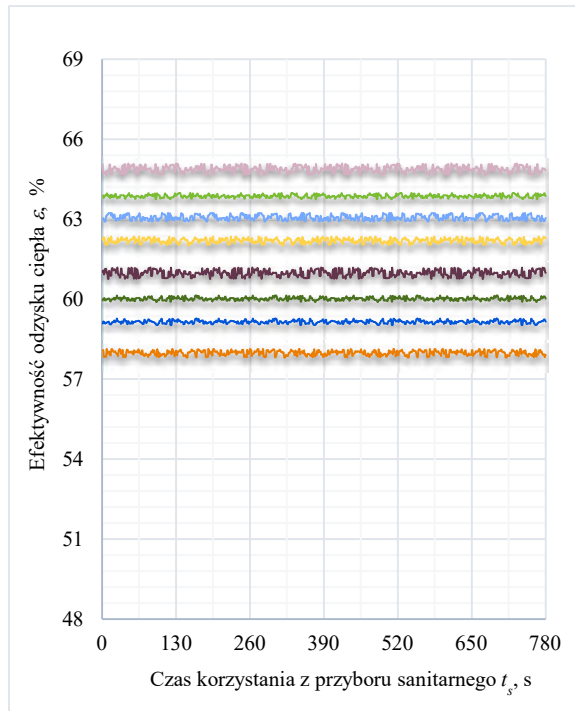
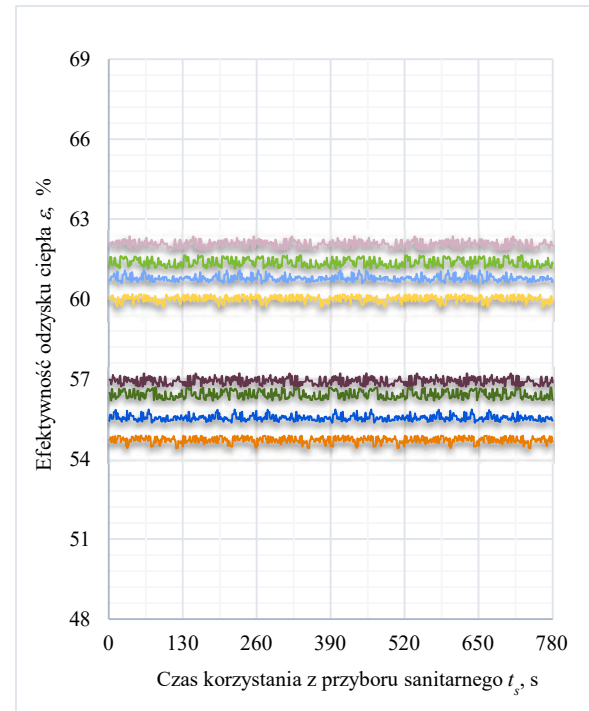
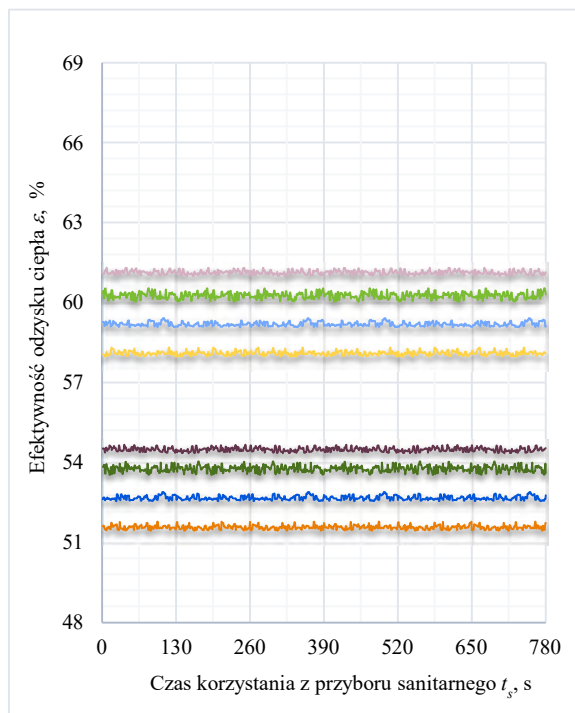
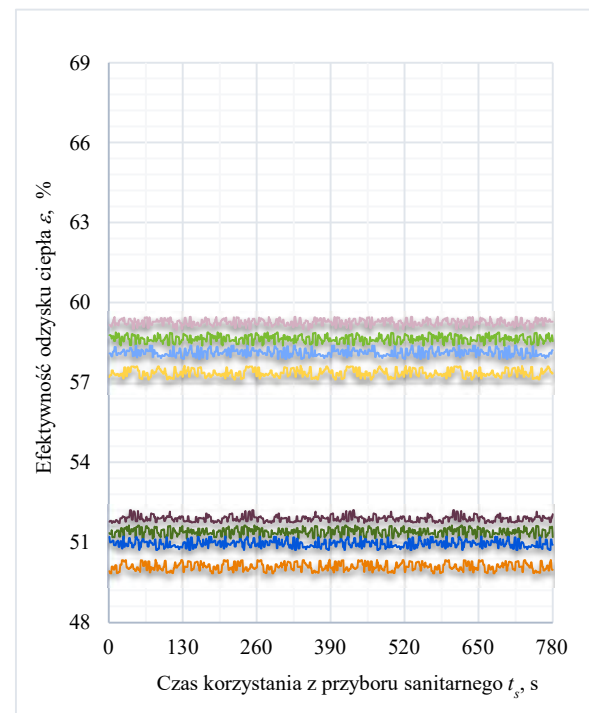


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

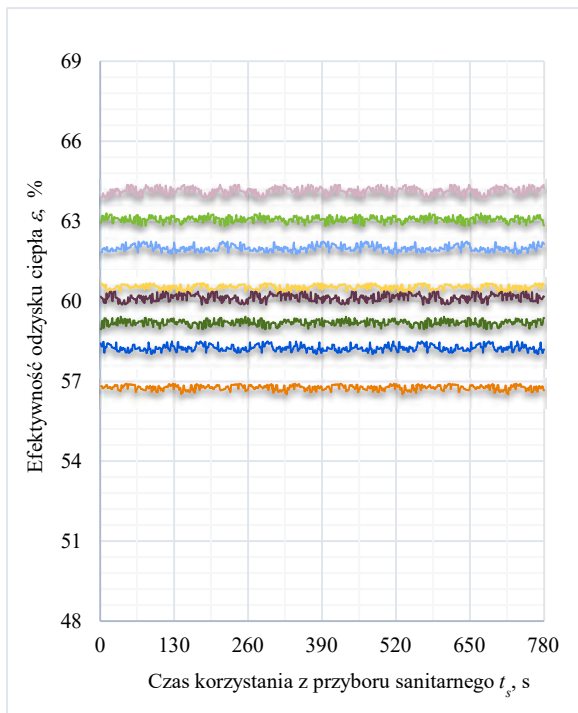
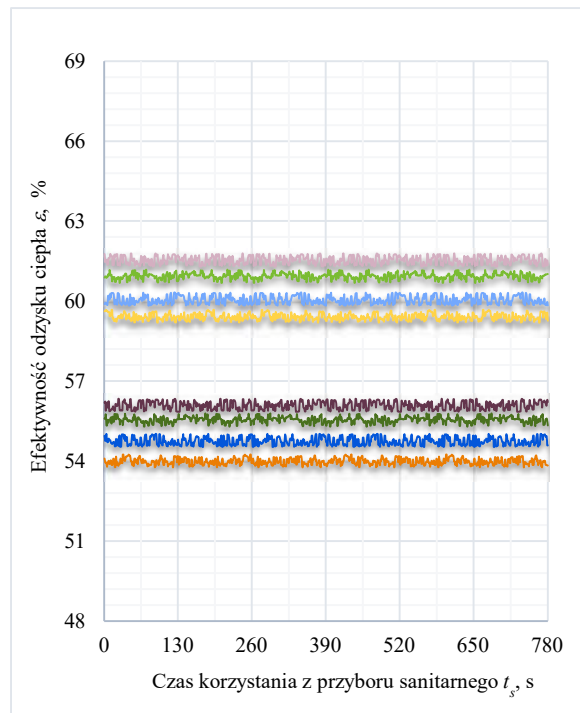
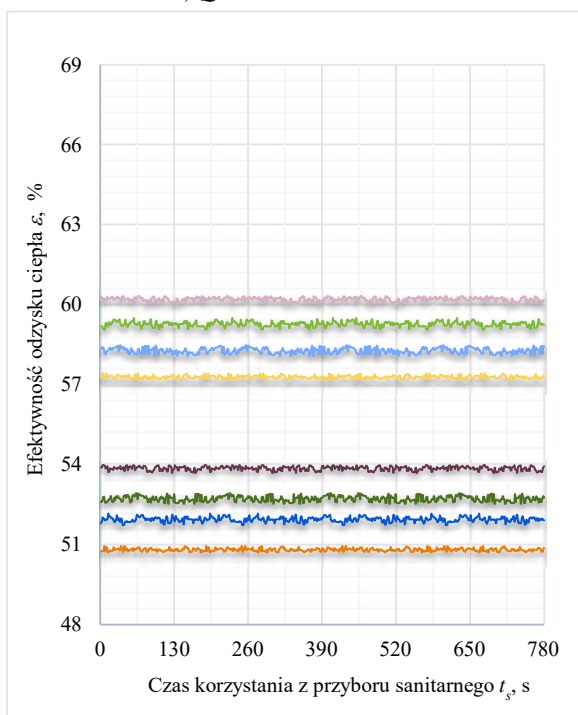
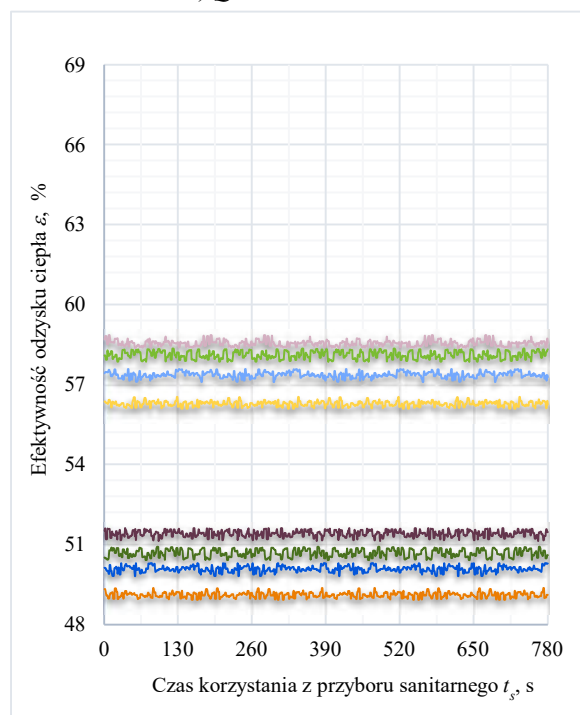
Załącznik. 26. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

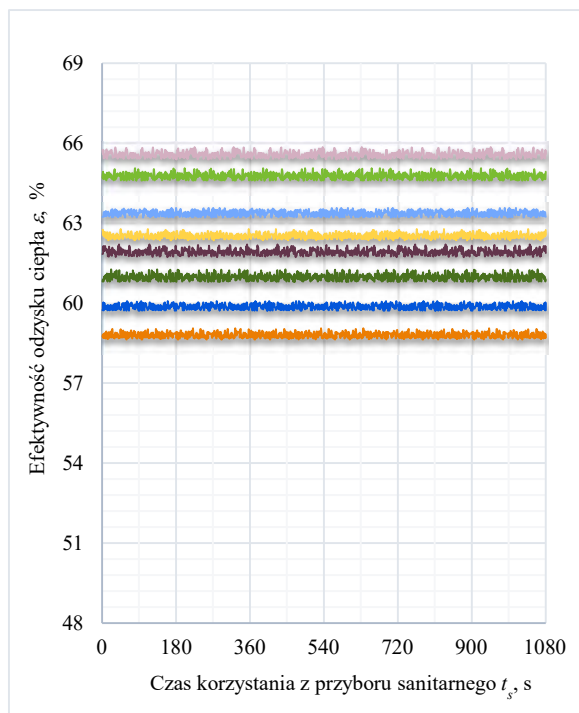
Załącznik. 27. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

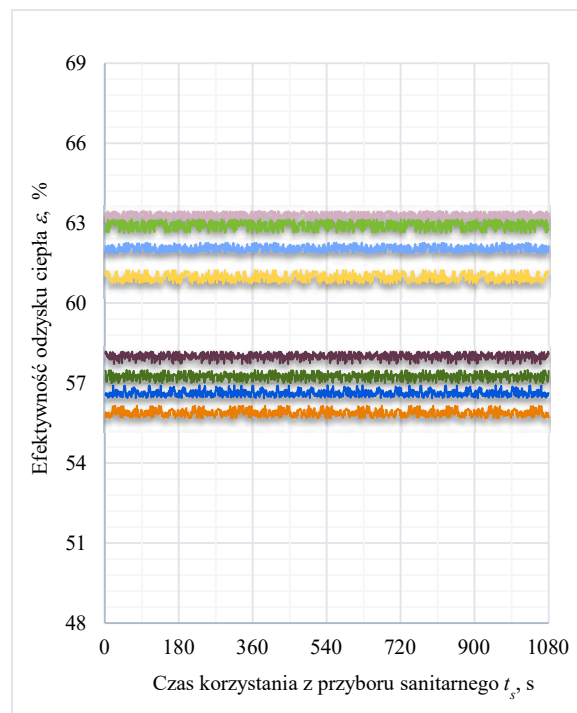
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

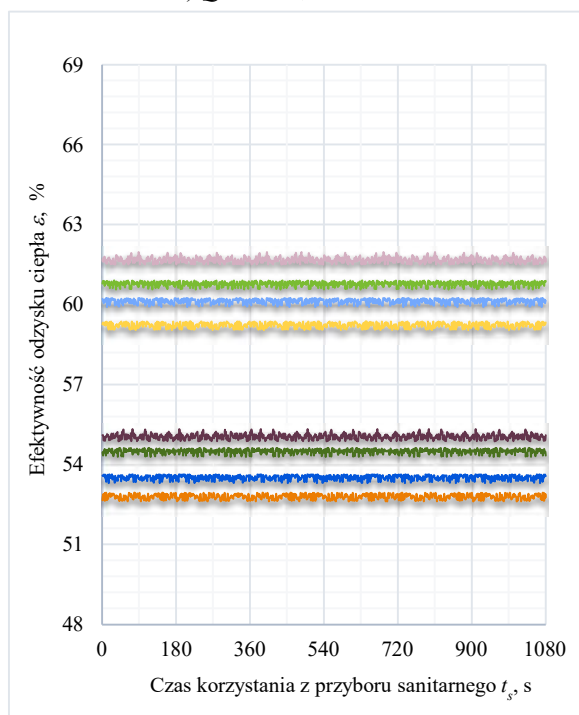
Załącznik. 28. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C



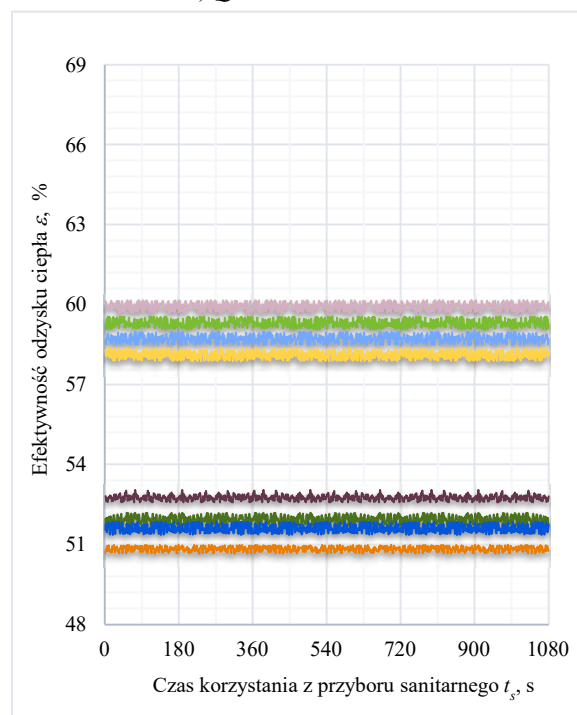
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

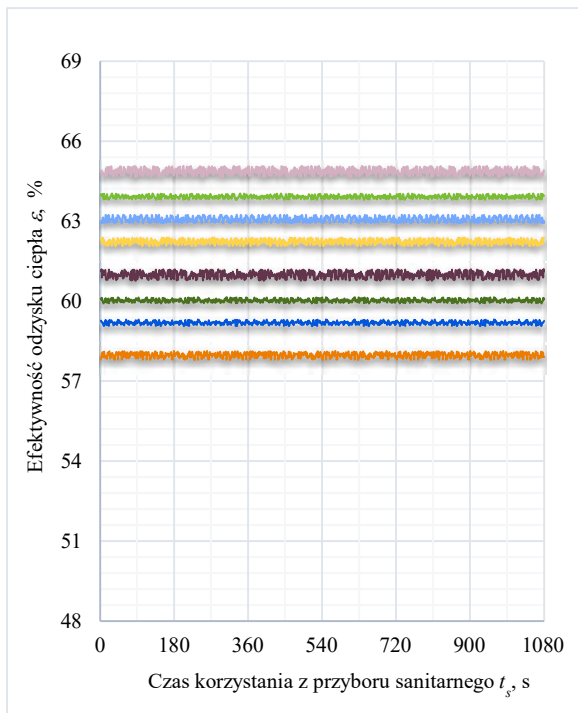
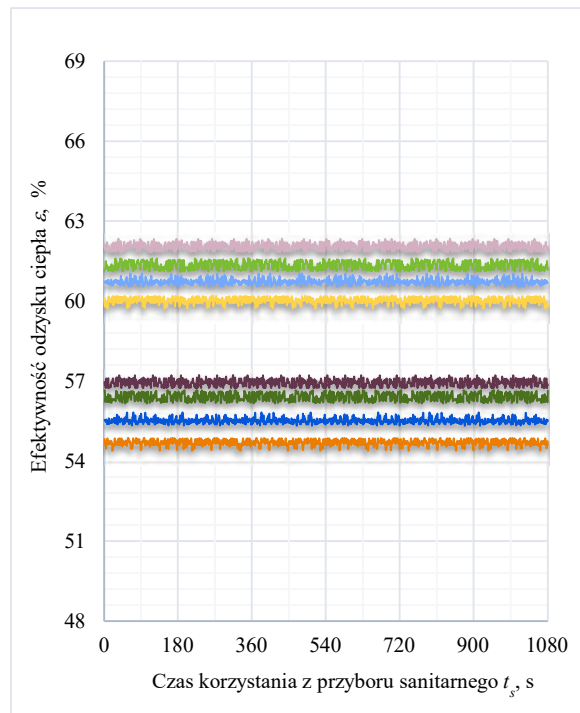
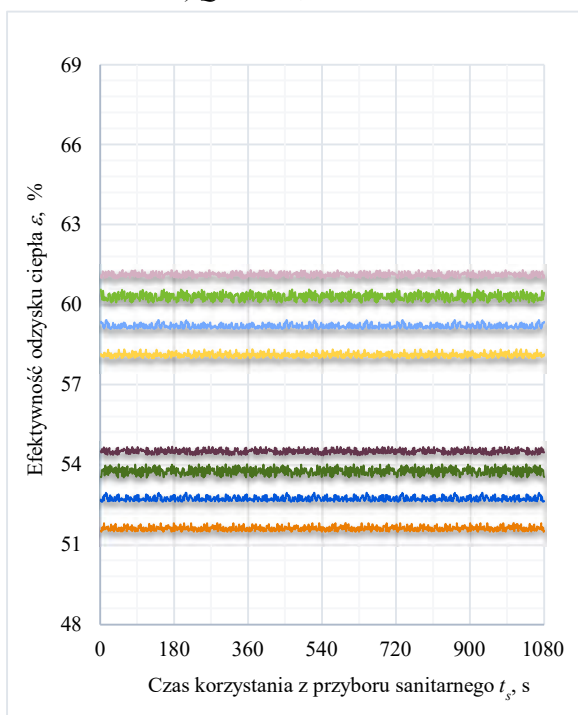
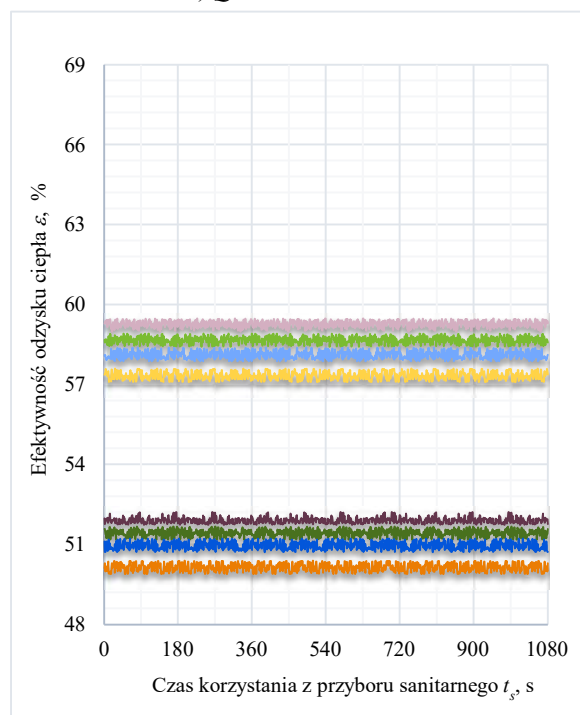


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

- $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
- $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
- $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
- $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

- $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
- $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
- $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
- $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

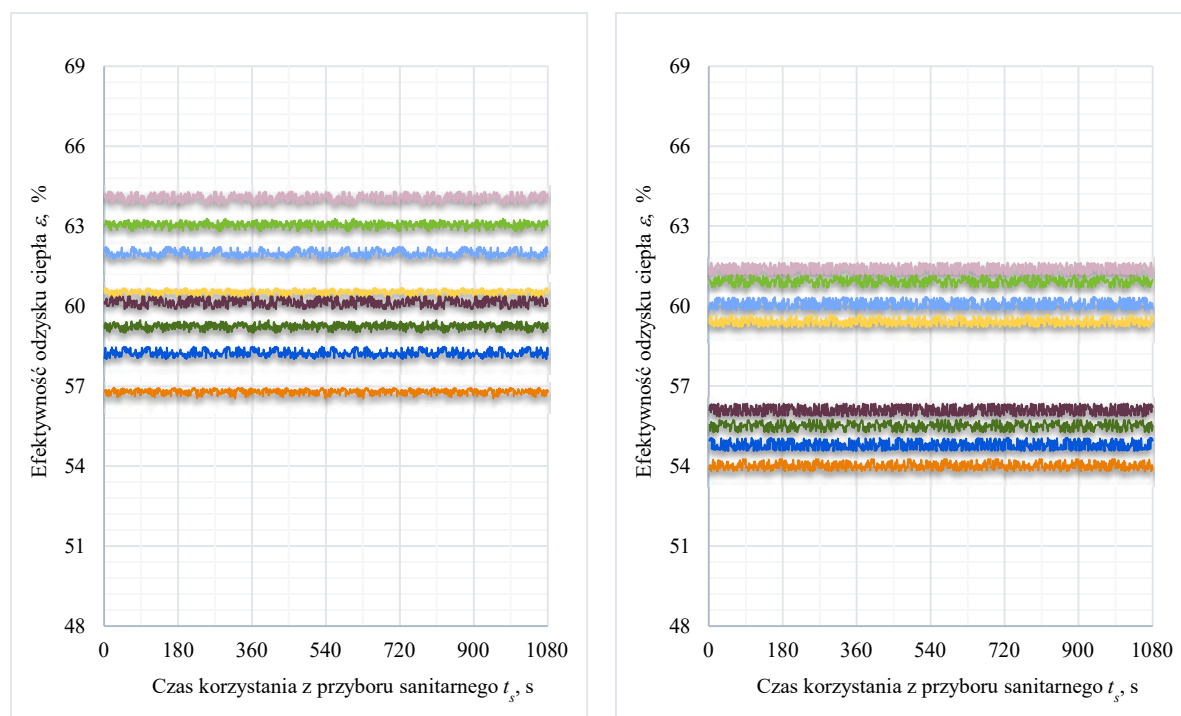
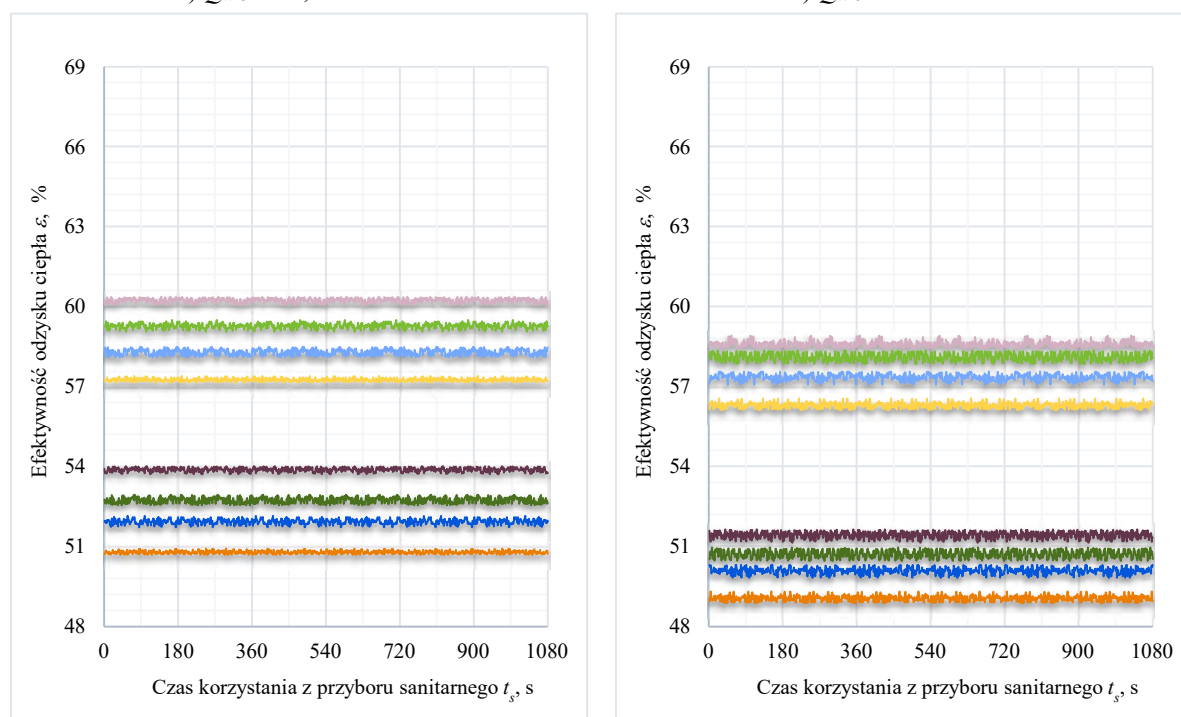
Załącznik. 29. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 30. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji I dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 31. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 3 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP,45}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPP,B}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,24	55,36	7,97	1,45	1,05	2,50	66,81
42,33	55,33	7,97	1,19	1,31	2,50	65,88
38,28	55,37	7,92	0,96	1,54	2,50	64,7
34,35	55,27	7,90	0,79	1,71	2,50	63,67
46,26	55,26	7,52	3,03	1,97	5,00	64,29
42,28	55,36	7,50	2,46	2,54	5,00	63,54
38,37	55,23	7,50	2,02	2,98	5,00	62,9
34,25	55,29	7,60	1,62	3,38	5,00	62,04
46,64	54,90	8,19	4,78	2,72	7,50	62,23
42,37	55,16	7,95	3,81	3,69	7,50	61,62
38,07	54,94	7,95	3,09	4,41	7,50	60,9
34,33	54,80	8,02	2,54	4,96	7,50	60,09
46,25	55,24	7,88	6,28	3,72	10,00	60,58
42,25	55,24	7,75	5,15	4,85	10,00	59,98
38,25	55,27	7,71	4,22	5,78	10,00	59,39
34,23	55,29	7,93	3,41	6,59	10,00	58,64
46,24	55,36	11,97	1,41	1,09	2,50	65,59
42,33	55,33	11,95	1,13	1,37	2,50	64,78
38,28	55,37	11,92	0,90	1,60	2,50	63,42
34,35	55,27	11,90	0,72	1,78	2,50	62,55
46,36	55,33	12,00	2,92	2,08	5,00	63,29
42,39	55,25	11,55	2,35	2,65	5,00	62,92
38,37	55,23	12,00	1,86	3,14	5,00	61,83
34,25	55,25	12,03	1,46	3,54	5,00	60,97

cd. Załącznik. 31.

46,45	54,26	11,95	4,72	2,78	7,50	61,68
42,37	55,14	11,90	3,62	3,88	7,50	60,81
38,11	55,16	12,03	2,84	4,66	7,50	60,12
34,67	55,43	11,92	2,32	5,18	7,50	59,19
46,25	55,21	12,06	6,04	3,96	10,00	59,93
42,24	55,26	12,01	4,86	5,14	10,00	59,29
38,29	55,24	11,96	3,90	6,10	10,00	58,75
34,26	55,24	11,94	3,08	6,92	10,00	58,15
46,46	55,43	14,50	1,39	1,11	2,50	64,91
42,22	55,26	14,47	1,09	1,41	2,50	63,88
38,23	55,54	14,41	0,84	1,66	2,50	63,08
34,24	55,43	14,40	0,65	1,85	2,50	62,24
46,25	55,26	16,07	2,80	2,20	5,00	62,39
42,25	55,24	16,01	2,19	2,81	5,00	61,71
38,24	55,25	15,58	1,72	3,28	5,00	60,73
34,25	55,22	15,54	1,31	3,69	5,00	60,01
46,41	55,58	15,51	4,26	3,24	7,50	61,12
42,30	55,47	16,01	3,32	4,18	7,50	60,3
38,11	55,67	16,05	2,54	4,96	7,50	59,1
33,98	55,18	15,92	1,97	5,53	7,50	58,28
46,29	55,24	16,03	5,79	4,21	10,00	59,31
42,27	55,23	15,96	4,56	5,44	10,00	58,64
38,26	55,23	15,95	3,55	6,45	10,00	58,1
34,27	55,26	15,90	2,72	7,28	10,00	57,32
45,45	55,35	20,01	1,20	1,30	2,50	63,67
42,29	55,16	19,95	0,98	1,52	2,50	63,08
38,45	55,35	19,90	0,74	1,76	2,50	61,97
34,26	55,34	19,80	0,53	1,97	2,50	61,13
46,23	55,25	19,93	2,64	2,36	5,00	61,54
42,25	55,26	19,90	2,01	2,99	5,00	60,94

cd. Załącznik. 31.

