

**POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA, GEODEZJI
I ENERGETYKI ODNAWIALNEJ**

**DYSCYPLINA: INŻYNIERIA ŚRODOWISKA, GÓRNICCTWO
I ENERGETYKA**

ROZPRAWA DOKTORSKA

Analiza sprawności odzysku ciepła w zdecentralizowanej
wentylacji fasadowej

*Analysis of heat recovery efficiency in decentralized
facade ventilation.*

mgr inż. Beata Galiszewska

Promotor:

dr hab. inż. Ewa Zender-Świercz prof. PŚk

Kielce 2023

*Serdeczne podziękowania dla Pani Promotor
dr hab. inż. Ewie Zender-Świercz prof. PŚk,
za każdą chwilę poświęconą na dyskusje,
za cenne uwagi, które pozwalały mi patrzeć na badania z innej perspektywy,
oraz za nieustanne wsparcie, nawet w chwilach zwątpienia.
Dziękuję za cierpliwość, wiarę we mnie i moje możliwości.*

*Serdeczne podziękowania dla męża za wsparcie, miłość i wyrozumiałość,
które były nieocenione w czasie pisania tej pracy*

Spis treści

1. WPROWADZENIE.....	6
1.1 Wstęp	6
1.2 Przedmiot badania	6
1.3 Cel pracy.....	6
1.4 Hipotezy.....	7
1.5 Zakres pracy.....	7
2. DEFINICJE I PRZEGLĄD LITERATURY	8
2.1 Wentylacja	8
2.2 Odzysk ciepła	9
2.3 Materiały zmiennofazowe	10
2.4 Zastosowanie PCM w systemach wentylacji	12
2.5 Symulacje CFD	27
3. BADANIA EKSPERYMENTALNE W WARUNKACH LABORATORYJNYCH.....	33
3.1 Opis stanowiska badawczego	33
3.2 Metoda obliczeniowa.....	42
3.3 Analiza przebiegu zmian temperatury.....	44
3.4 Analiza sprawności urządzenia i sprawności wymiennika.....	47
3.5 Wnioski	54
4. BADANIA EKSPERYMENTALNE W WARUNKACH RZECZYWISTYCH	55
4.1 Opis stanowiska badawczego	55
4.2 Metoda obliczeniowa.....	57
4.3 Analiza przebiegu zmian temperatury.....	58
4.4 Analiza sprawności urządzenia i sprawności wymiennika.....	59
4.5 Wnioski	59

5. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH.....	61
5.1 <i>Wnioski</i>	76
6. ANALIZA NUMERYCZNA.....	78
6.1 <i>Opis metodologii symulacji numerycznej</i>	78
6.2 <i>Metoda A</i>	81
6.3 <i>Metoda B</i>	84
6.4 <i>Wyniki</i>	88
6.5 <i>Wnioski</i>	91
7. WNIOSKI I DYSKUSJA	93
8. LITERATURA	100
9. STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM I ANGIELSKIM	107
10. WYKAZ TABEL.....	109
11. WYKAZ RYSUNKÓW.....	110
12. WYKAZ WYKRESÓW	113
13. WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW	114

1. WPROWADZENIE

1.1 Wstęp

Przeprowadzono badania odzysku ciepła w urządzeniu do wentylacji fasadowej w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu komory klimatycznej, która pozwalała na zasymulowanie stabilnych warunków zewnętrznych oraz wewnętrznych. Urządzenie wyposażone w wentylator rewersyjny oraz komorę na wymiennik ciepła, sterowane automatyką, miało za zadanie wymianę powietrza w pomieszczeniu poprzez naprzemienne cykle nawiewu i wywiewu o określonych czasach trwania. Przebadano 3 rodzaje wymienników, które były wypełniane różnymi substancjami zmieniającymi fazę w zakresie temperatur pracy, w celu oszacowania sprawności urządzenia do wentylacji fasadowej pod względem możliwości odzysku ciepła. Sprawność urządzenia ustalono na podstawie sprawności temperaturowej odzysku ciepła dla 144 kombinacji ustawień. Wyniki poddano analizie statystycznej. Kombinacja o najwyższej sprawności została poddana weryfikacji w warunkach rzeczywistych. Wykonano także symulację numeryczną, której walidację przeprowadzono na podstawie wyników badań.

1.2 Przedmiot badania

Analiza sprawności odzysku ciepła wymiennika wypełnionego substancją zmienną fazową w zdecentralizowanym urządzeniu do wentylacji fasadowej.

1.3 Cel pracy

W niniejszej części sformułowano cele rozprawy doktorskiej, zarówno naukowe, jak i użyteczne, oraz postawiono hipotezy badawcze, które poddano weryfikacji w toku badań i analiz.

Najważniejsze cele to:

- ocena w warunkach laboratoryjnych efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych PCM, umieszczonych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym do naprzemiennego nawiewu i wywiewu,
- ocena w warunkach rzeczywistych efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych PCM, umieszczonych w zdecentralizowanym urządzeniu fasadowym do naprzemiennego nawiewu i wywiewu,

- określenie optymalnych warunków pracy wymiennika do odzysku ciepła,
- budowa modelu numerycznego opisującego działanie wymienników do odzysku ciepła wypełnionego substancją zmiennofazową.

1.4 Hipotezy

W tej części rozprawy doktorskiej przedstawiono hipotezy, które stanowiły główny punkt odniesienia dla prowadzonych badań.

Hipotezy:

- zastosowanie materiałów PCM pozwala odzyskiwać ciepło w urządzeniach fasadowych do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza,
- wykorzystanie materiałów PCM w celu poprawienia sprawności wymienników, w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej, jest zasadne,
- możliwe jest opracowanie modelu komputerowej dynamiki płynów opisującego pracę wymienników do odzysku ciepła stosowanych w urządzeniach do naprzemiennego nawiewu i wywiewu.

1.5 Zakres pracy

Praca obejmuje swoim zakresem:

- Definicje i przegląd literatury odnoszącej się do tematu opracowania
- Badania eksperymentalne w warunkach laboratoryjnych
- Badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych
- Analiza statystyczna otrzymanych wyników badań
- Analiza numeryczna
- Wnioski i dyskusja

2. DEFINICJE I PRZEGLĄD LITERATURY

Jakość powietrza wewnętrznego jest przedmiotem badań w wielu dziedzinach naukowych takich jak np. chemia, medycyna czy nauki o środowisku. Szacuje się, że ludzie spędzają około 90% czasu w pomieszczeniach, w których jakość powietrza uzależniona jest od wielu czynników zewnętrznych i wewnętrznych. Zewnętrznymi zanieczyszczeniami, które dostają się do budynków przez infiltrację lub systemy wentylacji to głównie zanieczyszczenia związane z ruchem drogowym i działalnością przemysłową¹.

Jak stwierdzili Tommerup i Svendsen², Liddament i Orme³ oraz Jradi i in.⁴ do 40% całkowitego zapotrzebowania na energię na świecie pochłania utrzymanie i eksploatacja budynków. Natomiast jak podają Orme⁵ oraz Perez-Lombard i in.⁶ między 40% a 60% zapotrzebowania budynku na energię, w zależności od lokalnego klimatu, używają systemy HVAC (heating, ventilation, air conditioning). Doprowadziło to do zmodernizowania oraz wprowadzenia nowych przepisów prawa i norm budowlanych dotyczących ograniczenia poziomu zużycia energii i komfortu wewnętrznego⁷, co pokrywa się także z celami energetyczno-klimatycznymi na najbliższe lata Unii Europejskiej, która wymienia sektor budowlany jako priorytetowy pod względem poprawy wydajności i zmniejszenia zużycia energii. W związku z powyższym zasadne jest poszukiwanie rozwiązań, które będą miały wpływ na redukcję zużycia energii, zmniejszenia uzależnienia od paliw kopalnych, czy zmniejszenia zużycia energii w godzinach szczytowych, lecz bez pogarszania jakości powietrza w pomieszczeniach i poziomu komfortu cieplnego. Jednym z rozwiązań może być wykorzystanie w aktywnych instalacjach wentylacyjnych materiałów PCM (phase-change material) w celu bilansowania energii.

2.1 Wentylacja

W celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza wewnętrznego stosuje się różnego rodzaju systemy wentylacji. Podstawowymi rodzajami wentylacji są wentylacja naturalna lub mechaniczna. Jednocześnie najnowsze rozwiązania budowlane dążą do wyeliminowania infiltracji w celu zredukowania strat ciepła, co jeszcze bardziej pogarsza sprawność naturalnej wymiany powietrza. Poprzez wentylację naturalną tracimy także duże ilości ciepła. Jak wykazał A. Dodoo straty ciepła z wentylacji wynoszą około 35–40 kWh/m² rocznie⁸.

Stosowanie termomodernizacji oraz uszczelnianie przegród zewnętrznych zmniejsza straty ciepła, ale jednocześnie zmniejsza wymianę powietrza, co wpływa negatywnie na jakość powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach z wentylacją naturalną. Utrudniona wymiana powietrza ma negatywny wpływ na zdrowie i jakość życia człowieka. Dostarczanie świeżego powietrza jest bardzo ważne dla komfortu człowieka⁹⁻¹¹.

Wentylacja naturalna jest najprostszą i najtańszą inwestycyjnie formą wymiany powietrza, niestety ma swoje wady, ponieważ uzależniona jest od warunków atmosferycznych, takich jak różnica ciśnienia spowodowana różnicą ciężarów właściwych powietrza wewnątrz i na zewnątrz oraz działaniem wiatru, przez które nie zawsze jest w stanie zapewnić odpowiednią wymianę powietrza. M. Telejko i E. Zender-Świercz zauważyli, że w obserwowanych przedszkolach z wentylacją naturalną wystąpiły grzyby w powietrzu wewnętrznym, co dowodzi niewystarczającej wymianie powietrza¹².

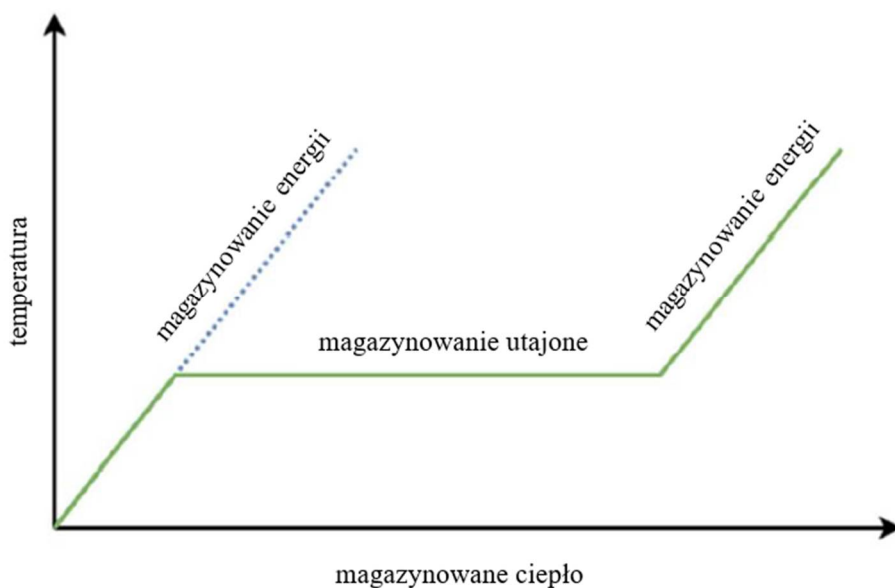
W tym celu niezbędne jest stosowanie wentylacji mechanicznej. Jest ona jednak bardziej kosztowna w wykonaniu i eksploatacji, a także wymaga dużej przestrzeni do montażu. Oznacza to, że nie zawsze taka instalacja jest możliwa do wykonania. Szczególnie jest to problematyczne podczas modernizacji budynków. Wszystko to powoduje, że naukowcy wciąż pracują nad zdecentralizowanymi rozwiązaniami wentylacyjnymi, które mają na celu wentylowanie indywidualne poszczególnych pomieszczeń¹³⁻¹⁶. Rozwiązania te wiążą się z mniejszymi stratami ciśnienia¹⁷, a co za tym idzie mniejszym zużyciem energii na cele wentylacji¹⁸⁻²⁰.

2.2 Odzysk ciepła

Rozwiązaniami, nad którymi pracują naukowcy są badania nad odzyskiem ciepła w wentylacji. Jak zauważył A. Dodo możliwe jest odzyskanie do 90% ciepła poprzez wentylację³, co prowadzi do zmniejszenia ok. 30% wykorzystywanej energii^{21,22}. Jak zwrócono uwagę w artykule E. Zender-Świercz stanowiący przegląd literaturowy, wciąż brakuje wystarczającej liczby badań odnoszących się do odzysku ciepła w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej. W przeglądzie zwrócono także uwagę na zastosowanie substancji zmienno fazowych w celu akumulacji ciepła²³.

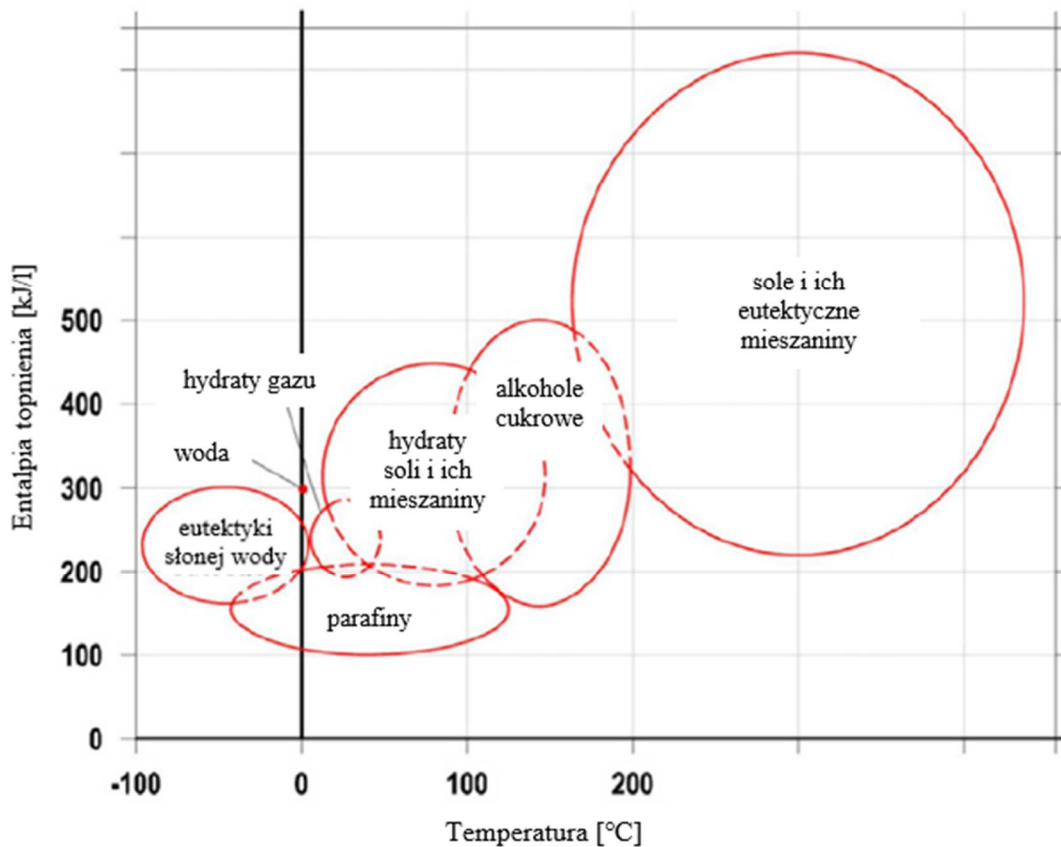
2.3 Materiały zmiennofazowe

Materiały zmiennofazowe (PCM) służą do magazynowania ciepła jawnego i utajonego. Ich działanie polega na gromadzeniu i uwalnianiu energii cieplnej poprzez cykliczną zmianę stanu ze stałego na ciekły. Dzięki temu mają duży potencjał do zastosowania w aktywnych instalacjach HVAC. Na Rys. 1. porównano zasadę używania standardowego magazynu energii (niebieska linia przerywana) z utajonym magazynem energii (ciągła zielona linia) wykorzystującym właściwości PCM²⁴. Jak pokazano materiały PCM mają dużo większy potencjał magazynowania energii.



Rys. 1. Zasada stosowania utajonego magazynowania energii w porównaniu ze standardowym magazynowaniem energii²⁴ (tłumaczenie własne).

Materiały zmiennofazowe można podzielić na trzy grupy: związki organiczne, związki nieorganiczne i eutektyki nieorganiczne. PCM przechowują i uwalniają energię cieplną w zależności od wahań temperatury otoczenia. Wraz ze wzrostem temperatury zmieniają fazę ze stałej na ciekłą. Proces ten jest endotermiczny i dlatego pochłania ciepło z otaczającego powietrza, obniżając lokalną temperaturę powietrza. Gdy temperatura powietrza spada, PCM krzepnie, a energia cieplna jest wyprowadzana do otoczenia, zwiększając lokalną temperaturę. Rys. 2 przedstawia zakres, na którym można zauważyć, iż materiały zmiennofazowe mają szeroki zakres temperatur topnienia i krzepnięcia, jednak należy zwrócić także uwagę na przewodność cieplną oraz zmiany objętości.



Rys. 2. Entalpia topnienia i temperatura topnienia dla różnych grup materiałów zmiennofazowych²⁵ (tłumaczenie własne).

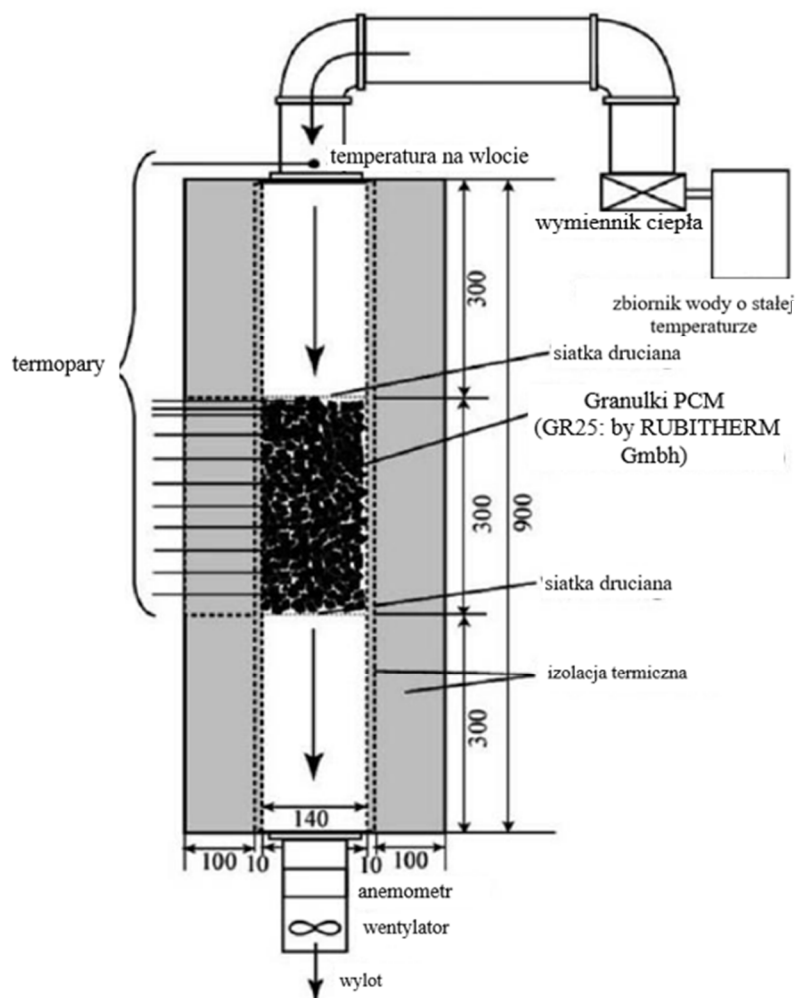
Jak zauważyli Kauranen i in²⁶, ważne przy systemach z wykorzystaniem PCM jest odpowiedni dobór temperatur topnienia i krzepnięcia materiału, dopasowany do lokalnych warunków klimatycznych. Najpopularniejszym organicznym PCM jest niedrogi wosk parafinowy, który posiada szeroki zakres temperatur z zakresu od 20 do 70 °C.

Materiały PCM aplikowane są w różny sposób. Wyróżnia się systemy aktywne i pasywne. W systemach aktywnych materiały te znajdują swoje zastosowanie na przykład w odnawialnych źródłach energii poprzez wykorzystanie ich między innymi w układach kolektorów słonecznych. Najczęściej PCM umieszczany jest w szczelnym zbiorniku. Rolą PCM w zasobnikach jest magazynowanie energii cieplnej dostarczonej z kolektorów słonecznych i uwalnianie ciepła do pomieszczeń w okresie niższej temperatury. W systemie pasywnym najczęściej stosuje się PCM jako dodatek do materiałów budowlanych. Może on być wkomponowany m. in. w przegrody ścienne murowe stanowiące samodzielną konstrukcję lub w przegrody wypełniające konstrukcje szkieletowe. Materiał zmiennofazowy może być zintegrowany bezpośrednio

z materiałem budowlanym lub jako niezależna warstwa usytuowana, od strony zewnętrznej, wewnętrznej lub między innymi warstwami przegrody²⁷. Potencjał PCM jako ekologicznego rozwiązania w odzyskiwaniu energii w budynku został omówiony w wielu artykułach naukowych i przetestowanych eksperymentalnie²⁸. Większość prac dotyczących wykorzystania PCM w budynkach koncentrowała się na rozwiązaniach pasywnych²⁹, głównie integracji materiału przemiany fazowej w elementach przegród zewnętrznych budynku. Integracja PCM w elementach budowlanych, takich jak tynk, płyta gipsowo-kartonowa, beton i inne materiały przegród budowlanych, była szeroko badana w literaturze i testowana w ramach projektów³⁰. Podczas gdy pasywne zastosowania HVAC (heating, ventilation, air conditioning) w budynkach wykorzystujących PCM zostały szeroko zbadane i wdrożone, to aktywne zastosowanie jest nadal mało poznane.

2.4 Zastosowanie PCM w systemach wentylacji

Substancje zmiennofazowe są często używane do chłodzenia pomieszczeń, magazynując "chłód" w nocy i uwalniając go w ciągu dnia. Badania takiego systemu przeprowadzili Takeda i in.³¹ opracowali oni eksperymentalny system wentylacji, który zapewnia bezpośrednią wymianę między powietrzem wentylacyjnym, a granulatem zawierającym PCM. Jak przedstawiono na Rys. 3 urządzenie zbudowane jest z korpusu prostokątnego o wymiarach 140 mm x 140 mm i długości 900 mm, wykonanego z izolacji termicznej o grubości 100 mm. Jako substancję zmiennofazową wykorzystano granulację PCM GR firmy Rubidem GmbH o średnicy cząsteczek 1-3 mm, składający się z 65 % materiału ceramicznego i 35 % węglowodorów parafinowych. Eksperyment przeprowadzono zmieniając okresowo temperaturę powietrza wlotowego. Stworzono również komputerowy model symulacyjny, na którym wykonano obliczenia wymiany ciepła między granulatem PCM a powietrzem. Porównanie wyników z uzyskanych symulacji i badań eksperymentalnych wykazało podobieństwo wyników. Dzięki symulacjom sprawdzono możliwość zmniejszenia obciążenia wentylacją, dzięki wykorzystaniu badanego urządzenia w 8 miastach Japonii. Ustalono, że potencjał ograniczenia wentylacji takiego systemu w okresie letnim był największy dla miasta Kioto i wynosił 62,8 %, natomiast w miastach takich jak Tokio czy Fukuoka, które posiadają niższą średnią temperaturę wskaźnik redukcji wynosił pomiędzy 42,8 % a 46,2 %. Stwierdzono większy wpływ zakresu dobowej zmienności temperatury niż średniej temperatury³¹.

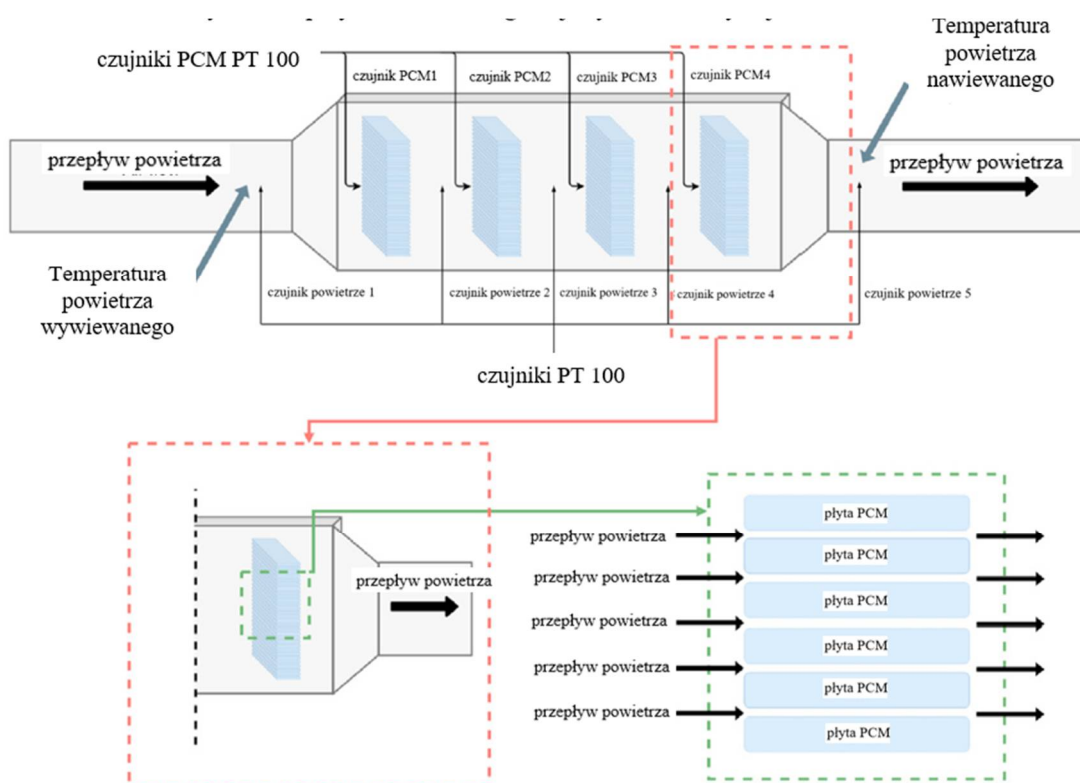


Rys. 3. Widok aparatury doświadczalnej³¹ (tłumaczenie własne).

Następnym przykładem wykorzystania materiałów PCM w wentylacji jest moduł wentylacyjny zaprezentowany i opisany przez Ljungdahl i in.³² Badano działanie aktywnego chłodzenia wykorzystującego moduły PCM na potrzeby klimatyzacji. Wykonano 2 moduły o różnych masach i właściwościach termicznych. Każdy moduł PCM o wymiarach 460 mm x 520 mm x 1500 mm składa się z 4 stosów po 25 płyt aluminiowych wypełnionych PCM o wymiarach 450 mm x 300 mm x 15 mm, każdy z 5 mm odstępem powietrza między nimi, jak pokazano na rysunkach 4 i 5³².



Rys. 4. Eksperymentalna konfiguracja systemu wentylacji z PCM³².

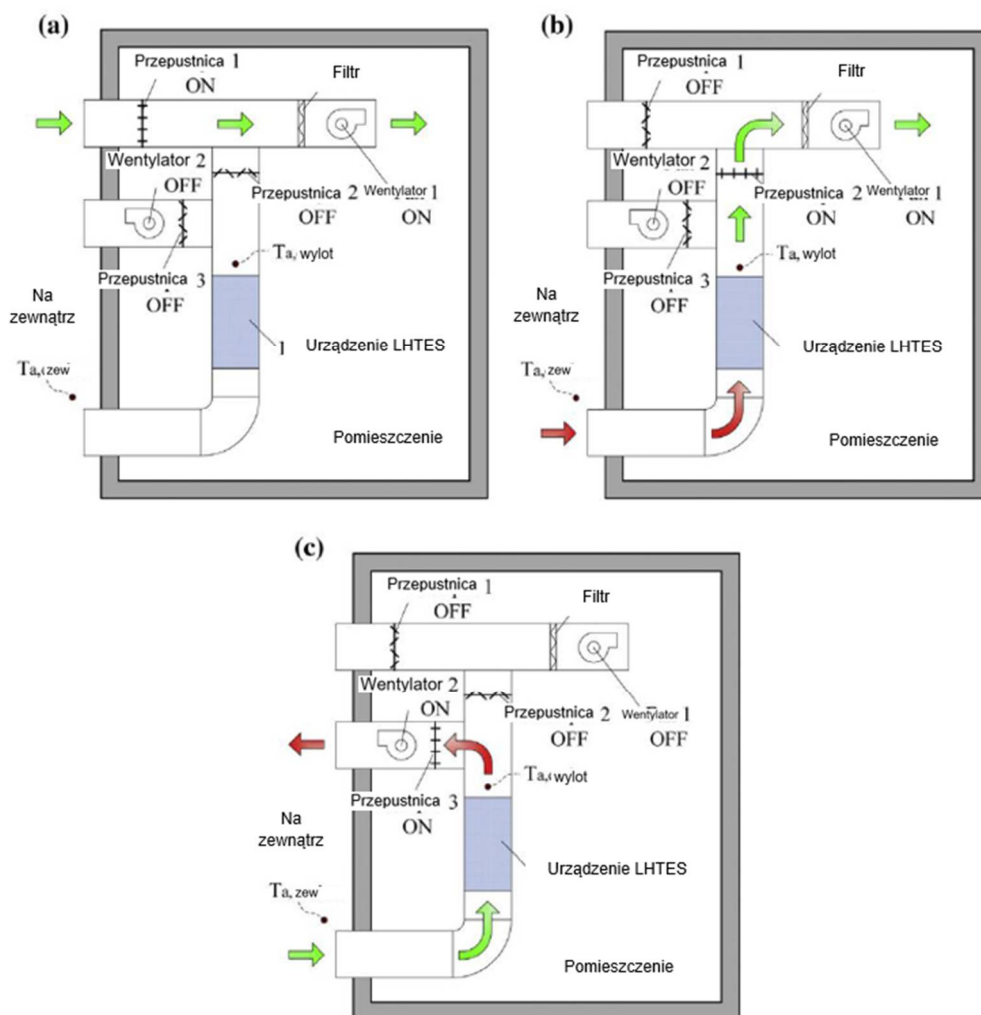


Rys. 5. Góra: Schemat konfiguracji eksperymentalnej z rozmieszczeniem czujników.
Dół: Konstrukcja pojedynczego stosu z równoległymi płytami PCM nad sobą z małą szczeliną powietrzną pomiędzy³² (tłumaczenie własne).

Badania przeprowadzono w strefie klimatu umiarkowanego wykorzystując system wentylacyjny biurowca. System działał w dwóch różnych fazach, faza ładowania PCM następowała w nocy, wtedy PCM ulegał krzepnięciu, natomiast rozładowanie miało miejsce w ciągu dnia, kiedy PCM ulegał topnieniu. Przez okres 5 dni urządzenie wentylacyjne pracowało ze stałym natężeniem 500 m³/h. Temperatury powietrza

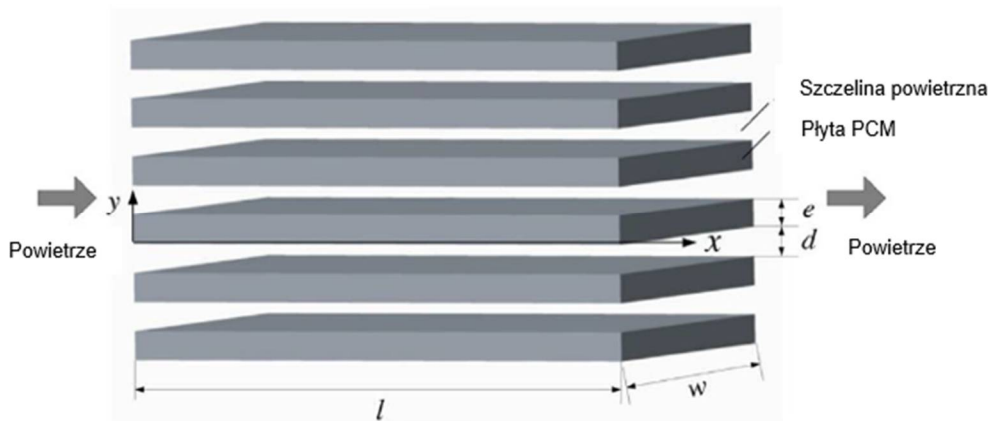
otoczenia wahały się między 12,0 a 25,8 °C. Seria pomiarów posłużyła do walidacji opracowanego modelu systemu. Stwierdzono, że większa masa PCM zmniejsza wydajność modułu PCM, ale zwiększa szczytowy transfer ciepła. Dodatkowo stwierdzono, że optymalizując przepływ objętościowy i temperaturę topnienia PCM, zwiększono wydajność chłodzenia o 38,4 % a szczytową wydajność chłodzenia o 71,1%.

Próby zmniejszenia zużycia energii w budynku poprzez wykorzystanie jednostki magazynującej ciepło utajone podjęli Chen i in. System magazynuje chłód w jednostce LHTES (Latent heat thermal energy storage) z powietrza zewnętrznego nocnego i uwalnia go podczas schładzania świeżego powietrza w ciągu dnia. System poddano ocenie ilościowej sprawdzając potencjał oszczędności energii dostarczanej w 8 miastach położonych w 4 różnych strefach klimatycznych w Chinach³³. System składa się z jednostki LHTES, filtra powietrza, wentylatorów, przepustnic powietrza i kanałów jak pokazuje Rys. 6.



Rys. 6. Schemat systemu wentylacji z jednostką LHTES: a) wentylacja bezpośrednia, b) rozładowanie i c) tryb ładowania³³ (tłumaczenie własne).

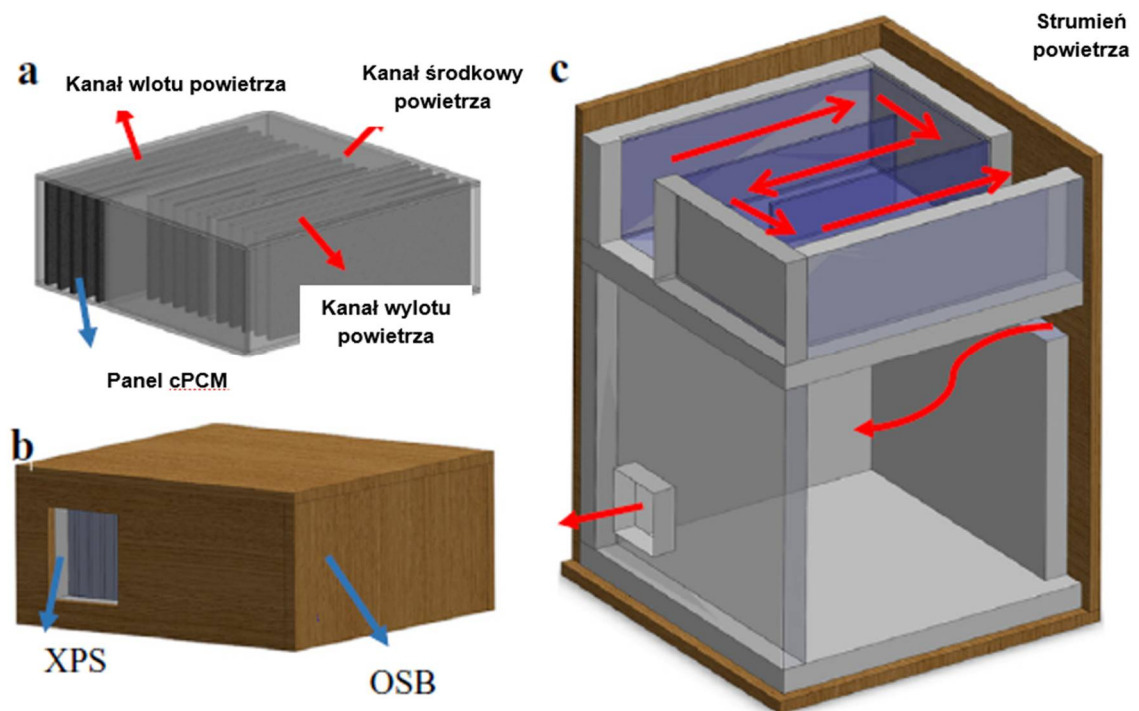
Jednostka magazynująca ciepło składa się z kilku płyt wypełnionych PCM, ułożonych równoległe do siebie jak przedstawia Rys. 7. Powietrze zewnętrzne przepływa przez przejście między płytami i wymienia ciepło z PCM w celu magazynowania i uwalniania energii. Przeprowadzono szereg symulacji w celu ustalenia optymalnej temperatury topnienia dla systemów LHTES (Magazynowanie energii cieplnej ciepła utajonego) w ośmiu miastach, które wahają się od 21 °C w Harbin (klimat zimny) do 29 °C w Guangzhou (klimat gorący). Ustalono, że sezonowe całkowite oszczędności energii elektrycznej netto wahają się od 24 kWh w Szanghaju do 87 kWh w Pekinie. Ogólnie rzecz biorąc, im wyższy zakres temperatur dobowych lub zapotrzebowania na chłodzenie świeżego powietrza, tym większe jest potencjalne zapotrzebowanie na energię chłodzącą i oszczędność energii netto.



Rys. 7. Schemat jednostki magazynowania energii cieplnej³³ (tłumaczenie własne).

Sun i in. przeprowadzili badania numeryczne systemu wentylacyjnego zintegrowanego z nieorganicznymi panelami PCM o zwiększonej przewodności cieplnej. System wentylacyjny został umieszczony w przestrzeni nad pomieszczeniem badawczym z przestrzenią wewnętrzną 350 x 350 x 350 mm jak prezentuje Rys. 8. Ogólna wydajność cieplna systemu wentylacyjnego została poprawiona poprzez dostosowanie warunków wlotowych i właściwości termicznych PCM. Przy temperaturze powietrza wlotowego wahającej się od 17,4 do 33,1 °C zbadano wpływ natężenia przepływu powietrza wlotowego oraz grubości i przewodności cieplnej paneli, co miało na celu zbliżenie temperatury powietrza wylotowego do zakresu komfortu cieplnego. Wykazano, że fluktuacja temperatury na wylocie zmniejszyła się wraz ze zmniejszeniem natężenia przepływu powietrza wlotowego lub zwiększeniem grubości paneli. Ponadto, wprowadzono wskaźnik wykorzystania PCM w celu oceny wydajności PCM podczas procesu topienia i krzepnięcia. Stwierdzono, że zawężenie zakresu temperatury

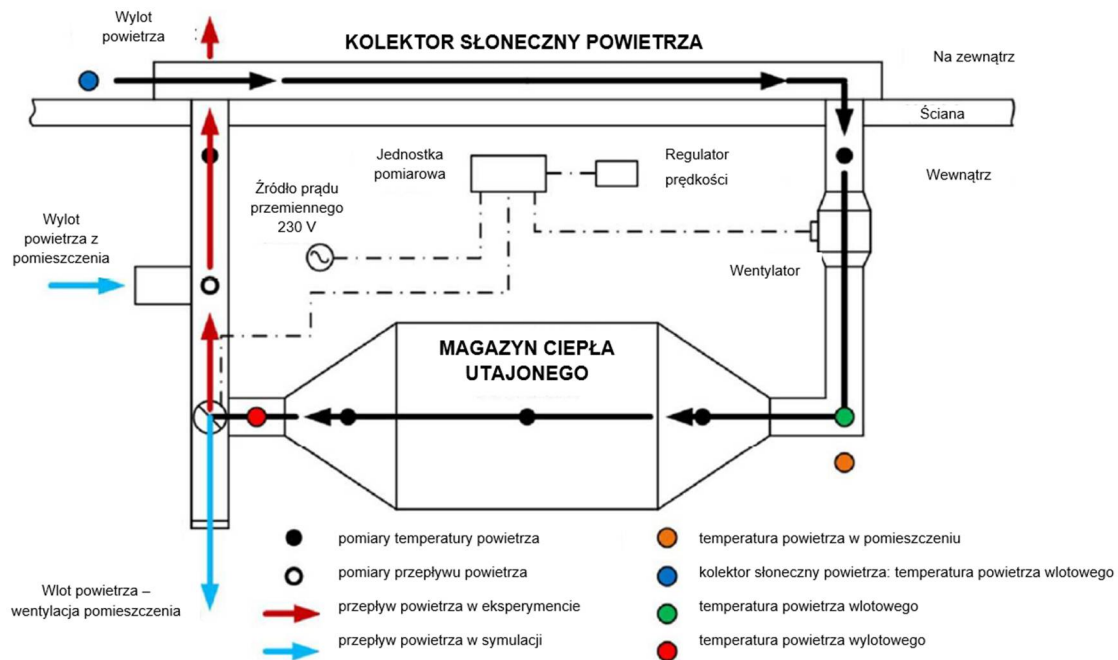
przemiany fazowej PCM w kanale wylotowym może jeszcze bardziej obniżyć maksymalną temperaturę wylotową i poprawić wskaźnik wykorzystania PCM. Ponadto, gdy natężenie przepływu powietrza wlotowego wynosiło 11,47 kg/h, a grubość paneli PCM wynosiła 12 mm, system wentylacyjny z panelami o przewodności cieplnej 13,0 W/(m²K) wykazywał najmniejsze wahania temperatury wylotowej wynoszące 22,5 - 27,9 °C³⁴.



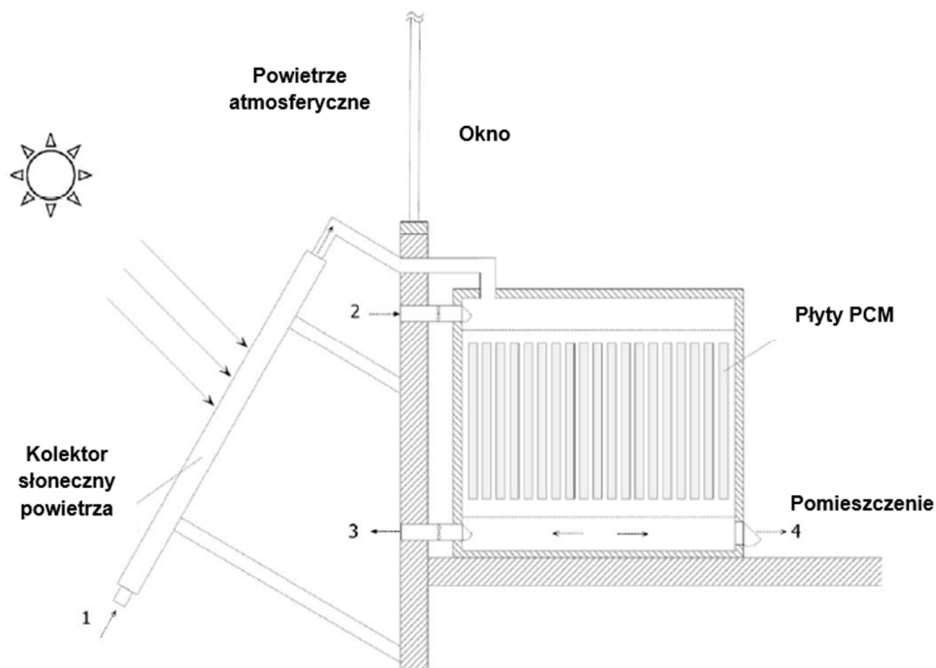
Rys. 8. a) jednostka powietrze-PCM; b) materiały izolacyjne oraz c) miejsce instalacji systemu wentylacji³⁴ (tłumaczenie własne).

Stritih i in. przedstawili zastosowanie magazynu energii cieplnej utajonej (LHTES-Latent heat thermal energy storage) ogrzewanego kolektorem słonecznym na gorące powietrze, zamontowanym na elewacji budynku. Instalacja składała się z kolektora słonecznego powietrza, wymiennika LHTES, kanałów i wentylatora. Ciepło powietrza było transportowane przez wentylator z kolektora słonecznego do jednostki LHTES, gdzie oddawało ciepło, w wyniku czego PCM topił się. W godzinach nocnych oraz w momentach, gdy natężenie promieniowania słonecznego było słabe, ciepło zmagazynowane w LHTES było wykorzystywane do ogrzewania powietrza wentylacyjnego i dostarczane do pomieszczenia biurowego, w którym system działał od 8:00 do 16:00. Wymiennik zawierał 29 płyt magazynujących, wypełnionych parafiną Rubitherm RT22HC, której temperatura topnienia zawiera się w przedziale od 20 – 23 °C. Płyty o wymiarach 0,45 m x 0,3 m x 0,15 m były ustawione poziomo,

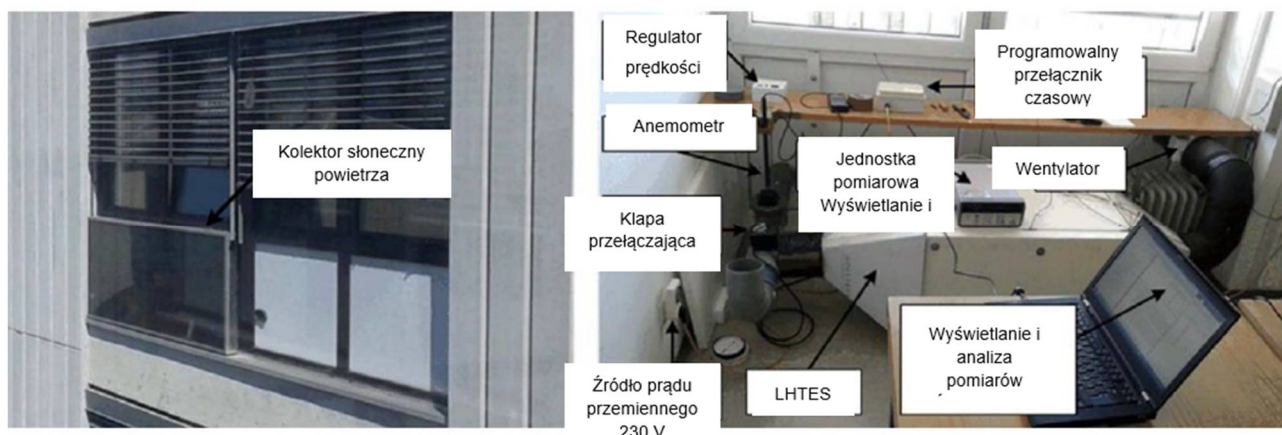
a szczelina powietrzna pomiędzy nimi wynosiła 10 mm. Każda płyta wypełniona była 1003 g substancji zmiennofazowej³⁵.



Rys. 9. Konfiguracja eksperymentalna³⁵ (tłumaczenie własne).



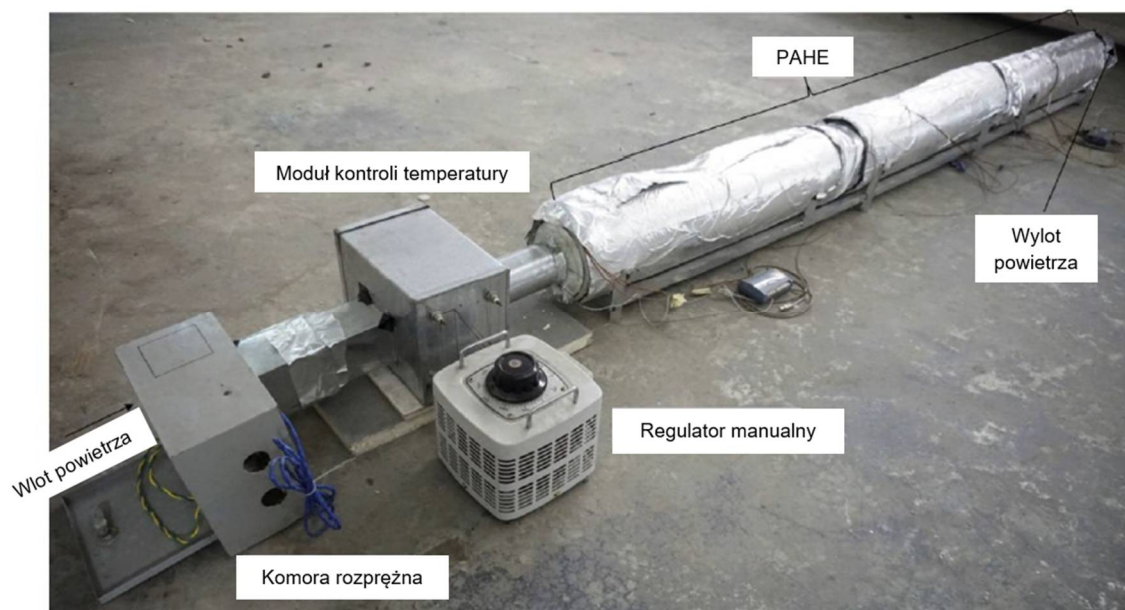
Rys. 10. Schemat systemu³⁵ (tłumaczenie własne).



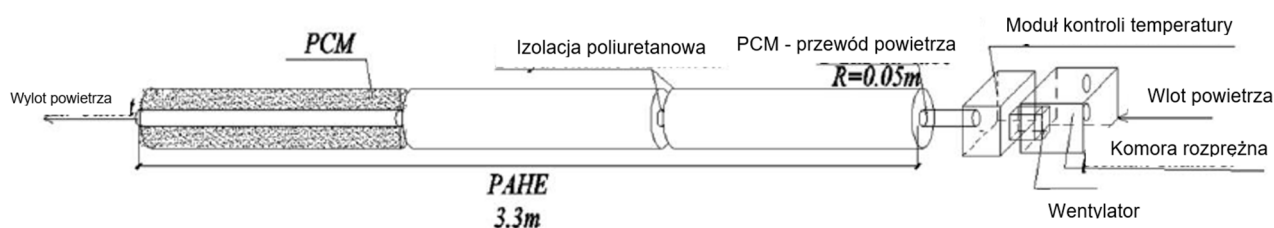
Rys. 11. Jednostka LHTES z płytami CSM (po lewej) i kolektorem słonecznym (po prawej) systemu eksperymentalnego³⁵ (tłumaczenie własne).

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu dokonano walidacji modelu symulacyjnego. Przeprowadzono symulację dla okresu grzewczego (od października do kwietnia) w Lublanie w Słowenii, na podstawie danych pogodowych dystrybuowanych za pomocą TRANSYS 17. Wyniki symulacji pokazały, że najwyższy wskaźnik pokrycia strat ciepła wentylacyjnego był w okresie przejściowym i dla kwietnia wyniósł 92 %, a dla października 89 %. Najniższa wartość została osiągnięta w grudniu i wynosiła 44 %. Średni wskaźnik pokrycia w sezonie grzewczym wyniósł 67 % natomiast taki sam układ bez wykorzystania LHTES pokrył straty ciepła wentylacyjnego w 53 % w czasie sezonu grzewczego³⁵.

Yang i in. zaproponowali zastosowanie cylindrycznego pierścienia wykonanego z PCM, wykorzystywanego do regulacji temperatury powietrza nawiewanego w wentylowanych budynkach narażonych na zmienne warunki termiczne. Pierścień o długości 3,3 m, średnicy wewnętrznej 0,1 m i zewnętrznej 0,18 m został wypełniony PCM (OP24 firmy Ruhrtech). Na wlocie założono stałą prędkość powietrza 1m/s, którą regulował wentylator. Temperatura powietrza wlotowego była regulowana przez nagrzewnicę. Okres wahań wynosił 4,5 h. Temperatura otoczenia wynosiła 10°C³⁶.



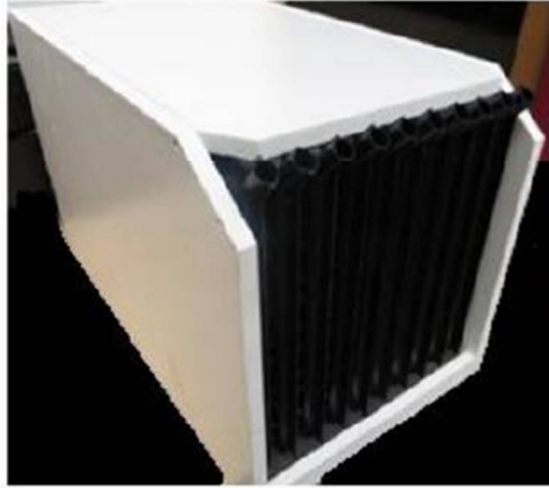
Rys. 12. Obraz aparatury doświadczalnej³⁶ (tłumaczenie własne).



Rys. 13. Schemat i wymiary eksperymentalnej rurki PAHE³⁶.

Porównano wyniki badań eksperymentalnych z wynikami symulacji. Wymuszona konwekcja wewnątrz instalacji zwiększa wymianę ciepła między powietrzem a PCM. Przekazywanie ciepła jawnego i utajonego przyczyniają się do zmniejszenia wahań temperatury powietrza. Symulacja obejmująca rzeczywiste dane meteorologiczne z dwóch pór przejściowych i lata, wykazała maksymalne obniżenie temperatury powietrza o $5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ³⁶.

Dechesne i in. zaprojektowali i zbadali wymiennik ciepła PCM sprzężony z systemem wentylacji budynku. Moduł PCM ma za zadanie magazynować ciepło w ciągu dnia (np. poprzez chłodzenie paneli fotowoltaicznych) i oddawać je do budynku w nocy w celu ogrzania pomieszczeń lub magazynować chłód w nocy i oddawać go w ciągu dnia. Budowa wymiennika została oparta na falistych ogniwach, które można łatwo napęlić. Zostały one umieszczone obok siebie w sposób umożliwiający przepływ powietrza między nimi. W celu zoptymalizowania geometrii wykonano model półempiryczny³⁷. Na podstawie wyników został stworzony prototyp.



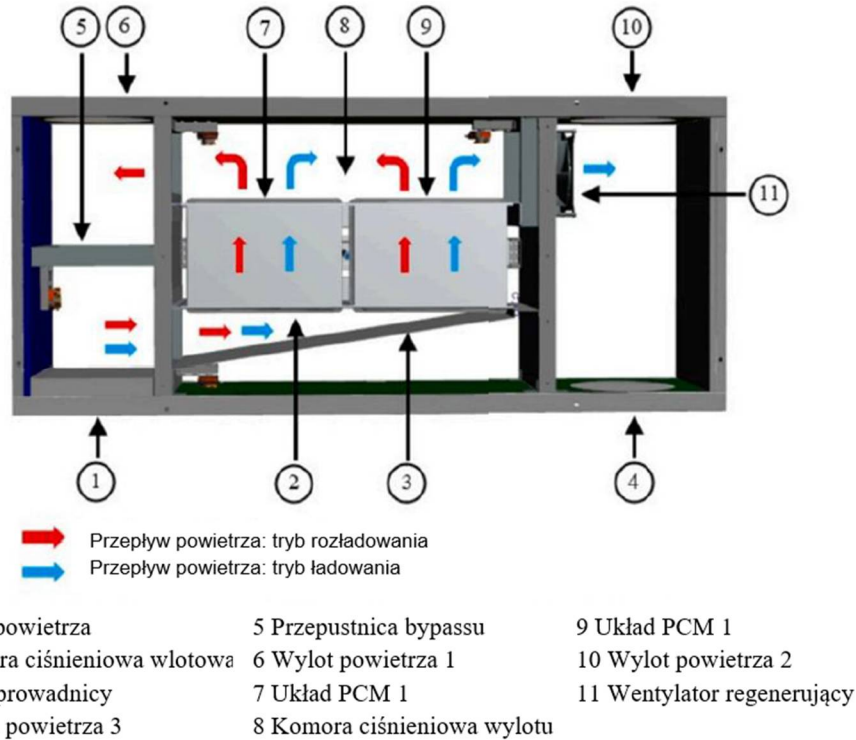
Rys. 14. Przetestowany moduł PCM³⁷.