38,05	55,24	19,87	1,49	3,51	5,00	60,03
34,25	55,27	19,97	1,08	3,92	5,00	59,39
46,58	55,15	19,55	4,17	3,33	7,50	60,22
42,30	55,28	19,50	3,13	4,37	7,50	59,29
38,38	55,32	19,64	2,37	5,13	7,50	58,44
34,16	55,45	19,70	1,69	5,81	7,50	57,61
46,24	55,23	20,03	5,47	4,53	10,00	58,58
42,23	55,25	19,98	4,18	5,82	10,00	58,07
38,47	55,26	19,96	3,20	6,80	10,00	57,39
34,24	55,25	20,10	2,28	7,72	10,00	56,29

Załącznik. 32. Wartości średkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 3 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPPz}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPPB}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,28	55,25	8,09	1,53	0,97	2,50	63,13
42,26	55,28	8,09	1,25	1,25	2,50	62,00
38,28	55,27	8,02	1,03	1,47	2,50	60,98
34,25	55,26	7,97	0,84	1,66	2,50	59,74
46,25	55,29	8,13	3,17	1,83	5,00	59,03
42,23	55,23	8,09	2,62	2,38	5,00	58,11
38,26	55,25	7,96	2,16	2,84	5,00	57,43
34,28	55,28	7,90	1,76	3,24	5,00	56,71
46,25	55,25	8,01	4,90	2,60	7,50	55,62
42,26	55,24	7,87	4,07	3,43	7,50	55,05
38,26	55,27	7,85	3,37	4,13	7,50	54,44
34,27	55,24	7,85	2,77	4,73	7,50	53,58
46,25	55,27	7,87	6,65	3,35	10,00	53,40
42,22	55,29	7,87	5,55	4,45	10,00	52,74
38,23	55,24	7,72	4,62	5,38	10,00	52,10
34,26	55,23	7,64	3,81	6,19	10,00	51,40
46,27	55,25	12,10	1,48	1,02	2,50	61,93
42,24	55,28	12,10	1,19	1,31	2,50	60,96
38,24	55,24	12,01	0,96	1,54	2,50	59,90
34,25	55,28	11,94	0,76	1,74	2,50	58,82
46,25	55,27	11,95	3,08	1,92	5,00	58,00
42,26	55,24	11,95	2,50	2,50	5,00	57,31
38,25	55,27	11,82	2,02	2,98	5,00	56,61
34,30	55,25	11,80	1,60	3,40	5,00	55,86

cd. Załącznik. 32.

46,27	55,23	12,11	4,73	2,77	7,50	55,06
42,26	55,24	12,06	3,85	3,65	7,50	54,49
38,25	55,24	12,05	3,13	4,37	7,50	53,57
34,29	55,22	11,98	2,51	4,99	7,50	52,81
46,23	55,27	11,85	6,43	3,57	10,00	52,77
42,23	55,24	11,81	5,29	4,71	10,00	51,97
38,25	55,24	11,76	4,30	5,70	10,00	51,58
34,26	55,29	11,71	3,45	6,55	10,00	50,86
46,24	55,26	15,40	1,43	1,07	2,50	61,00
42,25	55,28	15,63	1,12	1,38	2,50	60,05
38,24	55,24	15,60	0,88	1,62	2,50	59,17
34,26	55,21	15,54	0,68	1,82	2,50	58,02
46,24	55,27	15,51	2,97	2,03	5,00	56,94
42,28	55,28	15,45	2,37	2,63	5,00	56,40
38,23	55,26	15,45	1,87	3,13	5,00	55,52
34,24	55,27	15,40	1,44	3,56	5,00	54,72
46,23	55,25	15,51	4,56	2,94	7,50	54,52
42,22	55,28	15,50	3,65	3,85	7,50	53,77
38,24	55,25	15,40	2,91	4,59	7,50	52,68
34,25	55,26	15,36	2,28	5,22	7,50	51,58
46,24	55,21	16,05	6,18	3,82	10,00	51,93
42,22	55,25	15,99	4,94	5,06	10,00	51,42
38,22	55,24	15,95	3,91	6,09	10,00	50,95
34,26	55,29	15,89	3,04	6,96	10,00	50,11
46,26	55,25	19,95	1,34	1,16	2,50	60,13
42,21	55,25	19,91	1,03	1,47	2,50	59,22
38,24	55,22	19,85	0,78	1,72	2,50	58,24
34,27	55,25	19,77	0,57	1,93	2,50	56,80
46,22	55,27	20,10	2,80	2,20	5,00	56,09
42,25	55,26	20,03	2,16	2,84	5,00	55,54

cd. Załącznik. 32.

38,28	55,24	19,87	1,65	3,35	5,00	54,75
34,26	55,26	19,91	1,20	3,80	5,00	53,99
46,26	55,27	19,87	4,31	3,19	7,50	53,88
42,24	55,23	19,81	3,37	4,13	7,50	52,70
38,25	55,25	19,76	2,57	4,93	7,50	51,93
34,27	55,26	19,75	1,90	5,60	7,50	50,81
46,26	55,28	19,78	5,88	4,12	10,00	51,45
42,24	55,27	19,74	4,60	5,40	10,00	50,69
38,25	55,26	19,70	3,53	6,47	10,00	50,09
34,23	55,25	19,65	2,61	7,39	10,00	49,09

Załącznik. 33. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 8 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP,45}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPP,B}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,28	55,21	7,98	1,47	1,03	2,50	66,82
42,32	55,11	7,99	1,20	1,30	2,50	65,87
38,30	55,45	7,94	0,96	1,54	2,50	64,7
34,16	55,26	7,89	0,78	1,72	2,50	63,63
46,32	55,28	7,55	3,04	1,96	5,00	64,3
42,17	55,42	7,48	2,45	2,55	5,00	63,52
38,16	55,30	7,52	2,00	3,00	5,00	62,84
34,25	55,18	7,59	1,62	3,38	5,00	62,05
46,47	55,07	8,16	4,71	2,79	7,50	62,2
42,28	55,25	7,96	3,78	3,72	7,50	61,59
38,18	55,03	7,94	3,10	4,40	7,50	60,93
34,22	55,01	8,02	2,50	5,00	7,50	60,06
46,30	55,32	7,88	6,27	3,73	10,00	60,59
42,31	55,34	7,74	5,14	4,86	10,00	60
38,19	55,20	7,69	4,21	5,79	10,00	59,39
34,24	55,20	7,93	3,41	6,59	10,00	58,64
46,30	55,35	11,98	1,41	1,09	2,50	65,6
42,09	55,29	11,95	1,12	1,38	2,50	64,72
38,21	55,13	11,90	0,90	1,60	2,50	63,41
34,32	55,37	11,92	0,72	1,78	2,50	62,54
46,46	55,30	11,97	2,94	2,06	5,00	63,32
42,45	55,19	11,57	2,38	2,62	5,00	62,93

cd. Załącznik. 33.

38,43	55,08	12,01	1,89	3,11	5,00	61,83
34,15	55,27	12,01	1,46	3,54	5,00	60,95
46,38	54,64	11,93	4,61	2,89	7,50	61,67
42,21	55,47	11,87	3,54	3,96	7,50	60,78
38,12	55,08	12,00	2,86	4,64	7,50	60,13
34,71	55,42	11,89	2,32	5,18	7,50	59,21
46,11	55,12	12,09	6,03	3,97	10,00	59,89
42,23	55,27	12,00	4,87	5,13	10,00	59,29
38,26	55,30	11,95	3,90	6,10	10,00	58,75
34,30	55,32	11,96	3,09	6,91	10,00	58,15
46,43	55,31	14,48	1,40	1,10	2,50	64,91
42,30	55,19	14,46	1,10	1,40	2,50	63,9
38,17	55,31	14,41	0,84	1,66	2,50	63,07
34,09	55,27	14,41	0,66	1,84	2,50	62,2
46,32	55,15	16,04	2,83	2,17	5,00	62,43
42,23	55,33	15,99	2,18	2,82	5,00	61,66
38,31	55,22	15,55	1,73	3,27	5,00	60,75
34,23	55,26	15,51	1,32	3,68	5,00	60,01
46,41	55,36	15,50	4,30	3,20	7,50	61,12
42,33	55,38	15,99	3,34	4,16	7,50	60,31
38,31	55,82	16,04	2,56	4,94	7,50	59,15
34,01	55,09	15,91	1,98	5,52	7,50	58,22
46,32	55,30	16,03	5,79	4,21	10,00	59,32
42,21	55,20	15,96	4,55	5,45	10,00	58,63
38,25	55,23	15,97	3,55	6,45	10,00	58,09
34,27	55,25	15,87	2,72	7,28	10,00	57,33
45,66	55,31	20,00	1,22	1,28	2,50	63,67
42,33	55,14	19,96	0,97	1,53	2,50	63,09
38,44	55,45	19,93	0,73	1,77	2,50	61,96
34,24	55,39	19,78	0,54	1,96	2,50	61,13

cd. Załącznik. 33.

46,25	55,24	19,92	2,66	2,34	5,00	61,55
42,26	55,34	19,92	2,01	2,99	5,00	60,94
38,32	55,15	19,88	1,52	3,48	5,00	60,09
34,11	55,36	19,99	1,06	3,94	5,00	59,35
46,41	55,45	19,53	4,06	3,44	7,50	60,18
42,30	55,34	19,51	3,11	4,39	7,50	59,29
38,48	55,09	19,66	2,40	5,10	7,50	58,44
34,05	55,32	19,68	1,67	5,83	7,50	57,69
46,19	55,13	20,00	5,49	4,51	10,00	58,58
42,17	55,31	19,97	4,14	5,86	10,00	58,06
38,40	55,19	19,97	3,19	6,81	10,00	57,37
34,12	55,29	20,11	2,25	7,75	10,00	56,26

Załącznik. 34. Wartości średkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 8 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPPz}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPPB}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,25	55,33	8,11	1,53	0,97	2,50	63,12
42,22	55,23	8,07	1,25	1,25	2,50	62,00
38,30	55,31	8,05	1,03	1,47	2,50	60,98
34,12	55,30	7,97	0,82	1,68	2,50	59,71
46,17	55,23	8,15	3,16	1,84	5,00	59,01
42,31	55,12	8,11	2,63	2,37	5,00	58,12
38,19	55,23	7,96	2,15	2,85	5,00	57,41
34,34	55,26	7,87	1,77	3,23	5,00	56,73
46,25	55,11	8,01	4,94	2,56	7,50	55,62
42,33	55,28	7,90	4,09	3,41	7,50	55,06
38,35	55,26	7,87	3,37	4,13	7,50	54,46
34,25	55,16	7,85	2,77	4,73	7,50	53,58
46,19	55,12	7,85	6,66	3,34	10,00	53,39
42,12	55,35	7,89	5,51	4,49	10,00	52,71
38,20	55,29	7,72	4,60	5,40	10,00	52,09
34,33	55,19	7,63	3,83	6,17	10,00	51,42
46,34	55,13	12,11	1,49	1,01	2,50	61,94
42,13	55,18	12,11	1,18	1,32	2,50	60,93
38,24	55,20	12,00	0,96	1,54	2,50	59,90
34,23	55,18	11,92	0,76	1,74	2,50	58,82
46,25	55,34	11,92	3,06	1,94	5,00	58,01
42,30	55,25	11,97	2,50	2,50	5,00	57,31
38,35	55,18	11,81	2,03	2,97	5,00	56,64
34,18	55,15	11,82	1,60	3,40	5,00	55,82

cd. Załącznik. 34.

46,24	55,32	12,13	4,70	2,80	7,50	55,05
42,36	55,12	12,03	3,89	3,61	7,50	54,52
38,21	55,28	12,07	3,13	4,37	7,50	53,56
34,25	55,21	11,97	2,50	5,00	7,50	52,80
46,17	55,13	11,83	6,43	3,57	10,00	52,76
42,28	55,21	11,82	5,30	4,70	10,00	51,98
38,32	55,18	11,75	4,33	5,67	10,00	51,60
34,25	55,28	11,68	3,46	6,54	10,00	50,86
46,14	55,26	15,40	1,42	1,08	2,50	60,97
42,11	55,28	15,62	1,11	1,39	2,50	60,02
38,24	55,26	15,58	0,88	1,62	2,50	59,17
34,22	55,13	15,53	0,69	1,81	2,50	58,01
46,17	55,14	15,54	2,98	2,02	5,00	56,92
42,22	55,17	15,42	2,38	2,62	5,00	56,39
38,19	55,29	15,43	1,87	3,13	5,00	55,51
34,29	55,24	15,38	1,46	3,54	5,00	54,74
46,23	55,16	15,51	4,58	2,92	7,50	54,52
42,29	55,26	15,48	3,66	3,84	7,50	53,79
38,30	55,10	15,41	2,95	4,55	7,50	52,69
34,28	55,22	15,35	2,28	5,22	7,50	51,59
46,29	55,26	16,07	6,18	3,82	10,00	51,94
42,26	55,17	16,01	4,96	5,04	10,00	51,42
38,10	55,12	15,94	3,91	6,09	10,00	50,92
34,25	55,30	15,86	3,04	6,96	10,00	50,11
46,19	55,32	19,93	1,34	1,16	2,50	60,12
42,24	55,21	19,93	1,04	1,46	2,50	59,22
38,32	55,22	19,87	0,79	1,71	2,50	58,26
34,35	55,30	19,78	0,59	1,91	2,50	56,82
46,31	55,36	20,11	2,79	2,21	5,00	56,11
42,20	55,26	20,01	2,15	2,85	5,00	55,53

cd. Załącznik. 34.

38,19	55,11	19,86	1,65	3,35	5,00	54,73
34,13	55,28	19,91	1,17	3,83	5,00	53,96
46,22	55,19	19,90	4,31	3,19	7,50	53,86
42,09	55,15	19,83	3,36	4,14	7,50	52,66
38,10	55,22	19,74	2,56	4,94	7,50	51,90
34,12	55,17	19,75	1,88	5,62	7,50	50,77
46,21	55,38	19,79	5,83	4,17	10,00	51,43
42,33	55,16	19,74	4,64	5,36	10,00	50,71
38,13	55,16	19,68	3,52	6,48	10,00	50,07
34,12	55,33	19,66	2,59	7,41	10,00	49,06

Załącznik. 35. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 13 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP,45}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPP,B}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,12	55,43	7,96	1,44	1,06	2,50	66,78
42,39	55,40	7,99	1,19	1,31	2,50	65,89
38,36	55,33	7,95	0,97	1,53	2,50	64,71
34,35	55,23	7,90	0,79	1,71	2,50	63,67
46,27	55,20	7,54	3,04	1,96	5,00	64,29
42,34	55,13	7,49	2,49	2,51	5,00	63,56
38,38	55,32	7,54	2,01	2,99	5,00	62,89
34,11	55,18	7,57	1,61	3,39	5,00	62
46,50	55,10	8,14	4,70	2,80	7,50	62,21
42,25	55,03	7,96	3,80	3,70	7,50	61,59
38,10	55,16	7,92	3,06	4,44	7,50	60,91
34,31	54,85	8,00	2,54	4,96	7,50	60,09
46,25	55,34	7,91	6,25	3,75	10,00	60,57
42,11	55,13	7,74	5,15	4,85	10,00	59,95
38,31	55,23	7,71	4,23	5,77	10,00	59,42
34,22	55,37	7,90	3,40	6,60	10,00	58,64
46,14	55,23	11,98	1,40	1,10	2,50	65,56
42,47	55,10	11,97	1,15	1,35	2,50	64,81
38,17	55,30	11,89	0,89	1,61	2,50	63,4
34,22	55,23	11,93	0,70	1,80	2,50	62,51
46,36	55,10	11,96	2,96	2,04	5,00	63,3
42,38	55,34	11,55	2,35	2,65	5,00	62,92
38,17	55,17	12,04	1,85	3,15	5,00	61,77
34,26	55,18	12,03	1,46	3,54	5,00	60,97

cd. Załącznik. 35.

46,56	54,56	11,95	4,68	2,82	7,50	61,71
42,21	55,16	11,86	3,59	3,91	7,50	60,78
38,37	55,20	11,97	2,88	4,62	7,50	60,2
34,70	55,25	11,91	2,34	5,16	7,50	59,2
46,18	55,10	12,10	6,05	3,95	10,00	59,9
42,20	55,31	12,01	4,83	5,17	10,00	59,28
38,24	55,24	11,96	3,90	6,10	10,00	58,74
34,17	55,11	11,96	3,07	6,93	10,00	58,12
46,28	55,22	14,49	1,38	1,12	2,50	64,87
42,15	55,29	14,43	1,08	1,42	2,50	63,87
38,12	55,56	14,41	0,83	1,67	2,50	63,05
34,13	55,25	14,42	0,66	1,84	2,50	62,21
46,33	55,13	16,07	2,84	2,16	5,00	62,45
42,33	55,23	15,97	2,20	2,80	5,00	61,72
38,26	55,33	15,54	1,72	3,28	5,00	60,75
34,24	55,16	15,48	1,32	3,68	5,00	60,02
46,45	55,36	15,53	4,31	3,19	7,50	61,13
42,17	55,34	16,01	3,30	4,20	7,50	60,27
38,37	55,47	16,02	2,60	4,90	7,50	59,17
34,01	55,28	15,92	1,97	5,53	7,50	58,29
46,15	55,32	16,05	5,72	4,28	10,00	59,27
42,23	55,25	15,93	4,55	5,45	10,00	58,64
38,27	55,08	15,97	3,58	6,42	10,00	58,1
34,34	55,30	15,89	2,72	7,28	10,00	57,34
45,72	55,26	20,02	1,22	1,28	2,50	63,65
42,34	55,07	19,99	0,97	1,53	2,50	63,08
38,54	55,38	19,94	0,74	1,76	2,50	61,98
34,35	55,39	19,80	0,53	1,97	2,50	61,12
46,30	55,22	19,94	2,65	2,35	5,00	61,55
42,32	55,22	19,94	2,03	2,97	5,00	60,95

cd. Załącznik. 35.

38,10	55,23	19,89	1,50	3,50	5,00	60,03
34,31	55,23	20,02	1,09	3,91	5,00	59,39
46,50	55,16	19,52	4,15	3,35	7,50	60,21
42,25	55,35	19,52	3,11	4,39	7,50	59,27
38,23	55,19	19,65	2,35	5,15	7,50	58,47
34,26	55,44	19,66	1,71	5,79	7,50	57,68
46,10	55,23	20,00	5,42	4,58	10,00	58,55
42,31	55,14	19,97	4,22	5,78	10,00	58,09
38,36	55,27	19,97	3,17	6,83	10,00	57,36
34,21	55,28	20,11	2,27	7,73	10,00	56,28

Załącznik. 36. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji I* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 13 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPPz}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPPB}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,36	55,16	8,09	1,55	0,95	2,50	63,15
42,14	55,21	8,09	1,25	1,25	2,50	61,97
38,20	55,16	8,04	1,02	1,48	2,50	60,96
34,20	55,19	7,98	0,84	1,66	2,50	59,72
46,14	55,27	8,12	3,16	1,84	5,00	59,00
42,12	55,27	8,11	2,60	2,40	5,00	58,08
38,24	55,23	7,96	2,17	2,83	5,00	57,42
34,30	55,29	7,89	1,76	3,24	5,00	56,72
46,16	55,29	7,99	4,87	2,63	7,50	55,60
42,13	55,09	7,89	4,07	3,43	7,50	55,01
38,13	55,15	7,88	3,36	4,14	7,50	54,40
34,24	55,15	7,83	2,77	4,73	7,50	53,58
46,29	55,29	7,84	6,65	3,35	10,00	53,42
42,15	55,29	7,89	5,52	4,48	10,00	52,72
38,14	55,09	7,74	4,63	5,37	10,00	52,07
34,20	55,27	7,64	3,80	6,20	10,00	51,38
46,14	55,11	12,13	1,48	1,02	2,50	61,89
42,10	55,34	12,13	1,17	1,33	2,50	60,92
38,12	55,22	12,00	0,95	1,55	2,50	59,87
34,30	55,21	11,94	0,77	1,73	2,50	58,83
46,21	55,14	11,91	3,08	1,92	5,00	58,00
42,16	55,12	11,97	2,50	2,50	5,00	57,28
38,25	55,13	11,83	2,02	2,98	5,00	56,61
34,27	55,17	11,80	1,61	3,39	5,00	55,85

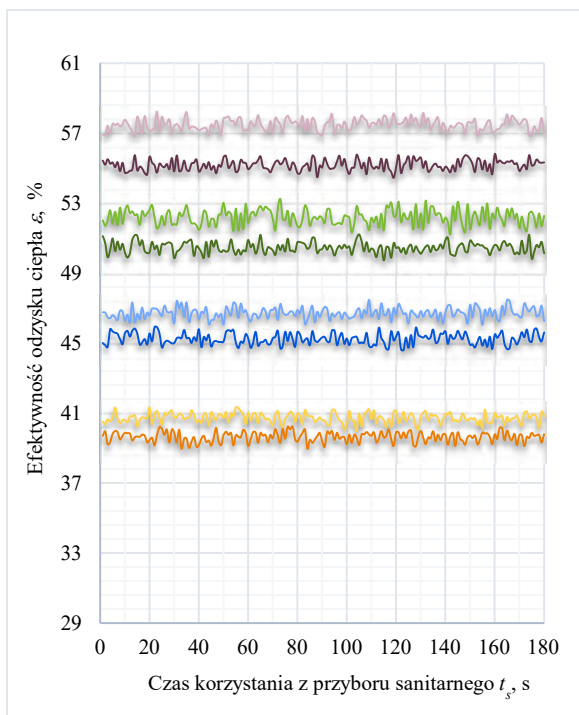
cd. Załącznik. 36.

46,16	55,26	12,11	4,70	2,80	7,50	55,03
42,16	55,16	12,01	3,86	3,64	7,50	54,48
38,16	55,19	12,09	3,12	4,38	7,50	53,54
34,16	55,29	11,98	2,48	5,02	7,50	52,78
46,16	55,36	11,83	6,37	3,63	10,00	52,76
42,29	55,14	11,83	5,33	4,67	10,00	51,98
38,31	55,14	11,75	4,34	5,66	10,00	51,60
34,15	55,33	11,70	3,42	6,58	10,00	50,83
46,15	55,23	15,43	1,43	1,07	2,50	60,97
42,14	55,36	15,63	1,10	1,40	2,50	60,02
38,14	55,31	15,56	0,88	1,62	2,50	59,15
34,18	55,13	15,53	0,69	1,81	2,50	58,00
46,22	55,22	15,51	2,98	2,02	5,00	56,93
42,19	55,33	15,42	2,36	2,64	5,00	56,39
38,22	55,33	15,43	1,87	3,13	5,00	55,52
34,19	55,37	15,36	1,43	3,57	5,00	54,72
46,12	55,15	15,54	4,55	2,95	7,50	54,49
42,26	55,35	15,49	3,65	3,85	7,50	53,78
38,11	55,31	15,41	2,89	4,61	7,50	52,65
34,19	55,30	15,38	2,27	5,23	7,50	51,56
46,13	55,26	16,07	6,13	3,87	10,00	51,90
42,20	55,15	16,03	4,96	5,04	10,00	51,40
38,17	55,28	15,93	3,90	6,10	10,00	50,94
34,13	55,20	15,87	3,03	6,97	10,00	50,08
46,30	55,33	19,96	1,35	1,15	2,50	60,14
42,13	55,13	19,90	1,03	1,47	2,50	59,20
38,23	55,21	19,87	0,78	1,72	2,50	58,23
34,22	55,12	19,79	0,58	1,92	2,50	56,78
46,24	55,35	20,09	2,79	2,21	5,00	56,10
42,32	55,25	20,03	2,18	2,82	5,00	55,56

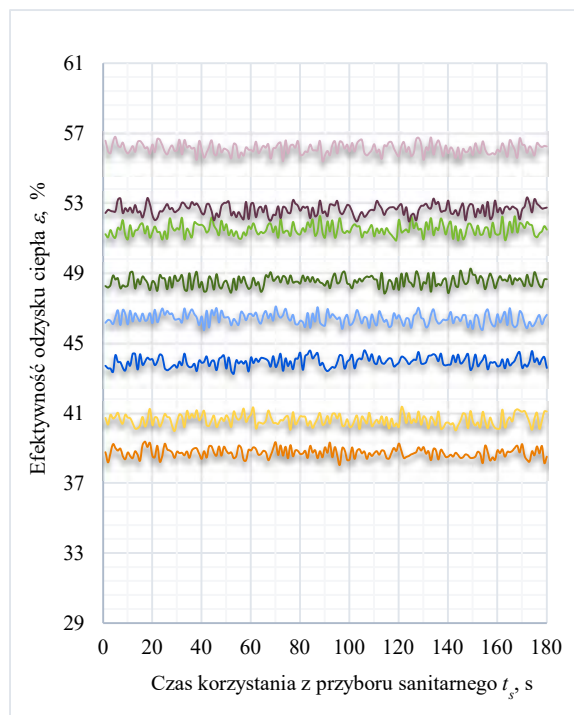
cd. Załącznik. 36.