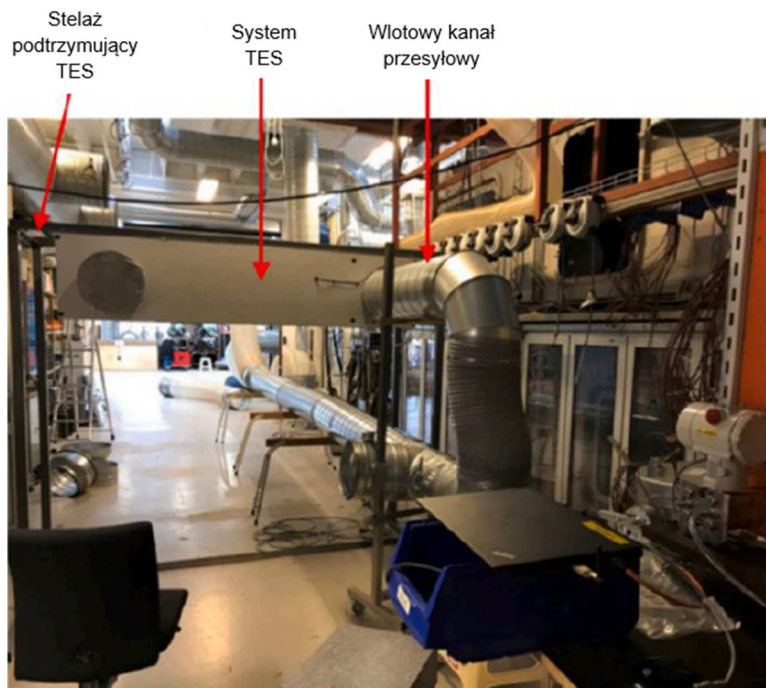
Rys. 15. Skrzynka wymiennika ciepła³⁷.

Prototyp został wypełniony materiałem zmiennofazowym w postaci kwasów tłuszczowych i umieszczony w izolowanej styropianem o grubości 60 mm skrzynce. Dzień przed ładowaniem/rozładowaniem moduł PCM był zasilany powietrzem o temperaturze 15 lub 30 °C. W trakcie pomiarów nawiewane było powietrze o temperaturze 15 lub 30 °C i przepływie 45m³/h. Udowodniono, iż w ciągu pierwszych pięciu godzin, pojedynczy moduł może dostarczyć średnio ponad 90 W mocy chłodniczej i ok. 80 W mocy grzewczej.

Dallaire i in. badali zintegrowany z rynkowym systemem wentylacji VEX308 system LHTES do zastosowań chłodniczych. Z uwzględnieniem ograniczeń wymiarowych i operacyjnych opracowali unikalną konfigurację równomiernego przepływu powietrza w kształcie klina, do dwóch równoległych stosów PCM³⁸.



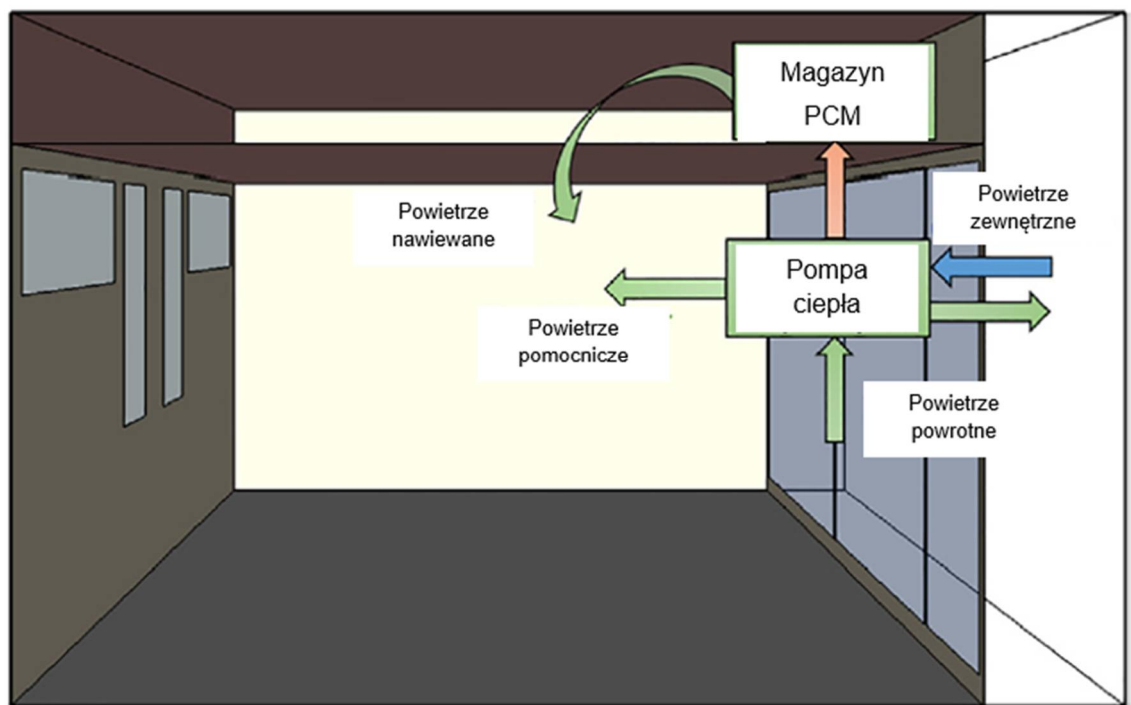
Rys. 16. Schemat systemu LHTES³⁸ (tłumaczenie własne).



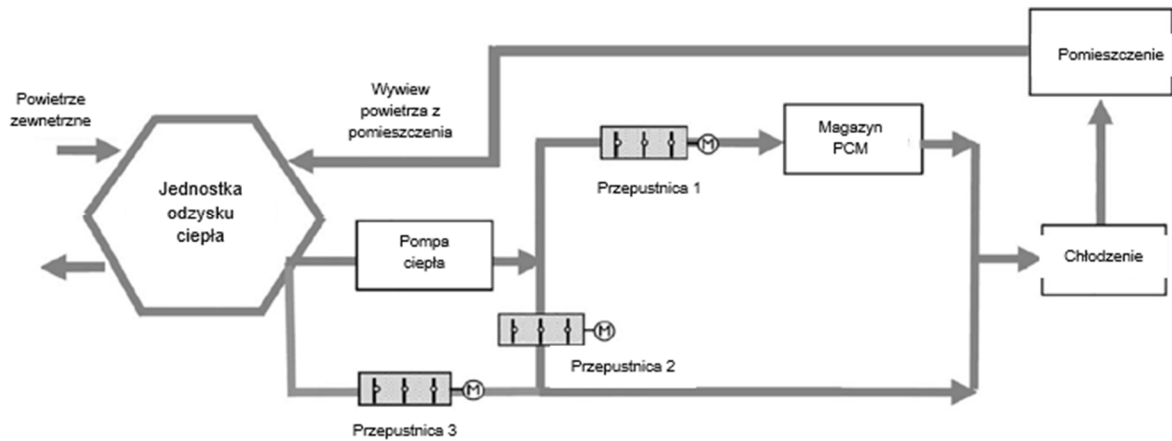
Rys. 17. Przeгляд systemu LHTES podłączonego do stałego ośrodka testowego w DTI³⁸ (tłumaczenie własne).

Wewnątrz izolowanej obudowy LHTES, o wymiarach 825 mm x 2072 mm x 500 mm, zlokalizowano 48 płyt PCM umieszczonych w 2 stosach po 24 płyty z odstępami 1,5 mm między nimi. Płyty zawierały nieorganiczny związek zmiennofazowy SP21EK produkowany przez Rubitherm Technologies GmbH. Natężenie przepływu podczas cykli rozładowywania i ładowania LHTES utrzymywano na stałym poziomie 600 m³/h. Temperaturę powietrza wlotowego utrzymywano na stałym poziomie 27 °C podczas rozładowywania i 13 °C podczas ładowania systemu. Czas ładowania i rozładowywania systemu trwał średnio 3,4 godziny. Zaproponowany układ uzyskał średnio 89 % skuteczności odzysku energii³⁹.

Hu i in. zaproponowali zintegrowany system HVAC PCM w celu zapewnienia elastyczności energetycznej budynku. System składa się z zasobnika PCM, pompy ciepła oraz kanałów wentylacyjnych, jak pokazano na Rys. 18. Integrację PCM z systemem pompy ciepła przedstawiono na Rys. 19.

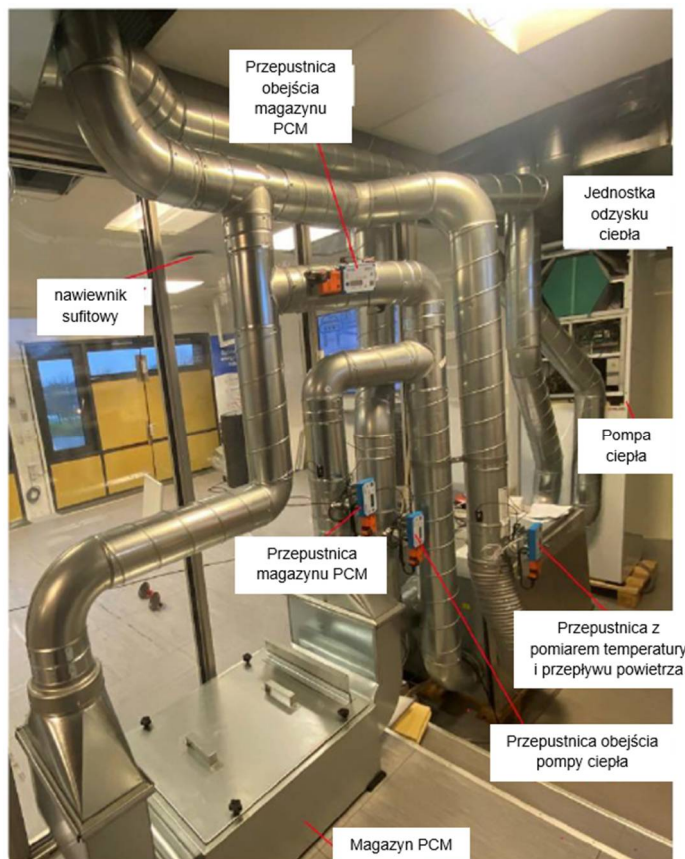


Rys. 18. Konfiguracja systemowa magazynu PCM zintegrowanego z pompą ciepła³⁹
(tłumaczenie własne).



Rys. 19. Zintegrowany PCM z systemem powietrznym pompy ciepła³⁹ (tłumaczenie własne).

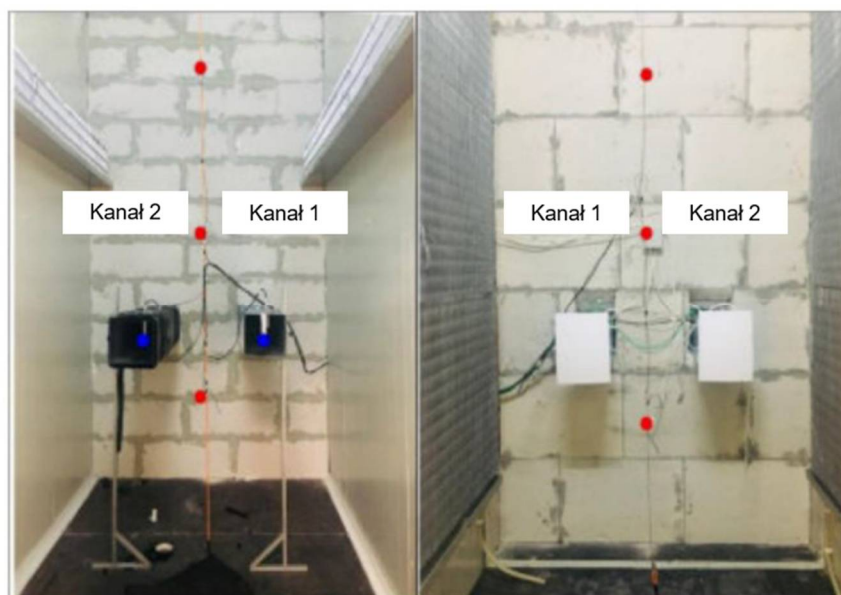
Dzięki takiemu połączeniu system może działać w trzech trybach: ładowania/rozładowania PCM, obejścia PCM oraz obejścia pompy ciepła. W badaniach wykorzystano PCM ATS 30, umieszczony w plastikowych płytach o wymiarach 0,34 m x 0,22 m x 0,01 m, którego przemiana fazowa zachodzi w temperaturach między 28 - 33 °C. W eksperymencie testowano trzy zestawy magazynów PCM: duży z 52 sztukami płyt, średni z 36 płytami oraz mały z 20 płytami.



Rys. 20. Konfiguracja systemu w laboratorium³⁹ (tłumaczenie własne).

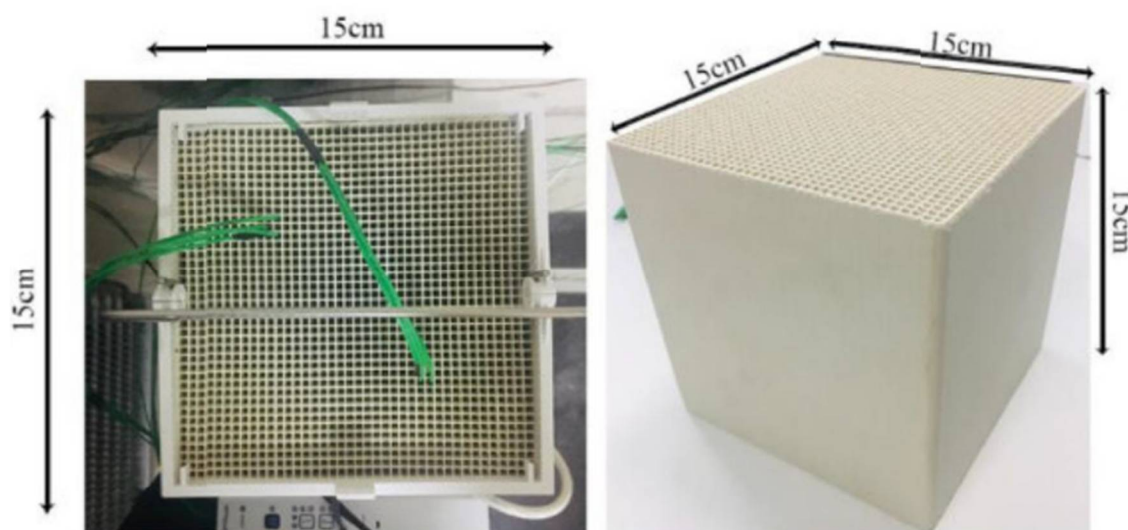
PCM służy do przesuwania godzin szczytu w sieci, co wymaga sterowania w oparciu o cenę energii elektrycznej. Gdy cena jest niska, PCM magazynuje energię z ciepłego powietrza dostarczanego przez pompę ciepła. Gdy cena energii elektrycznej jest wysoka, pompa ciepła jest wyłączona, a PCM oddaje ciepło do powietrza wentylacyjnego. Na podstawie przeprowadzonych badań wykonano symulację kontroli kosztów energii elektrycznej oraz potencjału oszczędności energii. Wykazano, iż zintegrowany system HVAC z pamięcią masową PCM skutecznie zmniejsza obciążenie sieci w godzinach szczytu, pozwalając na osiągnięcie 7 % oszczędności na rachunkach za energię, przy zachowaniu podobnego komfortu cieplnego w pomieszczeniu. Okres zwrotu inwestycji oszacowano na 7 lat³⁹.

A. Koç i inni dokonując analizy wydajności nowatorskiego wymiennika ciepła, wypełnionego substancją organiczną, umieszczonego w urządzeniu fasadowym realizującym naprzemiennie nawiew i wywiew wykazali najlepszą sprawność przy użyciu n-pentanu. Przebadali pięć substancji (R11, R123, R245fa, n-pentan i izopentan)⁴⁰. Badania wydajności dla podobnego, zintegrowanego ze ścianą urządzenia do wentylacji, przeprowadzili T. Pekdogan i inni. Eksperymenty w skali rzeczywistej przeprowadzono w Laboratorium Fizyki Budowli Wydział Architektury, Izmir Institute of Technology. Urządzenia do wentylacji badano w dwóch przestrzeniach symulujących wewnętrzne i zewnętrzne warunki temperatury, które oddzielone były ścianą z betonu komórkowego. Do badań wykorzystano dwa prototypy systemu wentylacji z odzyskiem ciepła (Rys. 21.).



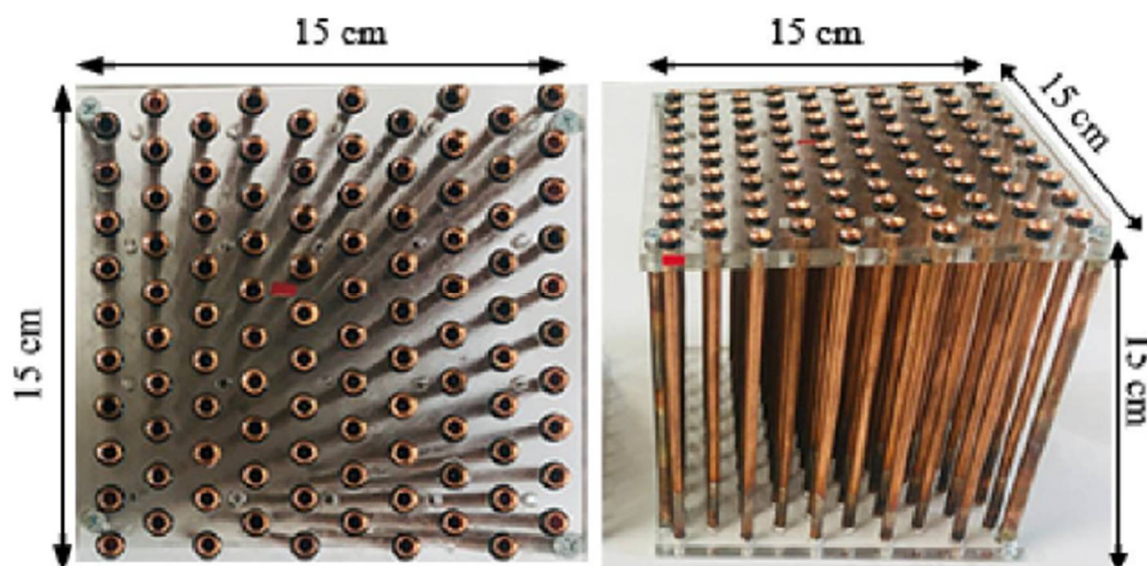
Rys. 21. Lokalizacja kanałów w pomieszczeniach symulacyjnych z punktami pomiaru temperatury i prędkości⁴¹ (tłumaczenie własne).

Podczas gdy kanał-1 działa w trybie wywiewu, kanał-2 działa w trybie nawiewu. Wentylatory działają jednocześnie w przeciwnych kierunkach⁴¹. Badano dwa wymienniki, pierwszy ceramiczny o wymiarach 15 cm x 15 cm x 15 cm (Rys. 22.)



Rys. 22. Wymiennik ceramiczny⁴¹.

Drugi to prototyp wymiennika o wymiarach 15 cm x 15 cm x 15 cm, który składa się ze 100 miedzianych rurek, ułożonych naprzemiennie, wypełnionych PCM – RT27, czyli parafiną. Średnica zewnętrzna to 4,76 mm, a grubość ścianki rurek to 0,3 mm (Rys. 23.).



Rys. 23. Wymiennik rurkowy⁴².

Średnia prędkość powietrza nawiewanego wynosi 0,344 m/s. Do symulacji warunków letnich środowiska wewnętrznego utrzymywano temperaturę około 20 °C, a dla warunków środowiska zewnętrznego około 35 °C. Dla okresu zimowego temperaturę dla

środowiska zewnętrznego utrzymywano na poziomie około 5 °C. Jednostka ceramiczna do odzysku ciepła pracowała w różnych cyklach czasowych tj. 1 min, 2 min, 5 min, 7,5 min, 10 min. Uzyskano wydajność na poziomie 82 - 45 % w porównaniu do miejsca, w którym system ten nie był stosowany. Natomiast wymiennik rurowy miedziany badano tylko w warunkach letnich dla cykli 15 min, 20 min i 30 min. Uzyskano wydajności na poziomie 25-55%^{41,42}.

Przytoczone badania i te przedstawione w opracowaniu potwierdzają, iż możliwe jest uzyskanie około 80% sprawności odzysku ciepła w stosunkowo niewielkiej wielkości urządzeniach fasadowych. Należy jednak przy projektowaniu tego typu urządzeń zwrócić uwagę szczególnie na geometrię, a także rodzaj zastosowanych materiałów na co opisują w swoim opracowaniu także Chang i in. Wykazali oni poprawę wydajności wymiennika, dzięki dodaniu materiału magazynującego energię⁴³, natomiast Azubay i in badali geometrię wymienników ciepła i wykazali wpływ na poprawę wydajności wymiennika⁴⁴.

Jak zauważyli Manz, H. i inni przy takich rozwiązaniach należy także zwrócić uwagę na napór wiatru, oraz efekt kominowy²². Natomiast Han H. i inni zauważyli zależność sprawności odzysku ciepła i zmiany kierunku obrotu wentylatora⁴⁵.

2.5 Symulacje CFD

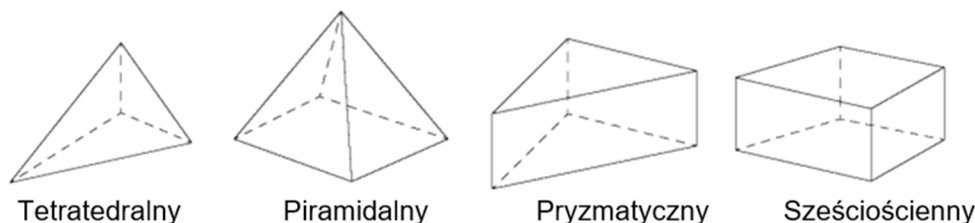
Programy przeznaczone do symulacji wykorzystują technikę numerycznej mechaniki płynów *Computational Fluid Dynamics* – CFD, umożliwiającą modelowanie szeregu procesów fizycznych i chemicznych. Programy CFD pozwalają uzyskać niezbędne informacje o przepływie płynu (prędkość, ciśnienie), rozkładu ciepła (temperatura) oraz inne zjawiska towarzyszące. Dzięki wykorzystaniu CFD istnieje możliwość przeprowadzenia analiz zagadnień związanych z przepływem płynów już od wczesnych etapów rozwoju produktu. Unika się więc czasochłonnych i kosztownych badań już na etapie projektowania czy modernizacji urządzeń⁴⁶. Na rynku jest dostępnych wiele programów komercyjnych do obliczeń CFD, jednak większość z nich wykorzystuje metodę elementów skończonych (MES lub z ang. FEM – *Finite Element Method*). Zastosowanie MES we wspomaganych komputerowo analizach inżynierskich umożliwia szybkie i względnie dokładne otrzymanie wyników. Współczesne aplikacje służące do wspomaganie obliczeń inżynierskich z wykorzystaniem MES składają się z trzech podstawowych modułów:

- preprocesor – służy do importu lub stworzenia geometrii, zdefiniowania właściwości płynu, zewnętrznych ograniczeń oraz określenia warunków

brzegowych, takich jak ciśnienie i prędkość w celu zaimplementowania sytuacji jak najbliższej rzeczywistości,

- procesor (solver) – przeznaczony do rozwiązywania układu równań, na podstawie którego uzyskuje się poszukiwane wartości danych wielkości fizycznych oraz kontroli zbieżności iteracyjnego rozwiązania,
- postprocesor – służy do prezentacji uzyskanych wyników np. w postaci map czy tabel.

Bardzo ważnym etapem przy preprocessingu jest wygenerowanie odpowiedniej siatki numerycznej. Generacja siatki numerycznej polega na określeniu wybranych punktów obszaru fizycznego, dla których konstruuje się rozwiązanie. W węzłach siatki tworzą się zbiory punktów służących do rozwiązania cząstkowych równań różniczkowych mechaniki płynów. Dyskretyzacja siatki ma znaczący wpływ na szybkość, ale co najważniejsze na dokładność i poprawność obliczeń. Przy doborze siatek numerycznych dąży się do zgodności węzłów siatki z brzegiem obszaru obliczeniowego. Kształtami elementu siatki numerycznej stosowanych w metodach CFD są najczęściej trójkąty i czworokąty (dwuwymiarowe) lub graniastosłupy o podstawie trójkątnej i czworokątnej (trójwymiarowe)⁴⁷.



Rys. 24. Kształty elementu siatki strukturalnej⁴⁸ (tłumaczenie własne).

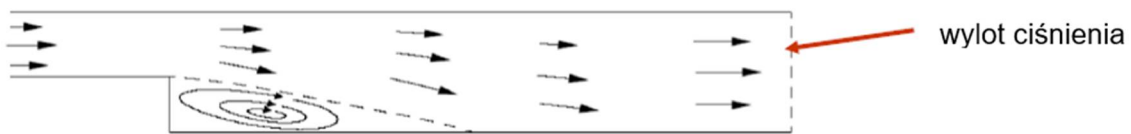
Można wyróżnić kilka podstawowych cech siatek obliczeniowych:

- jednoznaczność odwzorowania – obszar fizyczny dokładnie odwzorowany,
- ortogonalność – dla złożonych geometrii zachowanie ortogonalności jest trudne, gdyż wymaga bardzo złożonych algorytmów oraz dużej mocy obliczeniowej komputera, jednak należy dążyć do możliwie maksymalnego zbliżenia się do ortogonalności⁴⁹,
- gładkość – linie powinny być gładkie w całym obszarze,
- dopasowanie do zagadnienia – dokładność otrzymanych rezultatów obliczeń jest uzależniona od możliwości dopasowania gęstości siatki do

przewidywanych gradientów parametrów przepływu. W związku z powyższym konieczne jest zagęszczenie siatki w miejscach o dużych gradientach przepływu, występowania przepływów wtórnych i turbulentnych w celu uwzględnienia warstwy przyściennej.

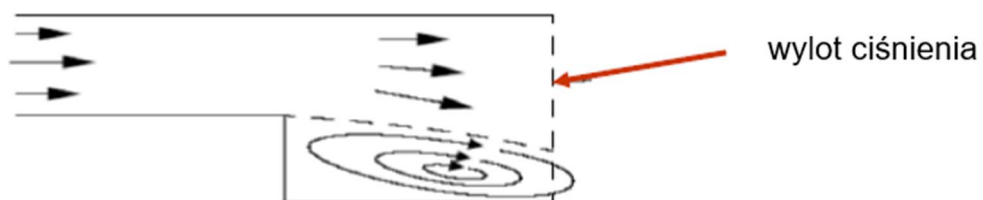
Istotny wpływ na uzyskane rozwiązanie ma definicja właściwości fizycznych płynu, a w dalszej kolejności charakter przepływu oraz właściwości ruchu płynu, z uwzględnieniem stosunku sił inercji do sił lepkości (przepływ laminarny lub turbulentny). Warstwa przyścienna to obszar, gdzie zachodzą największe zmiany prędkości płynu. Poprawne zamodelowanie warstwy przyściennej jest ważne z punktu widzenia obliczenia naprężeń stycznych, w rezultacie spadków ciśnień w instalacji, a z punktu widzenia wymiany ciepła, współczynnika wnikania ciepła. Grubości warstw są różne i zależą od liczby Prandla⁴⁹.

Ostatnim etapem preprocesingu jest określenie warunków granicznych, czyli warunków brzegowych i początkowych. Polega to na określeniu powierzchni ograniczających obszar obliczeniowy oraz założeniu parametrów przepływu w tych miejscach. Jest to możliwe po określeniu charakteru na wlocie, wylocie i przy ścianie. Wlot to inaczej mówiąc brzeg obszaru, przez który następuje napływ medium, najważniejszy jest tutaj rozkład pola prędkości. Wylot, czyli brzeg obszaru, przez który następuje wypływ medium, tu definiuje się rozkład prędkości lub prędkości i ciśnień. Ściana oznacza powierzchnię nieprzepuszczalną dla przepływu. Prawidłowa lokalizacja warunków granicznych na wylocie znajduje się za strefą cyrkulacji, poniżej schemat obrazujący tę sytuację⁴⁸.