38,17	55,32	19,89	1,63	3,37	5,00	54,72
34,16	55,33	19,92	1,18	3,82	5,00	53,96
46,20	55,15	19,87	4,32	3,18	7,50	53,86
42,25	55,19	19,80	3,38	4,12	7,50	52,71
38,25	55,18	19,73	2,59	4,91	7,50	51,94
34,25	55,21	19,77	1,90	5,60	7,50	50,80
46,16	55,18	19,80	5,86	4,14	10,00	51,42
42,10	55,31	19,73	4,55	5,45	10,00	50,66
38,21	55,16	19,70	3,53	6,47	10,00	50,08
34,31	55,24	19,67	2,62	7,38	10,00	49,11

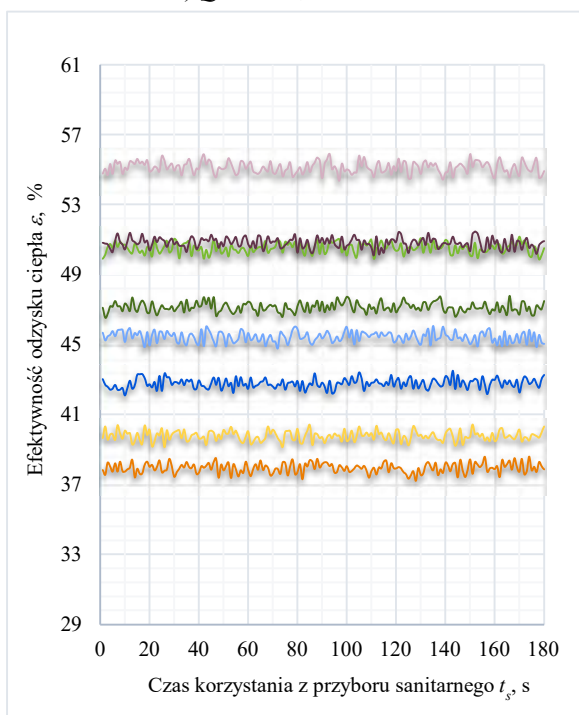
Załącznik. 37. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C



a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

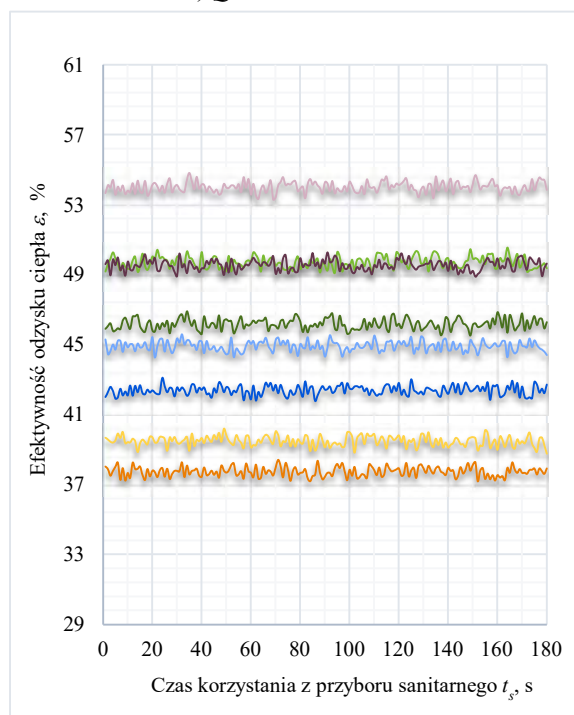


b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

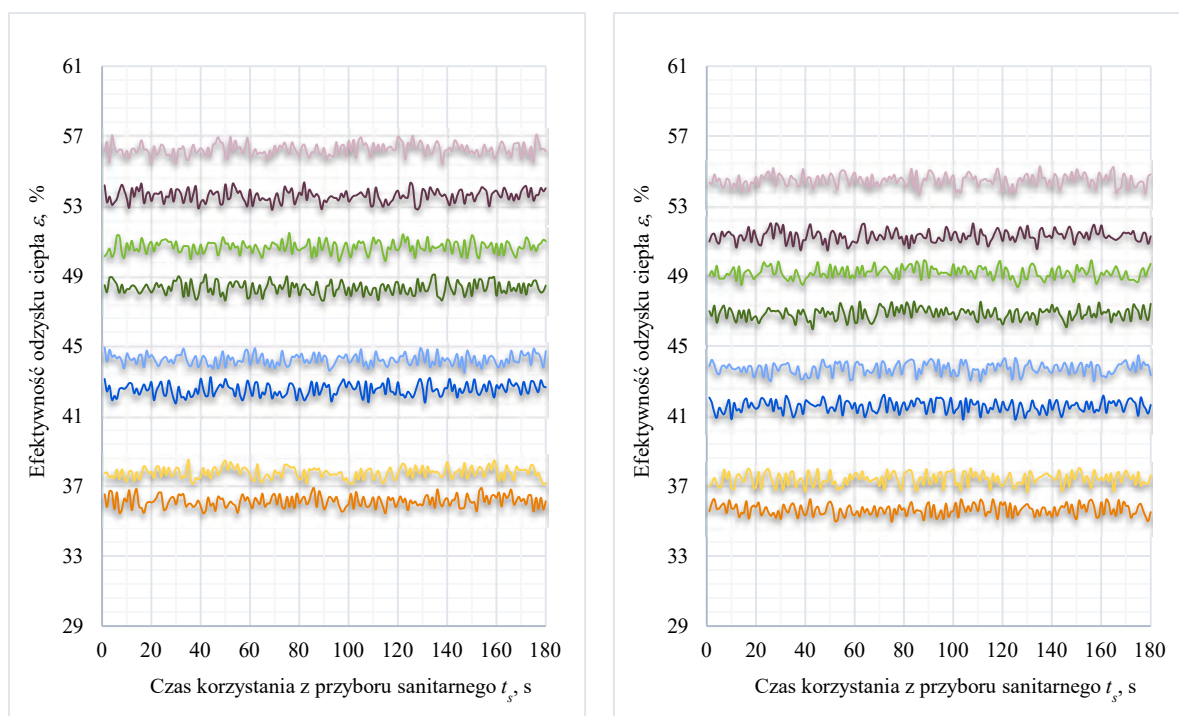
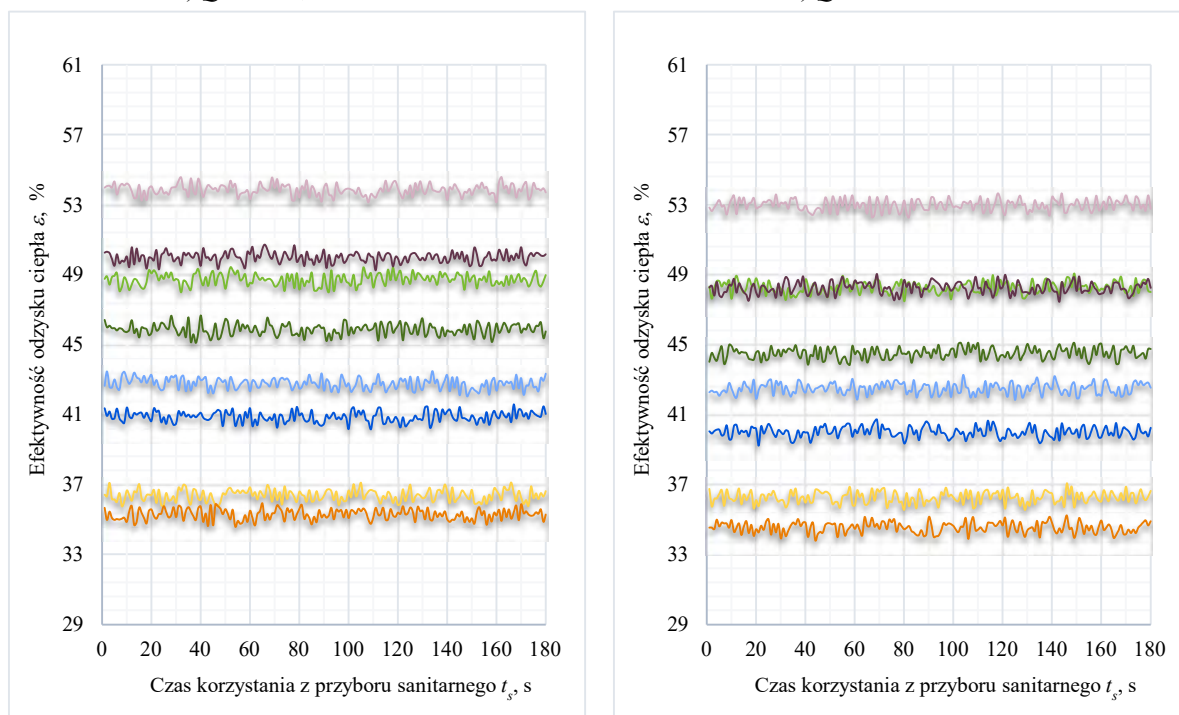
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)



d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

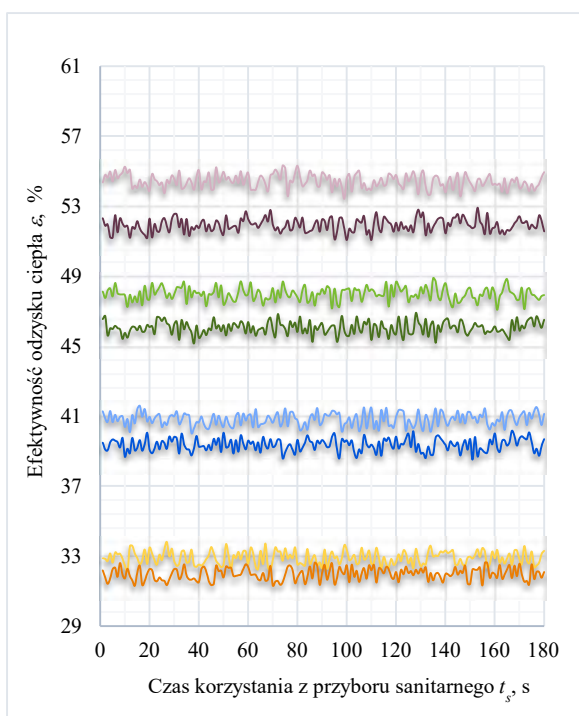
Załącznik. 38. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

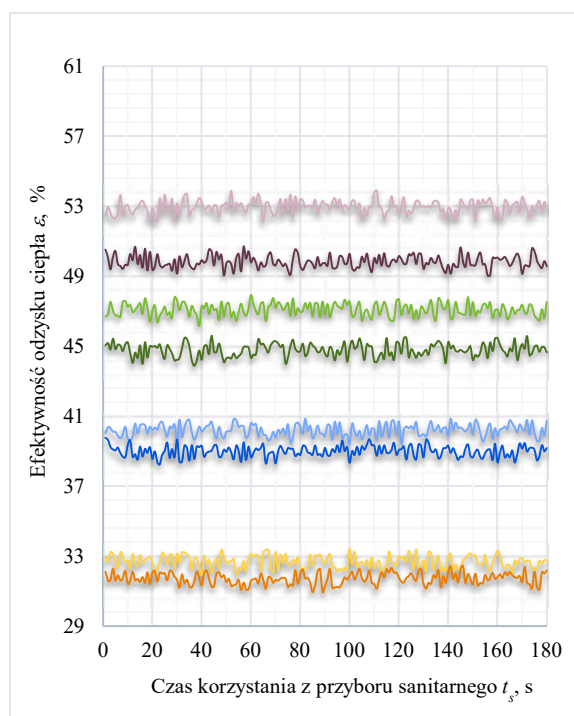
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

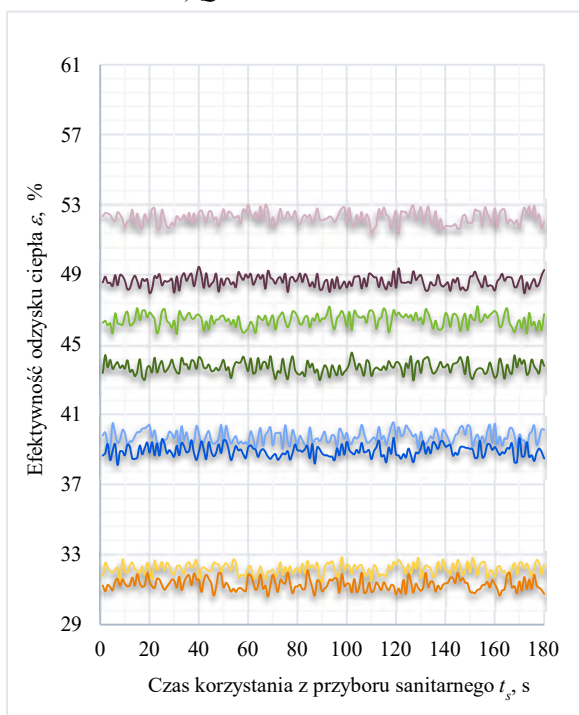
Załącznik. 39. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C



a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

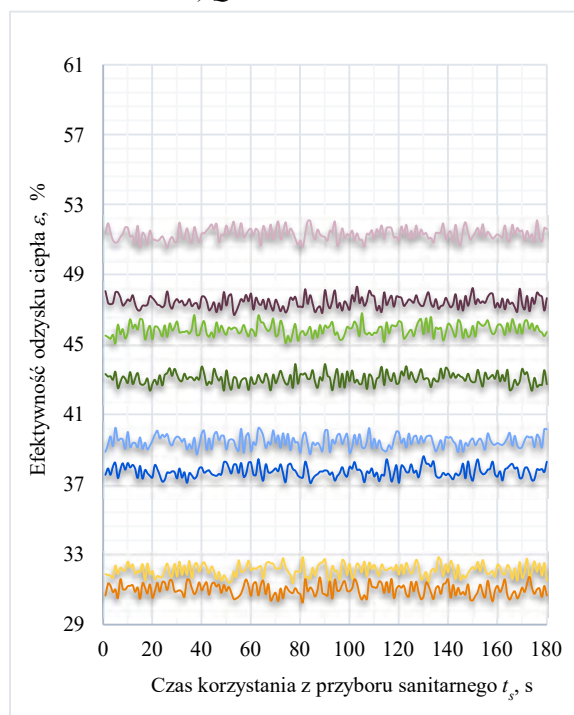


b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

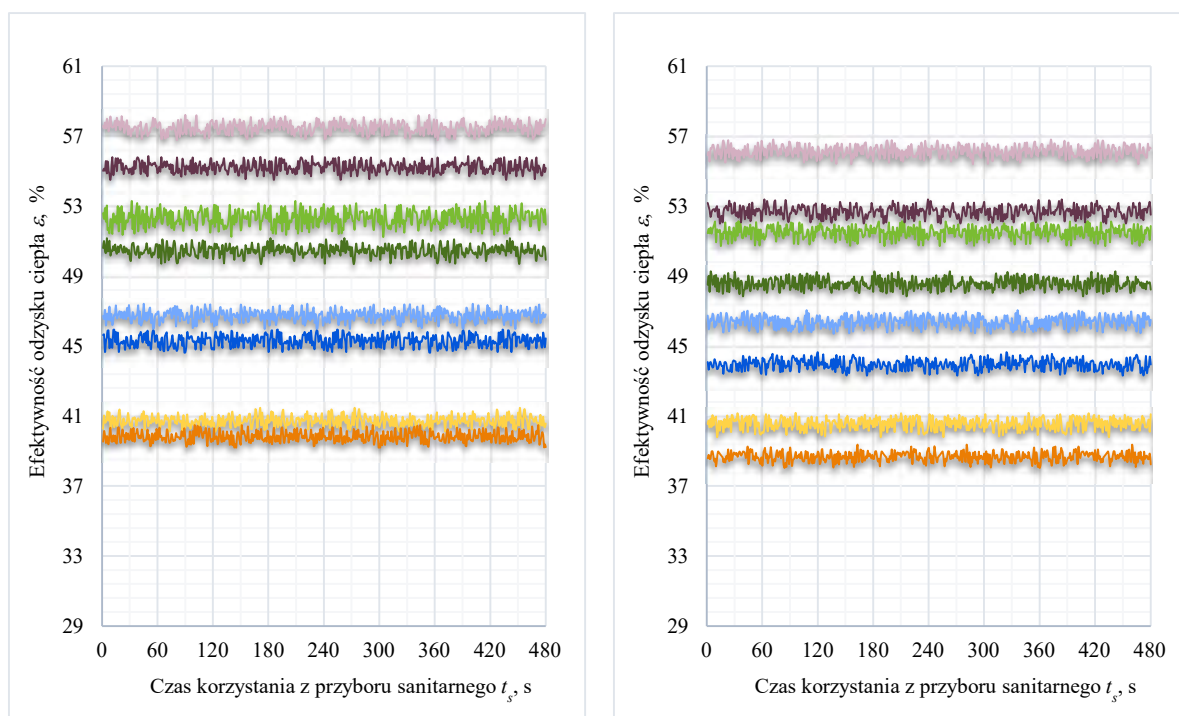
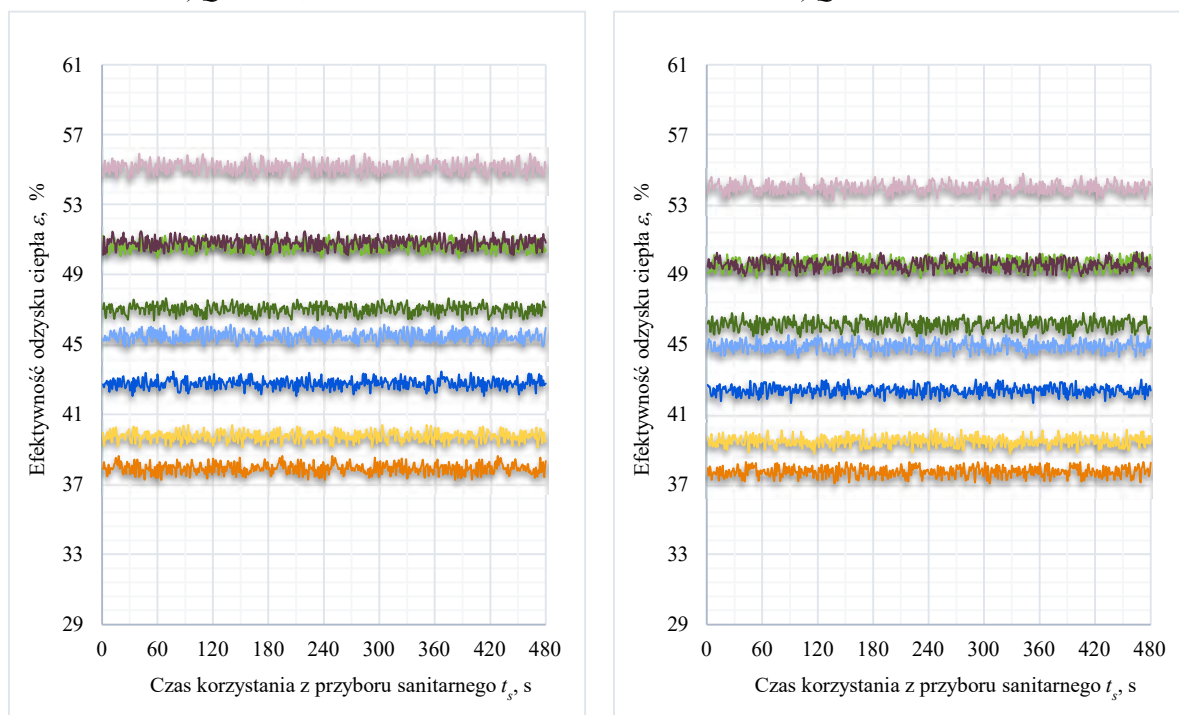
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)



d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

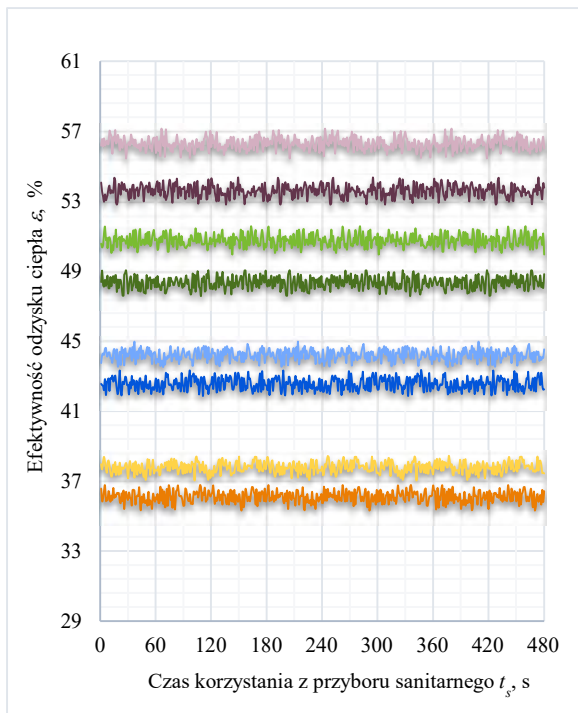
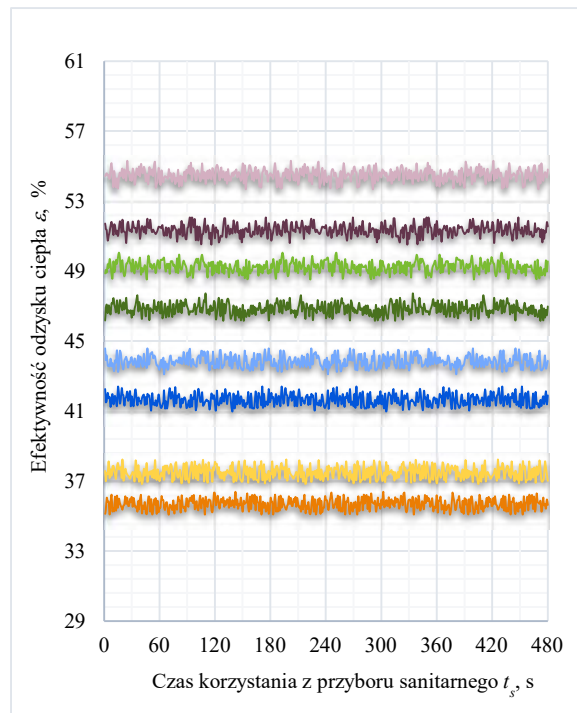
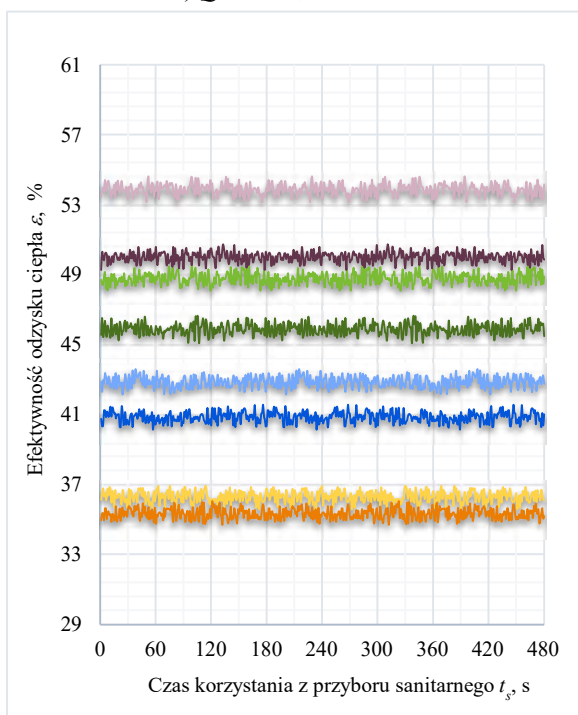
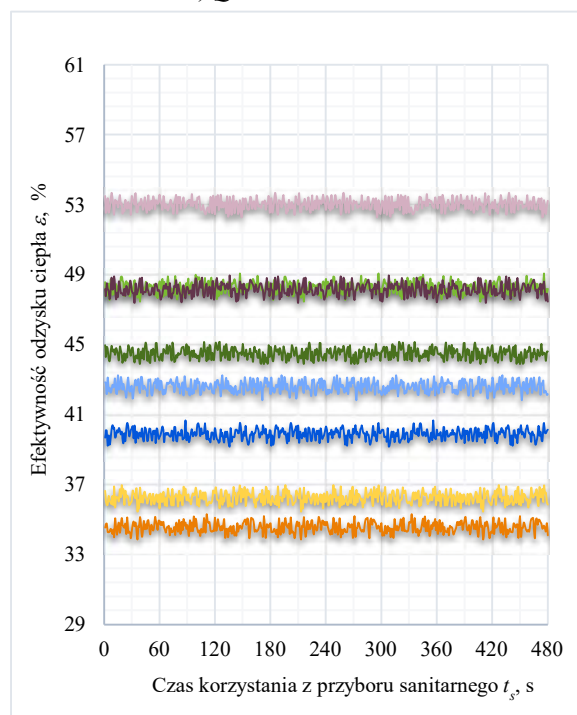
Załącznik. 40. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

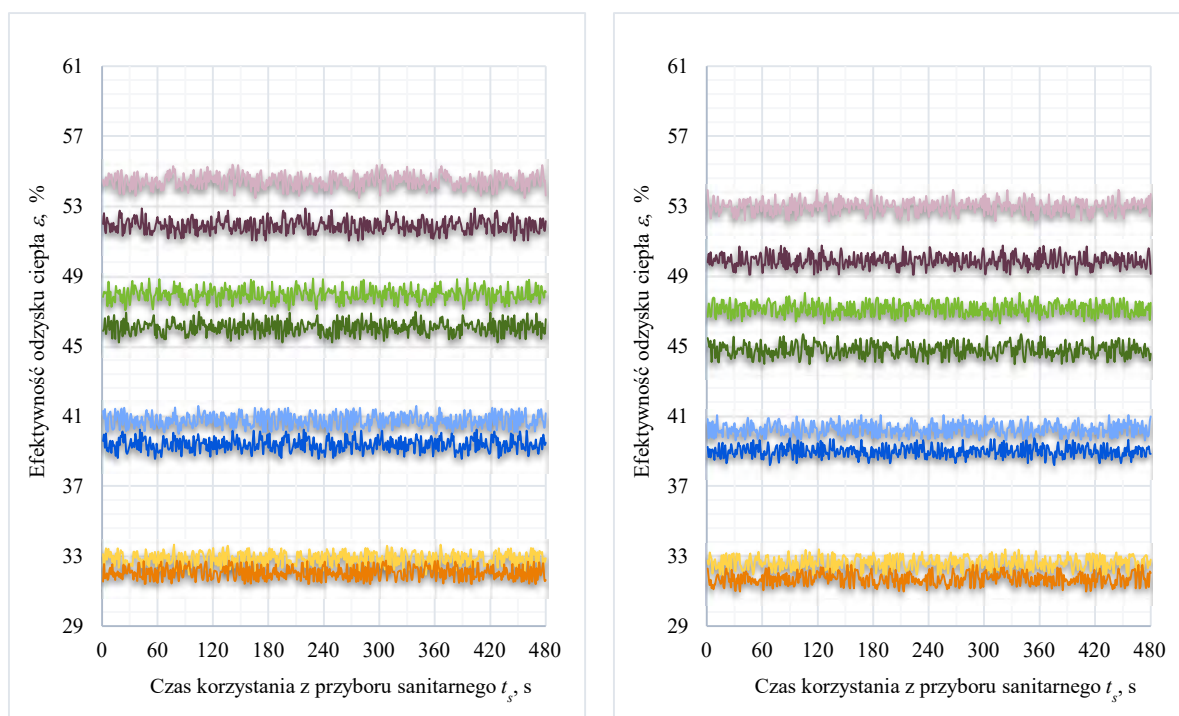
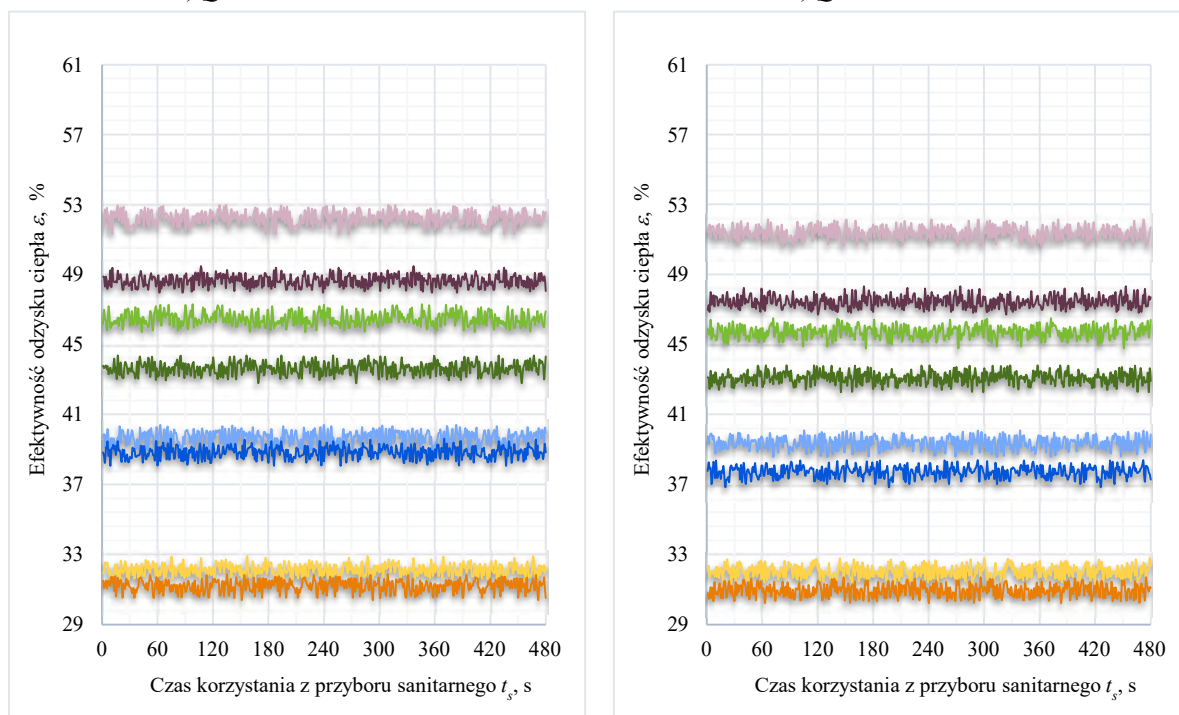
Załącznik. 41. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

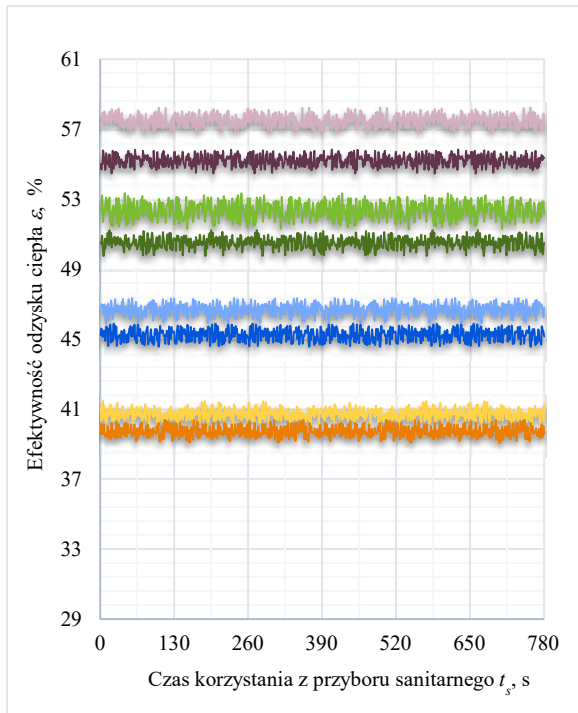
Załącznik. 42. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

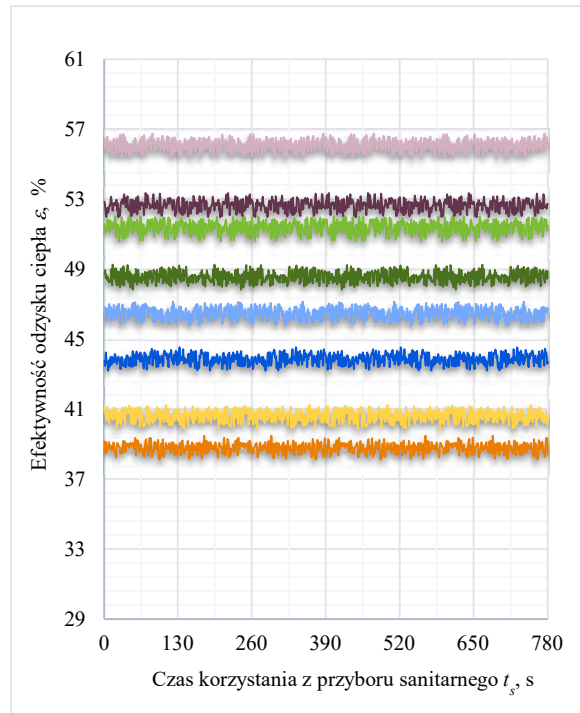
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