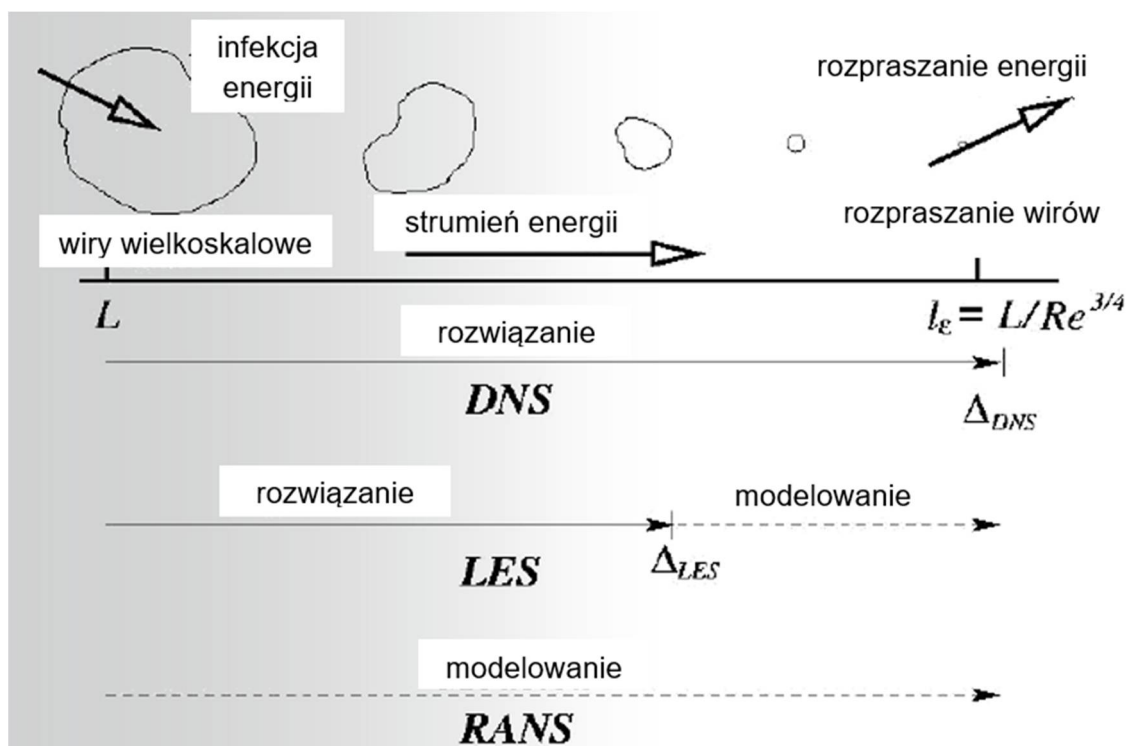
Rys. 25. Prawidłowa lokalizacja punktów granicznych⁴⁸ (tłumaczenie własne).

Poniżej przykład złej lokalizacji



Rys. 26. Zła lokalizacja punktów granicznych⁴⁸ (tłumaczenie własne).

Drugi krok analizy numerycznej określony jako procesor, dotyczy wyboru zestawu równań różniczkowych i metody ich rozwiązywania. Aby prawidłowo zasymulować np. przepływ w kanale, należy szczególną uwagę zwrócić na turbulencje w nim występujące. Głównym źródłem turbulencji są ścianki. W turbulencji występują kaskady wirów, a dokładniej wiry o różnych wymiarach i różnych prędkościach. Duże wiry przekazują energię małym wirom, a te najmniejsze w wyniku występowania lepkości rozpraszają energię w postaci energii cieplnej. Na samym końcu tej kaskady przekazywania energii następuje dyssypacja energii. W związku z powyższym kluczowe jest zastosowanie odpowiednich założeń i uproszczeń zależnych od wielkości i rodzaju domeny obliczeniowej.



Rys. 27. Kaskada wirów⁴⁸ (tłumaczenie własne).

Metoda bezpośrednia symulacji obliczeniowej przepływów turbulentnych DNS (*Direct Numerical Simulation*) polega na wykorzystaniu równania Naviera-Stokesa w normalnej postaci, bez jakichkolwiek uproszczeń. Obliczenia wykonywane tą metodą prowadzą do prawidłowych odtworzeń turbulencji zarówno w skali liniowej jak i czasowej. Wiąże się to jednak z wygenerowaniem bardzo gęstych siatek przy małym kroku czasowym.

Przeprowadzenie symulacji złożonych przepływów metodą DNS nie byłoby możliwe do policzenia z powodu ograniczeń mocy najpotężniejszych współczesnych

komputerów. Służy ona głównie do rozpatrywania prostych przypadków teoretycznych badań turbulencji czy kalibracji modeli, gdyż to rozwiązanie modeluje całe spektrum wirów^{50,51}.

Metoda symulacji dużych wirów turbulentnych LES (Large Eddy Simulation) jest metodą pośrednią pomiędzy metodą RANS i DNS. Umożliwia separację widma energii turbulentnych fluktuacji. W zależności od przyjętej szerokości filtra, następuje podział na część rozwiązywaną i modelowaną, dzięki czemu możliwe jest ustalenie precyzji obliczeń badanego zagadnienia. Część rozwiązywana numerycznie dla określenia wielkoskalowych struktur przepływów, wykorzystuje zmodyfikowane równania Naviera-Stokesa, natomiast drobnoskalowe struktury przepływu są rozwiązywane analitycznie (są modelowane). Im mniejsza szerokość filtra tym bardziej metoda zbliża się do wyników uzyskiwanych metodą DNS^{50,51}.

W obliczeniach praktycznych wykorzystuje się różne modele turbulencji bazujące na metodzie Reynoldsa czyli uśrednionych zmiennych względem czasu, nazwane równaniami RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*). Powszechną metodą jest wykorzystanie hipotezy Boussinesqa w celu powiązania naprężenia Reynoldsa ze średnimi gradientami prędkości.

Podstawowe modele RANS to: jednorównaniowy Spalart-Allmaras, dwurównaniowy k-epsilon, standard k-omega oraz RSM (*Reynolds Stress Model*).

Jednorównaniowy Spalart-Allmaras umożliwia stosowanie siatek o dużych elementach, ze względu na oszczędność obliczeniową. Opiera się na równaniu transportu, reprezentującym turbulentną prędkość. Został opracowany do zagadnień lotniczych z uwzględnieniem przepływów w warstwie przyściennej, np. skrzydła i kadłuby samolotów czy profile lotnicze⁵².

Dwurównaniowy model k-epsilon turbulencji stał się jednym z najczęściej stosowanych modeli przy praktycznych obliczeniach przepływu. Polega na rozwiązaniu dwóch równań transportu, w celu wyznaczenia turbulentnej skali długości oraz turbulentnej skali czasu. Ze względu na wady wynikające z zastosowania uproszczeń i przybliżeń zaleca się stosowanie go tylko dla przepływów turbulentnych⁵³. Na przestrzeni czasu podjęto wiele prób modyfikacji metody, celem dokładniejszej zgodności z eksperymentem. Przykładem jest model k-epsilon RNG (*Renormalisation Group*) w którym zastosowano analityczną formułę określania turbulentnych liczb Prandtla, zamiast wartości stałych wprowadzanych przez użytkownika oraz zmianę sposobu określania lepkości turbulencji, uwzględniającej skutki małej liczby *Re*. Dzięki

tym modyfikacjom zwiększono dokładność opisu gwałtownych odkształceń i ruchów wirowych dla przepływów. Metoda ta dobrze modeluje turbulencje w przepływie swobodnym, ale nie do końca radzi sobie z przepływem w warstwie przyściennej. Wykazuje dużą skuteczność przy złożonych przepływach wymuszonych, przepływach z gęsto usytuowanymi liniami prądu, wirami czy dla przypadków z oderwaniem strugi. Niewątpliwą zaletą wszystkich modeli k-epsilon jest możliwość analizy skomplikowanych zjawisk przepływu za pomocą ogólnie dostępnych komputerów⁵⁴.

Podstawowy model k-omega jest oparty na modelu Wilcoxa i jest wykorzystywany do: modelowania przepływów wewnętrznych, sytuacji gdzie występuje oderwanie warstwy przyściennej czy miejsc o dużej krzywiznie. Model ten jest w stanie dokładnie zobrazować przepływ turbulentny w warstwie przyściennej, ale jest bardzo wrażliwy na wartości w przepływie swobodnym. Często stosowany w branży lotniczej i maszynach wirnikowych⁵⁵.

Model hybrydowy k-omega SST (*Shear-Stress Transport*) stworzony przez Mentera jest połączeniem zalet modelu k-epsilon i modelu k-omega oraz płynne przejście między nimi. Zawiera zmodyfikowaną definicję lepkości turbulentnej uwzględniającą ograniczenie wartości naprężeń ścinających, w miejscach, gdzie występowała niepożądana zmiana ciśnienia^{56,57}.

Model turbulencji RSM (Reynolds Stress Model) jest mniej stabilny i trudny do osiągnięcia zbieżności ze względu na ściśle sprzężenie równań. Wymaga wyższej mocy obliczeniowej. Wykorzystywany w przypadku silnych zmian kierunku przepływu, silnymi wirami czy rotacją.

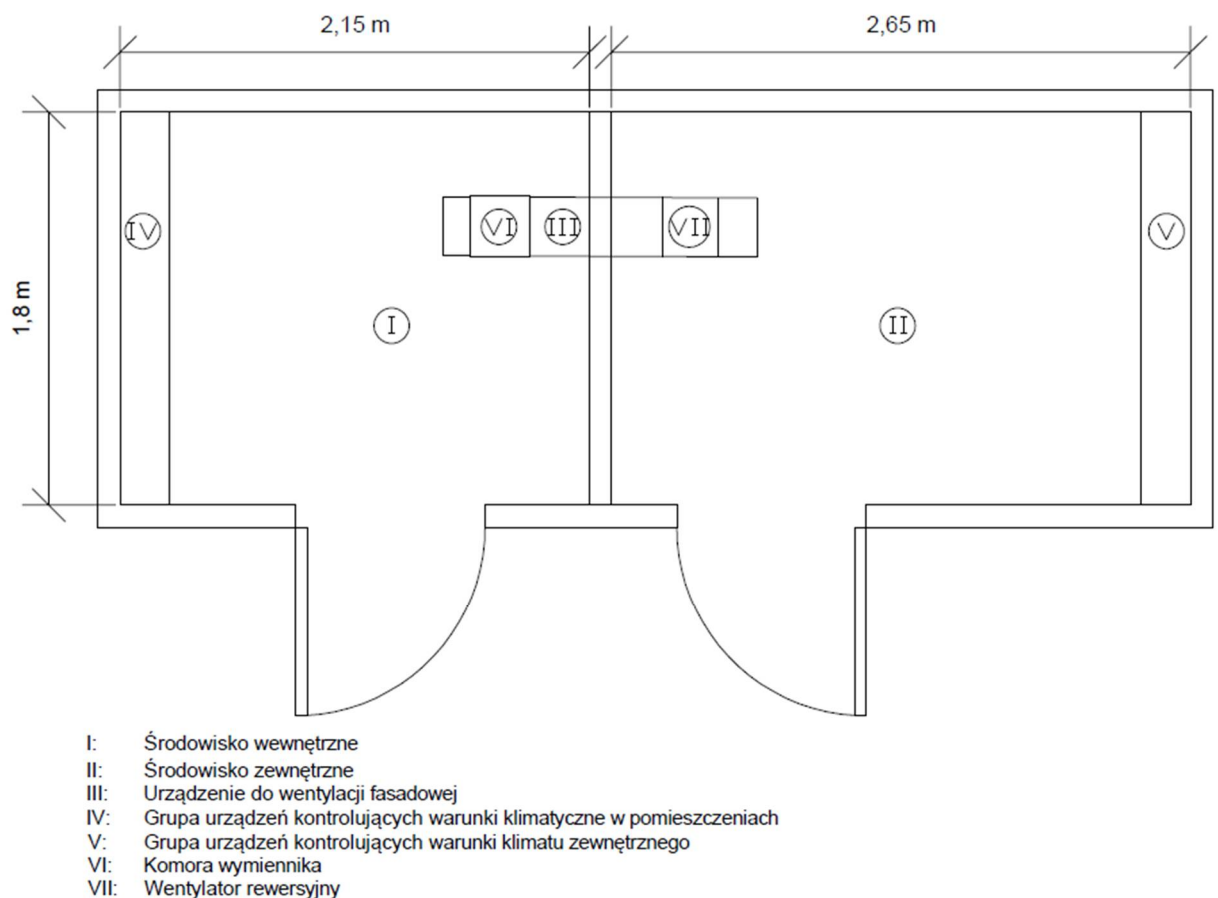
W ostatnim kroku modelowania zwanym postprocesor dokonuje się prezentacji danych wynikowych w formie wykresów, histogramów, map warstw, izolinii czy animacji. Wykonując symulację komputerową należy kolejno: zdefiniować problem, stworzyć model, zastanowić się nad rodzajem i gęstością siatki numerycznej, określić właściwości fizyczne i warunki brzegowe płynu, wybrać metodę obliczeniową oraz zaprezentować uzyskane dane. Symulacje numeryczne umożliwiają osiągnięcie szybkich i względnie dokładnych wyników, których odzwierciedlenie w sposób analityczny byłoby trudne. Zadania jakie dziś stawiane są przed inżynierami, wymagają koncentracji na uzyskaniu jak najlepszego wyrobu w jak najkrótszym czasie. Właśnie dzięki symulacji numerycznej uzyskuje się możliwość skrócenia czasu trwania uruchomienia produkcji nowego wyrobu lub modyfikacji wyrobu już produkowanego.

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Badania eksperymentalne przeprowadzono w Laboratorium Fizyki Budowli, Energetyki Słonecznej i Wodnej Politechniki Świętokrzyskiej. Badanie miało na celu analizę pracy zdecentralizowanego urządzenia do wentylacji pomieszczeń, którego zadaniem jest poprawa jakości powietrza wewnętrznego, przy jednoczesnym zmniejszeniu strat energii poprzez odzysk ciepła.

3.1 Opis stanowiska badawczego

Urządzenie do wentylacji fasadowej wyposażono w wentylator rewersyjny oraz w komorę na wymiennik, dzięki której można badać różne rozwiązania realizujące odzysk ciepła. Urządzenie zamontowano w przegrodzie, znajdującej się w komorze klimatycznej (Rys. 28. - Rys. 30.) co umożliwiło modelowania warunków, zarówno środowiska wewnętrznego jak i zewnętrznego.



Rys. 28. Schemat stanowiska eksperymentalnego



Rys. 29. Komora klimatyczna – część lewa symuluje warunki środowiska wewnętrznego.



Rys. 30. Komora klimatyczna – część prawa symuluje warunki środowiska zewnętrznego.

Poniżej przedstawiono zestawienie parametrów komory klimatycznej (Tabela 1).

Tabela 1. Parametry komory klimatycznej.

	Komora symulująca środowisko wewnętrzne	Komora symulująca środowisko zewnętrzne
Zakres temperatur	-5 do +50 °C	-30 do 80 °C
Skok nastawy	0,1 K	0,1 K
Długość	2,15 m	2,65 m
Szerokość	1,8 m	1,8 m
Wysokość	2,3 m	2,3 m

Rys. 31. i Rys. 32. prezentuje urządzenie do wentylacji fasadowej umieszczone w komorze klimatycznej.



Rys. 31. Urządzenie do wentylacji fasadowej (widok od strony symulującej warunki środowiska wewnętrznego).

Wentylator
rewersyjny



Rys. 32. Urządzenie do wentylacji fasadowej (widok od strony symulującej warunki środowiska zewnętrznego).

Przewód wentylacyjny o średnicy 250 mm doprowadza/usuwa powietrze kratką wentylacyjną na wysokości 1m nad podłogą. Stanowisko nie stanowi rzeczywistego systemu wentylacji, umożliwia jedynie ocenę wydajności odzysku ciepła. Jest to nowatorskie rozwiązanie, a sam wymiennik ciepła uzyskał prawo ochronne na wzór użytkowy pod numerem Ru.072910⁵⁸. Komora na wymiennik ma wymiary 255 mm długości, 260 mm szerokości i 300 mm wysokości.

Urządzenie do wentylacji fasadowej, dzięki wbudowanemu wentylatorowi rewersyjnemu Ventur ARC4-250C-012T firmy Venture Industries, działa cyklicznie, realizując naprzemiennie nawiew i wywiew. Do sterowania cyklami czasowymi użyto automatyki, która pozwala na ustawienie określonych długości trwania cykli nawiewu i wywiewu. Analizie poddano pracę urządzenia w cyklach 1 minuta, 2 minuty, 3 minuty i 5 minut. Automatyka (Rys. 33.) reguluje częstotliwość wentylatora, dzięki czemu możliwe jest sterowanie wydajnością przepływu. Przy badaniach używano częstotliwości 50 Hz. Średnia prędkość przepływu podczas cyklu nawiewu wyniosła 1,8 m/s, a podczas cyklu wywiewu 2,0 m/s. Odpowiednio ilość powietrza wentylacyjnego wyniosła 318 m³ / h i 353 m³ / h.



Rys. 33. Automatyka do sterowania wentylatorem.

Badania przeprowadzono dla 3 konfiguracji temperatury, zachowując stałą temperaturę wewnętrzną na poziomie 20 °C zgodnie z normą PN-EN 16798-1:2019-06⁵⁹, oraz zmienne temperatury zewnętrzne na poziomie 0 °C, -10 °C i -20 °C. Dokonano wyboru takich temperatur zewnętrznych na podstawie normy PN-EN 12831-1:2017-08⁶⁰ i parametrów powietrza zewnętrznego dla III strefy klimatycznej Polski. Temperatura najniższa odpowiada projektowej temperaturze zewnętrznej dla danej strefy, a temperatura najwyższa jest temperaturą najczęściej występującą w strefie. Temperatura -10 °C jest temperaturą pośrednią pomiędzy 0 °C a -20 °C. Podczas badań przeprowadzono testy dla 3 rodzajów wymienników, wypełnionych substancją zmiennofazową, która ma za zadanie zapewnić odzysk ciepła poprzez akumulację energii z powietrza wywiewanego i oddanie tej energii w czasie nawiewu.

Podczas cyklu wywiewu powietrze usuwane z pomieszczenia o temperaturze około 20 °C obmywa aluminiowe cylindry wypełnione substancją zmiennofazową oddając im energię cieplną. Po zmianie kierunku pracy wentylatora następuje cykl nawiewu, podczas którego zimne powietrze zewnętrzne poprzez przepływ przez urządzenie odbiera energię cieplną, skumulowaną podczas wywiewu, z cylindrów wypełnionych substancją zmiennofazową.

Jako przypadek kontrolny przeprowadzono badania także dla wymienników z pustymi cylindrami, niewypełnionymi żadną substancją. Dany przypadek opisywany jest jako „pusty”.

Wymienniki zbudowane są z aluminiowych cylindrów o grubości ścianki 1 mm, o różnej liczbie i średnicy cylindrów. W Tabeli 2 podano szczegóły parametrów wymienników ciepła.

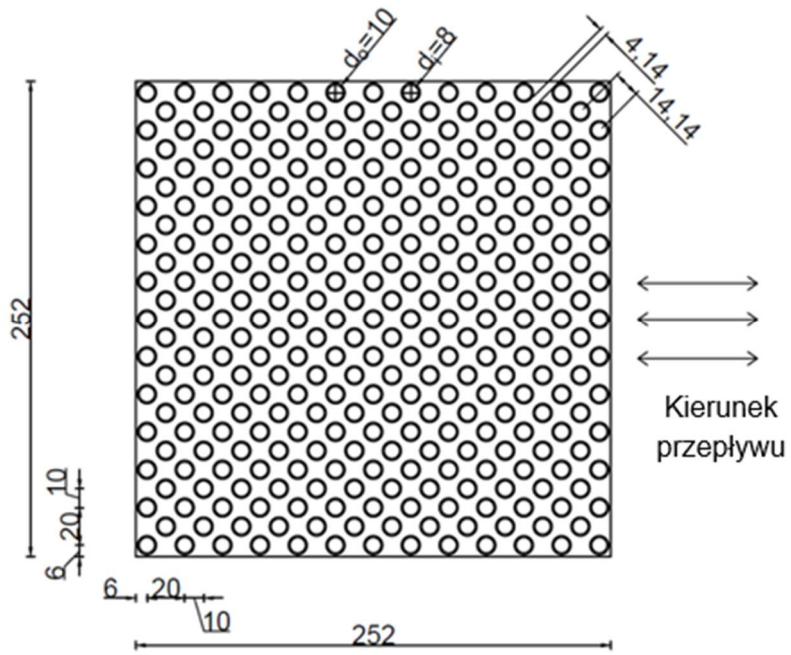
Tabela 2. Parametry wymienników ciepła

	Wymiennik ciepła 1	Wymiennik ciepła 2	Wymiennik ciepła 3
Średnica zewnętrzna rury — d_o (mm)	10	25	40
Średnica wewnętrzna rury — d_i (mm)	8	23	38
Rozstaw poprzeczny rury — S_t (mm)	20	35	50
Rozstaw rzędów — S_l (mm)	10	30	50
Układ rur	przestawny	przestawny	w linii
Liczba rzędów — N	25	8	5
Liczba rur — n	313	56	25
Wysokość rury — H (mm)	300	300	300
Powierzchnia wymiennika ciepła — A (m ²)	2,95	1,32	0,94
Objętość PCM — V (dm ³)	4,72	6,98	8,51

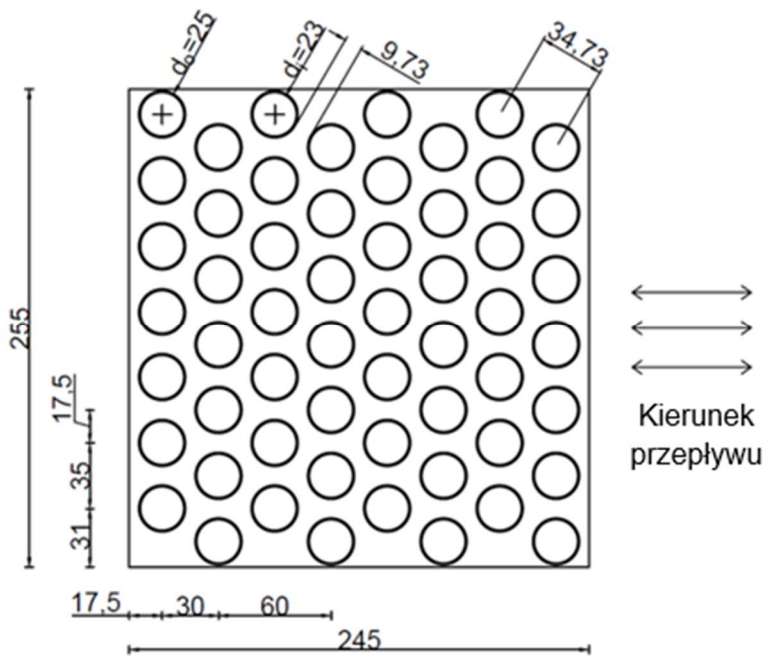


Rys. 34. Wymiennik ciepła 1 - cylindry 10 mm x 1mm. Rys. 35. Wymiennik ciepła 2 - cylindry 25 mm x 1 mm. Rys. 36. Wymiennik ciepła 3 - cylindry 40 mm x 1 mm.

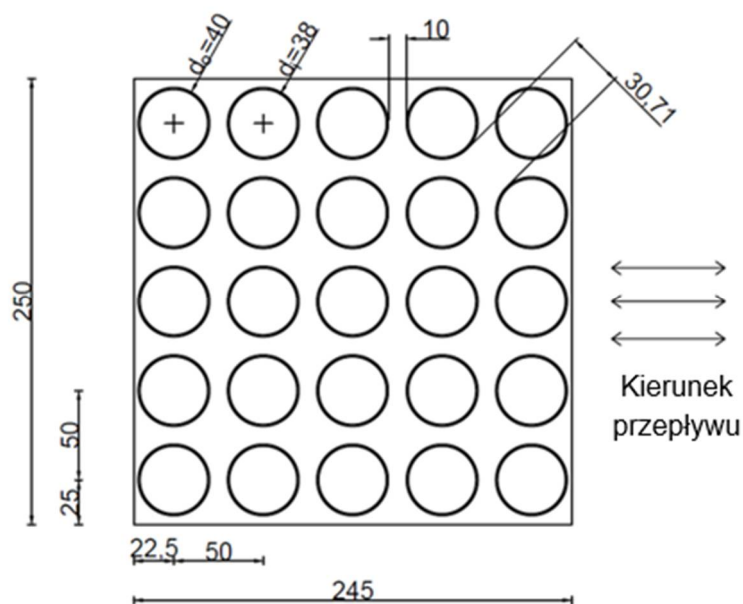
Na Rys. 37-39 przedstawiono układ cylindrów dla poszczególnych wymienników z określeniem ich wymiarów.



Rys. 37. Wymiennik ciepła 1 - układ cylindrów



Rys. 38. Wymiennik ciepła 2 - układ cylindrów



Rys. 39. Wymiennik ciepła 3 - układ cylindrów

Dokonując wyboru materiału PCM zwrócono uwagę na takie czynniki jak: temperatura przemiany fazowej, wartość ciepła przemiany fazowej, przewodność cieplna, pojemność cieplna, gęstość, współczynnik zmiany objętości, brak rozdziału faz, stopień przechłodzenia, korozyjność, stabilność chemiczna, toksyczność, palność, wybuchowość, koszty, dostępność, możliwość recyklingu. Po wstępnej analizie pod kątem powyższych czynników, do dalszych badań wybrano trzy substancje zmiennofazowe: woda, olej kokosowy, olej jojoba.

Właściwości termofizyczne wybranych materiałów zostały określone na podstawie testów DSC przeprowadzonych przez Instytut Chemii Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej filia w Płocku, na potrzeby badania. Podczas badań wykonano 5 pomiarów przedstawiających oznaczenia: ciepła właściwego, ciepła topnienia, ciepła krzepnięcia, temperatury topnienia oraz pojemności cieplnej dla trzech substancji, spośród których wyliczono wartości średnie. Dla każdego parametru obliczono wartość średnią, którą przedstawia Tabela 3.

Ciepło topnienia, ciepło krzepnięcia i temperatura topnienia oznaczane były w zakresie temperatury od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Ciepło właściwe i pojemność cieplna oznaczane były w zakresie temperatury od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Szczegółowe zestawienie wyników zawiera Załącznik 1.

Tabela 3. Właściwości termofizyczne wybranych materiałów zmiennofazowych.

Materiał zmiennofazowy	ciepło właściwe J/gK	ciepło topnienia J/g	ciepło krzepnięcia J/g	temperatura topnienia °C	pojemność cieplna J/K
olej kokosowy	1,67	103,02	86,68	25	0,0156
olej jojoba	10,81	130,7	132,6	14,7	0,1046
woda	19,88	330,4	258,9	0,3	0,260

Sprawność wymiennika ciepła określono na podstawie pomiarów temperatury z wykorzystaniem 12 termopar (Tabela 4).

Tabela 4. Parametry termopar - Pt100

Rezystancyjne czujki temperatury - Pt100	
Zakres pomiarowy	-200,00 °C to +400,00 °C
Rezolucja	0,01 K
Dokładność	±0,05 K
Programowanie złączy	ZA 9030 FS2

Dane pomiarowe z termopar zapisywane były w rejestratorze Almemo 5690-1 V5, którego dane techniczne zawiera Załącznik 2.



Rys. 40. Podpięcie termopar

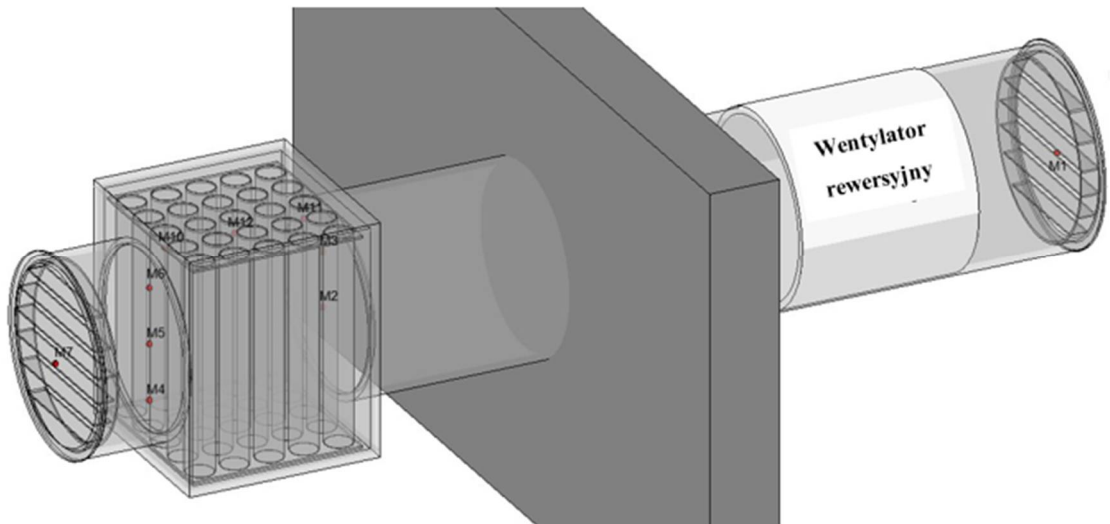


Rys. 41. Rejestrator Almemo 5690-1 V5

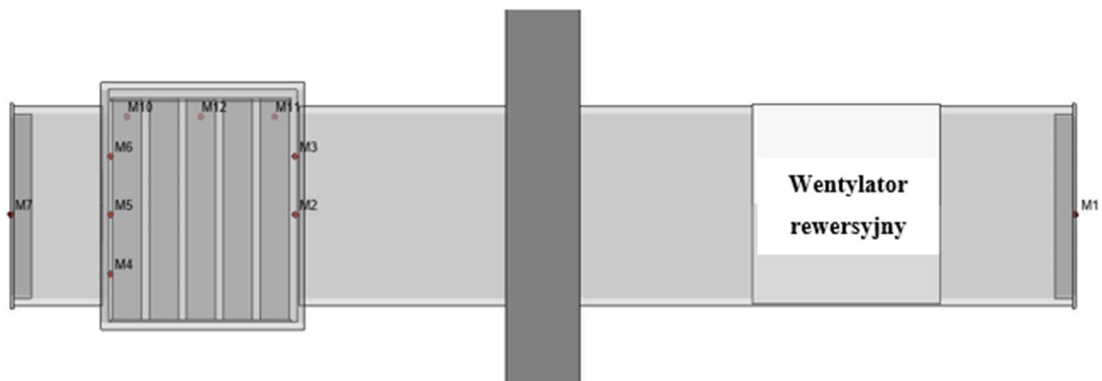
3.2 Metoda obliczeniowa

Uwzględniając wszystkie zmienne, ustalono sprawność odzysku ciepła dla 144 kombinacji. Sprawność określona została jako średnia z minimum 10 ustabilizowanych cykli nawiewu i wywiewu.

Termopary M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M10, M11, M12 umieszczono w urządzeniu fasadowej wentylacji (Rys. 42.- Rys. 44.), a dwoma mierzono temperaturę powietrza w obu częściach komory. Termopara M0 monitorowała temperaturę w komorze zewnętrznej, a termopara M8 monitorowała temperaturę w komorze wewnętrznej. Rejestracja odbywała się z krokiem czasowym co 5 sekund. Sprawność liczone dla całego urządzenia w związku z tym w wynikach uwzględniony jest odbiór ciepła z wentylatora i otoczenia. Zauważono, że występuje „hałas” związany z oddziaływaniem na siebie wskazań termometrów mierzących temperaturę zewnętrzną i wyjściową wymiennika ciepła, przy odczytach na termoparze M1. Dlatego dane dla temperatury zewnętrznej były zbierane przez termoparę M0 oddaloną od urządzenia, umieszczoną w komorze. Zauważono, że występuje moment bezwładności czujników, dlatego pierwsze 30 sekund odczytów pominięto. Przeprowadzono pomiary 25 cykli celem kontroli stabilności temperatury.



Rys. 42. Schemat rozmieszczenia termopar (3D).



Rys. 43. Schemat rozmieszczenia termopar (bok).



Rys. 44. Schemat rozmieszczenia termopar (górn).

Sprawność urządzenia ustalono na podstawie sprawności temperaturowej odzysku ciepła:

$$\eta_{t \text{ urządzenia}} = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:

t_1 – średnia temperatura zewnętrzna dla danego cyklu (termopara M0)

t_2 – średnia temperatura nawiewana dla danego cyklu (średnia temperatura z trzech termopar M4, M5, M6,)

t_3 – średnia temperatura wewnętrzna dla danego cyklu (termopara M8)

Sprawność wymiennika ustalono na podstawie sprawności temperaturowej odzysku ciepła:

$$\eta_{t \text{ wymiennika}} = \frac{t_2 - t_4}{t_3 - t_4} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

gdzie:

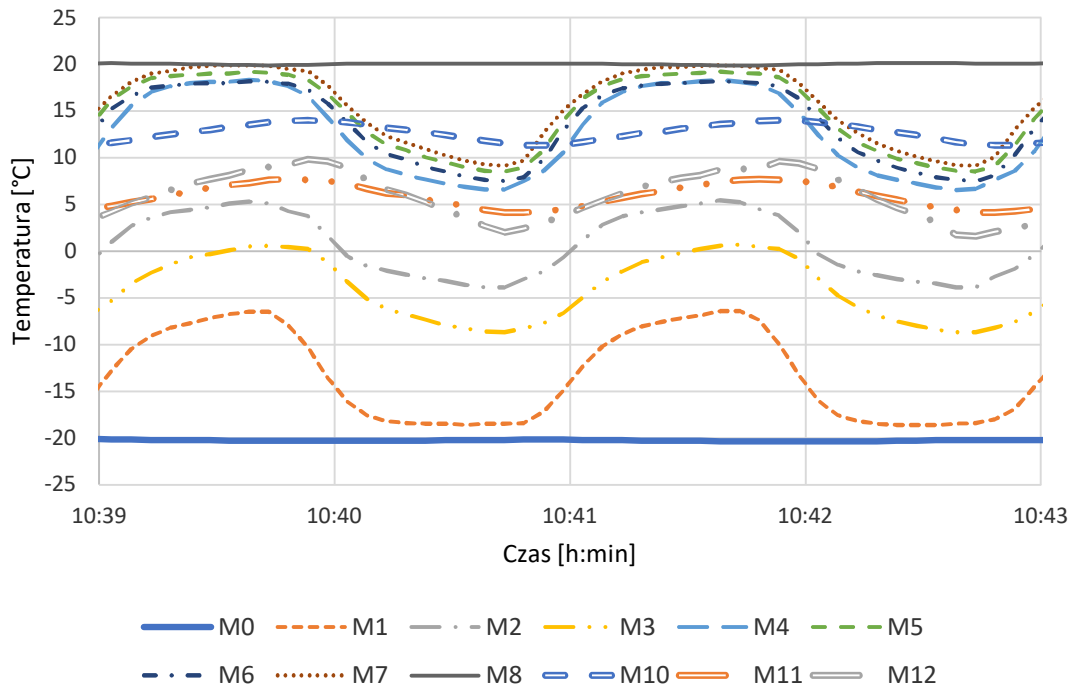
t_2 – średnia temperatura nawiewana dla danego cyklu (średnia temperatura z trzech termopar M4, M5, M6,)

t_3 – średnia temperatura wewnętrzna dla danego cyklu (termopara M8)

t_4 – średnia temperatura zewnętrzna dla danego cyklu (termopara M2, M3)

3.3 Analiza przebiegu zmian temperatury

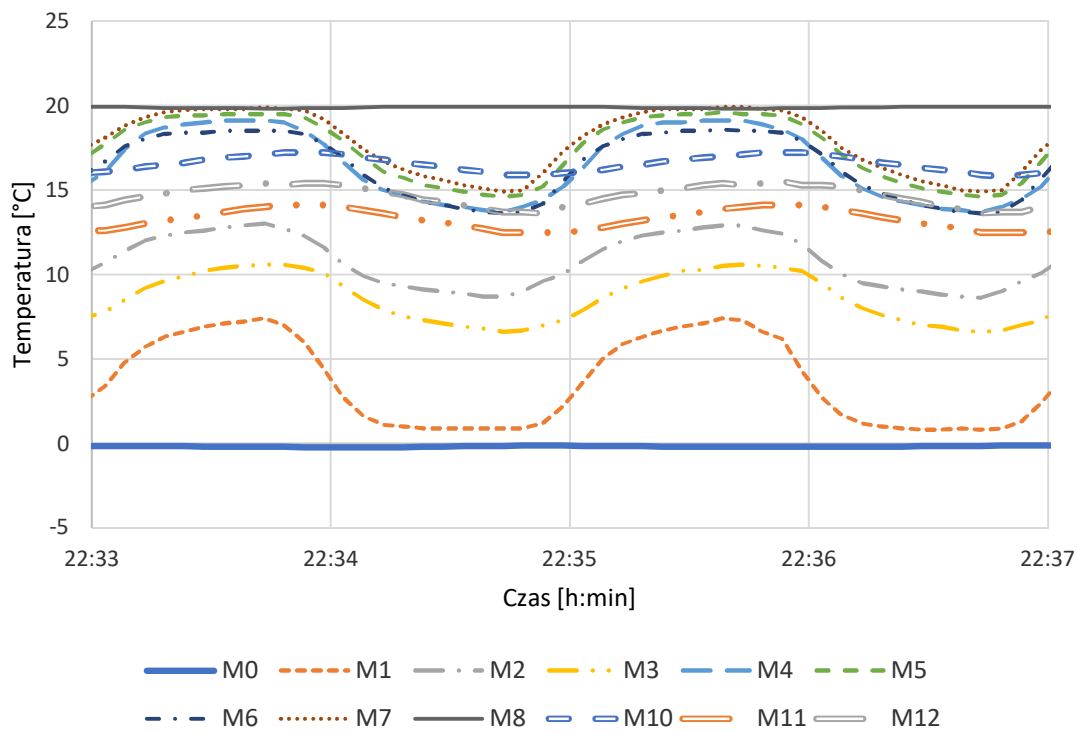
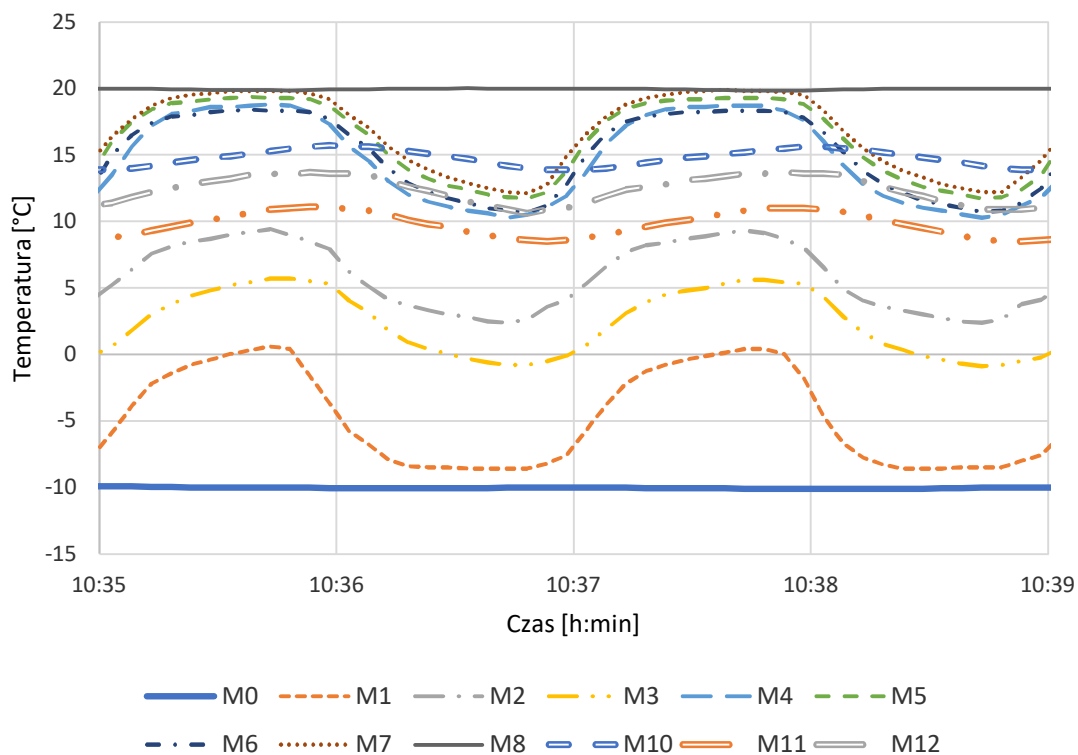
Na Wykres 1 – Wykres 3 przedstawiono przebieg temperatury w czasie dla trzech wybranych kombinacji badań z przeprowadzonych 144. Wykresy przebiegu temperatur dla pozostałych kombinacji zawiera Załącznik 3.



Wykres 1. Przebieg zmian temperatury – olej jojoba - wymiennik 10x1mm, cykl 1 min, temp. zew. -20 °C, temp. wew. 20 °C.

Na Wykres 1 – Wykres 3 przedstawiono przebieg zmian temperatury mierzonych przez termopary M0, M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M10, M11, M12, których rozmieszczenie przedstawiono na Rys. 42 -Rys. 44. Do pomiaru temperatury wewnątrz pomieszczenia wykorzystano termoparę M8, a do pomiaru temperatury zewnętrznej zastosowano termoparę M0. Czas trwania nawiewu/wywiewu wynosił 1 min. Liczba cykli wynosiła 25 z których przedstawiono 2. Materiałem w tym przypadku był olej jojoba. Wymiennik odzysku ciepła zbudowany został z cylindrów o średnicy 10 mm. Temperaturę powietrza w pomieszczeniu utrzymywano na poziomie 20 °C. Wykres 1 przedstawia zmiany temperatury w wymienniku ciepła przy temperaturze zewnętrznej -20 °C. Zmiana temperatury we wszystkich analizowanych punktach pomiarowych ma postać sinusoidy, zgodnie z realizowaną fazą cyklu nawiew/wywiew. Temperatura wzrastała podczas wywiewu powietrza w wyniku nagrzania materiału zmiennofazowego. Temperatura spadała podczas nawiewu, gdy ciepło było przekazywane z wymiennika ciepła do strumienia powietrza. Temperatura powietrza nawiewanego, odczytana w punktach M4, M5, M6, przy nastawieniu temperatury zewnętrznej -20 °C i temperatury wewnętrznej 20 °C, wyniosła średnio 9,4 °C. Temperatura powietrza nawiewanego na termoparze M7 osiągnęła najwyższe wartości. Najniższe zarejestrowane wartości uzyskano na termoparze M1 umieszczonej na czerpni/wyrzutni powietrza. W fazie nawiewu jest to spowodowane zasysaniem powietrza zewnętrznego o niskiej temperaturze. W fazie wywiewu najniższe temperatury w tym punkcie oznaczają, że w wymienniku zgromadziło się ciepło. Ilość energii traconej z powietrzem jest mniejsza niż w przypadku braku w urządzeniu wymiennika ciepła z odzyskiem ciepła .

Na Wykres 2 przedstawiono przebieg zmian temperatury w wymienniku ciepła przy temperaturze zewnętrznej -10 °C. Przebieg zmian jest analogiczny do temperatury zewnętrznej -20 °C. Ta sama konfiguracja testowa, przy założonej temperaturze zewnętrznej -10 °C, wykazała, że średnia temperatura powietrza nawiewanego wyniosła 12,7 °C. Najniższe zarejestrowane wartości uzyskano na termoparze M1 umieszczonej na czerpni/wyrzutni powietrza.



Na Wykres 3 przedstawiono przebieg zmian temperatury w wymienniku ciepła przy temperaturze zewnętrznej 0 °C. Przebieg zmian jest analogiczny do temperatury zewnętrznej -20 °C i -10 °C. Jednak przy temperaturze zewnętrznej 0 °C średnia temperatura powietrza nawiewanego wyniosła 15,1 °C. Najniższe zarejestrowane wartości uzyskano na termoparze M1 umieszczonej na czerpni/wyrzutni powietrza.

Przy najwyższej temperaturze zewnętrznej, różnica temperatur jest najmniejsza, co wynika ze zbliżenia temperatury powietrza wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia. Mniejsze różnice temperatur prowadzą do mniejszej wymiany ciepła, co może mieć wpływ na efektywność systemu.

3.4 Analiza sprawności urządzenia i sprawności wymiennika

Tabela 5 – Tabela 7 przedstawiają wartości wydajności urządzenia oraz wydajności samego wymiennika w zależności od zastosowanego materiału zmiennofazowego, temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego oraz długości cyklu. Szczegółowe dane z badań laboratoryjnych zawiera Załącznik 4 .

Tabela 5. Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika – wymiennik ciepła 1

Długość cyklu	Substancja	Temperatura zewnętrzna	Temperatura wewnętrzna	Sprawność urządzenia	Sprawność wymiennika
1min	olej jojoba	0°C	20°C	76,29%	59,98%
1min	olej kokosowy	0°C	20°C	75,10%	59,36%
1min	pusty	0°C	20°C	72,70%	55,00%
1min	woda	0°C	20°C	72,15%	53,71%
2min	olej jojoba	0°C	20°C	74,19%	57,22%
2min	olej kokosowy	0°C	20°C	72,61%	56,15%
2min	pusty	0°C	20°C	69,49%	50,62%
2min	woda	0°C	20°C	70,78%	52,22%
3min	olej jojoba	0°C	20°C	73,45%	56,13%
3min	olej kokosowy	0°C	20°C	71,29%	54,78%
3min	pusty	0°C	20°C	66,20%	45,97%
3min	woda	0°C	20°C	69,90%	51,80%
5min	olej jojoba	0°C	20°C	70,63%	52,80%
5min	olej kokosowy	0°C	20°C	68,96%	52,73%
5min	pusty	0°C	20°C	60,53%	38,92%
5min	woda	0°C	20°C	68,55%	50,86%
1min	olej jojoba	-10°C	20°C	75,72%	60,69%
1min	olej kokosowy	-10°C	20°C	70,56%	52,51%
1min	pusty	-10°C	20°C	72,92%	56,60%

1min	woda	-10°C	20°C	71,30%	55,03%
2min	olej jojoba	-10°C	20°C	71,94%	56,04%
2min	olej kokosowy	-10°C	20°C	68,08%	49,45%
2min	pusty	-10°C	20°C	69,05%	51,53%
2min	woda	-10°C	20°C	69,61%	53,33%
3min	olej jojoba	-10°C	20°C	70,45%	54,27%
3min	olej kokosowy	-10°C	20°C	66,49%	48,08%
3min	pusty	-10°C	20°C	65,59%	47,10%
3min	woda	-10°C	20°C	68,73%	52,82%
5min	olej jojoba	-10°C	20°C	67,83%	51,27%
5min	olej kokosowy	-10°C	20°C	64,25%	46,33%
5min	pusty	-10°C	20°C	59,12%	39,55%
5min	woda	-10°C	20°C	67,27%	51,56%
1min	olej jojoba	-20°C	20°C	73,56%	58,60%
1min	olej kokosowy	-20°C	20°C	69,69%	52,55%
1min	pusty	-20°C	20°C	72,16%	56,46%
1min	woda	-20°C	20°C	70,17%	54,36%
2min	olej jojoba	-20°C	20°C	71,05%	55,17%
2min	olej kokosowy	-20°C	20°C	67,38%	49,87%
2min	pusty	-20°C	20°C	68,14%	51,22%
2min	woda	-20°C	20°C	69,29%	53,07%
3min	olej jojoba	-20°C	20°C	69,39%	53,72%
3min	olej kokosowy	-20°C	20°C	65,82%	48,49%
3min	pusty	-20°C	20°C	64,67%	46,92%
3min	woda	-20°C	20°C	67,70%	52,35%
5min	olej jojoba	-20°C	20°C	67,22%	51,44%
5min	olej kokosowy	-20°C	20°C	63,48%	46,60%
5min	pusty	-20°C	20°C	57,98%	39,24%
5min	woda	-20°C	20°C	65,93%	50,80%

Analiza pracy urządzenia z cylindrycznym wymiennikiem ciepła 1 o średnicy cylindrów 10 mm (Tabela 5) wykazała najlepszą sprawność z olejem jojoba niezależnie od długości cyklu i temperatury zewnętrznej. W cyklu 1 min najwyższa sprawność urządzenia wyniosła 76,29 %, w cyklu 2 min 74,16 %, w cyklu 3 min 73,45 %, a w cyklu 5 min 70,63 %, natomiast sprawność samego wymiennika w cyklu 1 min 59,98 %, w cyklu 2 min 57,22 %, w cyklu 3 min 56,13 % a w cyklu 5 min 52,80 %. Wartości te uzyskano dla temperatury powietrza zewnętrznego 0 °C. Obniżenie temperatury zewnętrznej przyczynia się do zmniejszenia sprawności urządzenia i sprawności wymiennika. Dla porównania przeanalizowano wymiennik ciepła z pustymi cylindrami, który w większości wariantów długości cyklu osiągnął najniższą sprawność, zarówno urządzenia jak i wymiennika.

Tabela 6. Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika –
wymiennik ciepła 2

Długość cyklu	Substancja	Temperatura zewnętrzna	Temperatura wewnętrzna	Sprawność urządzenia	Sprawność wymiennika
1 min	olej jojoba	0°C	20°C	61,00%	29,98%
1 min	olej kokosowy	0°C	20°C	56,82%	25,29%
1 min	pusty	0°C	20°C	59,76%	34,21%
1 min	woda	0°C	20°C	61,57%	36,33%
2 min	olej jojoba	0°C	20°C	57,22%	26,56%
2 min	olej kokosowy	0°C	20°C	54,19%	22,95%
2 min	pusty	0°C	20°C	56,56%	30,59%
2 min	woda	0°C	20°C	55,22%	34,59%
3 min	olej jojoba	0°C	20°C	55,05%	24,89%
3 min	olej kokosowy	0°C	20°C	52,22%	21,84%
3 min	pusty	0°C	20°C	53,20%	27,18%
3 min	woda	0°C	20°C	56,35%	37,31%
5 min	olej jojoba	0°C	20°C	51,68%	22,95%
5 min	olej kokosowy	0°C	20°C	49,28%	20,59%
5 min	pusty	0°C	20°C	47,00%	20,99%
5 min	woda	0°C	20°C	54,64%	36,57%
1 min	olej jojoba	-10°C	20°C	58,46%	29,59%
1 min	olej kokosowy	-10°C	20°C	52,41%	24,81%
1 min	pusty	-10°C	20°C	56,56%	33,27%
1 min	woda	-10°C	20°C	59,48%	39,13%
2 min	olej jojoba	-10°C	20°C	54,69%	26,39%
2 min	olej kokosowy	-10°C	20°C	49,91%	23,25%
2 min	pusty	-10°C	20°C	53,13%	29,71%
2 min	woda	-10°C	20°C	54,65%	35,90%
3 min	olej jojoba	-10°C	20°C	52,79%	24,71%
3 min	olej kokosowy	-10°C	20°C	48,19%	22,45%
3 min	pusty	-10°C	20°C	49,97%	26,50%
3 min	woda	-10°C	20°C	55,59%	35,51%
5 min	olej jojoba	-10°C	20°C	49,62%	22,92%
5 min	olej kokosowy	-10°C	20°C	45,40%	20,96%
5 min	pusty	-10°C	20°C	44,07%	20,89%
5 min	woda	-10°C	20°C	50,64%	25,56%
1 min	olej jojoba	-20°C	20°C	56,68%	29,06%
1 min	olej kokosowy	-20°C	20°C	55,08%	27,51%
1 min	pusty	-20°C	20°C	56,60%	33,28%
1 min	woda	-20°C	20°C	58,72%	33,82%
2 min	olej jojoba	-20°C	20°C	52,68%	25,52%
2 min	olej kokosowy	-20°C	20°C	51,94%	24,93%
2 min	pusty	-20°C	20°C	52,98%	29,89%

2min	woda	-20°C	20°C	56,22%	31,54%
3min	olej jojoba	-20°C	20°C	50,41%	23,87%
3min	olej kokosowy	-20°C	20°C	49,39%	23,35%
3min	pusty	-20°C	20°C	49,29%	26,42%
3min	woda	-20°C	20°C	54,63%	30,93%
5min	olej jojoba	-20°C	20°C	47,57%	22,51%
5min	olej kokosowy	-20°C	20°C	45,84%	21,30%
5min	pusty	-20°C	20°C	42,56%	20,48%
5min	woda	-20°C	20°C	52,48%	29,47%

Przy zastosowaniu wymiennika z cylindrami o średnicy 25 mm ponownie wykazano, że najlepszą sprawność uzyskuje się przy cyklach jednoczynowych (Tabela 6). Lepsze sprawności w tym przypadku wygenerowało zastosowanie wody. Przy czym woda niesie ryzyko pęknięcia wymiennika, z uwagi na większą rozszerzalność cieplną. Ponadto dla tej substancji zaobserwowano spadek sprawności w cyklu jednoczynowym do poziomu pomiędzy 61,57 % a 58,72 %. Dla każdej substancji i temperatury zewnętrznej, dłuższy czas cyklu (5 minut w porównaniu do 1 minuty) prowadzi do znacznego spadku sprawności urządzenia i wymiennika. Przykładowo, dla oleju jojoba przy 0 °C, sprawność urządzenia spada z 61,00 % do 51,68 %, a sprawność wymiennika spada z 29,98 % do 22,95 %. Spadek temperatury zewnętrznej prowadzi do obniżenia sprawności urządzenia i sprawności wymiennika dla wszystkich badanych substancji. Na przykład dla długości cyklu 1 minuta, substancji olej jojoba i temperatury wewnętrznej 20 °C, sprawność urządzenia wynosi 61,00 % przy temperaturze zewnętrznej 0 °C, a spada do 58,46 % przy temperaturze zewnętrznej -10 °C oraz 56,68 % przy temperaturze zewnętrznej -20 °C.