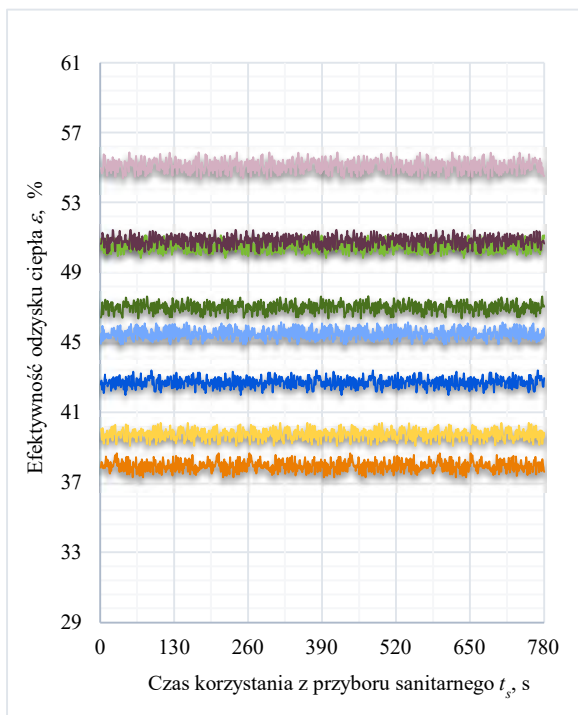
Załącznik. 43. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C



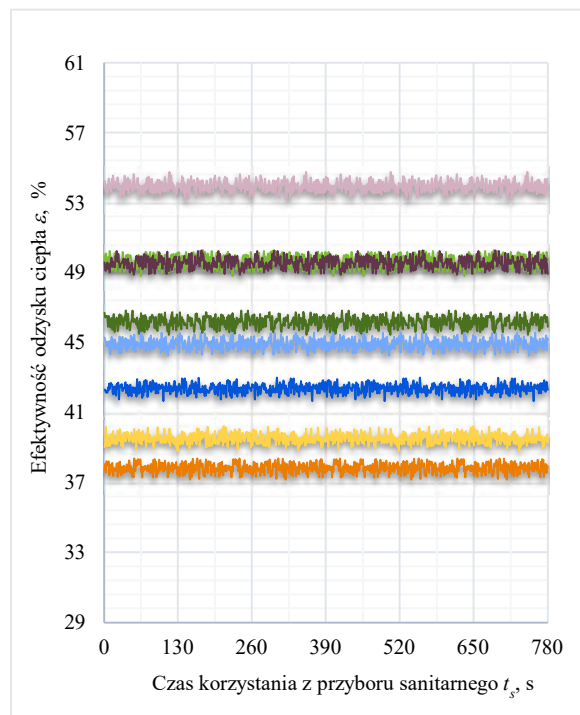
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

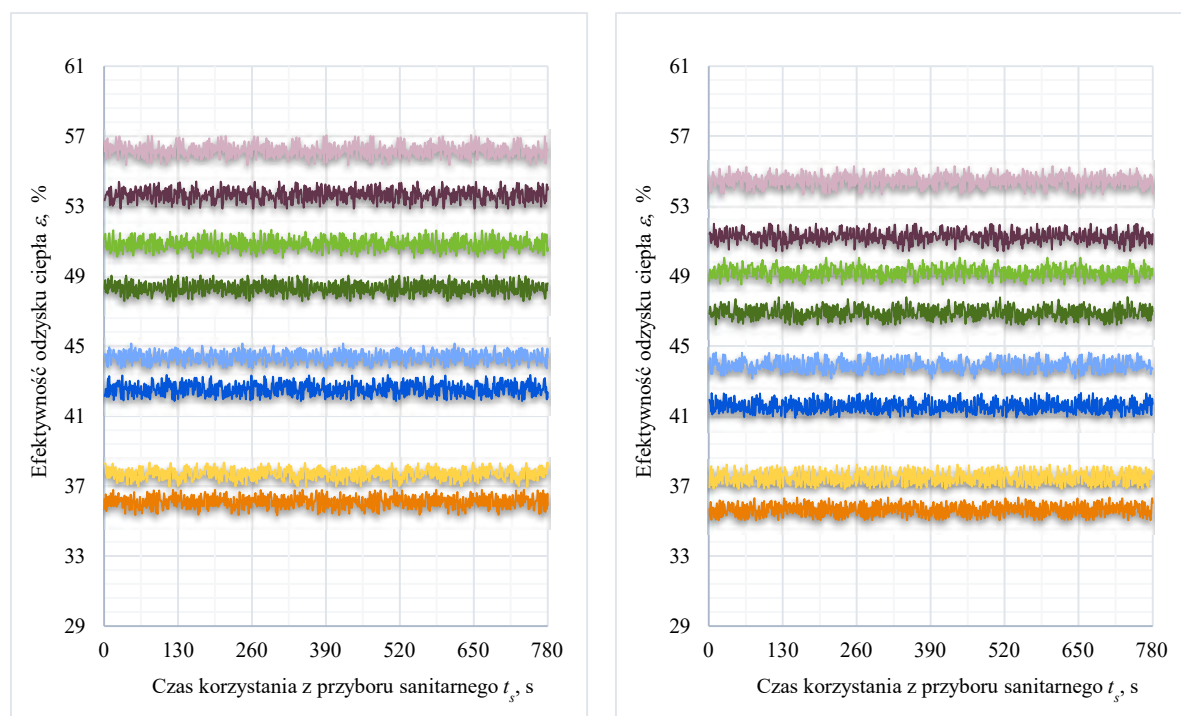
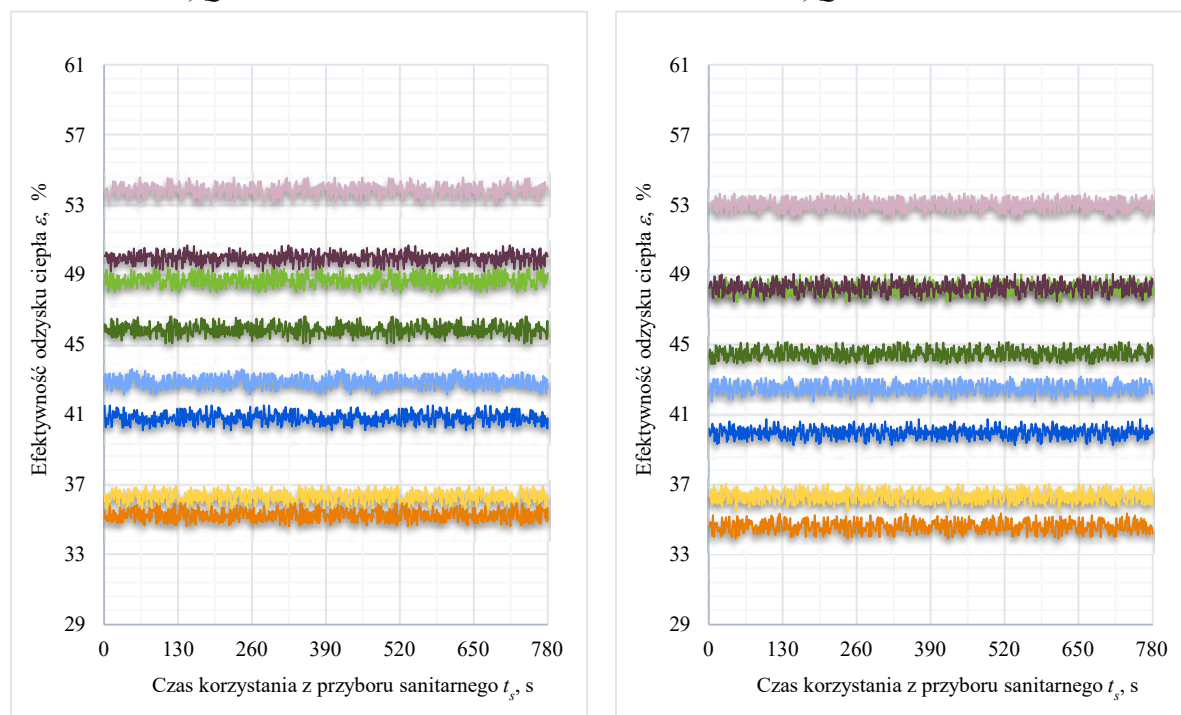


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

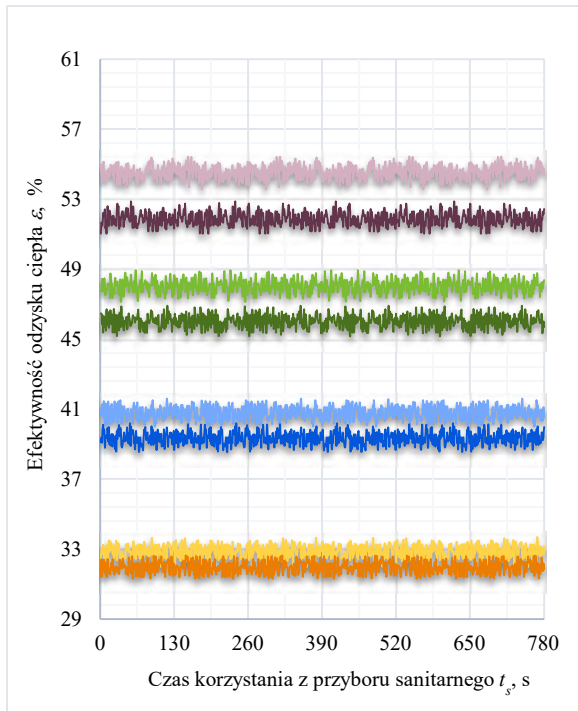
Załącznik. 44. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

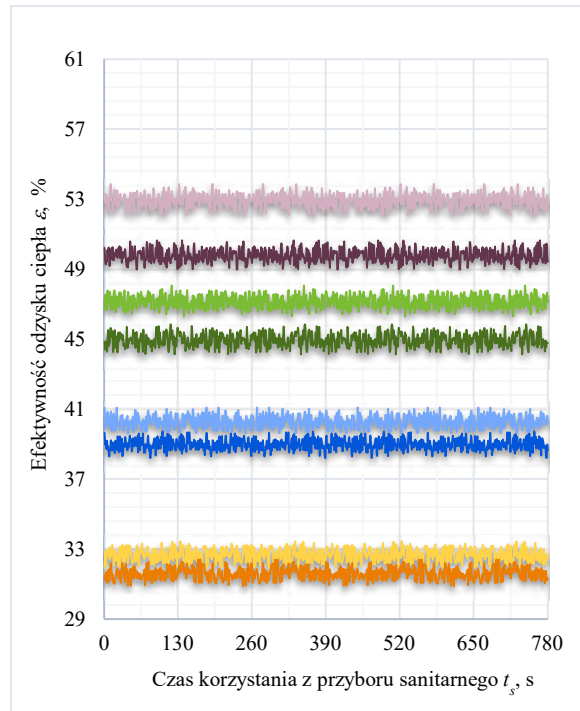
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

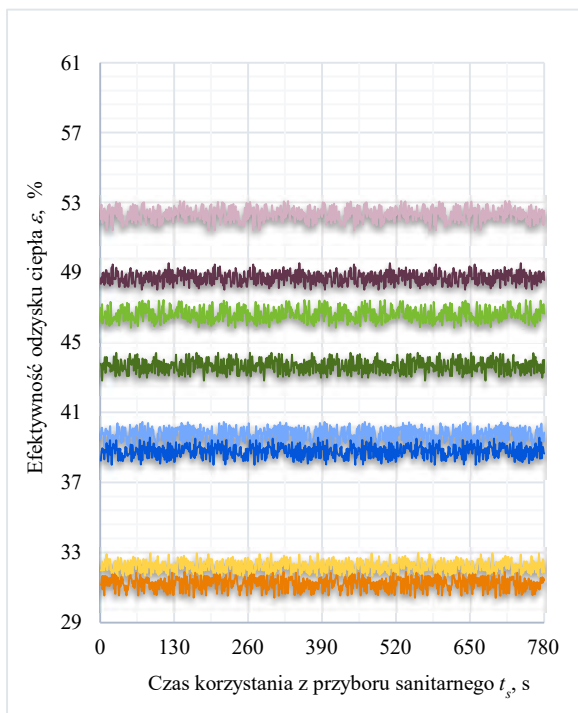
Załącznik. 45. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C



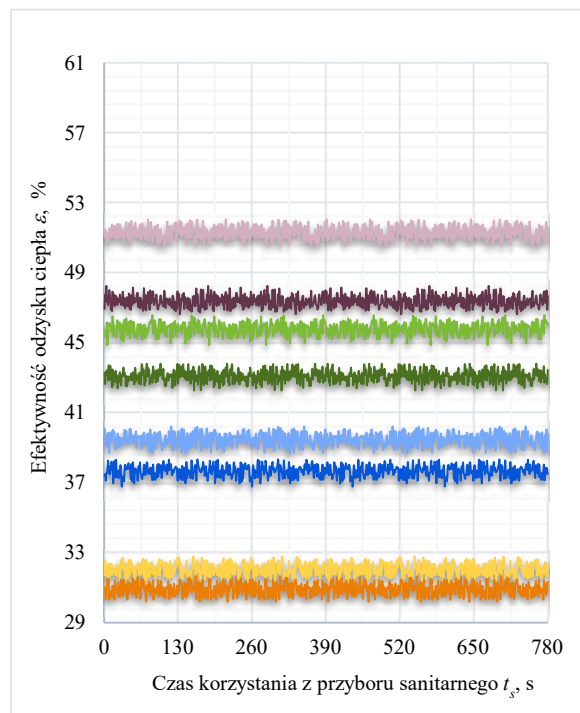
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

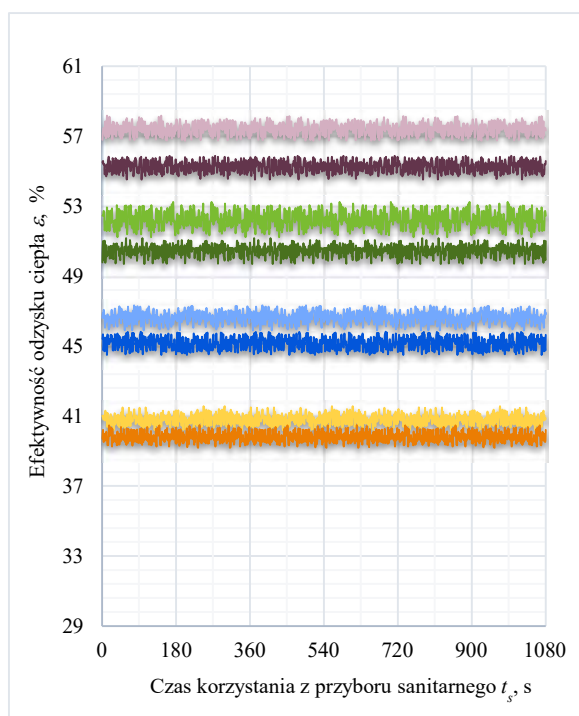
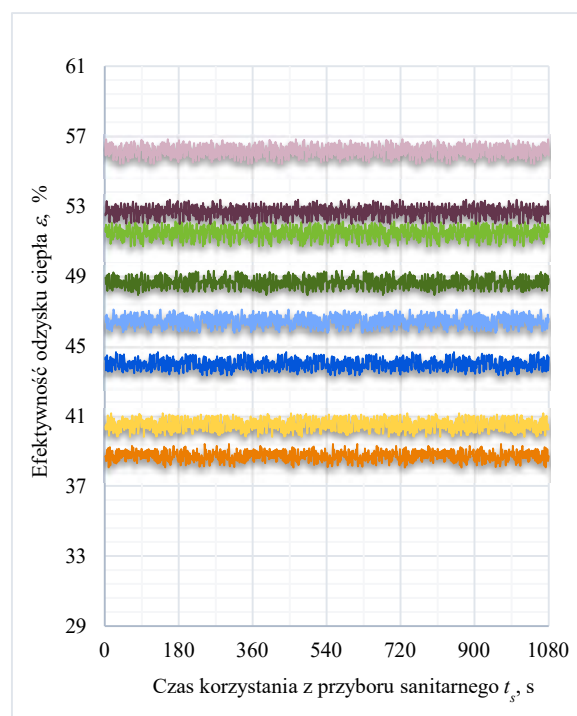
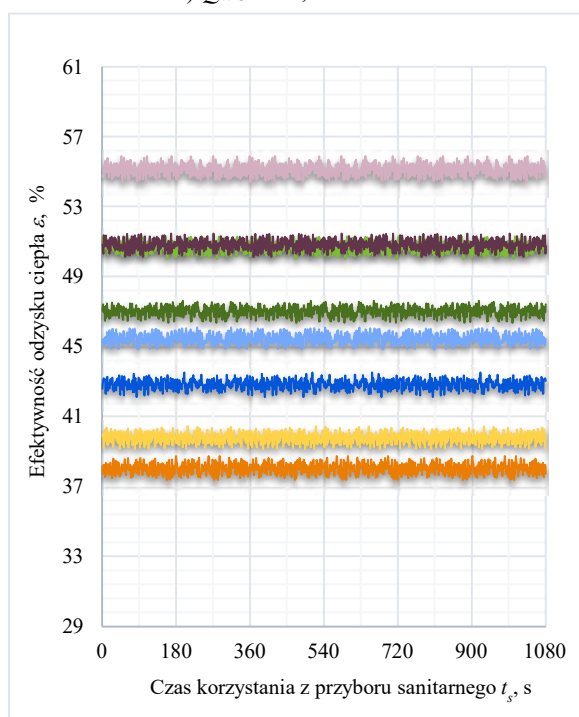


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

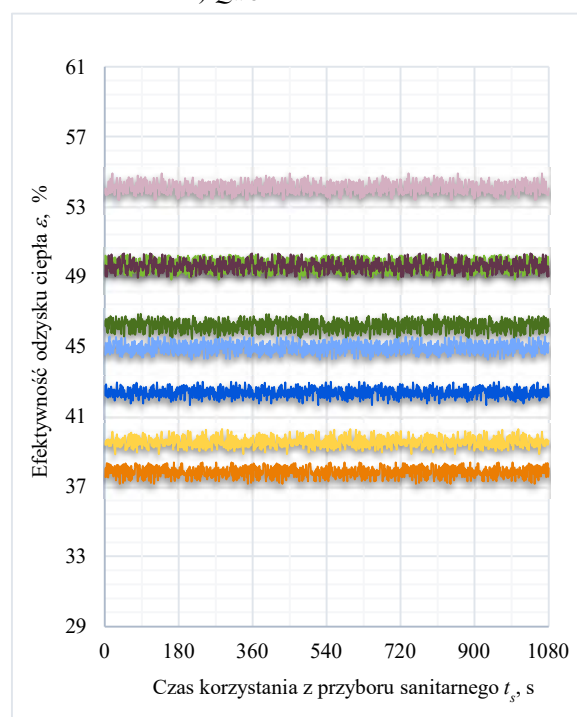
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 46. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C

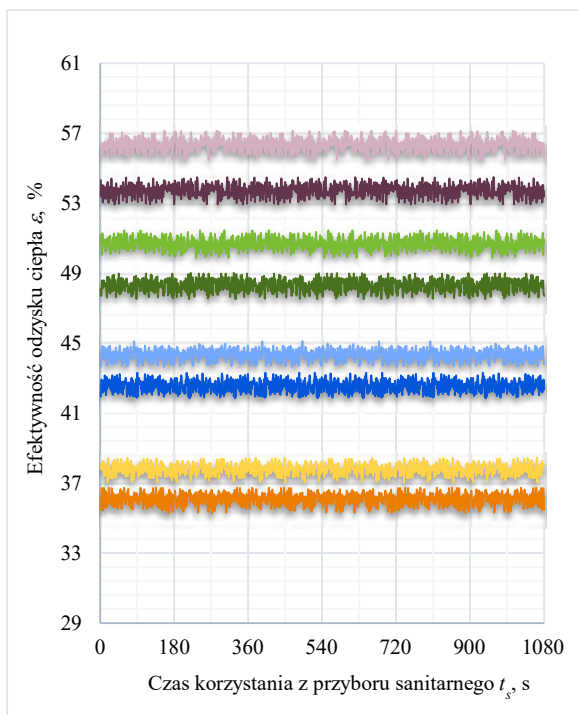
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

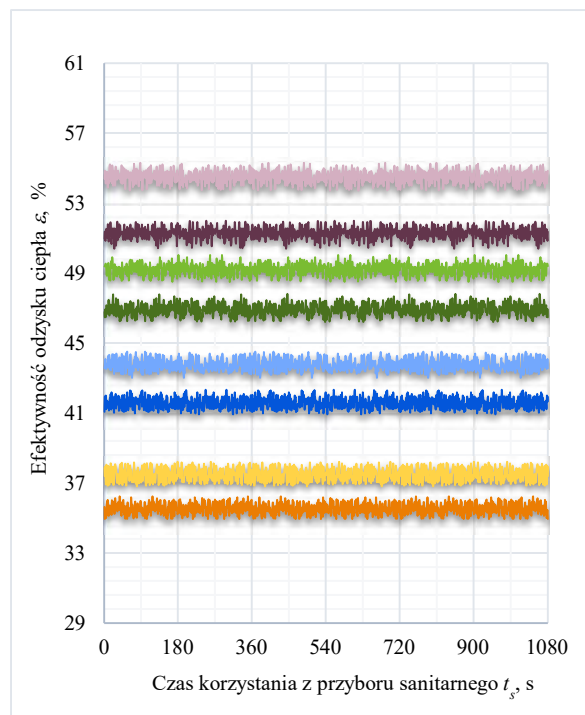
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

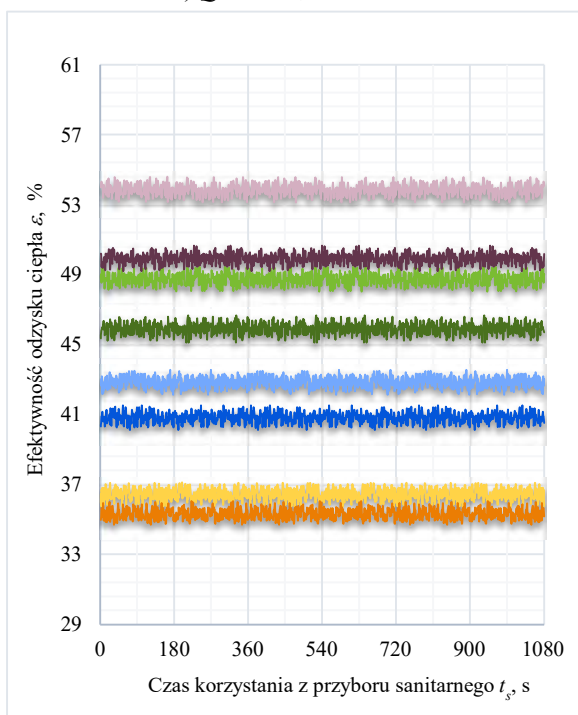
Załącznik. 47. Efektywność odzysku energii ε w *Konfiguracji II* dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C



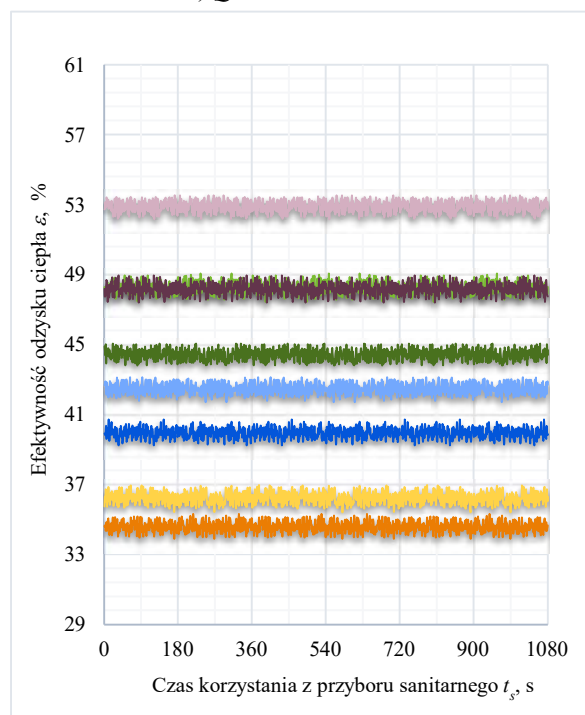
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

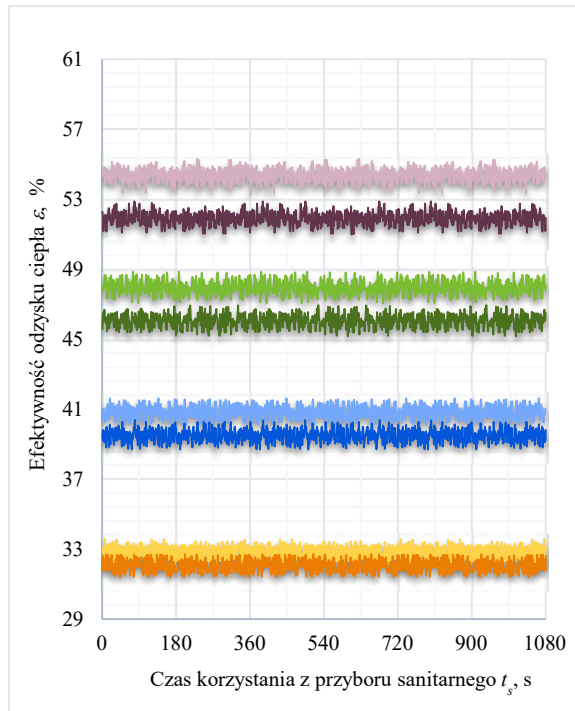
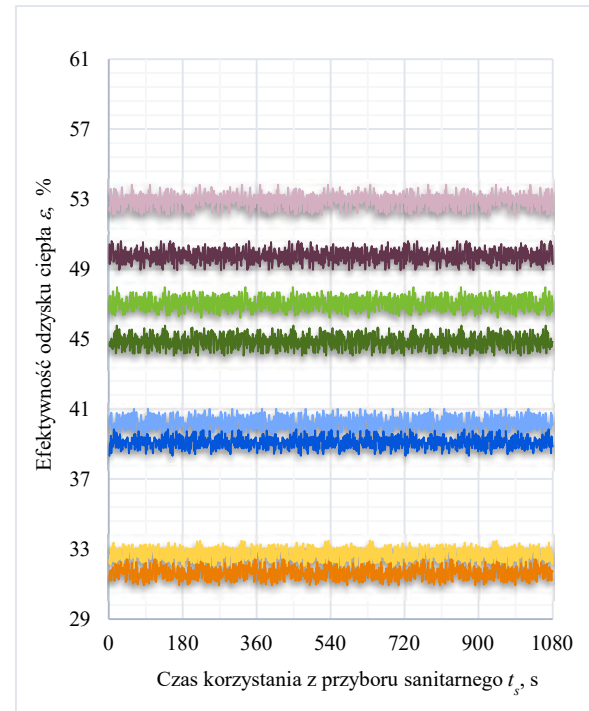
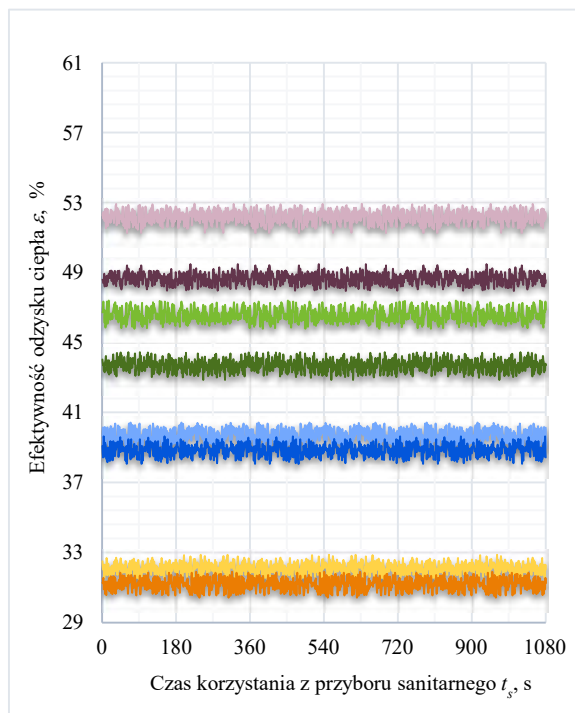


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

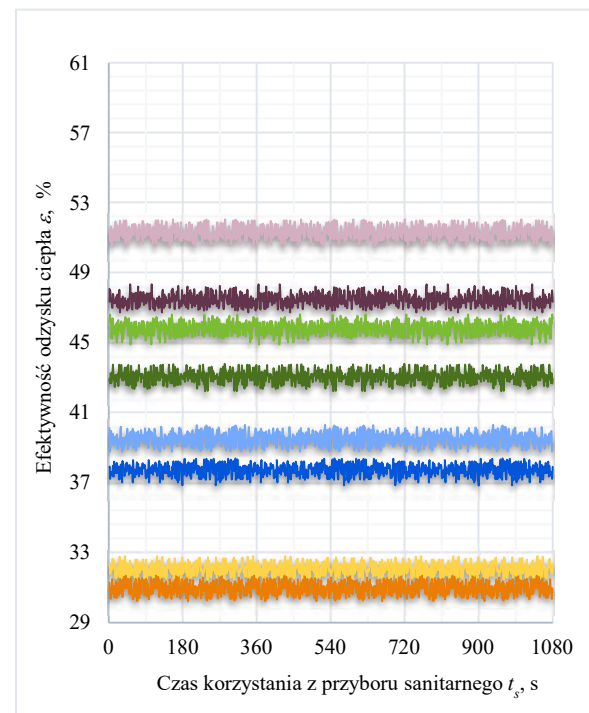
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 48. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji II dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki przysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 49. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 3 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZi}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,24	55,27	8,12	2,02	0,48	2,50	59,16
42,29	55,25	8,05	1,81	0,69	2,50	54,34
38,26	55,26	7,98	1,60	0,90	2,50	49,06
34,25	55,22	7,95	1,39	1,11	2,50	43,62
46,27	55,40	7,53	4,04	0,96	5,00	57,43
42,26	55,28	7,52	3,64	1,36	5,00	53,33
38,25	55,22	7,73	3,21	1,79	5,00	48,53
34,24	55,23	7,66	2,79	2,21	5,00	43,37
46,26	55,26	8,09	6,07	1,43	7,50	56,20
42,24	55,26	8,05	5,43	2,07	7,50	52,07
38,23	55,26	8,05	4,80	2,70	7,50	47,47
34,25	55,29	8,01	4,17	3,33	7,50	42,43
46,29	55,27	8,07	8,10	1,90	10,00	55,11
42,22	55,26	7,98	7,25	2,75	10,00	51,26
38,29	55,25	7,96	6,41	3,59	10,00	46,97
34,27	55,26	7,94	5,56	4,44	10,00	42,05
46,11	55,16	12,03	1,98	0,52	2,50	57,50
42,28	55,48	11,98	1,74	0,76	2,50	52,24
38,27	55,23	11,90	1,52	0,98	2,50	46,73
34,27	55,27	11,90	1,29	1,21	2,50	40,74
46,24	55,25	12,03	3,96	1,04	5,00	56,12
42,22	55,28	12,01	3,49	1,51	5,00	51,46
38,27	55,27	11,56	3,05	1,95	5,00	46,41
34,26	55,26	11,55	2,60	2,40	5,00	40,59

cd. Załącznik. 49.