Tabela 7. Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika – wymiennik ciepła 3

Długość cyklu	Substancja	Temperatura zewnętrzna	Temperatura wewnętrzna	Sprawność urządzenia	Sprawność wymiennika
1min	olej jojoba	0°C	20°C	53,18%	23,43%
1min	olej kokosowy	0°C	20°C	49,13%	19,53%
1min	pusty	0°C	20°C	49,32%	19,28%
1min	woda	0°C	20°C	53,09%	24,45%
2min	olej jojoba	0°C	20°C	50,19%	20,62%
2min	olej kokosowy	0°C	20°C	51,89%	28,04%
2min	pusty	0°C	20°C	46,8%	17,4%

2min	woda	0°C	20°C	50,68%	25,14%
3min	olej jojoba	0°C	20°C	48,34%	19,13%
3min	olej kokosowy	0°C	20°C	49,99%	24,71%
3min	pusty	0°C	20°C	44,34%	15,65%
3min	woda	0°C	20°C	48,82%	27,57%
5min	olej jojoba	0°C	20°C	44,50%	15,73%
5min	olej kokosowy	0°C	20°C	43,98%	18,75%
5min	pusty	0°C	20°C	39,86%	12,49%
5min	woda	0°C	20°C	48,65%	20,93%
1min	olej jojoba	-10°C	20°C	50,88%	22,68%
1min	olej kokosowy	-10°C	20°C	50,79%	26,82%
1min	pusty	-10°C	20°C	45,89%	18,25%
1min	woda	-10°C	20°C	52,83%	28,42%
2min	olej jojoba	-10°C	20°C	47,71%	19,49%
2min	olej kokosowy	-10°C	20°C	47,77%	24,38%
2min	pusty	-10°C	20°C	43,41%	16,51%
2min	woda	-10°C	20°C	49,16%	25,00%
3min	olej jojoba	-10°C	20°C	45,86%	18,23%
3min	olej kokosowy	-10°C	20°C	45,63%	23,02%
3min	pusty	-10°C	20°C	40,85%	14,97%
3min	woda	-10°C	20°C	47,82%	24,11%
5min	olej jojoba	-10°C	20°C	43,13%	17,13%
5min	olej kokosowy	-10°C	20°C	42,55%	21,33%
5min	pusty	-10°C	20°C	36,39%	12,05%
5min	woda	-10°C	20°C	45,55%	23,16%
1min	olej jojoba	-20°C	20°C	49,83%	23,59%
1min	olej kokosowy	-20°C	20°C	48,28%	24,07%
1min	pusty	-20°C	20°C	44,88%	18,37%
1min	woda	-20°C	20°C	48,99%	24,94%
2min	olej jojoba	-20°C	20°C	46,97%	20,95%
2min	olej kokosowy	-20°C	20°C	46,31%	22,18%
2min	pusty	-20°C	20°C	42,05%	16,59%
2min	woda	-20°C	20°C	47,33%	23,72%
3min	olej jojoba	-20°C	20°C	45,09%	19,83%
3min	olej kokosowy	-20°C	20°C	44,37%	21,01%
3min	pusty	-20°C	20°C	39,14%	14,70%
3min	woda	-20°C	20°C	45,89%	22,50%
5min	olej jojoba	-20°C	20°C	42,48%	18,79%
5min	olej kokosowy	-20°C	20°C	41,21%	19,80%
5min	pusty	-20°C	20°C	34,45%	11,69%
5min	woda	-20°C	20°C	44,68%	21,75%

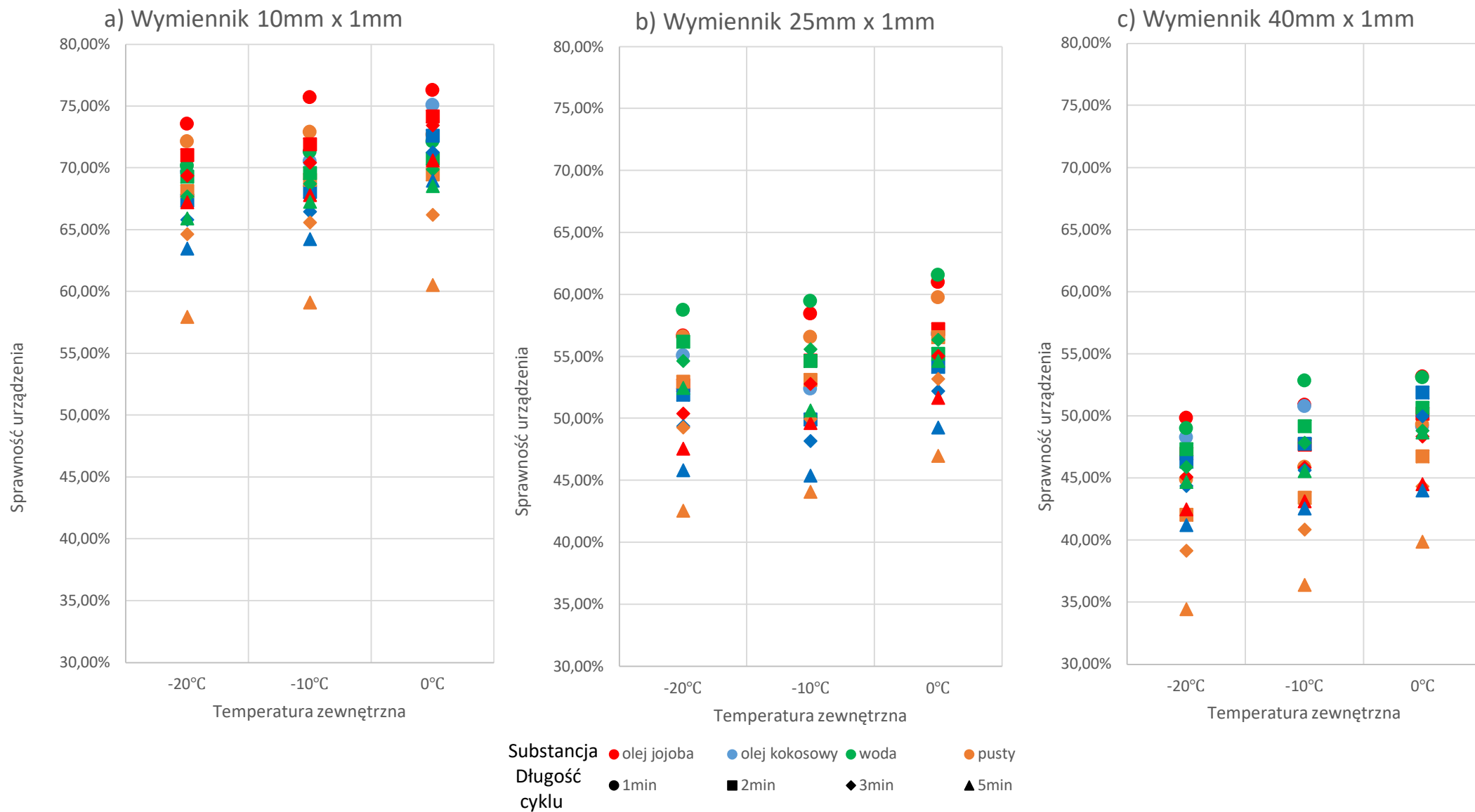
Natomiast analiza pracy urządzenia z wymiennikiem z cylindrami o średnicy 40 mm wykazała jeszcze mniejsze sprawności, które nie przekraczały 53,18 %. Olej

jojoba i woda w tym przypadku osiągają zbliżone wartości sprawności, ale olej jojoba pozwala uzyskać nieco wyższe wartości. Przykładowo, dla cyklu 1min w temperaturze 0 °C, sprawność urządzenia dla oleju jojoba wynosi 53,18 %, podczas gdy dla wody wartość ta wynosi 53,09 %. W przypadku urządzenia z pustym wymiennikiem, sprawność zarówno urządzenia, jak i wymiennika, jest najniższa w każdym z cykli. Podobnie jak poprzednio w przypadku wszystkich substancji i dla każdego cyklu, zarówno sprawność urządzenia, jak i wymiennika, generalnie spadają wraz ze spadkiem temperatury zewnętrznej.

Różnica w sprawności między urządzeniem a wymiennikiem jest stosunkowo stała dla każdego rodzaju wymiennika, każdej substancji i każdego cyklu, co sugeruje, że te elementy są mocno powiązane i że efektywność wymiennika jest kluczowym czynnikiem wpływającym na efektywność całego urządzenia. Zauważono, że sprawność urządzenia jest średnio o 22,71 % wyższa niż sprawność samego wymiennika (Tabela 8). To sugeruje, że inne elementy urządzenia, nie tylko wymiennik, również wpływają na ogólną efektywność. Elementy takie jak silnik wentylatora, który generuje dodatkowe ciepło, czy inne składowe urządzenia zdolne do gromadzenia i uwalniania ciepła, również przyczyniają się do końcowej efektywności.

Tabela 8. Średnia różnica pomiędzy sprawnością urządzenia a samego wymiennika.

Średnia sprawność urządzenia	Średnia sprawność wymiennika	Średnia różnica	Mediana	SD	Min średnia różnica	Max średnia różnica
56,16%	33,45%	22,71%	23,44%	4,71%	14,96%	31,53%



Wykres 4. Sprawności urządzenia z wymiennikami o średnicy cylindrów a) 10mm, b) 25mm, c) 40mm.

Na podstawie wyników badań opracowano Wykres 4, który pozwala porównać analizowane warianty wymienników. Porównanie wszystkich uzyskanych wyników wykazało, iż największy wpływ na sprawność urządzenia ma kształt wymiennika. Zauważono także, iż w cyklach najkrótszych uzyskiwano najlepsze rezultaty. Należy także zwrócić uwagę na substancję zmiennofazową wypełniającą wymiennik, której dobór także powinien być uzależniony od kształtu wymiennika.

Analiza wykazała, że najlepsza sprawność urządzenia uzyskiwana jest w przypadku zastosowania wymiennika z cylindrami o najmniejszej średnicy oraz przy zastosowaniu jak najkrótszych cykli. W przeprowadzonych badaniach najlepsze wyniki uzyskało urządzenie z zastosowaniem wymiennika z 313 cylindrami o średnicy zewnętrznej 10 mm i grubości ścianki 1 mm, wypełnionych olejem jojoba, w cyklach 1 minuta, które wyniosło 76,3 % przy temperaturze 0 °C, 75,7 % przy temperaturze -10 °C oraz 73,6 % przy temperaturze -20 °C.

3.5 Wnioski

W analizowanych punktach pomiarowych zaobserwowano sinusoidalne zmiany temperatury, które odpowiadają fazom cyklu naprzemiennego nawiewu i wywiewu. W momencie wywiewu powietrza zaobserwowano wzrost temperatury, co było spowodowane nagrzewaniem się materiału zmiennofazowego, natomiast podczas nawiewu temperatura spadała, ponieważ ciepło było przekazywane z wymiennika do strumienia powietrza.

Badania wykazały, że najwyższą sprawność, wynoszącą 76,29 %, uzyskano dla urządzenia z wymiennikiem składającym się z 313 cylindrów o średnicy 10 mm i grubości 1 mm, wypełnionego olejem jojoba, pracującego w jednodominutowych cyklach. Sam wymiennik w tej konfiguracji również wykazał najlepsze wyniki sprawności na poziomie 59,98 %.

Obniżenie temperatury zewnętrznej przyczynia się do zmniejszenia sprawności urządzenia i sprawności wymiennika dla wszystkich badanych konfiguracji.

Ogólna sprawność urządzenia przekraczała sprawność wymiennika o średnio 22,71 %. Oznacza to, że inne komponenty urządzenia, w tym silnik wentylatora generujący ciepło, jak i inne części zdolne do magazynowania i uwalniania ciepła, mają znaczący wpływ na efektywność całego systemu. Ważne jest również zwrócenie uwagi na wpływ zysków i strat cieplnych wynikających z interakcji z otoczeniem mimo izolacji urządzenia.

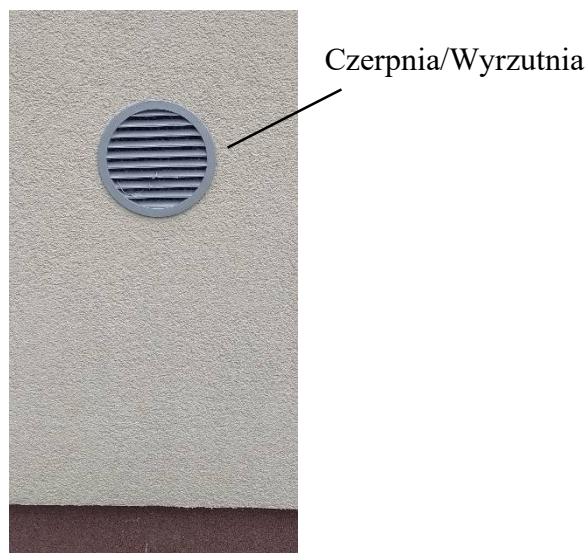
4. BADANIA EKSPERYMENTALNE W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

4.1 Opis stanowiska badawczego

Badania eksperymentalne przeprowadzono w Laboratorium Mikroklimatu Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Zdecentralizowane urządzenie do wentylacji fasadowej zainstalowano w przegrodzie zewnętrznej (Rys. 45 i Rys. 46). Jest to to samo urządzenie, które zostało przeniesione z komory klimatycznej do Laboratorium Mikroklimatu, celem przeprowadzenia badań w warunkach rzeczywistych. Dokładny opis urządzenia znajduje się w rozdziale 3.1.



Rys. 45. Urządzenie do wentylacji fasadowej (widok od strony symulującej warunki środowiska wewnętrznego).



Rys. 46. Czerpnia / wyrzutnia (widok od strony symulującej warunki środowiska zewnętrznego).

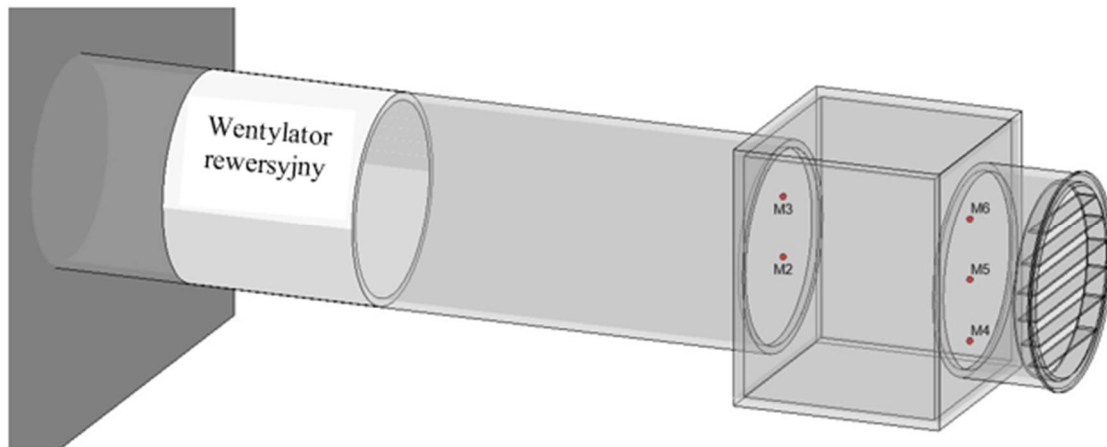
Stanowisko nie stanowi rzeczywistej instalacji wentylacyjnej, pozwala jedynie na ocenę sprawności odzysku ciepła.

Badania przeprowadzono dla temperatury wewnętrznej wynoszącej 20 °C zgodnie z PN-EN 16798-1:2019-06⁵⁹ przy rzeczywistych wartościach temperatury zewnętrznej, która oscylowała pomiędzy -5 °C a 13 °C. Pomiary przeprowadzono w warunkach rzeczywistych w okresie luty-marzec 2023. W komorze umieszczono wymiennik ciepła zbudowany z aluminiowych cylindrów o grubości ścianki 1 mm (Tabela 2), wypełnionych materiałem zmiennofazowym jakim był olej jojoba. Materiał zmiennofazowy, ma zapewnić odzysk ciepła poprzez gromadzenie energii z powietrza wywiewanego i oddawanie tej energii podczas nawiewu. Szczegółowe parametry wymiennika ciepła 1 o średnicy zewnętrznej cylindra 10 mm i grubości ścianki 1 mm oraz rozmieszczenie cylindrów w wymienniku podano w rozdziale 3.1. niniejszej pracy.

Podczas cyklu wywiewu powietrze usuwane z pomieszczenia ma temperaturę około 20 °C przepływa wokół aluminiowych cylindrów wypełnionych materiałem zmiennofazowym, oddając im energię cieplną. Po zmianie kierunku pracy wentylatora rozpoczyna się cykl nawiewu, podczas którego przepływające przez urządzenie zimne powietrze zewnętrzne odbiera energię cieplną z cylindrów wypełnionych materiałem zmiennofazowym, zgromadzoną podczas wywiewu.

4.2 Metoda obliczeniowa

Termopary M2, M3, M4, M5, M6 umieszczono w urządzeniu służącym do wentylacji fasadowej (Rys. 47). Termopara M1 monitorowała temperaturę wewnątrz pomieszczenia. Rejestracja odbywała się z krokiem czasowym co 5 sekund. Termopara M0 monitorowała temperaturę zewnętrzną, a termopara M8 monitorowała temperaturę wewnętrzną.

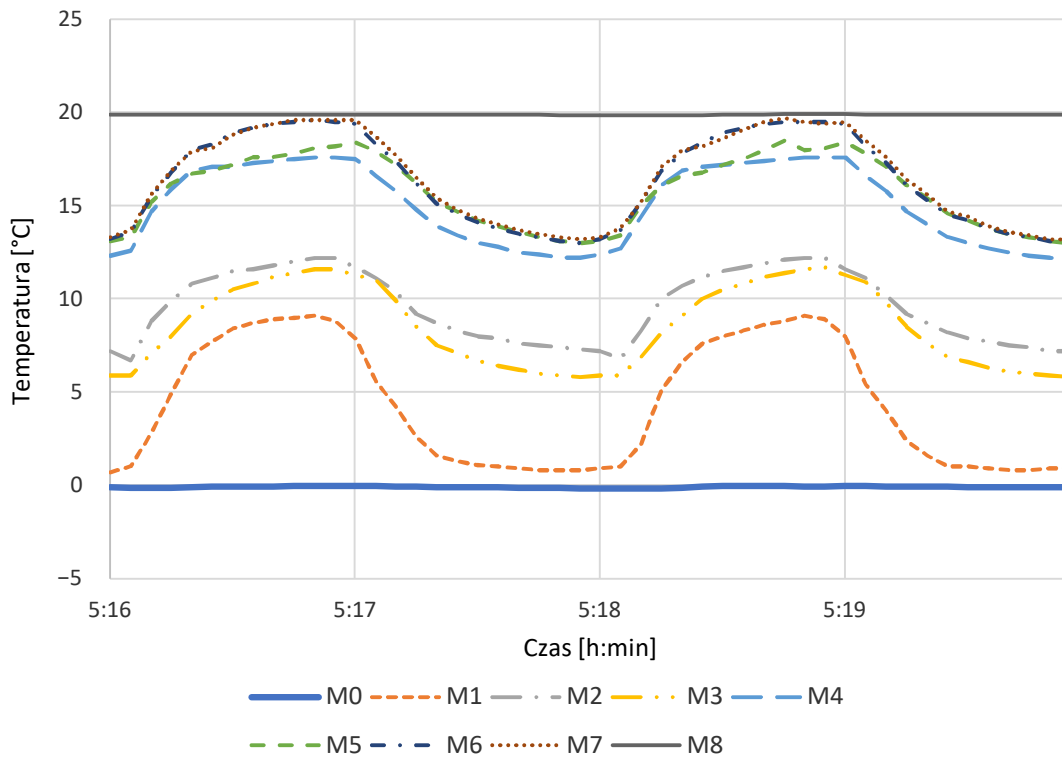


Rys. 47. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych (termopar).

Spośród wszystkich przeprowadzonych pomiarów wybrano takie, w których warunki otoczenia były najbardziej zbliżone do ustalonych warunków laboratoryjnych dla przypadku z najwyższą sprawnością, czyli dla wymiennika 1 wypełnionego olejem jojoba przy cyklu 1 minuta i temperaturze zewnętrznej 0 °C i wewnętrznej 20 °C.

Sprawności zostały policzone zgodnie ze wzorami nr 1 i 2 które szczegółowo były opisane w rozdziale 3.2.

4.3 Analiza przebiegu zmian temperatury



Wykres 5. Badania rzeczywiste - Przebieg zmian temperatury

Na Wykres 5 przedstawiono przebieg zmian temperatury w wymienniku ciepła 1 wypełnionego olejem jojoba, cykl 1 minuta, przy temperaturze zewnętrznej 0 °C. Wykres jest analogiczny do wykresów przedstawionych przy badaniach laboratoryjnych.

Podobnie jak przy badaniach laboratoryjnych zmiana temperatury we wszystkich analizowanych punktach pomiarowych ma postać sinusoidy, zgodnie z realizowaną fazą cyklu nawiew/wywiew. Temperatura wzrastała podczas wywiewu powietrza w wyniku nagrzania materiału zmiennofazowego. Temperatura spadała podczas nawiewu, gdy ciepło było przekazywane z wymiennika ciepła do strumienia powietrza. Temperatura powietrza nawiewanego, odczytana w punktach M4, M5, M6, przy założeniu temperatury zewnętrznej 0 °C i temperatury wewnętrznej 20 °C, wyniosła średnio 13,18 °C.

4.4 Analiza sprawności urządzenia i sprawności wymiennika

Na podstawie przeprowadzonych badań sporządzono Tabela 9, w której obliczono średnią sprawność temperaturową odzysku ciepła dla całego urządzenia oraz dla samego wymiennika ciepła. Spośród wszystkich pomiarów wybrano 10 ustabilizowanych cykli, które reprezentowały podobne warunki.

Tabela 9. Badania rzeczywiste - Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika

L.p.	t_1	t_2	t_3	t_4	η_t urządzenia	η_t wymiennika
1	-0,12	13,20	19,88	6,88	66,59%	48,63%
2	-0,14	13,18	19,87	6,85	66,57%	48,61%
3	-0,14	13,19	19,85	6,90	66,68%	48,56%
4	-0,14	13,17	19,86	6,89	66,54%	48,39%
5	-0,12	13,14	19,87	6,80	66,36%	48,55%
6	-0,15	13,16	19,92	6,91	66,31%	48,04%
7	-0,14	13,17	19,87	6,83	66,49%	48,57%
8	-0,13	13,16	19,85	6,88	66,49%	48,40%
9	-0,14	13,19	19,86	6,90	66,63%	48,52%
10	-0,09	13,21	19,88	6,98	66,56%	48,23%
średnia	-0,13	13,18	19,87	6,88	66,52%	48,45%
SD	0,02	0,02	0,02	0,05	0,11%	0,18%

Sprawność urządzenia i sprawność samego wymiennika w badaniach rzeczywistych dla analizowanego przypadku jest niższa niż w badaniach laboratoryjnych. Sprawność urządzenia w rzeczywistych warunkach wynosi 66,52 % w porównaniu do 76,29 % w badaniach laboratoryjnych, co stanowi spadek o prawie 10 punktów procentowych. Podobny trend obserwuje się w przypadku sprawności wymiennika, gdzie wartość spada z 59,98 % w badaniach laboratoryjnych do 48,45 % w warunkach rzeczywistych.

Rozbieżność między wynikami z badań laboratoryjnych, a rzeczywistymi może wynikać z wielu czynników, takich jak nieidealne warunki otoczenia, a także potencjalne błędy operatora.

4.5 Wnioski

Badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych wykazały, że sprawność zarówno całego urządzenia, jak i samego wymiennika była niższa o około 10 % w porównaniu z badaniami laboratoryjnymi. Taka różnica może być efektem czynników takich jak nieidealne warunki otoczenia, czy potencjalne błędy ze strony operatora.

Przeprowadzanie badań zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i rzeczywistych jest istotne, ponieważ urządzenia działające w warunkach rzeczywistych często osiągają inne wartości ze względu na różnorodność czynników, które trudno uwzględnić w laboratorium. Producenci urządzeń zwykle podają swoje wartości sprawności dla warunków wyidealizowanych. Dlatego w niniejszej rozprawie uwzględniono badania na urządzeniu zamontowanym w istniejącym budynku, w rzeczywistych warunkach. Pozwala to na osiągnięcie komplementarności informacji i poprawia ich wiarygodność.

5. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW BADAŃ LABORATORYJNYCH

Wyniki sprawności zdecentralizowanego urządzenia do wentylacji fasadowej z badań laboratoryjnych, które zostały przedstawione w Załącznik 4, poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu IBM SPSS Statistics 28. Przebadano wpływ:

- Temperatury zewnętrznej (3 konfiguracje: 0°C , -10°C , -20°C) (c_1)
- Średnicy wymiennika (3 konfiguracje: 10 mm, 25 mm, 40 mm) (c_2)
- Substancji zawartej w wymienniku (4 konfiguracje: pusty, woda, olej jojoba, olej kokosowy) (c_3)
- Długości cyklu (4 konfiguracje: 1 min, 2 min, 3 min, 5 min) (c_4).

Tabela 10 przedstawia wartości średniej, mediany, odchylenia standardowego, minimum i maksimum dla badanych zmiennych.

Tabela 10. Podstawowe statystyki opisowe badanych zmiennych.

Wymiennik	Cykl	Substancja	Temperatura zewnętrzna	Średnia	Mediana	SD	Min	Max
10mm	1min	woda	0°C	72,15%	72,15%	0,10%	71,99%	72,32%
			-10°C	71,30%	71,29%	0,11%	71,09%	71,47%
			-20°C	70,17%	70,16%	0,10%	70,07%	70,37%
		olej jojoba	0°C	76,29%	76,29%	0,08%	76,18%	76,43%
			-10°C	75,72%	75,72%	0,10%	75,56%	75,87%
			-20°C	73,56%	73,57%	0,13%	73,37%	73,79%
		olej kokosowy	0°C	75,10%	75,13%	0,12%	74,89%	75,24%
			-10°C	70,56%	70,52%	0,11%	70,41%	70,73%
			-20°C	69,69%	69,67%	0,11%	69,49%	69,86%
		pusty	0°C	72,70%	72,63%	0,16%	72,52%	72,94%
			-10°C	72,92%	72,94%	0,14%	72,65%	73,06%
			-20°C	72,16%	72,16%	0,17%	71,87%	72,44%
	2min	woda	0°C	70,78%	70,79%	0,04%	70,72%	70,83%
			-10°C	69,61%	69,62%	0,05%	69,52%	69,69%
			-20°C	69,29%	69,29%	0,04%	69,25%	69,38%
		olej jojoba	0°C	74,19%	74,20%	0,04%	74,11%	74,26%
			-10°C	71,94%	71,93%	0,05%	71,84%	72,00%
			-20°C	71,05%	71,04%	0,07%	70,95%	71,22%
		olej kokosowy	0°C	72,61%	72,61%	0,05%	72,51%	72,67%
			-10°C	68,08%	68,09%	0,03%	68,03%	68,12%
			-20°C	67,38%	67,36%	0,08%	67,25%	67,50%
		pusty	0°C	69,49%	69,48%	0,07%	69,36%	69,60%
			-10°C	69,05%	69,04%	0,05%	69,00%	69,17%

			-20°C	68,14%	68,15%	0,06%	68,01%	68,21%
	3min	woda	0°C	69,90%	69,91%	0,03%	69,84%	69,94%
			-10°C	68,74%	68,75%	0,04%	68,68%	68,79%
			-20°C	67,70%	67,70%	0,03%	67,66%	67,75%
		olej jojoba	0°C	73,44%	73,46%	0,08%	73,25%	73,53%
			-10°C	70,47%	70,47%	0,04%	70,39%	70,54%
			-20°C	69,41%	69,40%	0,07%	69,31%	69,55%
		olej kokosowy	0°C	71,29%	71,28%	0,04%	71,25%	71,37%
			-10°C	66,48%	66,49%	0,04%	66,40%	66,53%
			-20°C	65,83%	65,82%	0,06%	65,77%	65,93%
		pusty	0°C	66,22%	66,21%	0,05%	66,16%	66,32%
			-10°C	65,59%	65,58%	0,05%	65,52%	65,66%
			-20°C	64,66%	64,66%	0,05%	64,54%	64,72%
		woda	0°C	68,55%	68,56%	0,04%	68,49%	68,60%
			-10°C	67,27%	67,28%	0,03%	67,22%	67,31%
			-20°C	65,93%	65,95%	0,04%	65,86%	66,00%
		olej jojoba	0°C	70,63%	70,63%	0,03%	70,58%	70,69%
			-10°C	67,83%	67,82%	0,03%	67,76%	67,87%
			-20°C	67,22%	67,27%	0,13%	66,96%	67,38%
		olej kokosowy	0°C	68,96%	68,99%	0,08%	68,86%	69,07%
			-10°C	64,25%	64,24%	0,08%	64,11%	64,38%
			-20°C	63,48%	63,43%	0,12%	63,32%	63,69%
		pusty	0°C	60,53%	60,53%	0,04%	60,48%	60,61%
			-10°C	59,12%	59,13%	0,03%	59,07%	59,19%
			-20°C	57,98%	57,97%	0,05%	57,92%	58,05%
		woda	0°C	61,57%	61,44%	0,62%	60,72%	62,53%
			-10°C	59,48%	59,52%	0,18%	59,21%	59,76%
			-20°C	58,72%	58,74%	0,10%	58,59%	58,86%
		olej jojoba	0°C	61,00%	61,00%	0,20%	60,76%	61,34%
			-10°C	58,46%	58,48%	0,18%	58,12%	58,70%
			-20°C	56,68%	56,68%	0,15%	56,43%	56,90%
		olej kokosowy	0°C	56,82%	56,82%	0,12%	56,65%	57,09%
			-10°C	52,41%	52,45%	0,10%	52,23%	52,54%
			-20°C	55,08%	55,05%	0,15%	54,87%	55,26%
		pusty	0°C	59,76%	59,81%	0,16%	59,53%	59,98%
			-10°C	56,56%	56,54%	0,18%	56,31%	56,90%
			-20°C	56,60%	56,62%	0,16%	56,39%	56,84%
		woda	0°C	55,22%	55,18%	0,12%	55,07%	55,43%
			-10°C	54,65%	54,38%	0,76%	54,05%	56,43%
			-20°C	56,22%	56,22%	0,04%	56,15%	56,29%
		olej jojoba	0°C	57,22%	57,23%	0,04%	57,16%	57,27%
			-10°C	54,69%	54,68%	0,06%	54,60%	54,78%
		olej kokosowy	-20°C	52,68%	52,69%	0,08%	52,58%	52,81%
	0°C		54,19%	54,20%	0,06%	54,08%	54,27%	
			-10°C	49,91%	49,92%	0,06%	49,81%	49,97%

		-20°C	51,94%	51,91%	0,11%	51,78%	52,10%
	pusty	0°C	56,56%	56,58%	0,08%	56,43%	56,67%
		-10°C	53,13%	53,11%	0,08%	53,04%	53,29%
		-20°C	52,98%	52,97%	0,05%	52,89%	53,07%
	woda	0°C	56,35%	56,34%	0,05%	56,27%	56,45%
		-10°C	55,59%	55,61%	0,06%	55,48%	55,66%
		-20°C	54,63%	54,63%	0,07%	54,49%	54,74%
	olej jojoba	0°C	55,05%	55,05%	0,05%	54,95%	55,12%
		-10°C	52,79%	52,79%	0,03%	52,74%	52,84%
		-20°C	50,41%	50,41%	0,03%	50,36%	50,46%
	olej kokosowy	0°C	52,22%	52,24%	0,05%	52,14%	52,27%
		-10°C	48,19%	48,18%	0,04%	48,15%	48,26%
		-20°C	49,39%	49,39%	0,04%	49,34%	49,44%
	pusty	0°C	53,20%	53,18%	0,05%	53,13%	53,28%
		-10°C	49,97%	49,97%	0,04%	49,93%	50,02%
		-20°C	49,29%	49,29%	0,04%	49,22%	49,35%
	woda	0°C	54,64%	54,64%	0,10%	54,49%	54,81%
		-10°C	50,64%	50,68%	0,09%	50,51%	50,74%
		-20°C	52,48%	52,48%	0,04%	52,43%	52,55%
	olej jojoba	0°C	51,68%	51,72%	0,08%	51,55%	51,79%
		-10°C	49,62%	49,62%	0,03%	49,58%	49,68%
		-20°C	47,57%	47,56%	0,12%	47,39%	47,81%
	olej kokosowy	0°C	49,28%	49,25%	0,12%	49,12%	49,43%
		-10°C	45,40%	45,42%	0,09%	45,26%	45,52%
		-20°C	45,84%	45,84%	0,03%	45,79%	45,88%
	pusty	0°C	47,00%	47,02%	0,09%	46,86%	47,11%
		-10°C	44,07%	44,08%	0,06%	43,97%	44,18%
		-20°C	42,56%	42,57%	0,07%	42,46%	42,66%
	woda	0°C	53,09%	53,11%	0,27%	52,74%	53,48%
		-10°C	52,83%	52,81%	0,15%	52,56%	53,06%
		-20°C	48,99%	49,03%	0,13%	48,73%	49,15%
	olej jojoba	0°C	53,18%	53,17%	0,10%	53,04%	53,34%
		-10°C	50,88%	50,86%	0,14%	50,70%	51,11%
		-20°C	49,83%	49,80%	0,13%	49,67%	50,09%
	olej kokosowy	0°C	49,13%	49,18%	0,18%	48,83%	49,31%
		-10°C	50,79%	50,78%	0,12%	50,63%	51,03%
		-20°C	48,28%	48,29%	0,08%	48,15%	48,40%
	pusty	0°C	49,32%	49,37%	0,15%	49,07%	49,50%
		-10°C	45,89%	45,93%	0,14%	45,58%	46,03%
		-20°C	44,88%	44,91%	0,13%	44,69%	45,03%
	woda	0°C	50,68%	50,62%	0,29%	50,39%	51,39%
		-10°C	49,16%	49,18%	0,09%	48,98%	49,28%
		-20°C	47,33%	47,27%	0,15%	47,17%	47,65%
	olej jojoba	0°C	50,19%	50,20%	0,03%	50,16%	50,24%
		-10°C	47,71%	47,71%	0,04%	47,64%	47,78%

		-20°C	46,97%	46,97%	0,05%	46,86%	47,03%
	olej kokosowy	0°C	51,89%	51,88%	0,06%	51,83%	51,98%
		-10°C	47,77%	47,78%	0,06%	47,68%	47,84%
		-20°C	46,31%	46,30%	0,10%	46,16%	46,43%
	pusty	0°C	46,76%	46,76%	0,06%	46,65%	46,83%
		-10°C	43,41%	43,40%	0,05%	43,33%	43,51%
		-20°C	42,05%	42,04%	0,04%	42,01%	42,13%
	woda	0°C	48,82%	48,83%	0,07%	48,71%	48,91%
		-10°C	47,82%	47,84%	0,11%	47,67%	47,95%
		-20°C	45,89%	45,86%	0,08%	45,81%	46,07%
	olej jojoba	0°C	48,34%	48,34%	0,04%	48,28%	48,39%
		-10°C	45,86%	45,85%	0,05%	45,80%	45,94%
		-20°C	45,09%	45,08%	0,03%	45,06%	45,13%
	olej kokosowy	0°C	49,99%	49,98%	0,09%	49,84%	50,12%
		-10°C	45,63%	45,63%	0,07%	45,54%	45,80%
		-20°C	44,37%	44,32%	0,11%	44,28%	44,56%
	pusty	0°C	44,34%	44,34%	0,06%	44,25%	44,43%
		-10°C	40,85%	40,86%	0,05%	40,75%	40,93%
		-20°C	39,14%	39,15%	0,03%	39,10%	39,19%
	woda	0°C	48,65%	48,65%	0,06%	48,55%	48,73%
		-10°C	45,55%	45,58%	0,10%	45,38%	45,65%
		-20°C	44,68%	44,70%	0,09%	44,44%	44,80%
	olej jojoba	0°C	44,50%	44,42%	0,26%	44,22%	44,98%
		-10°C	43,13%	43,12%	0,06%	43,06%	43,25%
		-20°C	42,48%	42,47%	0,06%	42,40%	42,59%
	olej kokosowy	0°C	43,98%	43,90%	1,82%	41,93%	46,53%
		-10°C	42,55%	42,54%	0,04%	42,49%	42,63%
		-20°C	41,21%	41,22%	0,20%	40,78%	41,50%
	pusty	0°C	39,86%	39,86%	0,03%	39,81%	39,91%
		-10°C	36,39%	36,39%	0,04%	36,33%	36,44%
		-20°C	34,45%	34,44%	0,02%	34,43%	34,48%

Przeprowadzono także statystyki opisowe dla poszczególnych grup zmiennych, a wyniki przedstawiono w Tabeli 11.

Tabela 11. Podstawowe statystyki opisowe dla grup badanych zmiennych.

		Średnia	Mediana	SD	Min	Max
Wymiennik	10mm	69,07%	69,45%	3,89%	57,92%	76,43%
	25mm	53,13%	53,15%	4,34%	42,46%	62,53%
	40mm	46,27%	46,59%	4,11%	34,43%	53,48%
Cykl	1min	60,07%	57,60%	9,81%	44,69%	76,43%
	2min	57,26%	54,21%	9,77%	42,01%	74,26%
	3min	55,36%	52,50%	9,97%	39,10%	73,53%
	5min	51,94%	48,93%	10,38%	34,43%	70,69%

Substancja	woda	57,92%	55,49%	8,91%	44,44%	72,32%
	olej jojoba	57,72%	53,97%	10,85%	42,40%	76,43%
	olej kokosowy	55,45%	51,91%	10,05%	40,78%	75,24%
	pusty	53,54%	53,04%	11,08%	34,43%	73,06%
Temperatura zewnętrzna	0°C	58,07%	55,11%	10,13%	39,81%	76,43%
	-10°C	55,64%	52,80%	10,38%	36,33%	75,87%
	-20°C	54,76%	52,57%	10,44%	34,43%	73,79%

Najlepszą średnią efektywność zanotowano dla urządzenia z wymiennikiem ciepła, który ma cylindry o średnicy 10 mm – jego wyniki były wyższe odpowiednio o 15,94 % i 22,8 % w porównaniu do dwóch pozostałych wymienników. Na takie rezultaty prawdopodobnie wpłynęła większa powierzchnia wymiany ciepła, pomimo faktu, że ilość zastosowanego materiału zmiennofazowego była mniejsza.

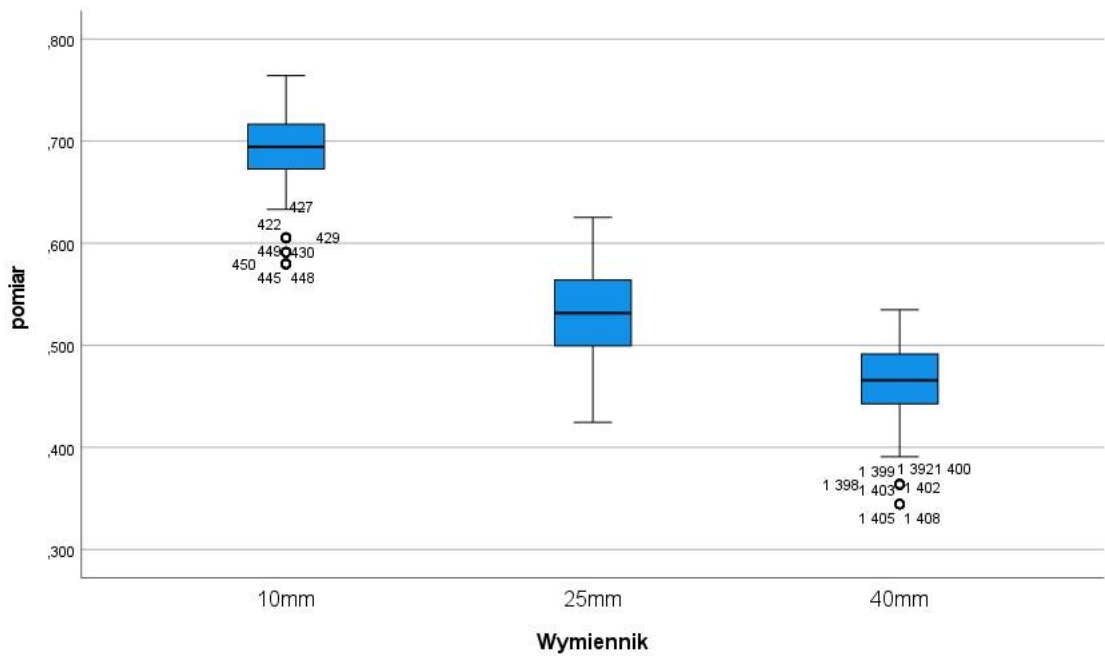
Wymiennik ciepła z cylindrami o największej średnicy – 40 mm, osiągnął najniższą średnią efektywność. Pomimo, że zawierał więcej materiału zmiennofazowego (o 80 % i 22 % więcej w stosunku do dwóch innych wymienników), nie przekładało się to na większą efektywność. Najważniejszym czynnikiem wydaje się być tutaj fakt, że wymiennik ten miał mniejszą powierzchnię wymiany ciepła o 68 % i 55 % w porównaniu do dwóch pozostałych wymienników.

Zauważalne jest, że efektywność generalnie maleje wraz z wydłużaniem czasu cyklu. Największą średnią efektywność uzyskano dla cyklu jednodominutowego (60,07 %), a najmniejszą dla cyklu pięciominutowego (51,94 %). Dodatkowo, wraz z wydłużaniem czasu trwania cykli odchylenie standardowe (SD) rośnie, sugerując, że inne czynniki mogą wpływać na wyniki przy dłuższych cyklach.

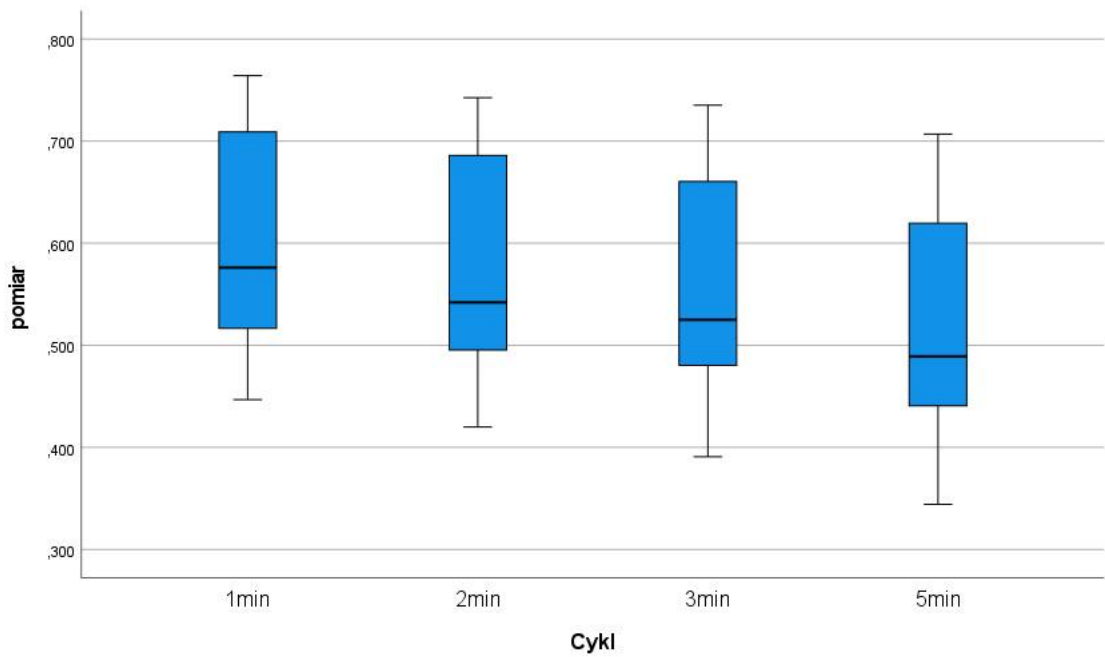
Substancje użyte jako medium w wymienniku ciepła prezentują niewielkie różnice w odniesieniu do średniej efektywności. Woda (57,92 %) oraz olej jojoba (57,72 %) wykazały bardzo zbliżone rezultaty, choć nieco lepsze od oleju kokosowego (55,45 %), różnica wynosi odpowiednio 2,47 % i 2,27 %. Wymienniki wypełnione substancjami są generalnie skuteczniejsze w przekazywaniu ciepła o wartości od 1,91 % do 4,38 % w porównaniu do niewypełnionych wymienników.

Zmniejszenie temperatury zewnętrznej skutkuje obniżeniem efektywności zarówno urządzenia, jak i wymiennika ciepła dla wszystkich badanych konfiguracji.

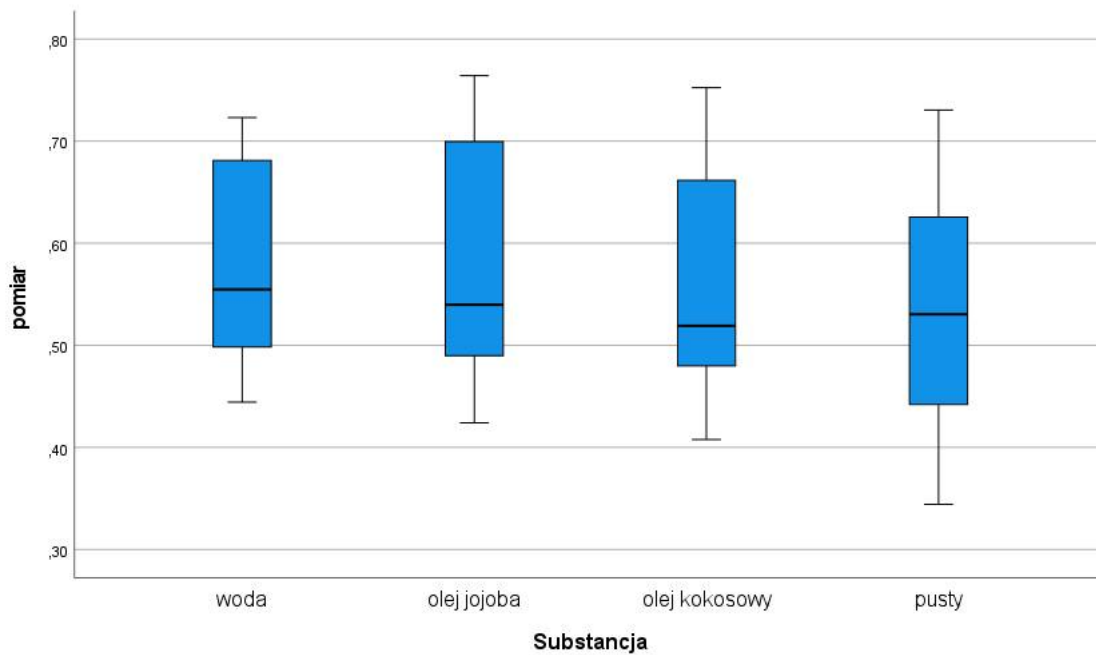
Na podstawie wyników dla poszczególnych grup sporządzono Wykres 6 – Wykres 9 obrazujące statystykę.



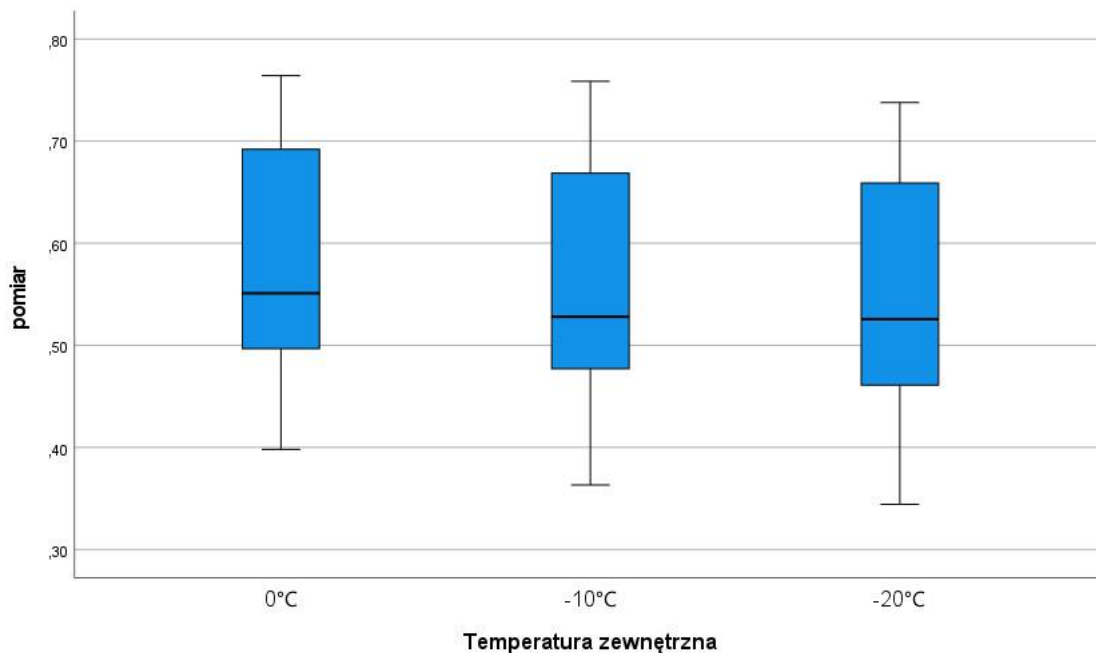
Wykres 6. Statystyki opisowe dla grupy wymienników.



Wykres 7. Statystyki opisowe dla grupy długości cyklu.



Wykres 8. Statystyki opisowe dla grupy rodzaju substancji.



Wykres 9. Statystyki opisowe dla grupy temperatur zewnętrznych.

W kolejnym etapie przeprowadzono wieloczynnikową analizę wariancji (MANOVA), dzięki której zweryfikowano prawdziwość układu hipotez zerowych, które weryfikują wpływ każdego czynnika na sprawność urządzenia oraz ich wszystkie możliwe interakcje między sobą.⁶¹ Przez interakcję należy rozumieć łączne oddziaływanie dwóch lub większej liczby składników, czyli to w jakim stopniu wpływ

jednego czynnika zależy od poziomu czynników pozostałych. Każda z 15 ocenianych hipotez miała jedną z postaci:

- Dany czynnik nie wpływa na sprawność urządzenia (4 hipotezy)
- Dana para czynników nie ma wpływu na sprawność urządzenia (6 hipotez)
- Dana trójka czynników nie ma wpływu na sprawność urządzenia (4 hipotezy)
- Układ temperatury zewnętrznej, średnicy wymiennika, substancji oraz długości cyklu nie ma wpływu na sprawność urządzenia (1 hipoteza).

Matematycznie należy rozumieć hipotezy zerowe jako stwierdzenia, że średnie w każdej z badanych grup są sobie równe, a więc:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad (3)$$

Hipoteza alternatywna przyjmuje wtedy postać:

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ dla przynajmniej jednej pary } i \neq j$$

Dla każdego z czynników (1, 2, 3, 4) oraz dla każdej interakcji (1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4, 1-2-3, 1-2-4, 1-3-4, 2-3-4, 1-2-3-4) wyliczono odpowiadający mu zestaw wielkości:

- liczba stopni swobody (df_i),
- suma kwadratów odchyłeń (SS_i),
- średni kwadrat odchyłeń (MS_i).

Następnie wykorzystując te parametry, wyznaczono statystykę testową (F_i). Statystyka ta, przy założeniu prawdziwości hipotezy zerowej, posiada rozkład F Snedecora o liczbie stopni swobody df .

Wielkości te obliczono na podstawie wzorów 4 – 18.

- Liczby stopni swobody:

$$df_i = n_i - 1, \quad (4)$$

$$df_{ij} = (n_i - 1)(n_j - 1), \quad (5)$$

$$df_{ijk} = (n_i - 1)(n_j - 1)(n_k - 1), \quad (6)$$

$$df_{ijkl} = (n_i - 1)(n_j - 1)(n_k - 1)(n_l - 1), \quad (7)$$

$$df_e = n_i \cdot n_j \cdot n_k \cdot n_l - N \quad (8)$$

- Sumy kwadratów odchyłeń:

$$SS_i = n_j n_k n_l \sum_{i=1}^{n_i} M_i (\bar{y}_{i\dots} - \bar{y})^2 \quad (9)$$

$$SS_{ij} = n_k n_l \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} M_{ij} (\bar{y}_{ij\dots} - \bar{y}_{i\dots} - \bar{y}_{\dots j} + \bar{y})^2 \quad (10)$$

$$SS_e = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_k} \sum_{l=1}^{n_l} \sum_{s=1}^n (y_{ijkl s} - \overline{y_{ijkl}}) \quad (11)$$

- średnie kwadraty odchyłeń:

$$MS_i = \frac{SS_i}{df_i} \quad (12)$$

$$MS_{ij} = \frac{SS_{ij}}{df_{ij}} \quad (13)$$

$$MS_e = \frac{SS_e}{N - n_i \cdot n_j \cdot n_k \cdot n_l} \quad (14)$$

- statystyki testowe

$$F_i = \frac{MS_i}{MS_e} \quad (15)$$

$$F_{ij} = \frac{MS_{ij}}{MS_e} \quad (16)$$

$$F_{ijk} = \frac{MS_{ijk}}{MS_e} \quad (17)$$

$$F_{ijkl} = \frac{MS_{ijkl}}{MS_e} \quad (18)$$

gdzie:

$i, j, k, l \in \{1, 2, 3, 4\}$ – są różnymi liczbami,

n_i – liczba konfiguracji dla danego czynnika,

M_i – liczba obserwacji w poszczególnych podgrupach,

N – liczba obserwacji,

$\overline{y_{i\dots}}$ - średnia dla danego poziomu czynnika dla badanej grupy,

\bar{y} – średnia ogólna dla wszystkich obserwacji

Aby zastosować powyższe wnioskowanie statystyczne liczebności porównywanych grup powinny być zbliżone, w przypadku obliczeń prezentowanych w niniejszej pracy są sobie równe. Ze względu na dużą liczbę danych oraz odporność statystyki testowej na odchylenia od wymienionych założeń, analiza została zastosowana do zebranych danych. Wartości istotności p wyznaczono na podstawie statystyki testowej przez oprogramowanie statystyczne. Wartość tą porównano z przyjętym poziomem istotności 0,05. W związku z tym, iż wszystkie wartości p są mniejsze od 0,001, każdy z badanych czynników ma istotny wpływ na pomiary, a dodatkowo istotne są również interakcje zachodzące pomiędzy kolejnymi pomiarami.

Analiza MANOVA została przeprowadzona w programie IBM SPSS Statistics nr 28 a wyniki zostały przedstawione w Tabeli 12.

Tabela 12. Wyniki wieloczynnikowej wariancji MANOVA.

	df	sumy kwadratów	średni kwadrat	F	Istotność p
Wymiennik	2	12,838	6,419	1555617,718	<0,001
Cykl	3	1,242	0,414	100331,333	<0,001
Substancja	3	0,464	0,155	37462,320	<0,001
Temperatura zewnętrzna	2	0,278	0,139	33702,265	<0,001
Wymiennik - Cykl	6	0,014	0,002	564,649	<0,001
Wymiennik - Substancja	6	0,160	0,027	6466,420	<0,001
Wymiennik - Temperatura zewnętrzna	4	0,009	0,002	519,700	<0,001
Cykl - Substancja	9	0,133	0,015	3593,943	<0,001
Cykl - Temperatura zewnętrzna	6	0,004	0,001	153,993	<0,001
Substancja - Temperatura zewnętrzna	6	0,018	0,003	715,662	<0,001
Wymiennik - Cykl - Substancja	18	0,023	0,001	306,375	<0,001
Wymiennik - Cykl - Temperatura zewnętrzna	12	0,005	0,000	103,384	<0,001
Wymiennik - Substancja - Temperatura zewnętrzna	12	0,035	0,003	710,208	<0,001
Cykl - Substancja - Temperatura zewnętrzna	18	0,010	0,001	137,711	<0,001
Wymiennik - Cykl - Substancja - Temperatura zewnętrzna	36	0,013	0,000	88,682	<0,001

Zgodnie z przeprowadzoną analizą statystyczną, rodzaj wymiennika okazuje się być najbardziej wpływowym czynnikiem, co sugeruje ogromną rolę, jaką odgrywa ten komponent w całkowitej sprawności urządzenia. Przy wartości F wynoszącej ponad 1,5 miliona i wartości p poniżej 0,001, jest istotny. To sugeruje, że wybór odpowiedniego wymiennika może znacznie wpływać na wydajność i efektywność systemu.

Długość cyklu jest kolejnym istotnym czynnikiem, z wartością F równą 100331,333 i wartością p poniżej 0,001. Wydaje się, że czas cyklu, ma istotny wpływ na jego wydajność, co oznacza, że optymalizacja długości cyklu jest kluczowa dla zwiększenia sprawności urządzenia.

Z kolei rodzaj substancji, choć o mniejszym stopniu istotności ($F=37462,320$, $p<0,001$), również wpływa na wyniki. To wskazuje na to, że różne substancje mogą wpływać na sprawność urządzenia w różny sposób.

Temperatura zewnętrzna, choć najmniej wpływowa spośród badanych zmiennych, ma również istotny wpływ na sprawność ($F=33702,265$, $p<0,001$). To sugeruje, że warunki zewnętrzne, takie jak temperatura, powinny być uwzględniane przy projektowaniu i optymalizacji urządzeń.

W toku dotychczasowej analizy pozyskano informację, czy pomiędzy badanymi grupami zachodzi istotna różnica, czy też nie. Aby uzyskać informacje pomiędzy którymi grupami różnica istotnie zachodzi, a pomiędzy którymi brak istotnej różnicy, zastosowano analizę testami post-hoc, które badają różnice pomiędzy każdymi dwiema grupami. Spośród wszystkich dostępnych testów wybrano test Bonferroniego, który polega na przeprowadzeniu porównania pomiędzy każdą parą testu t , ale bierze poprawkę na ilość wykonanych porównań. Dla przykładu, jeżeli było 4 grupy, dla których badano, czy w rozkładzie danych zachodzą istotnie różnice i test analizy wariancji wykazał, że takie różnice zachodzą, to w teście post-hoc Bonferroniego porównywano każdą grupę z każdą, czyli dokonywano 6 porównań (1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4). W przypadku potwierdzenia jednej hipotezy (np. czy zachodzi istotna różnica pomiędzy wynikami w grupie 1 a w grupie 2) to poziom istotności 0,05 dzielimy na 6, co daje nam 0,0083. W przypadku trzech grup poziom istotności 0,05 dzielimy na 3, co daje nam 0,0167. W związku z tym dopiero wartości p mniejsze od odpowiednio 0,0083 lub 0,0167 wskazują na istotną różnicę w wynikach (a nie 0,05). Porównanie wielokrotne testem post-hoc Bonferroniego wykonano w programie IBM SPSS Statistics nr 28, a wyniki przedstawiono w

Tabela 13.