46,26	55,27	12,08	5,93	1,57	7,50	55,13
42,28	55,27	12,03	5,25	2,25	7,50	50,54
38,26	55,24	12,01	4,55	2,95	7,50	45,47
34,27	55,24	11,98	3,86	3,64	7,50	39,78
46,27	55,26	12,09	7,92	2,08	10,00	54,02
42,25	55,25	12,10	6,99	3,01	10,00	49,68
38,28	55,21	12,07	6,07	3,93	10,00	44,90
34,26	55,22	12,02	5,15	4,85	10,00	39,50
46,16	55,27	15,32	1,93	0,57	2,50	56,23
42,26	55,04	15,94	1,68	0,82	2,50	50,69
38,15	55,27	15,58	1,42	1,08	2,50	44,22
34,21	55,23	15,51	1,18	1,32	2,50	37,78
46,26	55,25	15,98	3,85	1,15	5,00	54,49
42,24	55,22	15,98	3,34	1,66	5,00	49,19
38,27	55,26	15,58	2,86	2,14	5,00	43,79
34,29	55,23	15,50	2,36	2,64	5,00	37,43
46,24	55,24	16,14	5,78	1,72	7,50	53,87
42,28	55,26	16,08	5,02	2,48	7,50	48,74
38,28	55,25	16,06	4,25	3,25	7,50	42,82
34,24	55,26	15,97	3,49	4,01	7,50	36,39
46,24	55,26	15,55	7,73	2,27	10,00	53,00
42,25	55,26	15,51	6,72	3,28	10,00	48,28
38,26	55,25	16,01	5,67	4,33	10,00	42,51
34,25	55,27	15,97	4,66	5,34	10,00	36,26
46,28	55,26	20,01	1,86	0,64	2,50	54,42
42,27	55,24	19,93	1,58	0,92	2,50	47,97
38,27	55,27	19,90	1,30	1,20	2,50	40,84
34,24	55,27	19,90	1,01	1,49	2,50	32,87
46,28	55,28	20,07	3,72	1,28	5,00	52,97
42,26	55,24	20,01	3,16	1,84	5,00	47,11

cd. Załącznik. 49.

38,25	55,25	19,98	2,59	2,41	5,00	40,23
34,26	55,25	19,94	2,03	2,97	5,00	32,68
46,22	55,22	20,08	5,58	1,92	7,50	52,24
42,29	55,26	20,02	4,74	2,76	7,50	46,46
38,25	55,27	20,01	3,88	3,62	7,50	39,72
34,28	55,23	20,13	3,03	4,47	7,50	32,19
46,25	55,26	20,09	7,43	2,57	10,00	51,29
42,23	55,24	20,06	6,30	3,70	10,00	45,80
38,27	55,25	20,05	5,18	4,82	10,00	39,45
34,24	55,27	19,98	4,04	5,96	10,00	32,08

Załącznik. 50. Wartości średkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 3 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZA}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,24	55,21	8,11	2,02	0,48	2,50	56,60
42,26	55,24	8,10	1,81	0,69	2,50	52,08
38,24	55,26	8,05	1,60	0,90	2,50	47,27
34,27	55,22	7,97	1,39	1,11	2,50	42,16
46,30	55,28	7,90	4,05	0,95	5,00	54,00
42,30	55,23	7,90	3,63	1,37	5,00	50,19
38,25	55,26	7,83	3,20	1,80	5,00	45,93
34,25	55,26	7,80	2,79	2,21	5,00	41,30
46,26	55,24	8,03	6,07	1,43	7,50	51,75
42,23	55,22	8,02	5,43	2,07	7,50	48,45
38,27	55,27	7,93	4,81	2,69	7,50	44,72
34,27	55,21	7,85	4,18	3,32	7,50	40,39
46,28	55,30	8,07	8,09	1,91	10,00	50,22
42,27	55,25	8,01	7,25	2,75	10,00	47,31
38,25	55,24	7,92	6,41	3,59	10,00	43,74
34,28	55,27	7,85	5,57	4,43	10,00	39,65
46,25	55,27	11,85	1,98	0,52	2,50	55,17
42,24	55,25	11,80	1,75	0,75	2,50	50,45
38,23	55,24	11,75	1,52	0,98	2,50	45,25
34,36	55,13	11,75	1,29	1,21	2,50	39,66
46,27	55,23	12,15	3,96	1,04	5,00	52,66
42,27	55,26	12,15	3,49	1,51	5,00	48,54
38,31	55,23	11,98	3,04	1,96	5,00	43,93
34,26	55,24	11,90	2,58	2,42	5,00	38,74

cd. Załącznik. 50.

46,25	55,20	12,15	5,94	1,56	7,50	50,82
42,24	55,25	12,14	5,24	2,26	7,50	47,10
38,27	55,27	11,97	4,55	2,95	7,50	42,76
34,26	55,21	11,88	3,87	3,63	7,50	37,95
46,26	55,25	11,55	7,94	2,06	10,00	49,55
42,23	55,24	11,50	7,02	2,98	10,00	46,17
38,26	55,21	11,43	6,12	3,88	10,00	42,38
34,24	55,26	11,40	5,20	4,80	10,00	37,76
46,29	55,30	16,18	1,92	0,58	2,50	53,62
42,28	55,25	16,15	1,67	0,83	2,50	48,34
38,24	55,28	16,10	1,41	1,09	2,50	42,54
34,22	55,25	15,98	1,16	1,34	2,50	36,12
46,26	55,24	15,95	3,86	1,14	5,00	51,30
42,28	55,25	15,86	3,35	1,65	5,00	46,88
38,28	55,25	15,81	2,85	2,15	5,00	41,60
34,25	55,27	15,80	2,34	2,66	5,00	35,65
46,29	55,27	15,60	5,80	1,70	7,50	50,02
42,25	55,26	15,57	5,04	2,46	7,50	45,88
38,26	55,27	15,55	4,29	3,21	7,50	40,86
34,26	55,29	15,48	3,54	3,96	7,50	35,30
46,23	55,24	16,10	7,70	2,30	10,00	48,24
42,24	55,32	16,02	6,68	3,32	10,00	44,50
38,26	55,28	15,97	5,68	4,32	10,00	40,00
34,27	55,27	15,90	4,67	5,33	10,00	34,56
46,23	55,25	20,22	1,86	0,64	2,50	51,90
42,24	55,25	20,13	1,57	0,93	2,50	46,03
38,28	55,25	20,10	1,29	1,21	2,50	39,36
34,24	55,27	19,96	1,01	1,49	2,50	31,98
46,24	55,26	19,94	3,72	1,28	5,00	49,75
42,29	55,25	19,90	3,16	1,84	5,00	44,81

cd. Załącznik. 50.

38.25	55.26	19.82	2.60	2.40	5.00	39.01
34.26	55.26	19.82	2.04	2.96	5.00	31.71
46.25	55.27	19.85	5.59	1.91	7.50	48.63
42.25	55.24	19.81	4.75	2.75	7.50	43.69
38.22	55.27	18.80	4.00	3.50	7.50	38.87
34.24	55.27	19.74	3.06	4.44	7.50	31.24
46.25	55.24	19.58	7.47	2.53	10.00	47.38
42.25	55.27	19.52	6.36	3.64	10.00	43.06
38.25	55.27	19.50	5.24	4.76	10.00	37.71
34.23	55.28	19.74	4.08	5.92	10.00	30.96

Załącznik. 51. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 8 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZi}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,25	55,32	8,11	2,02	0,48	2,50	59,16
42,37	55,21	8,06	1,82	0,68	2,50	54,41
38,29	55,18	8,00	1,60	0,90	2,50	49,10
34,16	55,26	7,94	1,39	1,11	2,50	43,58
46,27	55,20	7,51	4,06	0,94	5,00	57,51
42,23	55,33	7,49	3,63	1,37	5,00	53,30
38,27	55,23	7,76	3,21	1,79	5,00	48,55
34,31	55,10	7,69	2,81	2,19	5,00	43,44
46,34	55,12	8,10	6,10	1,40	7,50	56,27
42,21	55,12	8,04	5,44	2,06	7,50	52,10
38,17	55,32	8,04	4,78	2,72	7,50	47,42
34,31	55,39	8,00	4,16	3,34	7,50	42,41
46,22	55,19	8,06	8,10	1,90	10,00	55,10
42,23	55,12	7,95	7,27	2,73	10,00	51,29
38,29	55,33	7,97	6,40	3,60	10,00	46,96
34,37	55,15	7,96	5,60	4,40	10,00	42,12
46,21	55,18	12,04	1,98	0,52	2,50	57,50
42,17	55,23	11,96	1,75	0,75	2,50	52,28
38,26	55,27	11,89	1,52	0,98	2,50	46,73
34,26	55,33	11,92	1,29	1,21	2,50	40,71
46,32	55,30	12,04	3,96	1,04	5,00	56,13
42,30	55,14	11,98	3,51	1,49	5,00	51,54
38,14	55,16	11,57	3,05	1,95	5,00	46,40
34,27	55,20	11,58	2,60	2,40	5,00	40,59

cd. Załącznik. 51.

46,28	55,28	12,06	5,94	1,56	7,50	55,15
42,32	55,19	12,00	5,27	2,23	7,50	50,58
38,11	55,12	11,99	4,54	2,96	7,50	45,45
34,20	55,26	11,97	3,85	3,65	7,50	39,76
46,21	55,32	12,07	7,89	2,11	10,00	53,98
42,15	55,27	12,09	6,96	3,04	10,00	49,63
38,32	55,29	12,07	6,07	3,93	10,00	44,91
34,13	55,23	12,00	5,12	4,88	10,00	39,44
46,21	55,21	15,29	1,94	0,56	2,50	56,28
42,36	55,03	15,95	1,69	0,81	2,50	50,76
38,16	55,28	15,59	1,42	1,08	2,50	44,23
34,24	55,24	15,51	1,18	1,32	2,50	37,77
46,23	55,21	15,95	3,86	1,14	5,00	54,51
42,29	55,16	15,96	3,36	1,64	5,00	49,26
38,33	55,34	15,59	2,86	2,14	5,00	43,79
34,29	55,29	15,48	2,36	2,64	5,00	37,44
46,26	55,16	16,17	5,79	1,71	7,50	53,89
42,30	55,18	16,10	5,03	2,47	7,50	48,76
38,36	55,28	16,08	4,26	3,24	7,50	42,85
34,12	55,32	15,94	3,46	4,04	7,50	36,32
46,31	55,27	15,52	7,75	2,25	10,00	53,03
42,20	55,32	15,53	6,70	3,30	10,00	48,25
38,31	55,11	15,99	5,71	4,29	10,00	42,58
34,26	55,24	15,98	4,66	5,34	10,00	36,25
46,25	55,23	19,99	1,86	0,64	2,50	54,44
42,28	55,27	19,95	1,58	0,92	2,50	47,98
38,15	55,20	19,92	1,29	1,21	2,50	40,78
34,23	55,33	19,89	1,01	1,49	2,50	32,88
46,31	55,23	20,09	3,73	1,27	5,00	53,01
42,29	55,22	20,04	3,16	1,84	5,00	47,12

cd. Załącznik. 51.

38,27	55,27	19,97	2,59	2,41	5,00	40,24
34,17	55,19	19,97	2,02	2,98	5,00	32,62
46,14	55,12	20,06	5,58	1,92	7,50	52,24
42,22	55,27	20,04	4,72	2,78	7,50	46,42
38,12	55,13	20,01	3,87	3,63	7,50	39,69
34,22	55,33	20,15	3,00	4,50	7,50	32,11
46,33	55,22	20,09	7,47	2,53	10,00	51,36
42,11	55,31	20,05	6,26	3,74	10,00	45,72
38,19	55,28	20,04	5,15	4,85	10,00	39,39
34,19	55,23	19,99	4,03	5,97	10,00	32,06

Załącznik. 52. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 8 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzewanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZA}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,15	55,16	8,09	2,02	0,48	2,50	56,61
42,21	55,17	8,07	1,81	0,69	2,50	52,10
38,31	55,22	8,06	1,60	0,90	2,50	47,30
34,13	55,15	7,95	1,39	1,11	2,50	42,14
46,24	55,16	7,89	4,06	0,94	5,00	54,02
42,21	55,22	7,88	3,63	1,37	5,00	50,18
38,16	55,18	7,86	3,20	1,80	5,00	45,94
34,15	55,29	7,79	2,77	2,23	5,00	41,24
46,18	55,10	8,04	6,08	1,42	7,50	51,77
42,10	55,25	8,03	5,41	2,09	7,50	48,41
38,29	55,32	7,92	4,81	2,69	7,50	44,71
34,16	55,21	7,82	4,17	3,33	7,50	40,36
46,14	55,33	8,06	8,06	1,94	10,00	50,17
42,29	55,33	8,03	7,24	2,76	10,00	47,30
38,16	55,11	7,94	6,41	3,59	10,00	43,73
34,29	55,18	7,85	5,59	4,41	10,00	39,68
46,32	55,20	11,85	1,99	0,51	2,50	55,22
42,29	55,30	11,81	1,75	0,75	2,50	50,46
38,28	55,13	11,75	1,53	0,97	2,50	45,31
34,44	55,17	11,70	1,31	1,19	2,50	39,80
46,35	55,13	12,15	3,98	1,02	5,00	52,72
42,27	55,19	12,18	3,50	1,50	5,00	48,57
38,40	55,20	12,00	3,06	1,94	5,00	43,98
34,12	55,28	11,91	2,56	2,44	5,00	38,67

cd. Załącznik. 52.

46,20	55,11	12,13	5,94	1,56	7,50	50,83
42,19	55,28	12,16	5,22	2,28	7,50	47,06
38,32	55,32	12,00	4,56	2,94	7,50	42,78
34,17	55,26	11,90	3,85	3,65	7,50	37,91
46,23	55,11	11,58	7,96	2,04	10,00	49,58
42,15	55,17	11,52	7,02	2,98	10,00	46,17
38,17	55,08	11,44	6,12	3,88	10,00	42,39
34,12	55,31	11,41	5,17	4,83	10,00	37,71
46,27	55,39	16,17	1,92	0,58	2,50	53,61
42,27	55,20	16,15	1,67	0,83	2,50	48,36
38,25	55,32	16,10	1,41	1,09	2,50	42,56
34,15	55,16	15,99	1,16	1,34	2,50	36,11
46,32	55,15	15,95	3,87	1,13	5,00	51,35
42,15	55,24	15,87	3,34	1,66	5,00	46,84
38,37	55,30	15,82	2,86	2,14	5,00	41,62
34,35	55,28	15,83	2,35	2,65	5,00	35,68
46,35	55,32	15,58	5,81	1,69	7,50	50,03
42,25	55,32	15,59	5,03	2,47	7,50	45,86
38,27	55,22	15,54	4,29	3,21	7,50	40,87
34,32	55,27	15,50	3,55	3,95	7,50	35,32
46,11	55,33	16,10	7,65	2,35	10,00	48,16
42,19	55,21	16,04	6,68	3,32	10,00	44,49
38,11	55,33	15,96	5,63	4,37	10,00	39,91
34,21	55,15	15,91	4,66	5,34	10,00	34,55
46,28	55,32	20,22	1,86	0,64	2,50	51,87
42,33	55,29	20,13	1,58	0,92	2,50	46,09
38,29	55,32	20,09	1,29	1,21	2,50	39,37
34,29	55,19	19,93	1,02	1,48	2,50	32,04
46,28	55,21	19,94	3,73	1,27	5,00	49,80
42,14	55,22	19,92	3,15	1,85	5,00	44,77

cd. Załącznik. 52.

38,16	55,24	19,82	2,59	2,41	5,00	38,97
34,26	55,30	19,80	2,04	2,96	5,00	31,70
46,22	55,21	19,86	5,59	1,91	7,50	48,64
42,14	55,16	19,83	4,74	2,76	7,50	43,66
38,23	55,17	18,81	4,00	3,50	7,50	38,88
34,26	55,34	19,76	3,06	4,44	7,50	31,24
46,28	55,27	19,57	7,48	2,52	10,00	47,40
42,35	55,25	19,51	6,39	3,61	10,00	43,11
38,27	55,12	19,49	5,27	4,73	10,00	37,76
34,32	55,37	19,72	4,10	5,90	10,00	30,99

Załącznik. 53. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 13 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZ}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,11	55,14	8,09	2,02	0,48	2,50	59,16
42,19	55,17	8,05	1,81	0,69	2,50	54,35
38,28	55,16	7,97	1,61	0,89	2,50	49,10
34,26	55,26	7,94	1,39	1,11	2,50	43,63
46,24	55,24	7,52	4,06	0,94	5,00	57,49
42,36	55,38	7,54	3,64	1,36	5,00	53,33
38,17	55,21	7,74	3,21	1,79	5,00	48,51
34,26	55,37	7,69	2,79	2,21	5,00	43,36
46,33	55,30	8,10	6,07	1,43	7,50	56,21
42,14	55,03	8,08	5,44	2,06	7,50	52,10
38,14	55,22	8,04	4,78	2,72	7,50	47,43
34,15	55,36	8,04	4,14	3,36	7,50	42,35
46,36	55,14	8,05	8,14	1,86	10,00	55,17
42,28	55,20	7,97	7,27	2,73	10,00	51,29
38,25	55,30	7,93	6,40	3,60	10,00	46,95
34,32	55,01	7,95	5,60	4,40	10,00	42,13
46,17	55,08	12,01	1,98	0,52	2,50	57,52
42,30	55,23	12,00	1,75	0,75	2,50	52,33
38,20	55,32	11,88	1,51	0,99	2,50	46,69
34,22	55,32	11,88	1,29	1,21	2,50	40,70
46,10	55,22	12,04	3,94	1,06	5,00	56,07
42,16	55,32	12,00	3,48	1,52	5,00	51,43
38,27	55,07	11,56	3,07	1,93	5,00	46,49
34,26	55,05	11,55	2,61	2,39	5,00	40,63

cd. Załącznik. 53.

46,21	55,35	12,10	5,92	1,58	7,50	55,10
42,22	55,39	12,03	5,22	2,28	7,50	50,47
38,29	55,34	12,01	4,55	2,95	7,50	45,47
34,19	55,18	11,99	3,85	3,65	7,50	39,76
46,13	55,26	12,08	7,89	2,11	10,00	53,96
42,21	55,23	12,10	6,98	3,02	10,00	49,66
38,25	55,10	12,06	6,09	3,91	10,00	44,93
34,26	55,22	12,04	5,14	4,86	10,00	39,49
46,05	55,20	15,31	1,93	0,57	2,50	56,20
42,35	54,84	15,92	1,70	0,80	2,50	50,82
38,45	55,12	15,59	1,45	1,05	2,50	44,42
34,09	55,30	15,48	1,17	1,33	2,50	37,68
46,29	55,36	15,98	3,85	1,15	5,00	54,49
42,16	54,98	15,96	3,36	1,64	5,00	49,25
38,33	55,15	15,60	2,87	2,13	5,00	43,84
34,34	55,32	15,50	2,37	2,63	5,00	37,45
46,25	55,32	16,11	5,77	1,73	7,50	53,84
42,19	55,32	16,05	4,99	2,51	7,50	48,67
38,37	55,34	16,06	4,26	3,24	7,50	42,84
34,12	55,29	16,00	3,46	4,04	7,50	36,31
46,20	55,18	15,54	7,74	2,26	10,00	53,01
42,13	55,33	15,54	6,68	3,32	10,00	48,21
38,27	55,28	16,02	5,67	4,33	10,00	42,51
34,33	55,09	15,98	4,69	5,31	10,00	36,32
46,26	55,03	19,99	1,87	0,63	2,50	54,53
42,33	55,15	19,92	1,59	0,91	2,50	48,05
38,20	55,29	19,91	1,29	1,21	2,50	40,78
34,30	55,30	19,92	1,02	1,48	2,50	32,92
46,29	55,33	20,08	3,72	1,28	5,00	52,96
42,30	55,19	20,03	3,17	1,83	5,00	47,14

cd. Załącznik. 53.

38,25	55,10	19,99	2,60	2,40	5,00	40,27
34,21	55,14	19,92	2,03	2,97	5,00	32,68
46,25	54,98	20,06	5,63	1,87	7,50	52,35
42,37	55,10	20,00	4,78	2,72	7,50	46,56
38,25	55,12	20,03	3,89	3,61	7,50	39,75
34,35	55,35	20,13	3,03	4,47	7,50	32,19
46,18	55,30	20,10	7,41	2,59	10,00	51,25
42,20	55,25	20,06	6,29	3,71	10,00	45,79
38,37	55,32	20,02	5,20	4,80	10,00	39,48
34,17	55,25	19,99	4,02	5,98	10,00	32,05

Załącznik. 54. Wartości średnie zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji II* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 13 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzewanej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WZA}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,09	55,23	8,12	2,02	0,48	2,50	56,57
42,27	55,26	8,10	1,81	0,69	2,50	52,09
38,16	55,13	8,07	1,60	0,90	2,50	47,26
34,15	55,14	7,94	1,39	1,11	2,50	42,15
46,25	55,32	7,89	4,04	0,96	5,00	53,98
42,22	55,30	7,89	3,62	1,38	5,00	50,16
38,20	55,14	7,83	3,21	1,79	5,00	45,97
34,34	55,13	7,78	2,81	2,19	5,00	41,36
46,30	55,32	8,04	6,07	1,43	7,50	51,75
42,12	55,28	8,03	5,41	2,09	7,50	48,41
38,20	55,26	7,90	4,80	2,70	7,50	44,69
34,20	55,30	7,88	4,16	3,34	7,50	40,35
46,38	55,31	8,07	8,11	1,89	10,00	50,25
42,22	55,25	8,04	7,24	2,76	10,00	47,29
38,21	55,15	7,90	6,41	3,59	10,00	43,75
34,21	55,31	7,83	5,56	4,44	10,00	39,62
46,25	55,22	11,84	1,98	0,52	2,50	55,19
42,33	55,16	11,83	1,76	0,74	2,50	50,52
38,14	55,15	11,74	1,52	0,98	2,50	45,25
34,29	55,34	11,71	1,29	1,21	2,50	39,69
46,36	55,30	12,14	3,96	1,04	5,00	52,67
42,19	55,15	12,18	3,49	1,51	5,00	48,55
38,08	55,15	12,00	3,02	1,98	5,00	43,87
34,27	55,09	11,92	2,59	2,41	5,00	38,77

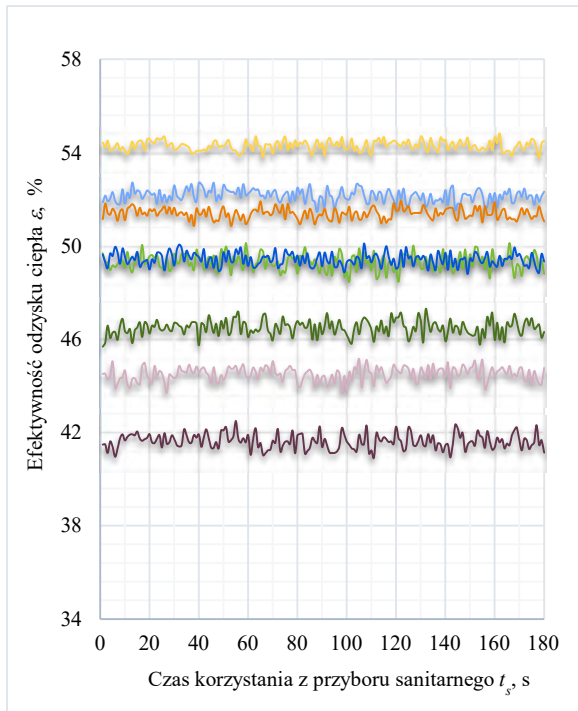
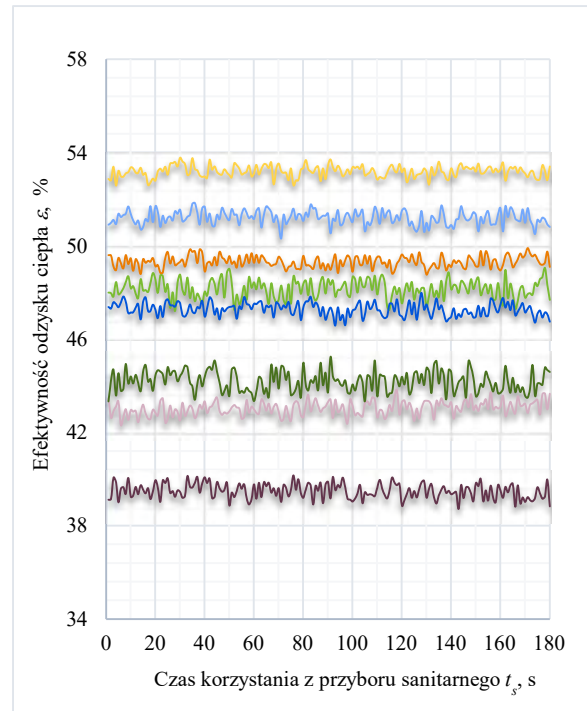
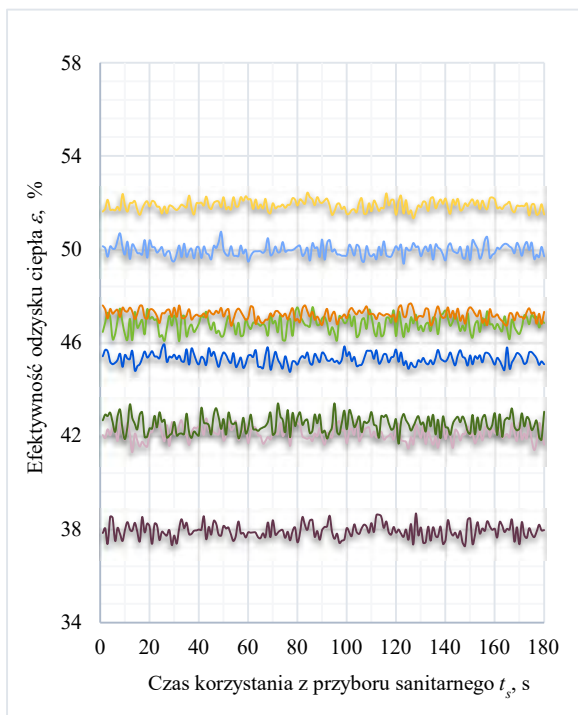
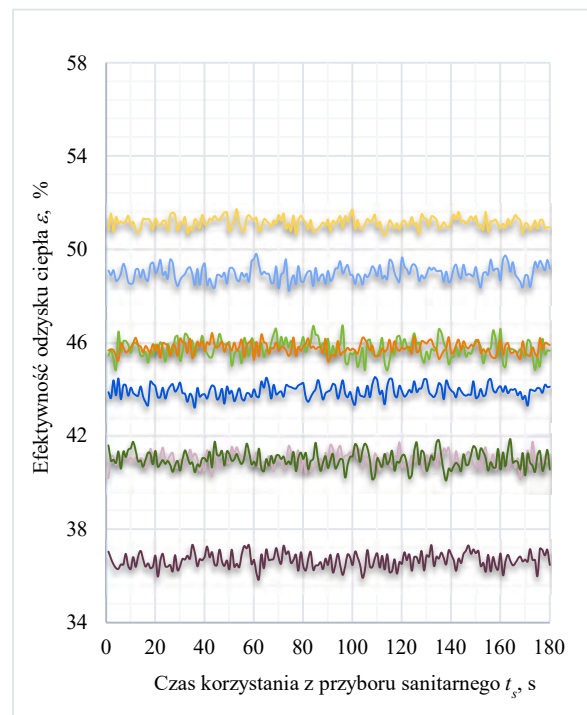
cd. Załącznik. 54.

46,12	55,08	12,17	5,93	1,57	7,50	50,81
42,21	55,32	12,12	5,22	2,28	7,50	47,06
38,22	55,32	11,96	4,54	2,96	7,50	42,74
34,16	55,07	11,86	3,87	3,63	7,50	37,95
46,14	55,13	11,57	7,94	2,06	10,00	49,55
42,23	55,22	11,49	7,03	2,97	10,00	46,19
38,23	55,16	11,45	6,13	3,87	10,00	42,39
34,28	55,17	11,38	5,23	4,77	10,00	37,81
46,33	55,30	16,16	1,93	0,57	2,50	53,67
42,26	55,28	16,16	1,67	0,83	2,50	48,33
38,29	55,38	16,11	1,41	1,09	2,50	42,56
34,24	55,30	16,00	1,16	1,34	2,50	36,12
46,26	55,32	15,94	3,85	1,15	5,00	51,27
42,29	55,20	15,84	3,36	1,64	5,00	46,91
38,19	55,34	15,83	2,83	2,17	5,00	41,53
34,25	55,25	15,77	2,34	2,66	5,00	35,65
46,16	55,29	15,59	5,78	1,72	7,50	49,97
42,17	55,33	15,60	5,02	2,48	7,50	45,83
38,15	55,20	15,56	4,27	3,23	7,50	40,82
34,14	55,34	15,48	3,51	3,99	7,50	35,23
46,24	55,17	16,10	7,71	2,29	10,00	48,26
42,28	55,37	16,01	6,68	3,32	10,00	44,49
38,18	55,21	15,96	5,66	4,34	10,00	39,97
34,31	55,19	15,90	4,68	5,32	10,00	34,59
46,12	55,15	20,22	1,85	0,65	2,50	51,86
42,23	55,28	20,13	1,57	0,93	2,50	46,04
38,25	55,33	20,10	1,29	1,21	2,50	39,34
34,23	55,33	19,98	1,01	1,49	2,50	31,96
46,21	55,35	19,95	3,71	1,29	5,00	49,71
42,38	55,11	19,87	3,19	1,81	5,00	44,93

cd. Załącznik. 54.

38,12	55,16	19,84	2,59	2,41	5,00	38,96
34,17	55,33	19,85	2,02	2,98	5,00	31,62
46,33	55,13	19,84	5,63	1,87	7,50	48,72
42,18	55,11	19,83	4,75	2,75	7,50	43,69
38,20	55,30	18,83	3,98	3,52	7,50	38,83
34,26	55,24	19,72	3,07	4,43	7,50	31,26
46,13	55,32	19,56	7,43	2,57	10,00	47,31
42,27	55,18	19,55	6,38	3,62	10,00	43,09
38,11	55,14	19,49	5,22	4,78	10,00	37,68
34,25	55,35	19,72	4,08	5,92	10,00	30,95

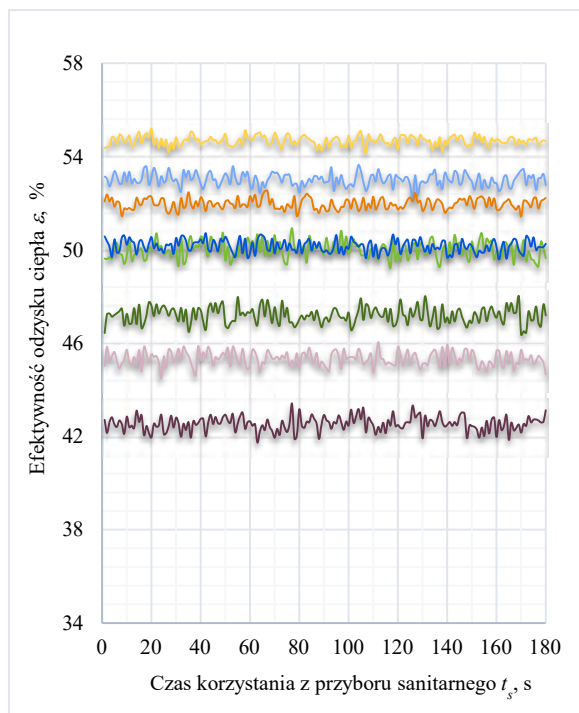
Załącznik. 55. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

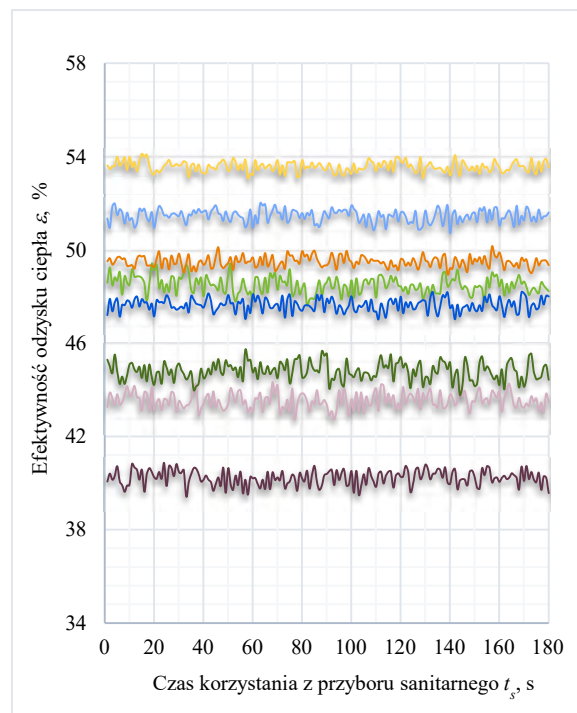
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

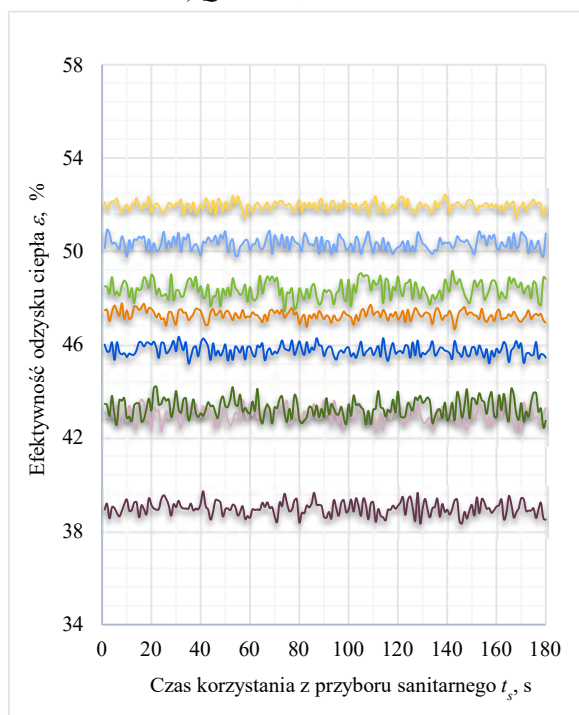
Załącznik. 56. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C



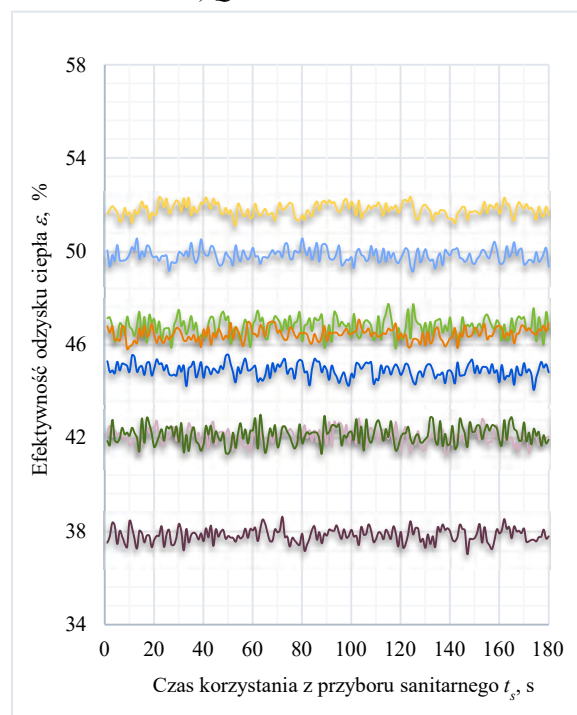
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

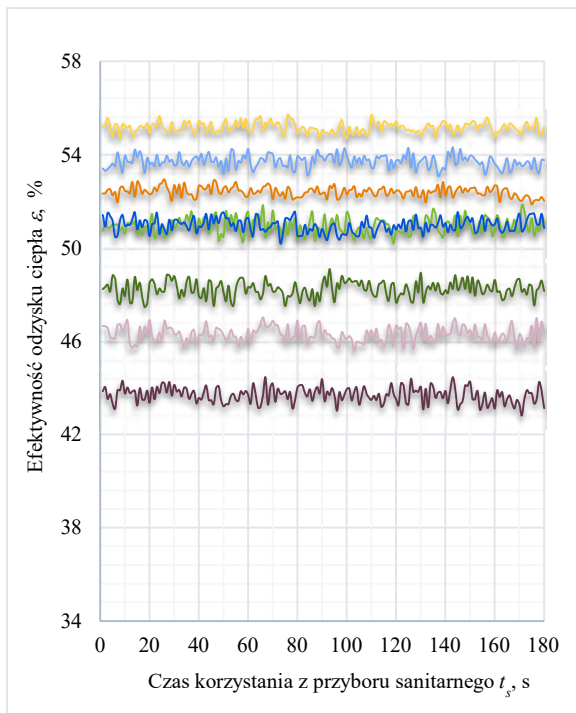


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

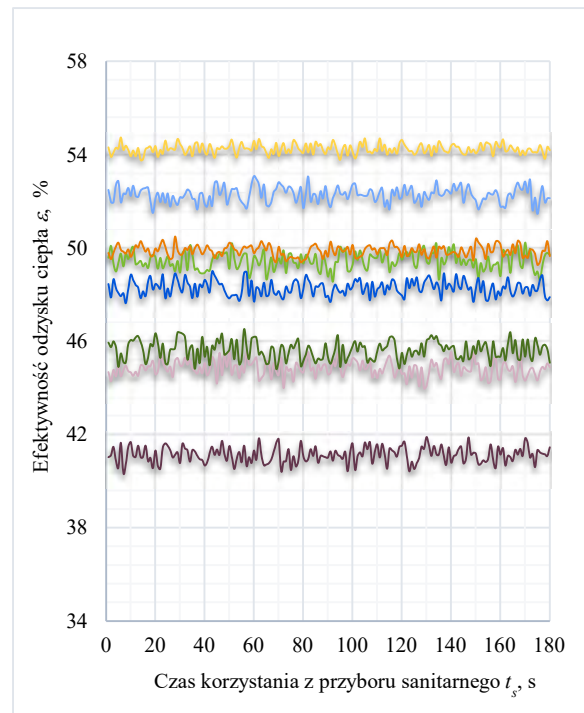
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

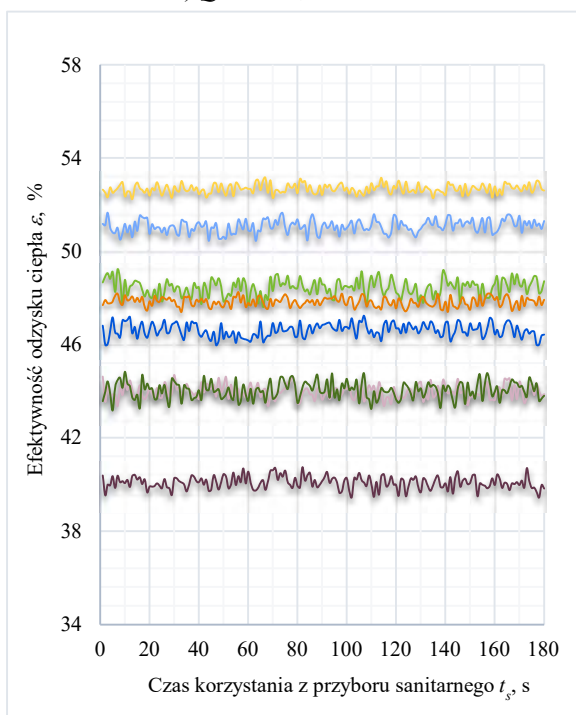
Załącznik. 57. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 3 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C



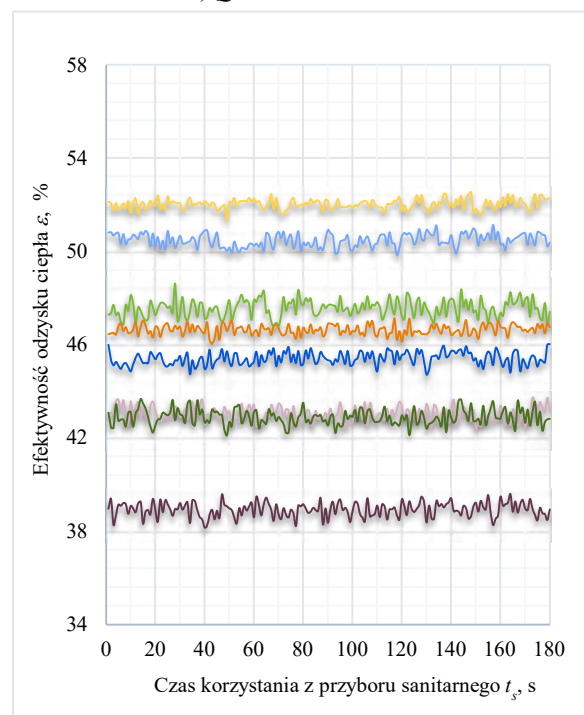
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

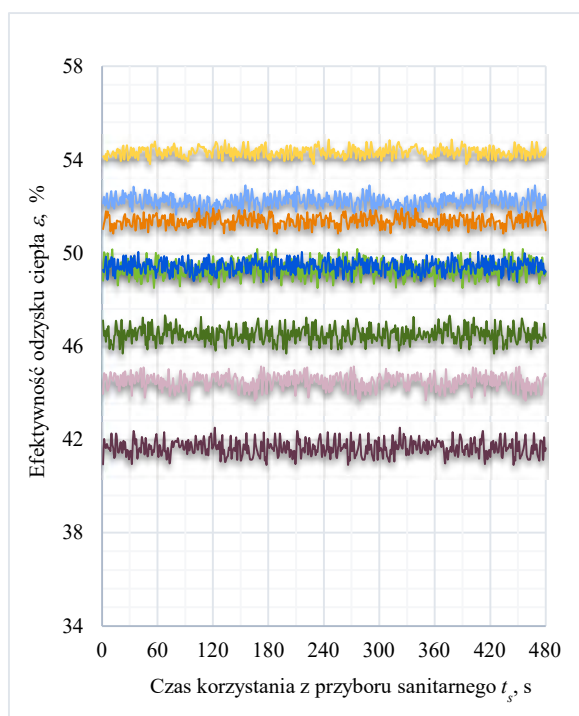
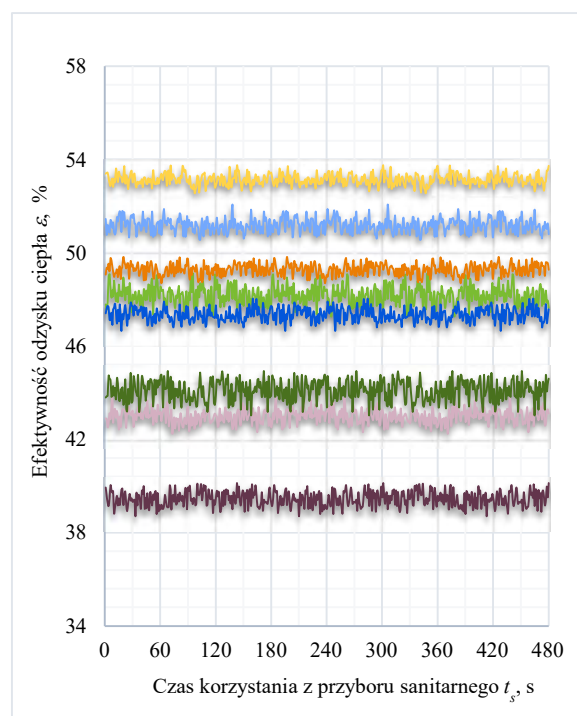
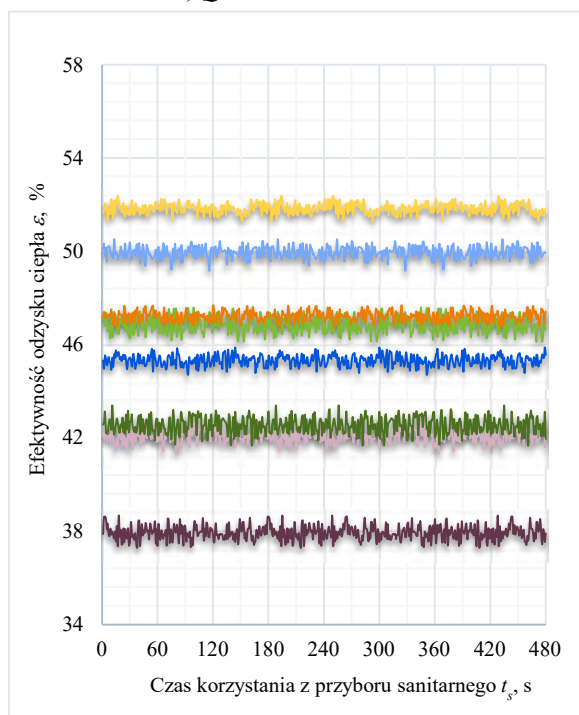


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

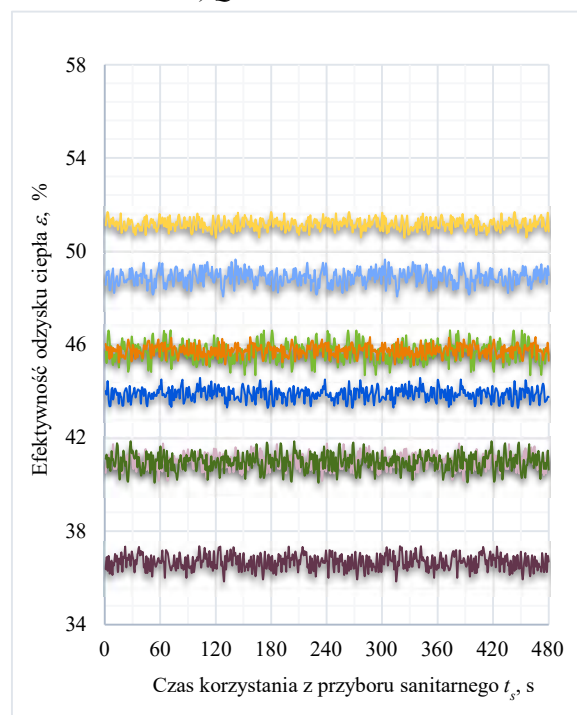
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 58. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C

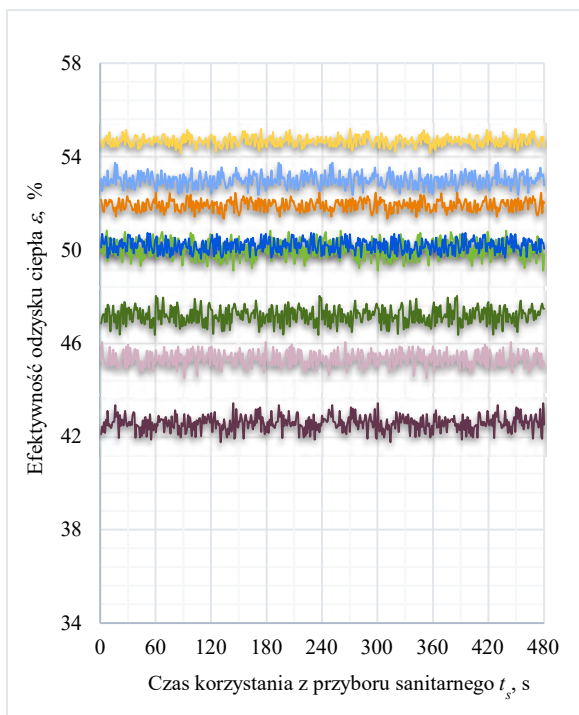
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

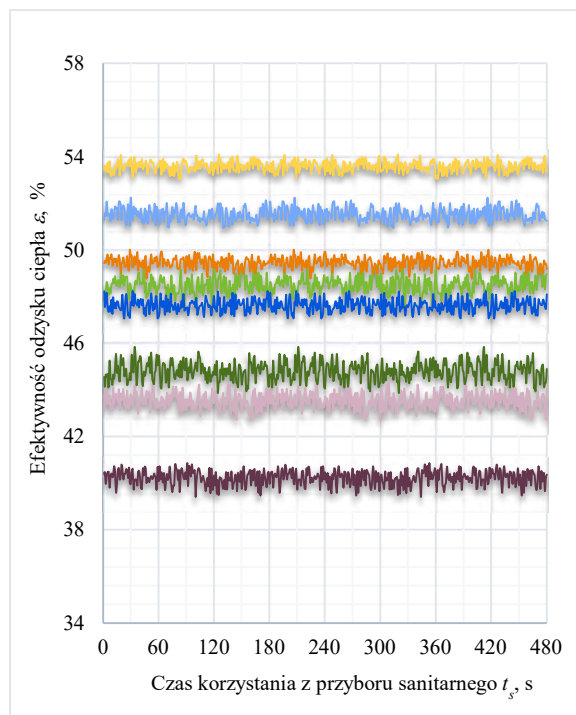
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

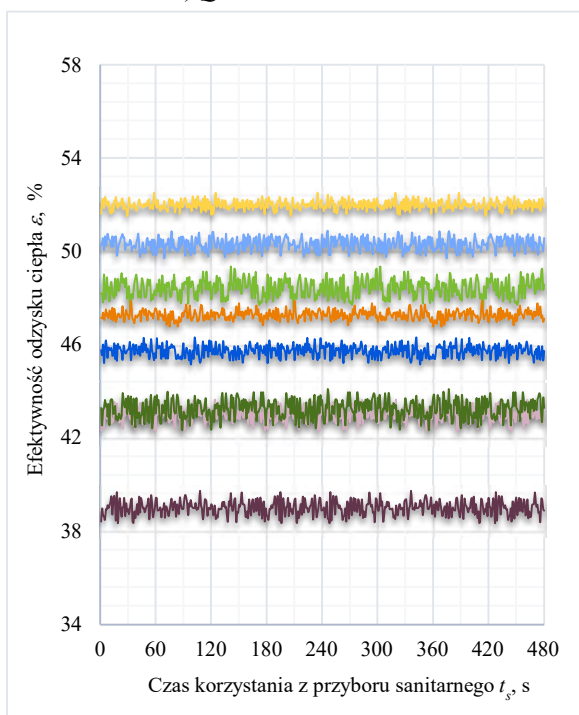
Załącznik. 59. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C



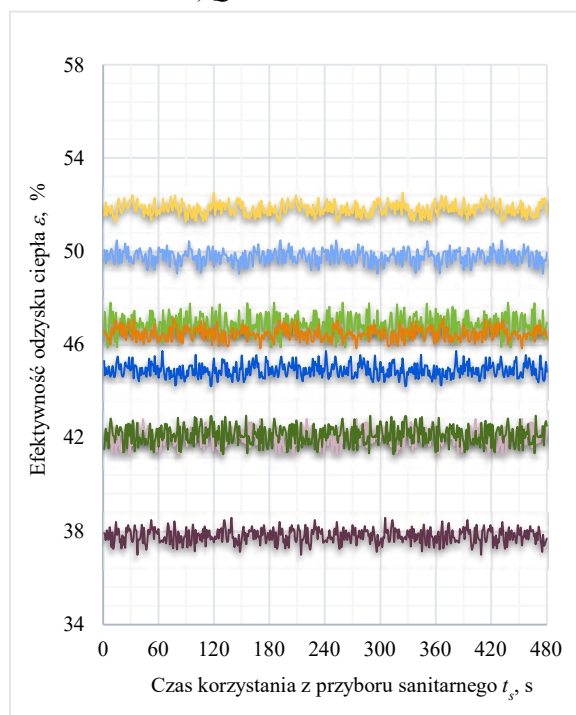
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

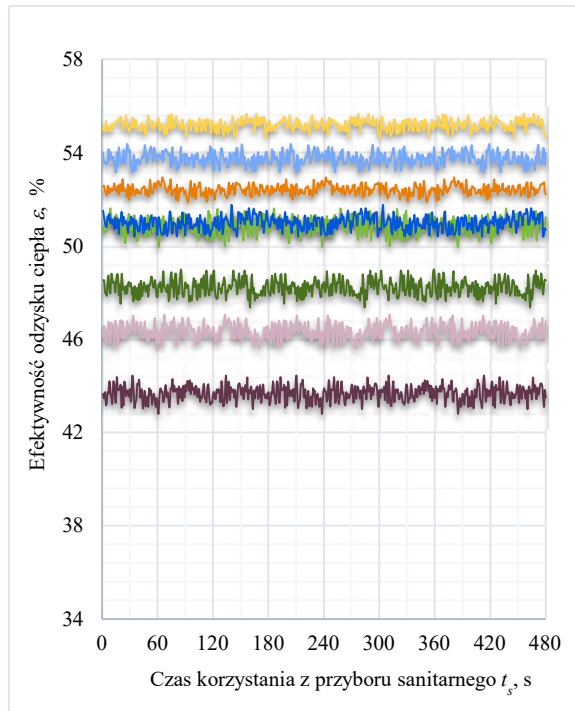


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

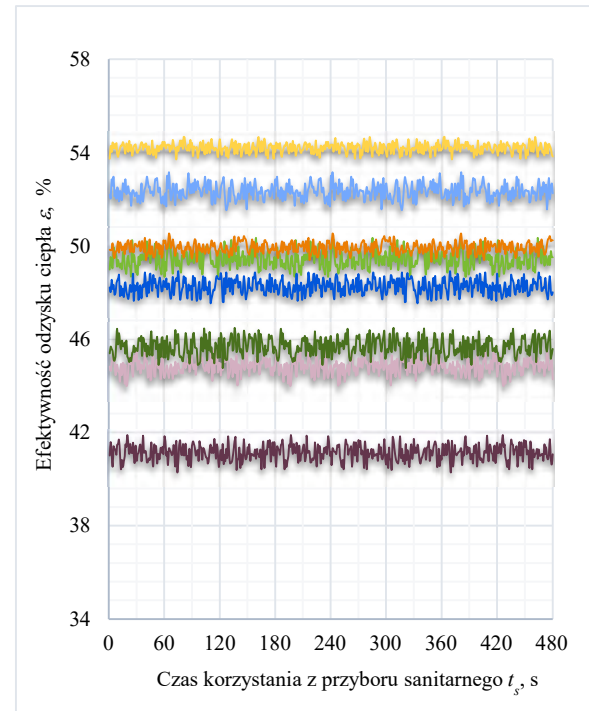
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

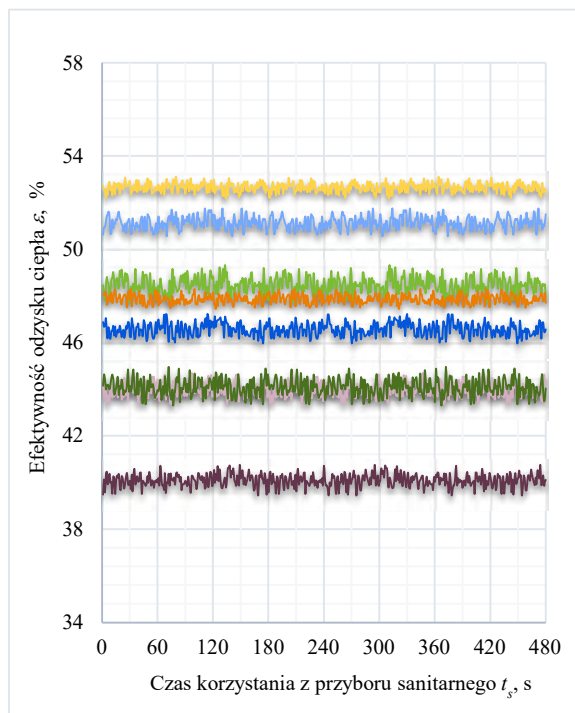
Załącznik. 60. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznica T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 8 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C



a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

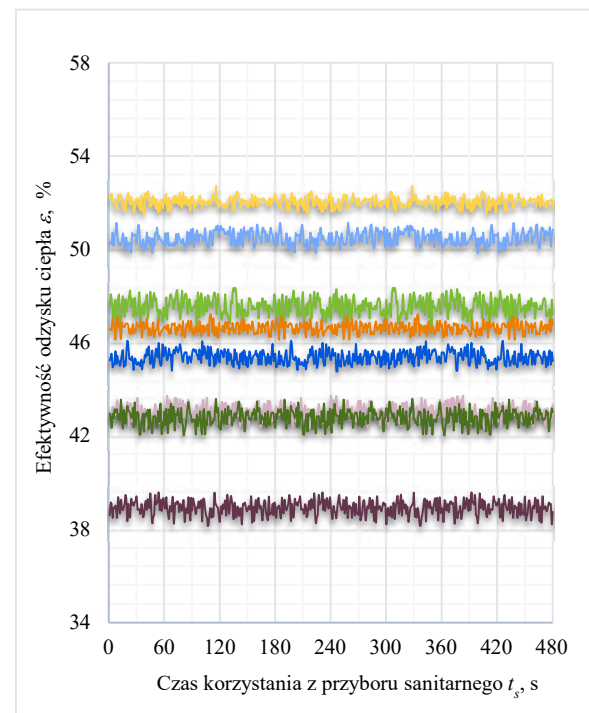


b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

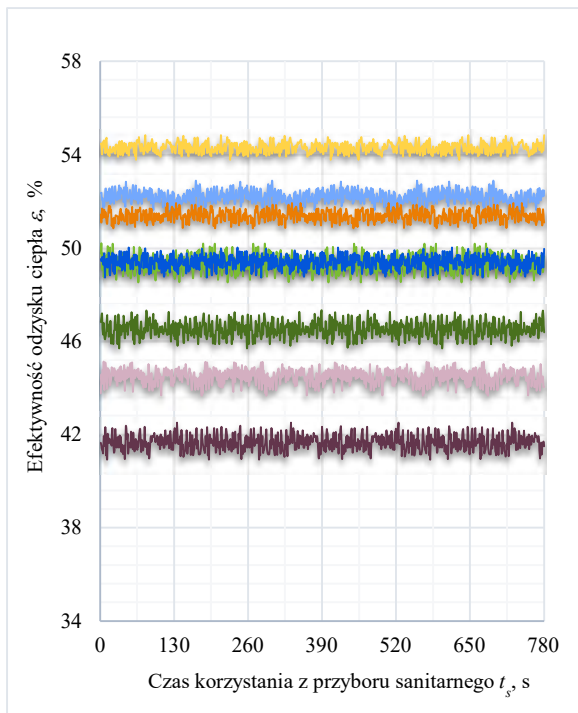
- $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
- $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
- $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
- $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)



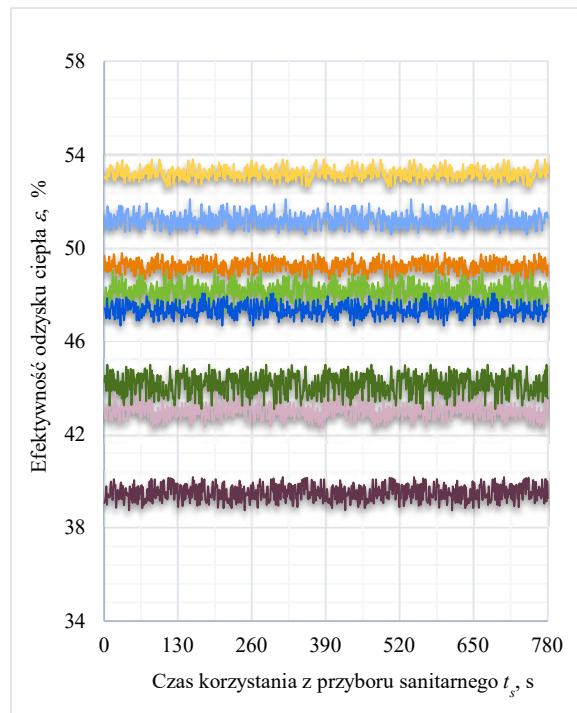
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

- $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
- $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
- $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
- $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

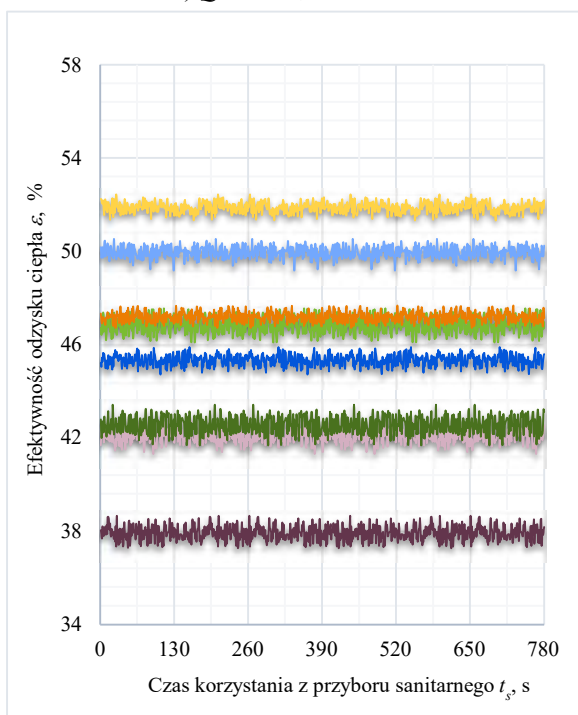
Załącznik. 61. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C



a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

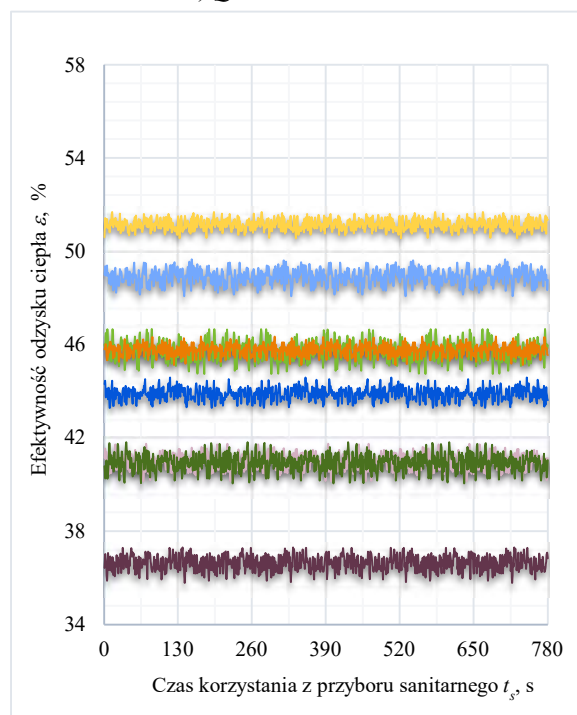


b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

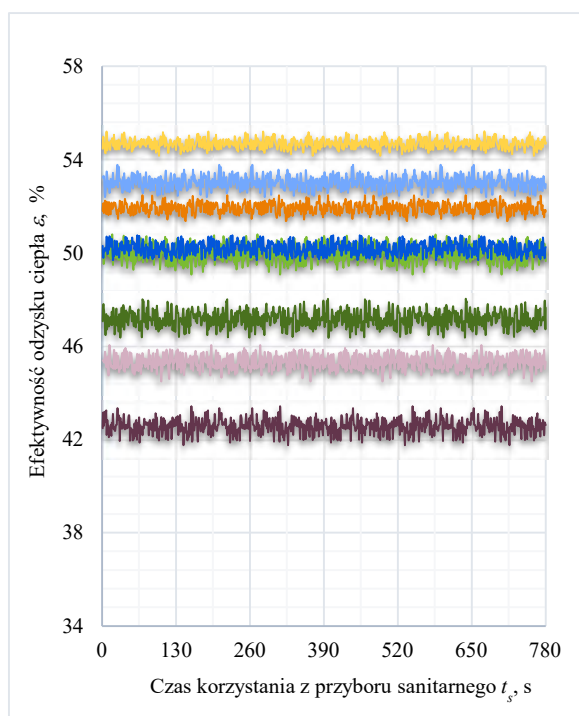
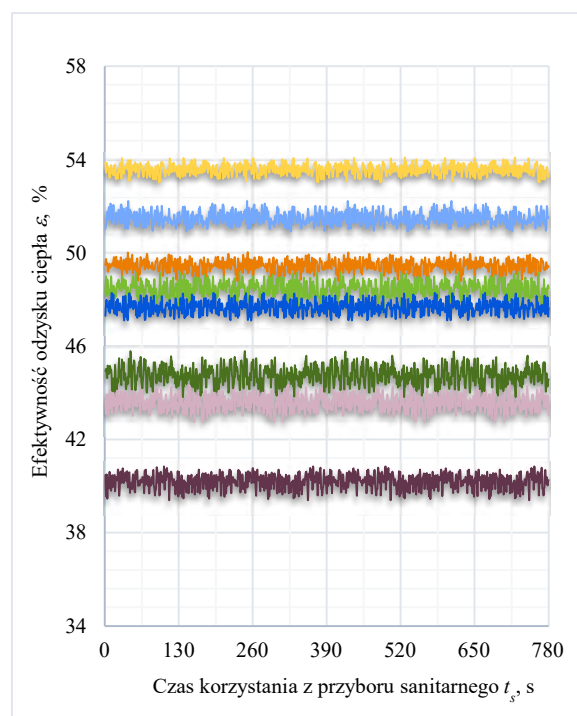
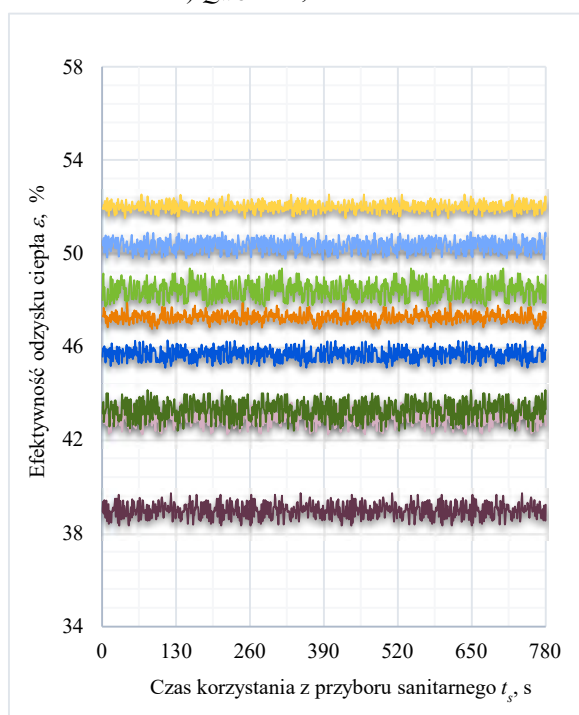
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)



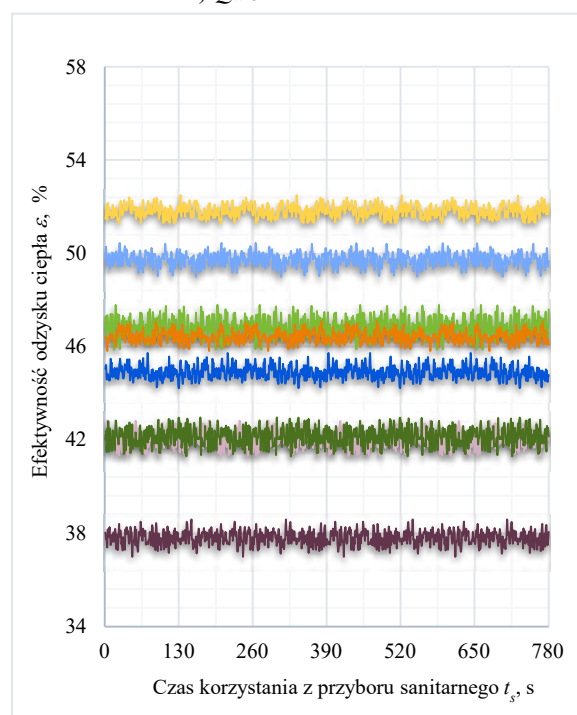
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 62. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C

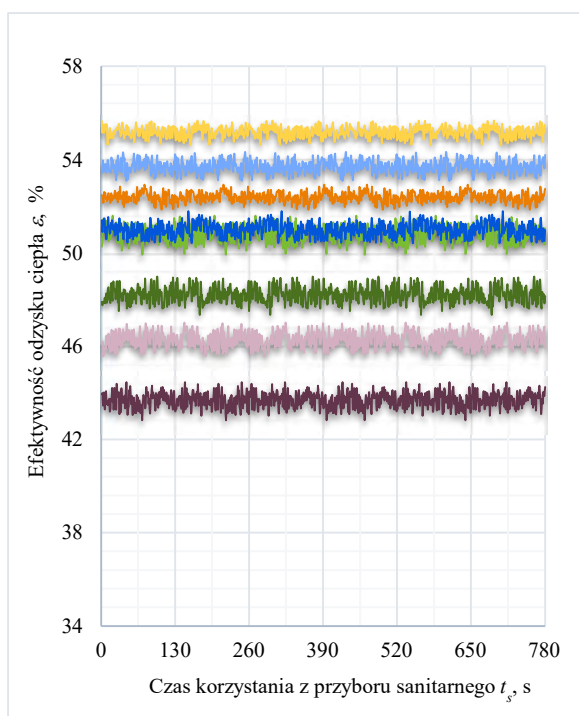
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

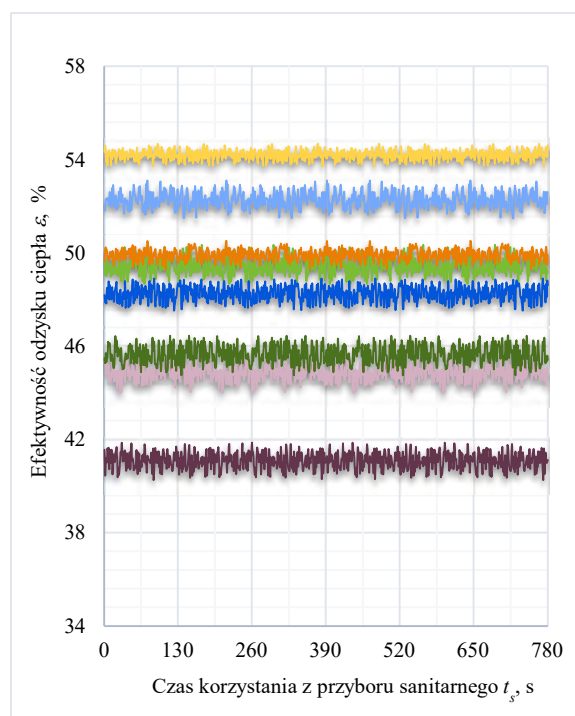
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

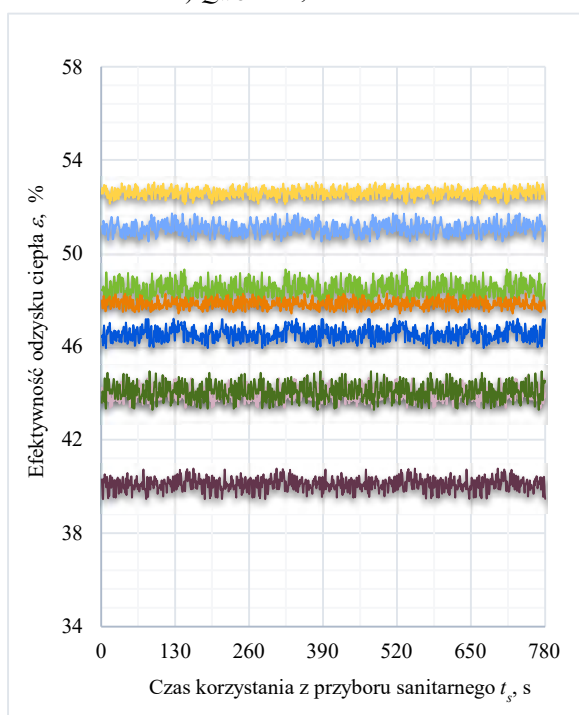
Załącznik. 63. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 13 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C



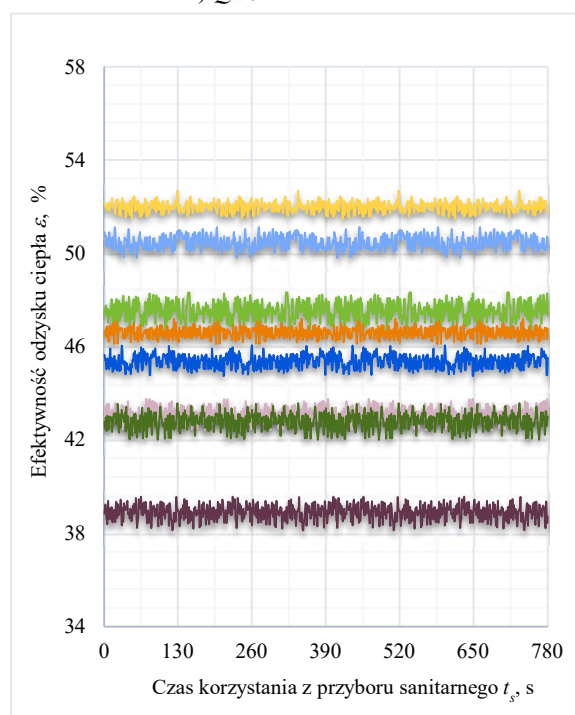
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$



b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

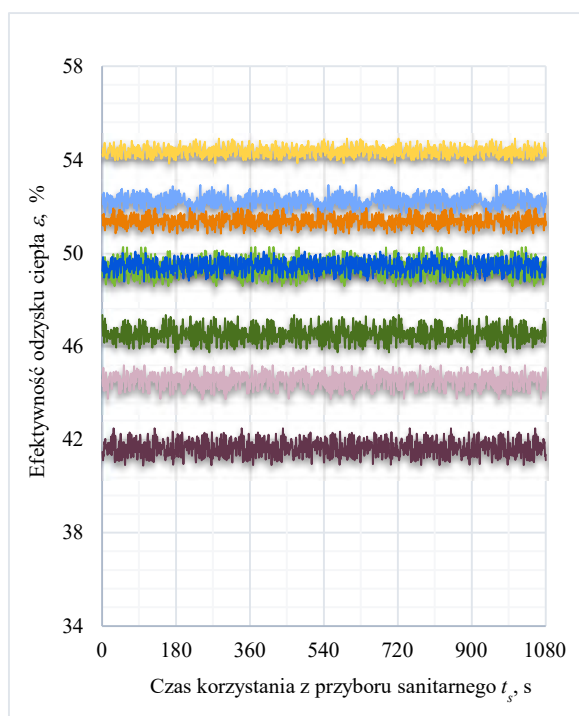
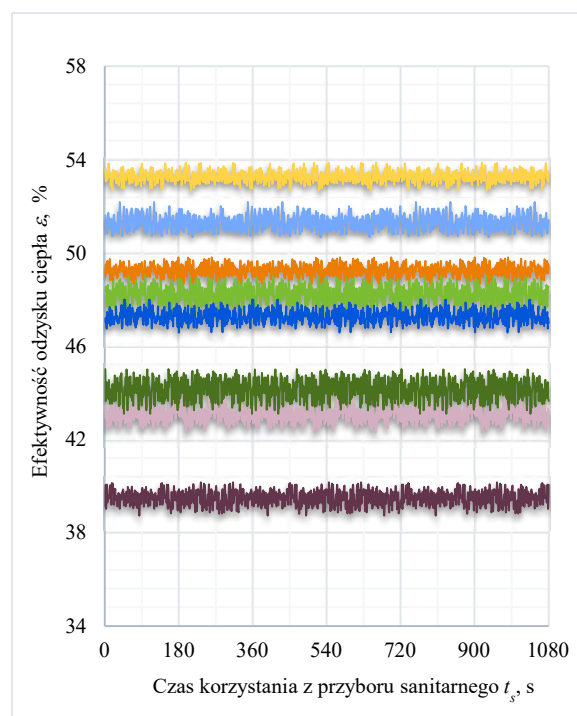
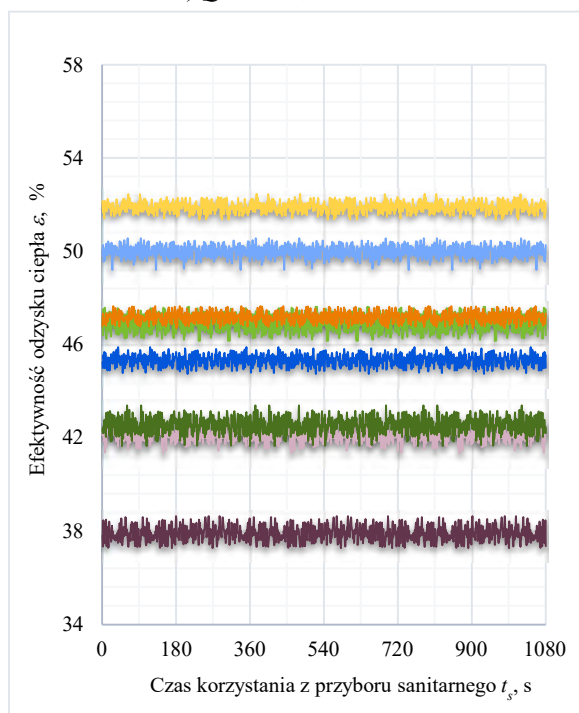


d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

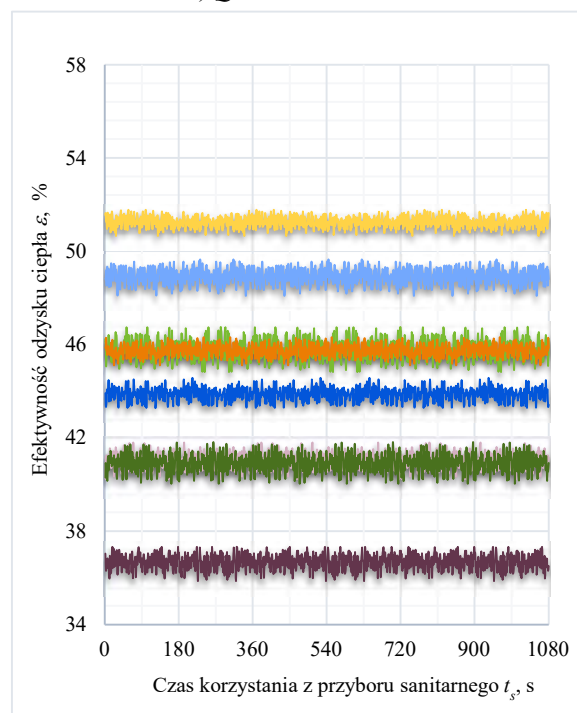
■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 64. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 12°C

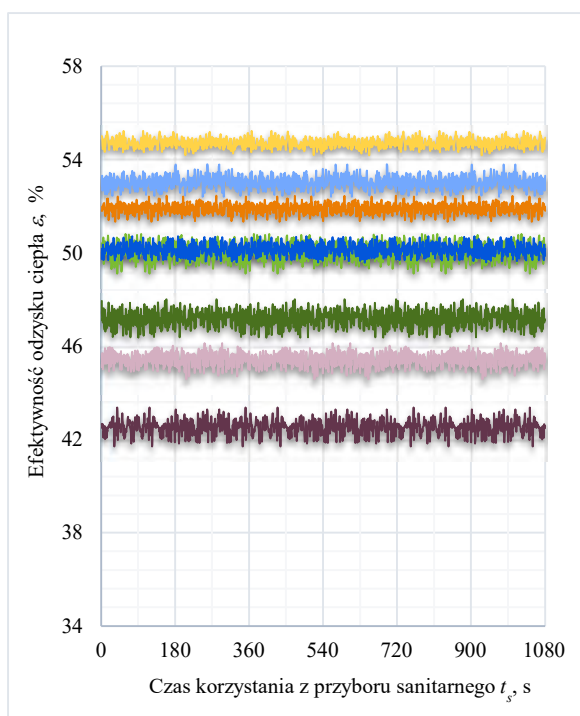
a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

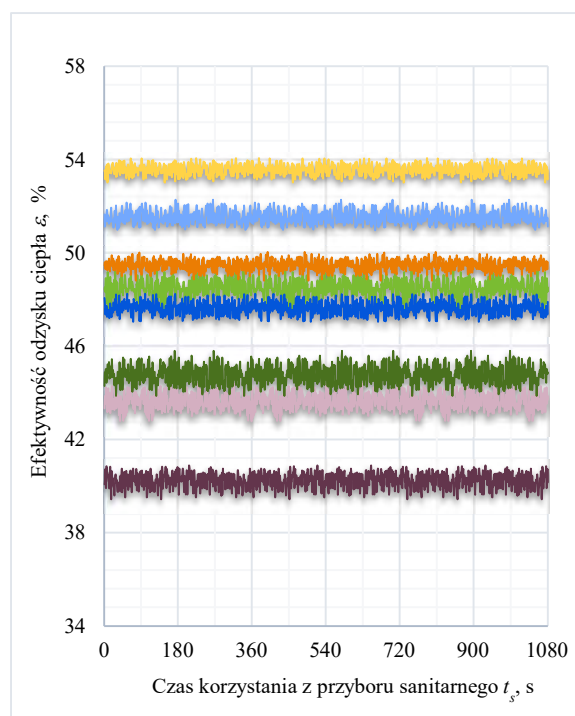
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

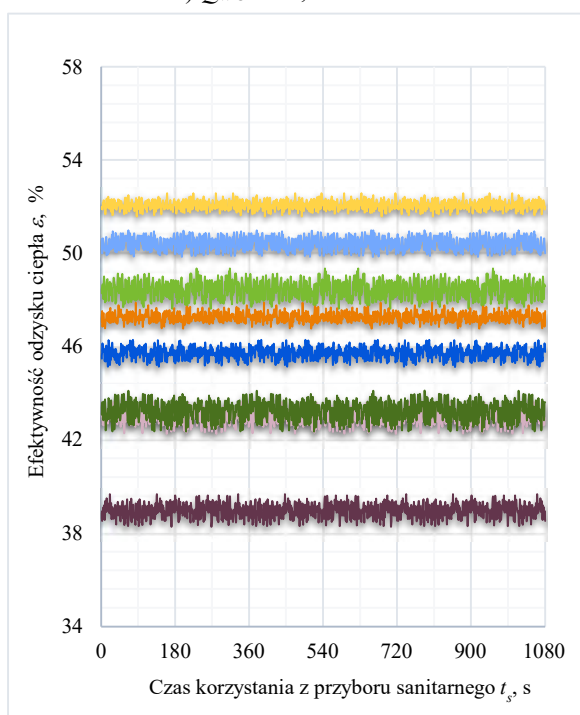
Załącznik. 65. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicza T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 16°C



a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

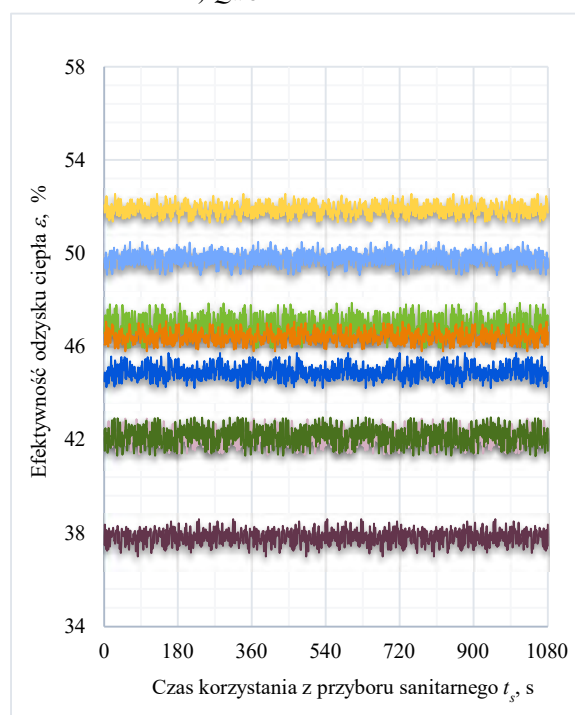


b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$



c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

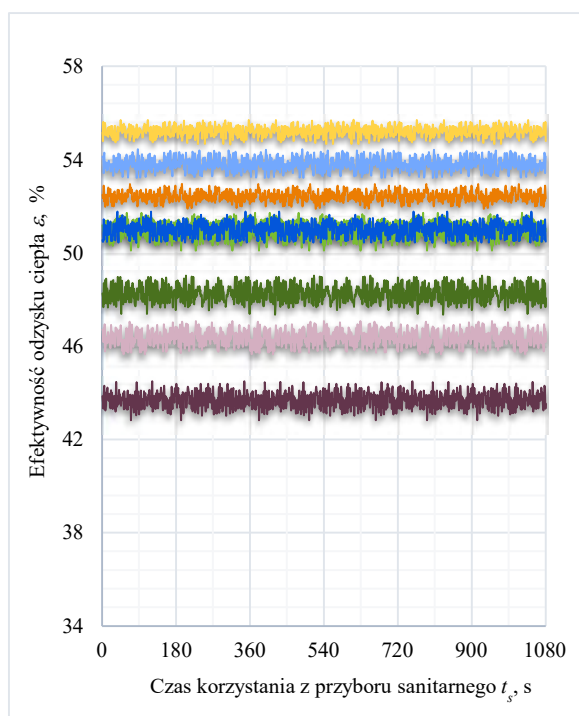
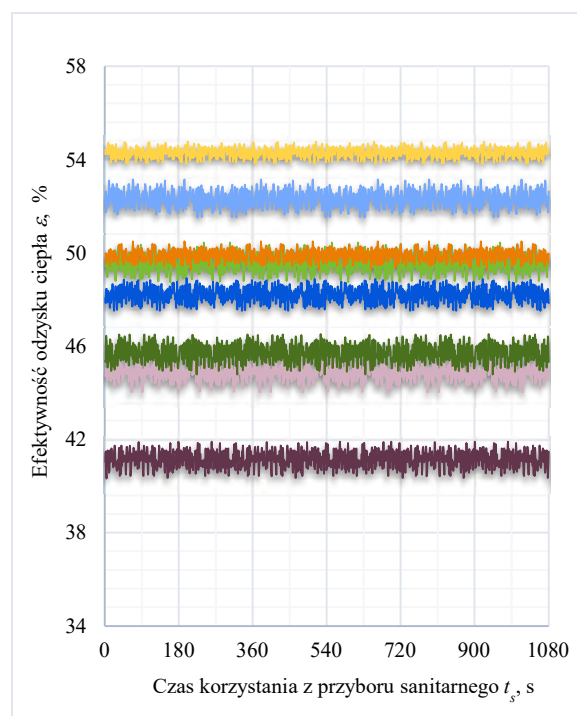
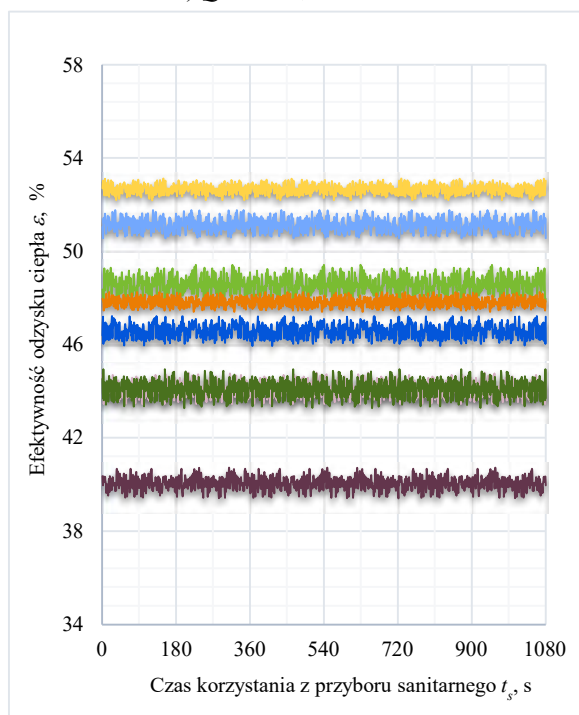
$T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
 $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
 $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
 $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)



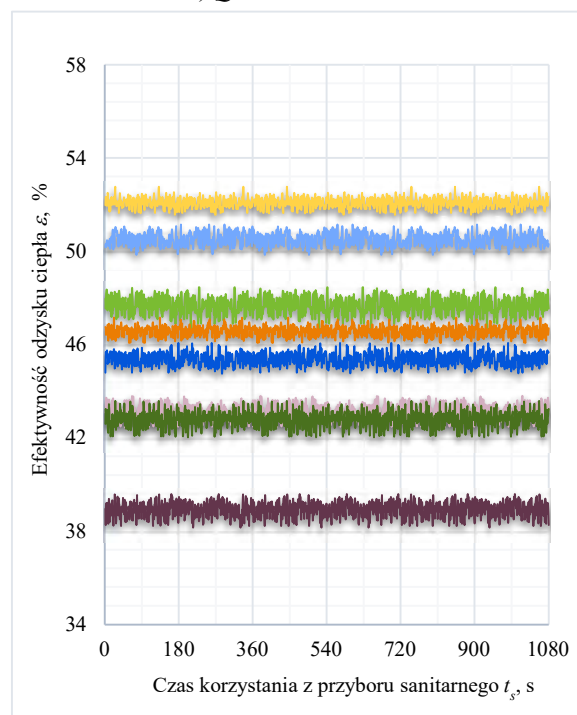
d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

$T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
 $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
 $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
 $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 66. Efektywność odzysku energii ε w Konfiguracji III dla odmiennych wartości temperatury wody zmieszanej na wypływie z wylewki prysznicia T_{WCM} i strumieni objętości wody zmieszanej na wyjściu z zaworu mieszającego Q_{WCM} dla czasu t_s równego 18 min i temperatury wody zimnej T_{WZ} wynoszącej 20°C

a) $Q_{WCM} = 2,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ b) $Q_{WCM} = 5 \text{ dm}^3/\text{min}$ c) $Q_{WCM} = 7,5 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1680mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1680mm)

d) $Q_{WCM} = 10 \text{ dm}^3/\text{min}$

■ $T_{WCM} = 46^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 42^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 38^\circ\text{C}$ (1270mm)
■ $T_{WCM} = 34^\circ\text{C}$ (1270mm)

Załącznik. 67. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 3 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZd}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,26	55,25	7,91	1,14	1,36	2,50	43,67
42,24	55,26	7,84	0,93	1,57	2,50	48,69
38,26	55,25	7,79	0,77	1,73	2,50	51,85
34,25	55,26	7,75	0,64	1,86	2,50	54,02
46,25	55,25	8,14	2,34	2,66	5,00	42,26
42,28	55,27	7,98	1,91	3,09	5,00	47,23
38,26	55,25	7,95	1,58	3,42	5,00	50,62
34,27	55,28	8,07	1,30	3,70	5,00	53,11
46,28	55,23	7,90	3,60	3,90	7,50	40,83
42,23	55,24	8,11	2,93	4,57	7,50	46,03
38,24	55,24	8,10	2,43	5,07	7,50	49,32
34,26	55,24	7,98	2,02	5,48	7,50	51,49
46,21	55,24	7,95	4,86	5,14	10,00	40,00
42,25	55,28	7,91	3,99	6,01	10,00	44,94
38,29	55,27	7,90	3,33	6,67	10,00	48,12
34,22	55,25	7,90	2,76	7,24	10,00	50,38
46,22	55,28	12,07	1,10	1,40	2,50	44,52
42,25	55,26	11,87	0,89	1,61	2,50	49,31
38,26	55,26	11,83	0,73	1,77	2,50	52,18
34,28	55,23	11,80	0,59	1,91	2,50	54,29
46,24	55,27	12,17	2,25	2,75	5,00	43,04
42,27	55,23	12,15	1,81	3,19	5,00	48,17
38,23	55,25	11,98	1,48	3,52	5,00	51,21
34,25	55,29	11,93	1,21	3,79	5,00	53,19

cd. Załącznik. 67.

46,24	55,26	12,15	3,43	4,07	7,50	42,09
42,24	55,25	12,10	2,79	4,71	7,50	46,81
38,24	55,26	12,09	2,28	5,22	7,50	49,96
34,26	55,27	11,94	1,86	5,64	7,50	51,87
46,25	55,21	12,11	4,67	5,33	10,00	41,00
42,26	55,28	12,03	3,79	6,21	10,00	45,73
38,26	55,23	11,97	3,10	6,90	10,00	48,94
34,26	55,26	11,94	2,52	7,48	10,00	51,16
46,25	55,24	15,66	1,06	1,44	2,50	45,33
42,28	55,25	15,58	0,84	1,66	2,50	50,01
38,25	55,27	15,55	0,67	1,83	2,50	53,01
34,23	55,23	15,51	0,53	1,97	2,50	54,69
46,24	55,26	15,90	2,18	2,82	5,00	43,53
42,23	55,23	15,93	1,73	3,27	5,00	48,49
38,26	55,28	15,86	1,38	3,62	5,00	51,49
34,26	55,26	15,80	1,09	3,91	5,00	53,57
46,29	55,26	15,97	3,30	4,20	7,50	42,97
42,22	55,27	16,92	2,55	4,95	7,50	48,37
38,27	55,25	15,87	2,12	5,38	7,50	50,33
34,22	55,26	15,83	1,68	5,82	7,50	51,98
46,26	55,25	16,19	4,46	5,54	10,00	42,05
42,21	55,26	16,14	3,54	6,46	10,00	46,81
38,22	55,27	16,10	2,84	7,16	10,00	49,80
34,24	55,26	16,14	2,23	7,77	10,00	51,81
46,25	55,25	19,89	1,00	1,50	2,50	46,26
42,27	55,23	19,83	0,78	1,72	2,50	50,91
38,23	55,24	19,75	0,60	1,90	2,50	53,72
34,29	55,26	19,72	0,46	2,04	2,50	55,16
46,22	55,25	19,94	2,05	2,95	5,00	44,86
42,26	55,23	19,85	1,60	3,40	5,00	49,46

cd. Załącznik. 67.

38,25	55,27	19,82	1,24	3,76	5,00	52,30
34,26	55,26	19,76	0,94	4,06	5,00	54,23
46,25	55,27	19,93	3,13	4,37	7,50	43,95
42,23	55,25	19,92	2,44	5,06	7,50	48,48
38,27	55,27	19,84	1,91	5,59	7,50	51,09
34,27	55,29	19,82	1,45	6,05	7,50	52,65
46,26	55,25	19,94	4,25	5,75	10,00	42,99
42,29	55,23	19,94	3,32	6,68	10,00	47,57
38,23	55,23	19,90	2,57	7,43	10,00	50,47
34,26	55,27	19,87	1,95	8,05	10,00	52,02

Załącznik. 68. Wartości średkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 3 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZA}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WWP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,26	55,29	8,19	1,19	1,31	2,50	41,03
42,28	55,31	8,12	0,98	1,52	2,50	45,85
38,24	55,23	8,10	0,81	1,69	2,50	49,04
34,30	55,26	8,02	0,68	1,82	2,50	50,97
46,28	55,26	7,51	2,49	2,51	5,00	38,52
42,27	55,22	7,47	2,07	2,93	5,00	43,10
38,27	55,25	7,41	1,73	3,27	5,00	46,38
34,25	55,23	7,40	1,45	3,55	5,00	48,54
46,28	55,24	7,77	3,84	3,66	7,50	36,87
42,28	55,24	7,73	3,18	4,32	7,50	41,58
38,27	55,24	7,70	2,67	4,83	7,50	44,67
34,26	55,26	7,75	2,23	5,27	7,50	46,73
46,24	55,30	7,95	5,18	4,82	10,00	36,02
42,27	55,25	7,91	4,31	5,69	10,00	40,51
38,23	55,26	7,90	3,62	6,38	10,00	43,48
34,27	55,24	7,90	3,04	6,96	10,00	45,39
46,30	55,26	12,11	1,16	1,34	2,50	41,61
42,25	55,26	12,10	0,93	1,57	2,50	46,51
38,26	55,23	11,92	0,77	1,73	2,50	49,42
34,24	55,27	11,92	0,63	1,87	2,50	51,38
46,25	55,24	12,03	2,40	2,60	5,00	39,50
42,32	55,26	12,03	1,96	3,04	5,00	44,16
38,26	55,29	12,01	1,60	3,40	5,00	47,31
34,26	55,27	11,94	1,30	3,70	5,00	49,29

cd. Załącznik. 68.

46,28	55,26	11,85	3,69	3,81	7,50	37,90
42,27	55,23	11,85	3,02	4,48	7,50	42,52
38,28	55,27	11,80	2,50	5,00	7,50	45,31
34,23	55,23	11,76	2,05	5,45	7,50	47,21
46,29	55,26	11,52	5,03	4,97	10,00	36,68
42,26	55,28	11,50	4,15	5,85	10,00	40,96
38,28	55,28	11,47	3,44	6,56	10,00	43,90
34,24	55,27	11,41	2,82	7,18	10,00	45,78
46,29	55,27	16,08	1,11	1,39	2,50	42,56
42,28	55,26	16,01	0,88	1,62	2,50	47,19
38,26	55,26	15,97	0,71	1,79	2,50	50,16
34,25	55,25	15,92	0,56	1,94	2,50	51,95
46,23	55,24	15,90	2,30	2,70	5,00	40,24
42,27	55,24	15,93	1,85	3,15	5,00	44,79
38,27	55,27	15,86	1,49	3,51	5,00	47,65
34,28	55,21	15,80	1,18	3,82	5,00	49,49
46,25	55,27	15,85	3,53	3,97	7,50	38,97
42,31	55,28	15,75	2,85	4,65	7,50	43,27
38,26	55,24	15,70	2,32	5,18	7,50	45,74
34,26	55,25	15,62	1,86	5,64	7,50	47,26
46,26	55,29	15,98	4,79	5,21	10,00	37,81
42,26	55,30	15,95	3,87	6,13	10,00	42,15
38,22	55,25	15,90	3,12	6,88	10,00	44,90
34,24	55,23	15,87	2,50	7,50	10,00	46,45
46,24	55,23	20,19	1,05	1,45	2,50	43,74
42,24	55,25	20,15	0,81	1,69	2,50	48,24
38,29	55,26	20,10	0,63	1,87	2,50	50,98
34,25	55,28	20,10	0,48	2,02	2,50	52,40
46,26	55,26	19,75	2,20	2,80	5,00	41,10
42,27	55,30	19,75	1,72	3,28	5,00	45,65

cd. Załącznik. 68.

38,28	55,25	19,70	1,35	3,65	5,00	48,26
34,25	55,27	19,54	1,03	3,97	5,00	49,89
46,30	55,29	19,98	3,35	4,15	7,50	40,08
42,26	55,20	19,95	2,65	4,85	7,50	44,07
38,24	55,24	19,90	2,08	5,42	7,50	46,60
34,25	55,25	19,85	1,59	5,91	7,50	47,84
46,29	55,31	19,95	4,55	5,45	10,00	38,93
42,27	55,24	19,90	3,61	6,39	10,00	42,84
38,26	55,23	19,87	2,84	7,16	10,00	45,39
34,24	55,26	19,80	2,17	7,83	10,00	46,62

Załącznik. 69. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 8 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZd}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,23	55,24	7,94	1,14	1,36	2,50	43,66
42,20	55,27	7,87	0,93	1,57	2,50	48,67
38,19	55,16	7,79	0,77	1,73	2,50	51,83
34,30	55,29	7,75	0,64	1,86	2,50	54,03
46,11	55,30	8,15	2,33	2,67	5,00	42,22
42,26	55,41	7,97	1,91	3,09	5,00	47,23
38,24	55,30	7,92	1,58	3,42	5,00	50,62
34,34	55,25	8,04	1,31	3,69	5,00	53,14
46,36	54,97	7,89	3,62	3,88	7,50	40,88
42,14	55,20	8,10	2,93	4,57	7,50	46,01
38,12	55,01	8,10	2,43	5,07	7,50	49,29
34,36	55,08	7,99	2,04	5,46	7,50	51,51
46,23	55,20	7,95	4,86	5,14	10,00	40,01
42,29	55,11	7,91	4,01	5,99	10,00	44,95
38,18	55,17	7,89	3,33	6,67	10,00	48,10
34,12	55,23	7,90	2,75	7,25	10,00	50,35
46,18	55,25	12,09	1,10	1,40	2,50	44,51
42,21	55,10	11,88	0,89	1,61	2,50	49,30
38,32	55,39	11,86	0,73	1,77	2,50	52,19
34,37	55,19	11,78	0,59	1,91	2,50	54,32
46,12	55,44	12,17	2,24	2,76	5,00	43,01
42,26	55,13	12,17	1,82	3,18	5,00	48,16
38,14	55,16	11,97	1,48	3,52	5,00	51,19
34,11	55,29	11,95	1,20	3,80	5,00	53,15

cd. Załącznik. 69.

46,31	54,60	12,12	3,49	4,01	7,50	42,11
42,29	55,17	12,07	2,80	4,70	7,50	46,83
38,13	55,19	12,07	2,27	5,23	7,50	49,94
34,12	55,51	11,95	1,84	5,66	7,50	51,83
46,33	55,24	12,13	4,68	5,32	10,00	41,01
42,12	55,17	12,05	3,79	6,21	10,00	45,69
38,21	55,26	11,95	3,10	6,90	10,00	48,93
34,17	55,13	11,92	2,52	7,48	10,00	51,14
46,20	55,45	15,67	1,05	1,45	2,50	45,31
42,31	55,12	15,59	0,84	1,66	2,50	50,02
38,14	55,35	15,53	0,67	1,83	2,50	52,99
34,09	55,39	15,53	0,53	1,97	2,50	54,65
46,17	55,20	15,89	2,18	2,82	5,00	43,51
42,28	55,22	15,93	1,73	3,27	5,00	48,50
38,23	55,27	15,87	1,38	3,62	5,00	51,48
34,35	55,24	15,80	1,09	3,91	5,00	53,59
46,36	55,67	15,96	3,27	4,23	7,50	42,99
42,30	55,50	16,90	2,55	4,95	7,50	48,40
38,24	55,43	15,90	2,11	5,39	7,50	50,31
34,17	55,07	15,85	1,68	5,82	7,50	51,96
46,13	55,13	16,18	4,46	5,54	10,00	42,02
42,18	55,32	16,14	3,54	6,46	10,00	46,80
38,22	55,09	16,09	2,85	7,15	10,00	49,80
34,14	55,15	16,11	2,23	7,77	10,00	51,79
46,32	55,33	19,87	1,00	1,50	2,50	46,28
42,24	55,08	19,83	0,78	1,72	2,50	50,90
38,24	55,20	19,73	0,60	1,90	2,50	53,73
34,38	55,32	19,69	0,46	2,04	2,50	55,19
46,24	55,34	19,92	2,05	2,95	5,00	44,87
42,18	55,25	19,87	1,59	3,41	5,00	49,43

cd. Załącznik. 69.

38,33	55,27	19,82	1,24	3,76	5,00	52,32
34,18	55,19	19,78	0,93	4,07	5,00	54,21
46,22	55,49	19,95	3,11	4,39	7,50	43,94
42,11	55,33	19,92	2,42	5,08	7,50	48,45
38,32	55,11	19,81	1,92	5,58	7,50	51,11
34,35	55,23	19,80	1,46	6,04	7,50	52,68
46,13	55,27	19,93	4,23	5,77	10,00	42,96
42,20	55,31	19,92	3,30	6,70	10,00	47,55
38,29	55,26	19,93	2,57	7,43	10,00	50,48
34,34	55,29	19,90	1,96	8,04	10,00	52,03

Załącznik. 70. Wartości średkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 8 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZA}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WWP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,14	55,29	8,16	1,19	1,31	2,50	41,01
42,26	55,31	8,11	0,98	1,52	2,50	45,85
38,30	55,23	8,10	0,82	1,68	2,50	49,06
34,19	55,26	7,99	0,68	1,82	2,50	50,95
46,32	55,26	7,49	2,50	2,50	5,00	38,54
42,20	55,22	7,48	2,07	2,93	5,00	43,08
38,25	55,25	7,39	1,73	3,27	5,00	46,38
34,18	55,23	7,40	1,44	3,56	5,00	48,52
46,24	55,24	7,77	3,84	3,66	7,50	36,86
42,15	55,24	7,76	3,18	4,32	7,50	41,54
38,14	55,24	7,69	2,66	4,84	7,50	44,64
34,33	55,26	7,77	2,23	5,27	7,50	46,74
46,17	55,30	7,98	5,17	4,83	10,00	35,99
42,16	55,25	7,90	4,31	5,69	10,00	40,48
38,26	55,26	7,92	3,62	6,38	10,00	43,48
34,34	55,24	7,88	3,05	6,95	10,00	45,41
46,29	55,26	12,08	1,16	1,34	2,50	41,62
42,14	55,26	12,09	0,93	1,57	2,50	46,48
38,26	55,23	11,92	0,77	1,73	2,50	49,42
34,22	55,27	11,91	0,63	1,87	2,50	51,38
46,18	55,24	12,05	2,39	2,61	5,00	39,48
42,18	55,26	12,03	1,95	3,05	5,00	44,12
38,34	55,29	11,98	1,60	3,40	5,00	47,34
34,36	55,27	11,96	1,31	3,69	5,00	49,31

cd. Załącznik. 70.

46,38	55,26	11,86	3,70	3,80	7,50	37,92
42,28	55,23	11,87	3,02	4,48	7,50	42,52
38,36	55,27	11,83	2,50	5,00	7,50	45,32
34,20	55,23	11,78	2,04	5,46	7,50	47,20
46,37	55,26	11,53	5,04	4,96	10,00	36,70
42,35	55,28	11,48	4,16	5,84	10,00	40,99
38,23	55,28	11,46	3,43	6,57	10,00	43,89
34,13	55,27	11,41	2,81	7,19	10,00	45,75
46,38	55,27	16,10	1,11	1,39	2,50	42,58
42,35	55,26	15,99	0,89	1,61	2,50	47,21
38,31	55,26	15,95	0,71	1,79	2,50	50,18
34,17	55,25	15,92	0,56	1,94	2,50	51,93
46,28	55,24	15,92	2,31	2,69	5,00	40,25
42,28	55,24	15,94	1,85	3,15	5,00	44,79
38,14	55,27	15,87	1,48	3,52	5,00	47,62
34,16	55,21	15,83	1,18	3,82	5,00	49,45
46,34	55,27	15,84	3,54	3,96	7,50	38,99
42,35	55,28	15,74	2,86	4,64	7,50	43,28
38,32	55,24	15,71	2,33	5,17	7,50	45,75
34,28	55,25	15,60	1,86	5,64	7,50	47,27
46,26	55,29	15,96	4,79	5,21	10,00	37,81
42,11	55,30	15,93	3,85	6,15	10,00	42,12
38,20	55,25	15,91	3,12	6,88	10,00	44,89
34,27	55,23	15,86	2,50	7,50	10,00	46,46
46,15	55,23	20,18	1,04	1,46	2,50	43,72
42,15	55,25	20,14	0,81	1,69	2,50	48,22
38,27	55,26	20,11	0,63	1,87	2,50	50,97
34,29	55,28	20,08	0,48	2,02	2,50	52,41
46,31	55,26	19,77	2,20	2,80	5,00	41,11
42,23	55,30	19,76	1,72	3,28	5,00	45,64

cd. Załącznik. 70.

38,33	55,25	19,68	1,36	3,64	5,00	48,28
34,31	55,27	19,53	1,04	3,96	5,00	49,91
46,35	55,29	19,99	3,36	4,14	7,50	40,09
42,25	55,20	19,94	2,65	4,85	7,50	44,07
38,13	55,24	19,91	2,07	5,43	7,50	46,57
34,34	55,25	19,86	1,60	5,90	7,50	47,86
46,27	55,31	19,97	4,55	5,45	10,00	38,92
42,25	55,24	19,89	3,62	6,38	10,00	42,84
38,24	55,23	19,85	2,84	7,16	10,00	45,39
34,33	55,26	19,82	2,18	7,82	10,00	46,64

Załącznik. 71. Wartości środkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1680 mm i czasu t_s równego 13 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZd}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WPP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,24	55,24	7,94	1,14	1,36	2,50	43,66
42,19	55,31	7,83	0,93	1,57	2,50	48,68
38,24	55,20	7,78	0,77	1,73	2,50	51,85
34,23	55,12	7,74	0,64	1,86	2,50	54,02
46,16	55,21	8,17	2,33	2,67	5,00	42,23
42,32	55,27	7,97	1,92	3,08	5,00	47,24
38,27	55,15	7,97	1,59	3,41	5,00	50,62
34,16	55,29	8,06	1,30	3,70	5,00	53,08
46,19	55,13	7,91	3,60	3,90	7,50	40,84
42,10	55,12	8,12	2,93	4,57	7,50	45,99
38,11	55,11	8,10	2,43	5,07	7,50	49,29
34,22	55,28	8,01	2,02	5,48	7,50	51,47
46,09	55,14	7,98	4,85	5,15	10,00	39,96
42,32	55,36	7,91	3,99	6,01	10,00	44,96
38,30	55,15	7,89	3,34	6,66	10,00	48,12
34,09	55,30	7,92	2,74	7,26	10,00	50,34
46,17	55,16	12,09	1,10	1,40	2,50	44,50
42,29	55,24	11,84	0,89	1,61	2,50	49,33
38,21	55,20	11,83	0,73	1,77	2,50	52,17
34,30	55,10	11,79	0,59	1,91	2,50	54,30
46,10	55,36	12,19	2,24	2,76	5,00	43,00
42,14	55,14	12,17	1,81	3,19	5,00	48,13
38,19	55,28	11,96	1,48	3,52	5,00	51,21
34,29	55,19	11,94	1,21	3,79	5,00	53,20

cd. Załącznik. 71.

46,21	55,30	12,13	3,43	4,07	7,50	42,09
42,15	55,19	12,07	2,78	4,72	7,50	46,80
38,17	55,23	12,06	2,27	5,23	7,50	49,95
34,28	55,34	11,94	1,86	5,64	7,50	51,88
46,22	55,11	12,12	4,68	5,32	10,00	40,99
42,29	55,32	12,00	3,79	6,21	10,00	45,74
38,28	55,31	11,97	3,10	6,90	10,00	48,94
34,11	55,24	11,91	2,50	7,50	10,00	51,13
46,17	55,21	15,67	1,05	1,45	2,50	45,31
42,18	55,18	15,56	0,84	1,66	2,50	49,99
38,25	55,36	15,56	0,67	1,83	2,50	53,01
34,10	55,11	15,48	0,53	1,97	2,50	54,67
46,33	55,24	15,88	2,18	2,82	5,00	43,56
42,15	55,14	15,92	1,72	3,28	5,00	48,47
38,15	55,21	15,85	1,38	3,62	5,00	51,47
34,28	55,30	15,83	1,09	3,91	5,00	53,57
46,24	55,25	15,96	3,30	4,20	7,50	42,96
42,26	55,32	16,90	2,56	4,94	7,50	48,39
38,27	55,33	15,86	2,11	5,39	7,50	50,33
34,14	55,16	15,84	1,68	5,82	7,50	51,96
46,21	55,32	16,17	4,45	5,55	10,00	42,04
42,23	55,13	16,15	3,56	6,44	10,00	46,81
38,09	55,27	16,08	2,82	7,18	10,00	49,77
34,12	55,22	16,13	2,22	7,78	10,00	51,78
46,16	55,19	19,89	1,00	1,50	2,50	46,24
42,17	55,23	19,82	0,77	1,73	2,50	50,89
38,13	55,15	19,77	0,60	1,90	2,50	53,69
34,39	55,35	19,74	0,46	2,04	2,50	55,18
46,30	55,11	19,91	2,07	2,93	5,00	44,89
42,15	55,12	19,85	1,60	3,40	5,00	49,43

cd. Załącznik. 71.

38,14	55,27	19,84	1,23	3,77	5,00	52,27
34,22	55,24	19,78	0,93	4,07	5,00	54,21
46,31	55,21	19,95	3,14	4,36	7,50	43,96
42,09	55,11	19,92	2,44	5,06	7,50	48,44
38,14	55,23	19,82	1,90	5,60	7,50	51,06
34,15	55,14	19,83	1,44	6,06	7,50	52,62
46,35	55,33	19,95	4,25	5,75	10,00	43,01
42,16	55,21	19,97	3,30	6,70	10,00	47,53
38,21	55,24	19,92	2,56	7,44	10,00	50,46
34,12	55,27	19,86	1,93	8,07	10,00	51,99

Załącznik. 72. Wartości średkowe zmiennych wejściowych i wyjściowych zarejestrowane podczas analiz doświadczalnych *Konfiguracji III* systemu odzysku ciepła dla wymiennika o długości 1270 mm i czasu t_s równego 13 min

Temperatura wody na wyjściu z zaworu mieszającego $T_{WCM}, ^\circ\text{C}$	Temperatura wody na wyjściu z podgrzewacza $T_{WCP}, ^\circ\text{C}$	Temperatura zimnej wody wodociągowej $T_{WZ}, ^\circ\text{C}$	Strumień objętości zimnej wody wodociągowej na dopływie do podgrzewacza elektrycznego $Q_{WZA}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody wstępnie podgrzanej na dopływie do zaworu mieszającego $Q_{WWP}, \text{dm}^3/\text{min}$	Strumień objętości wody na wyjściu z zaworu mieszającego $Q_{WCM}, \text{dm}^3/\text{min}$	Efektywność odzysku ciepła $\varepsilon, \%$
46,19	55,27	8,22	1,19	1,31	2,50	41,00
42,30	55,25	8,13	0,98	1,52	2,50	45,85
38,34	55,32	8,10	0,82	1,68	2,50	49,07
34,26	55,23	8,01	0,68	1,82	2,50	50,96
46,24	55,28	7,49	2,49	2,51	5,00	38,51
42,21	55,07	7,50	2,08	2,92	5,00	43,08
38,16	55,22	7,40	1,73	3,27	5,00	46,36
34,14	55,10	7,42	1,44	3,56	5,00	48,51
46,15	55,28	7,80	3,83	3,67	7,50	36,83
42,34	55,20	7,73	3,19	4,31	7,50	41,60
38,36	55,19	7,68	2,68	4,82	7,50	44,70
34,21	55,27	7,74	2,23	5,27	7,50	46,72
46,28	55,17	7,96	5,19	4,81	10,00	36,03
42,27	55,27	7,88	4,32	5,68	10,00	40,52
38,24	55,26	7,92	3,62	6,38	10,00	43,48
34,37	55,17	7,92	3,06	6,94	10,00	45,41
46,38	55,24	12,10	1,16	1,34	2,50	41,63
42,20	55,19	12,13	0,93	1,57	2,50	46,49
38,15	55,19	11,91	0,77	1,73	2,50	49,39
34,25	55,29	11,90	0,63	1,87	2,50	51,39
46,34	55,33	12,04	2,40	2,60	5,00	39,52
42,39	55,23	12,06	1,96	3,04	5,00	44,17
38,36	55,29	12,00	1,60	3,40	5,00	47,34
34,18	55,35	11,96	1,30	3,70	5,00	49,26

cd. Załącznik. 72.

46,26	55,32	11,83	3,69	3,81	7,50	37,90
42,35	55,26	11,85	3,03	4,47	7,50	42,54
38,32	55,36	11,77	2,50	5,00	7,50	45,33
34,14	55,17	11,78	2,04	5,46	7,50	47,18
46,14	55,33	11,52	5,01	4,99	10,00	36,64
42,27	55,25	11,52	4,15	5,85	10,00	40,96
38,29	55,26	11,49	3,43	6,57	10,00	43,90
34,22	55,12	11,43	2,83	7,17	10,00	45,77
46,36	55,32	16,08	1,11	1,39	2,50	42,58
42,29	55,22	16,02	0,88	1,62	2,50	47,19
38,33	55,19	15,94	0,71	1,79	2,50	50,18
34,26	55,13	15,92	0,56	1,94	2,50	51,95
46,11	55,16	15,88	2,30	2,70	5,00	40,22
42,18	55,14	15,95	1,85	3,15	5,00	44,76
38,30	55,27	15,83	1,49	3,51	5,00	47,66
34,22	55,15	15,81	1,18	3,82	5,00	49,47
46,24	55,21	15,84	3,53	3,97	7,50	38,97
42,44	55,18	15,73	2,88	4,62	7,50	43,31
38,12	55,14	15,71	2,31	5,19	7,50	45,70
34,25	55,16	15,61	1,86	5,64	7,50	47,26
46,18	55,38	15,96	4,77	5,23	10,00	37,79
42,15	55,30	15,93	3,85	6,15	10,00	42,13
38,19	55,26	15,89	3,12	6,88	10,00	44,89
34,16	55,21	15,89	2,49	7,51	10,00	46,43
46,27	55,21	20,20	1,05	1,45	2,50	43,74
42,15	55,15	20,18	0,81	1,69	2,50	48,21
38,36	55,28	20,13	0,64	1,86	2,50	50,99
34,24	55,31	20,12	0,48	2,02	2,50	52,39
46,18	55,16	19,76	2,20	2,80	5,00	41,08
42,17	55,20	19,76	1,72	3,28	5,00	45,62

cd. Załącznik. 72.

38,34	55,18	19,68	1,36	3,64	5,00	48,28
34,27	55,13	19,57	1,04	3,96	5,00	49,89
46,37	55,27	19,97	3,36	4,14	7,50	40,10
42,20	55,25	19,94	2,64	4,86	7,50	44,06
38,10	55,25	19,91	2,06	5,44	7,50	46,56
34,20	55,21	19,86	1,59	5,91	7,50	47,83
46,16	55,09	19,94	4,56	5,44	10,00	38,90
42,27	55,22	19,92	3,62	6,38	10,00	42,83
38,20	55,17	19,88	2,84	7,16	10,00	45,37
34,26	55,20	19,82	2,18	7,82	10,00	46,62