Tabela 13. Porównanie wielokrotne – test Bonferroniego

Zmienna zależna		Różnica średnich	Błąd standardowy	Istotność p		
Wymiennik	10mm	25mm	15,94%	0,0131%	<0,001	
		40mm	22,80%	0,0131%	<0,001	
	25mm	10mm	-15,94%	0,0131%	<0,001	
		40mm	6,86%	0,0131%	<0,001	
	40mm	10mm	-22,80%	0,0131%	<0,001	
		25mm	-6,86%	0,0131%	<0,001	
Cykl	1min	2min	2,82%	0,0151%	<0,001	
		3min	4,71%	0,0151%	<0,001	
		5min	8,13%	0,0151%	<0,001	
	2min	1min	-2,82%	0,0151%	<0,001	
		3min	1,89%	0,0151%	<0,001	
		5min	5,31%	0,0151%	<0,001	
	3min	1min	-4,71%	0,0151%	<0,001	
		2min	-1,89%	0,0151%	<0,001	
		5min	3,42%	0,0151%	<0,001	
	5min	1min	-8,13%	0,0151%	<0,001	
		2min	-5,31%	0,0151%	<0,001	
		3min	-3,42%	0,0151%	<0,001	
	Substancja	olej kokosowy	pusty	1,91%	0,0151%	<0,001
			olej jojoba	-2,26%	0,0151%	<0,001
			woda	-2,47%	0,0151%	<0,001
pusty		olej kokosowy	-1,91%	0,0151%	<0,001	
		olej jojoba	-4,17%	0,0151%	<0,001	
		woda	-4,38%	0,0151%	<0,001	
olej jojoba		olej kokosowy	2,26%	0,0151%	<0,001	
		pusty	4,17%	0,0151%	<0,001	
		woda	-0,20%	0,0151%	<0,001	
woda		olej kokosowy	2,47%	0,0151%	<0,001	
		pusty	4,38%	0,0151%	<0,001	
		olej jojoba	0,20%	0,0151%	<0,001	
Temperatura zewnętrzna	-10°C	-20°C	0,88%	0,0131%	<0,001	
		0°C	-2,42%	0,0130%	<0,001	
	-20°C	-10°C	-0,88%	0,0131%	<0,001	
		0°C	-3,3%	0,0132%	<0,001	
	0°C	-10°C	2,42%	0,0130%	<0,001	
		-20°C	3,3%	0,0132%	<0,001	

Test post-hoc grup wykazał, że zachodzą istotne różnice pomiędzy wszystkimi grupami. W związku z powyższym w dalszym postępowaniu przeprowadzono testy post-hoc dla poszczególnych par kombinacji, aby uzyskać informacje czy występują pary pomiędzy którymi brak istotnej różnicy. Za pomocą programu IBM SPSS Statistics nr 28 przeprowadzono analizę post-hoc parami dla wszystkich zmiennych. Poniżej przedstawiono wyniki testów post-hoc parami dla przypadku, w którym sprawność odzysku ciepła była najwyższa 10 mm - 1 min - olej jojoba - 0 °C z każdą inną kombinacją (Tabela 14).

Tabela 14. Wyniki testów post-hoc dla przypadku 10mm 1min olej jojoba 0 °C.

	Statystyki testu	Istotność p
40mm 5min pusty -20°C	1430	<0,001
40mm 5min pusty -10°C	1420	<0,001
40mm 3min pusty -20°C	1410	<0,001
40mm 5min pusty 0°C	1400	<0,001
40mm 3min pusty -10°C	1389,1	<0,001
40mm 5min olej kokosowy -20°C	1380,9	<0,001
40mm 2min pusty -20°C	1369	<0,001
40mm 5min olej jojoba -20°C	1352,3	<0,001
40mm 5min olej kokosowy -10°C	1343,6	<0,001
25mm 5min pusty -20°C	1342,4	<0,001
40mm 5min olej jojoba -10°C	1325	<0,001
40mm 2min pusty -10°C	1315	<0,001
25mm 5min pusty -10°C	1305	<0,001
40mm 3min pusty 0°C	1287,5	<0,001
40mm 3min olej kokosowy -20°C	1285,7	<0,001
40mm 5min olej kokosowy 0°C	1283,5	<0,001
40mm 5min olej jojoba 0°C	1278	<0,001
40mm 5min woda -20°C	1266,4	<0,001
40mm 1min pusty -20°C	1257,2	<0,001
40mm 3min olej jojoba -20°C	1243,7	<0,001
25mm 5min olej kokosowy -10°C	1230,6	<0,001
40mm 5min woda -10°C	1220,1	<0,001
40mm 3min olej kokosowy -10°C	1213,7	<0,001
25mm 5min olej kokosowy -20°C	1192,6	<0,001
40mm 3min olej jojoba -10°C	1189,2	<0,001
40mm 3min woda -20°C	1185,3	<0,001
40mm 1min pusty -10°C	1182,5	<0,001
40mm 2min olej kokosowy -20°C	1161,7	<0,001
40mm 2min pusty 0°C	1150	<0,001
40mm 2min olej jojoba -20°C	1136,8	<0,001
25mm 5min pusty 0°C	1133,2	<0,001
40mm 2min woda -20°C	1118,8	<0,001

25mm 5min olej jojoba -20°C	1107,7	<0,001
40mm 2min olej jojoba -10°C	1098	<0,001
40mm 2min olej kokosowy -10°C	1088,9	<0,001
40mm 3min woda -10°C	1086,6	<0,001
25mm 3min olej kokosowy -10°C	1068,1	<0,001
40mm 1min olej kokosowy -20°C	1059	<0,001
40mm 3min olej jojoba 0°C	1052,9	<0,001
40mm 5min woda 0°C	1039,4	<0,001
40mm 3min woda 0°C	1028,5	<0,001
40mm 1min woda -20°C	1016,5	<0,001
40mm 1min olej kokosowy 0°C	1002,1	<0,001
40mm 2min woda -10°C	1001,5	<0,001
25mm 3min pusty -20°C	984	<0,001
25mm 5min olej kokosowy 0°C	984	<0,001
40mm 1min pusty 0°C	977,7	<0,001
25mm 3min olej kokosowy -20°C	966,3	<0,001
25mm 5min olej jojoba -10°C	949,9	<0,001
40mm 1min olej jojoba -20°C	934,1	<0,001
25mm 2min olej kokosowy -10°C	929,4	<0,001
25mm 3min pusty -10°C	918,5	<0,001
40mm 3min olej kokosowy 0°C	918,1	<0,001
40mm 2min olej jojoba 0°C	900	<0,001
25mm 3min olej jojoba -20°C	888,4	<0,001
40mm 2min woda 0°C	872,6	<0,001
25mm 5min woda -10°C	872,5	<0,001
40mm 1min olej kokosowy -10°C	860,8	<0,001
40mm 1min olej jojoba -10°C	855,7	<0,001
25mm 5min olej jojoba 0°C	839,9	<0,001
40mm 2min olej kokosowy 0°C	825,9	<0,001
25mm 2min olej kokosowy -20°C	824,2	<0,001
25mm 3min olej kokosowy 0°C	809,4	<0,001
25mm 1min olej kokosowy -10°C	798,2	<0,001
25mm 5min woda -20°C	792,4	<0,001
25mm 2min olej jojoba -20°C	776,5	<0,001
25mm 3min olej jojoba -10°C	765,5	<0,001
40mm 1min woda -10°C	761,4	<0,001
25mm 2min pusty -20°C	747,5	<0,001
40mm 1min woda 0°C	735,3	<0,001
25mm 2min pusty -10°C	729,9	<0,001
40mm 1min olej jojoba 0°C	723,7	<0,001
25mm 3min pusty 0°C	720,2	<0,001
25mm 2min olej kokosowy 0°C	696,9	<0,001
25mm 3min woda -20°C	675,5	<0,001
25mm 5min woda 0°C	674,3	<0,001
25mm 2min woda -10°C	674,1	<0,001
25mm 2min olej jojoba -10°C	669,5	<0,001

25mm 3min olej jojoba 0°C	647,2	0,001
25mm 1min olej kokosowy -20°C	644,3	0,001
25mm 2min woda 0°C	634,9	0,001
25mm 3min woda -10°C	621	0,001
25mm 2min woda -20°C	610,9	0,001
25mm 3min woda 0°C	599,3	0,001
25mm 1min pusty -10°C	578,6	0,002
25mm 2min pusty 0°C	577,2	0,002
25mm 1min pusty -20°C	574,8	0,002
25mm 1min olej jojoba -20°C	566,5	0,002
25mm 1min olej kokosowy 0°C	555	0,003
25mm 2min olej jojoba 0°C	540	0,004
10mm 5min pusty -20°C	530	0,004
25mm 1min olej jojoba -10°C	519,2	0,005
25mm 1min woda -20°C	510,8	0,006
10mm 5min pusty -10°C	500	0,007
25mm 1min woda -10°C	488,8	0,009
25mm 1min pusty 0°C	481,2	0,010
10mm 5min pusty 0°C	470	0,011
25mm 1min olej jojoba 0°C	458	0,014
25mm 1min woda 0°C	452	0,015
10mm 5min olej kokosowy -10°C	435	0,007
10mm 3min pusty -20°C	420	0,024
10mm 3min pusty -10°C	410	0,027
10mm 3min olej kokosowy -20°C	399,2	0,032
10mm 5min woda -20°C	390,8	0,036
10mm 3min pusty 0°C	380	0,041
10mm 3min olej kokosowy -10°C	370	0,047
10mm 5min woda -10°C	354	0,057
10mm 5min olej jojoba -20°C	353,8	0,057
10mm 2min olej kokosowy -20°C	342,2	0,066
10mm 3min woda -20°C	330	0,076
10mm 5min olej jojoba -10°C	320	0,085
10mm 2min olej kokosowy -10°C	308,4	0,097
10mm 2min pusty -20°C	301,6	0,105
10mm 5min woda 0°C	290	0,119
10mm 3min woda -10°C	280	0,132
10mm 5min olej kokosowy 0°C	268	0,150
10mm 2min pusty -10°C	262	0,159
10mm 2min woda -20°C	249,2	0,180
10mm 3min olej jojoba -20°C	238,4	0,200
10mm 2min pusty 0°C	231,1	0,214
10mm 2min woda -10°C	218,4	0,240
10mm 1min olej kokosowy -20°C	-212,7	0,253
10mm 3min woda 0°C	200,2	0,282
10mm 1min woda -20°C	190	0,307

10mm 3min olej jojoba -10°C	177,7	0,339
10mm 1min olej kokosowy -10°C	-169,1	0,363
10mm 5min olej jojoba 0°C	163	0,381
10mm 2min woda 0°C	150,2	0,419
10mm 2min olej jojoba -20°C	139,8	0,452
10mm 1min woda -10°C	125,4	0,500
10mm 3min olej kokosowy 0°C	124,8	0,502
10mm 2min olej jojoba -10°C	108,4	0,560
10mm 1min pusty -20°C	-96,2	0,605
10mm 1min woda 0°C	95,4	0,608
10mm 2min olej kokosowy 0°C	76,1	0,682
10mm 1min pusty 0°C	-72,4	0,697
10mm 1min pusty -10°C	-61,5	0,741
10mm 3min olej jojoba 0°C	47,7	0,798
10mm 1min olej jojoba -20°C	-42,3	0,820
10mm 2min olej jojoba 0°C	30	0,872
10mm 1min olej kokosowy 0°C	-20	0,914
10mm 1min olej jojoba -10°C	-10	0,957

Analiza post-hoc parami wykazała, że występują pary spełniające hipotezę zerową. Jeżeli istotność p przyjmuje wartości mniejsze niż 0,05, wtedy różnica pomiędzy średnimi jest istotna. W przypadku, gdy istotność $\geq 0,05$, tam brak istotnej różnicy pomiędzy wynikami.

5.1 Wnioski

Najwyższe średnie wyniki efektywności wykazał wymiennik z cylindrami o średnicy 10 mm, który był efektywniejszy od dwóch innych testowanych wymienników odpowiednio o 15,94 % i 22,8 %. Wysoką efektywność tego wymiennika można przypisać większej powierzchni wymiany ciepła, mimo mniejszej ilości użytego materiału zmiennofazowego.

Zauważono spadek sprawności w miarę wydłużania czasu trwania cyklu. Najlepsze rezultaty średniej sprawności wynoszą 60,07 % w cyklu jednominutowym, a najgorsze 51,94 %, w cyklu pięciominutowym. Odnotowano również wzrost odchylenia standardowego w miarę wydłużania się cyklu, co może sugerować wpływ dodatkowych czynników na wyniki w dłuższych okresach czasu.

Różnice w średnich sprawnościach poszczególnych substancji nie są znaczne, ale dostrzegalne. Woda i olej jojoba mają zbliżone wyniki średniej sprawności, odpowiednio 57,92 % i 57,72 %, które są nieco lepsze od wyniku dla oleju kokosowego, wynoszącego 55,45 %. To daje różnicę odpowiednio o 2,47 % i 2,27 %. Ogólnie rzecz biorąc,

wymienniki wypełnione substancjami są bardziej efektywne w przekazywaniu ciepła niż puste, z różnicą w efektywności wynoszącą od 1,91 % do 4,38 %.

Analiza wieloczynnikowej wariancji MANOVA wykazała wpływ każdego czynnika na sprawność urządzenia oraz ich wszystkie możliwe interakcje między sobą. Analiza testami post-hoc z poprawką Bonferroni, której celem było stwierdzenie czy pomiędzy dwiema badanymi grupami zachodzi istotna różnica także wykazała istotny wpływ na sprawność każdej z grup w każdej konfiguracji.

Analiza MANOVA ujawniła również, że największy wpływ na efektywność urządzenia ma rodzaj wymiennika, a także czas trwania cyklu. Znaczenie innych czynników, takich jak typ substancji, czy temperatura otoczenia, jest relatywnie mniejsze.

6. ANALIZA NUMERYCZNA

Rozdział przedstawia opracowanie metodyki wykorzystania symulacji do badania układów zdecentralizowanej wentylacji fasadowej z wymiennikami PCM i jej walidację przy pomocy danych eksperymentalnych.

6.1 Opis metodologii symulacji numerycznej

Na podstawie eksperymentu wykonanego w warunkach rzeczywistych opracowano dwa modele symulacji 3D stanu nieustalonego z wykorzystaniem programu Ansys Fluent v. 22 przeznaczonego do symulacji wykorzystującej technikę numerycznej mechaniki płynów CFD (Computational Fluid Dynamics). Badano przepływ powietrza z uwzględnieniem wymiany ciepła. Jako podstawę wykonanej symulacji numerycznej stanowiły prawa: zachowania masy, pędu i energii. Wyniki wydajności wymiennika wykonanych na potrzeby badań w warunkach rzeczywistych, posłużyły w celu walidacji analizowanych modeli symulacyjnych. Symulacje przeprowadzono dla wymiennika ciepła 1, który uzyskiwał dotychczas najlepsze wyniki wydajności. Zdecydowano się na substancję – olej jojoba, która w większości przypadków uzyskiwała najwyższą sprawność.

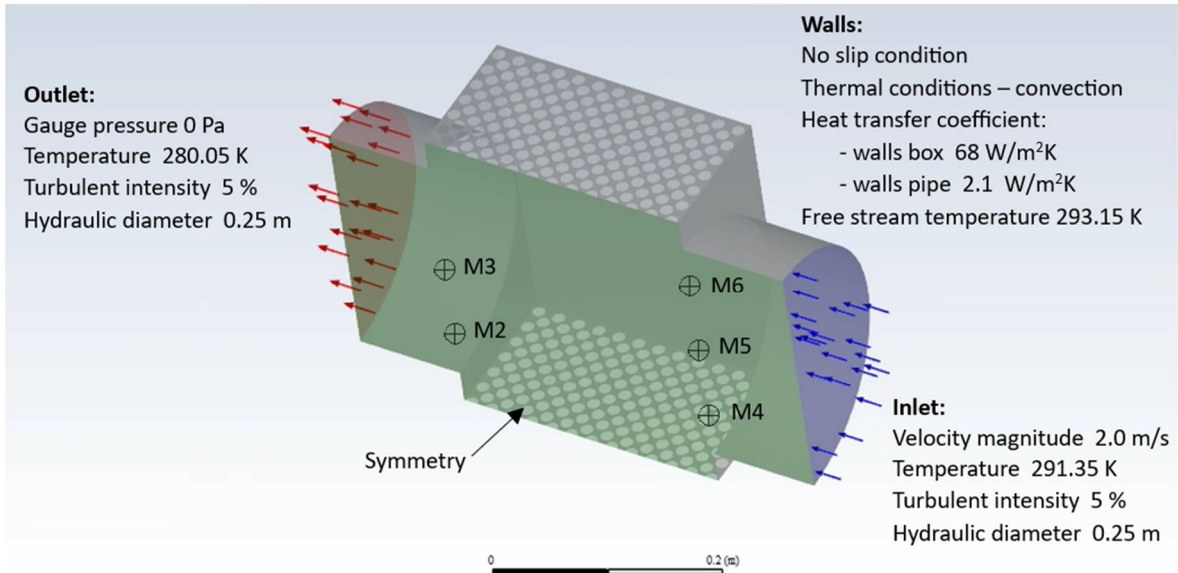
Do symulacji zastosowano model turbulencji k-omega SST (Shear-Stress Transport), który umożliwił uwzględnienie wpływu turbulencji na przepływ powietrza. Model ten jest jednym z najczęściej stosowanych modeli turbulencji w programie Ansys Fluent, ze względu na swoją skuteczność w modelowaniu, zarówno warstwy przyściennej jak i strefy oddziaływania pomiędzy warstwą brzegową a strumieniem swobodnym. Model k-omega SST jest hybrydowym modelem stanowiącym połączenie zalet modelu k-epsilon i modelu k-omega oraz płynne przejście między nimi. Zawiera zmodyfikowaną definicję lepkości turbulentnej uwzględniającą ograniczenie wartości naprężeń ścinających, w miejscach, gdzie występowała niepożądana zmiana ciśnienia. Dzięki temu modelowi możliwe jest dokładniejsze modelowanie przepływu powietrza w takich urządzeniach jak wymienniki ciepła^{56,62}

Ze względu na zastosowanie analizy nieustalonej wykorzystano schemat obliczeniowy PISO (Pressure-Implicit with Splitting of Operators) który jest schematem łączenia ciśnienia i prędkości, należącym do rodziny algorytmów SIMPLE. Opiera się na wyższym stopniu przybliżonej relacji między poprawkami na ciśnienie i prędkość. Algorytm PISO wykonuje dwie dodatkowe poprawki: korektę sąsiedztwa i korektę

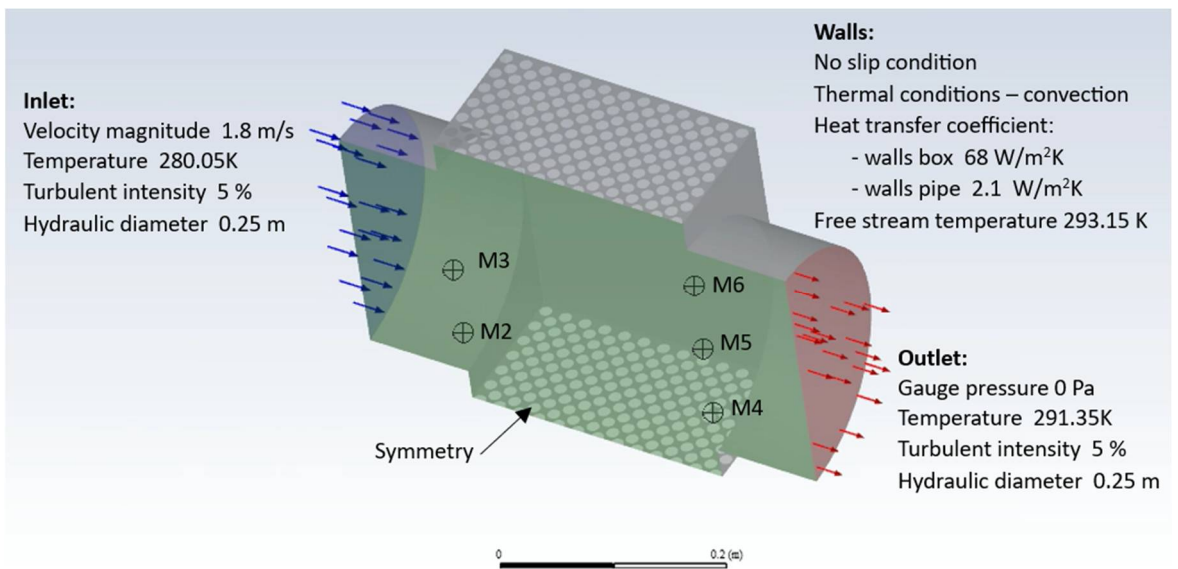
skośności⁶³. PISO przenosi powtarzane obliczenia wymagane przez SIMPLE i SIMPLEC do etapu rozwiązania równania korekty ciśnienia. Po jednej lub kilku dodatkowych pętlach PISO, skorygowane prędkości dokładniej spełniają równania ciągłości i pędu. Ten iteracyjny proces nazywany jest korektą pędu lub „korektą sąsiada”⁶⁴. Po początkowym rozwiązaniu równania korekty ciśnienia, gradient korekty ciśnienia jest ponownie obliczany i wykorzystywany do aktualizacji korekty strumienia masy. Proces ten, określany jako „korekta skośności”, znacznie zmniejsza trudności ze zbieżnością związane z mocno zniekształconymi siatkami. Korekta skośności PISO pozwala Ansys Fluent uzyskać rozwiązanie na mocno skośnej siatce w podobnej liczbie iteracji, jaka jest wymagana dla bardziej ortogonalnej siatki. PISO może utrzymać stabilne obliczenia z większym krokiem czasowym. Ustalono krok czasowy długości 1 s, a maksymalną ilość iteracji na krok czasowy 30. Zbieżność iteracyjna rozwiązania oceniana była poprzez obserwację residuów rozwiązywanych równań oraz wartości temperatur w punktach odpowiadających rozmieszczeniom termopar. Suma bezwzględnych znormalizowanych reszt dla wszystkich komórek w rozpatrywanej dziedzinie mniejsza niż 10^{-7} dla energii i 10^{-4} dla innych zmiennych, oznacza, że rozwiązanie uzyskało zbieżność.

Na ścianach obudowy wymiennika ustalono warunek brzegowy konwekcji, z uwzględnieniem współczynnika przejmowania ciepła ($68 \text{ W/m}^2\text{K}$). Na powierzchniach pomiędzy domenami powietrza i materiału zmiennofazowego ustalono warunek brzegowy, uwzględniający grubość cylindra stanowiącego 1 mm warstwy aluminium. W związku z symulowaniem połowy wymiennika w płaszczyźnie przekroju zastosowano warunek brzegowy symetrii. Zgodnie z założeniami pracy urządzenia do wentylacji fasadowej przedstawionymi w punkcie 5 warunek wlotu i wylotu jest określany w zależności od cyklu nawiewu lub wywiewu. Do sterowania wykorzystano execute commands, które miały za zadanie zmieniać płaszczyznę wlotu i wylotu w zależności od cyklu oraz zmianę warunków brzegowych nawiewu i wywiewu. Podczas cyklu nawiewu wlotem była płaszczyzna znajdująca się po stronie zewnętrznej, natomiast wylotem była płaszczyzna po stronie wewnętrznej. Podczas cyklu wywiewu płaszczyzny były zamieniane, czyli płaszczyzna po stronie zewnętrznej stawała się wylotem a płaszczyzna po stronie wewnętrznej wlotem. Zastosowano typ warunku brzegowego velocity-inlet / pressure-outlet. Temperatury i prędkości przepływu na granicach zostały wyodrębnione z danych pomiarowych przedstawionych powyżej. Prędkości powietrza zamodelowano jako średnie wartości z czasu cyklu, które wynosiły 1,8 m/s podczas

nawiewu oraz 2,0 m/s podczas wywiewu. Zgodnie z danymi pomiarowymi ustalono temperatury nawiewu i wywiewu na płaszczyznach w bezpośredniej bliskości wymiennika i wyniosły one 280,05 K dla cyklu nawiewu i 291,35 K dla cyklu wywiewu. Zastosowano intensywność turbulencji 5 % i skalę długości turbulencji 0,25 m.



Rys. 48. Schemat domeny obliczeniowej w cyklu wywiewu oraz dane wejściowe podane zgodnie z nazewnictwem programu Ansys Fluent v. 22.



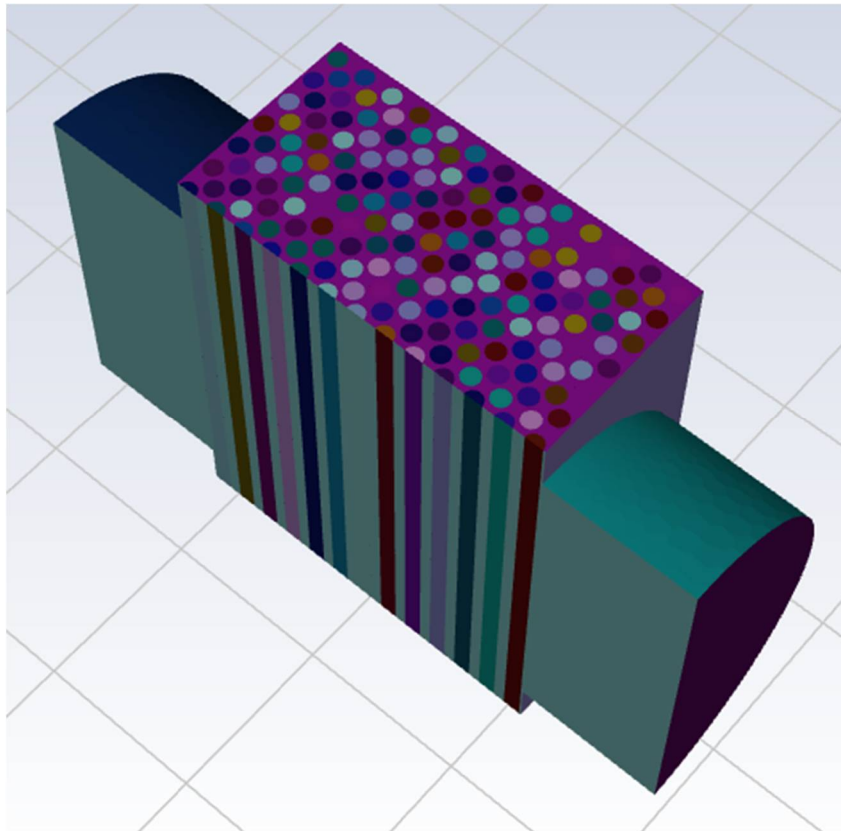
Rys. 49. Schemat domeny obliczeniowej w cyklu nawiewu oraz dane wejściowe podane zgodnie z nazewnictwem programu Ansys Fluent v. 22.

Przeprowadzone badania zostały zamodelowane numerycznie poprzez dwie metody symulowania akumulacji ciepła przez materiał zmiennofazowy użyty w wymienniku. Metoda A polegała na zamodelowaniu materiału wypełniającego

wymiennik odpowiednio modelując jego parametry fizyczne, z uwzględnieniem ciepła przemiany fazowej, bezpośrednio w programie Ansys Fluent. Metoda B polegała na stworzeniu zewnętrznego skryptu UDF (User Defined Functions), który miał na celu zdefiniować zmieniającą się temperaturę na ściankach cylindrów w wymienniku, z uwzględnieniem akumulacji ciepła przez materiał zmiennofazowy.

6.2 Metoda A

Geometria analizowanego modelu odzwierciedla opisany powyżej wymiennik do odzysku ciepła, który jest częścią urządzenia do wentylacji fasadowej. Zamodelowano połowę wymiennika w celu ograniczenia wielkości modelu (Rys. 50) Geometria składa się z domeny powietrza oraz z domeny materiału zmiennofazowego znajdującego się w cylindrach wymiennika. Ścianki cylindrów i obudowy zostały zamodelowane jako wirtualne ścianki o przypisanej grubości 0.001 m i parametrach cieplnych aluminium.



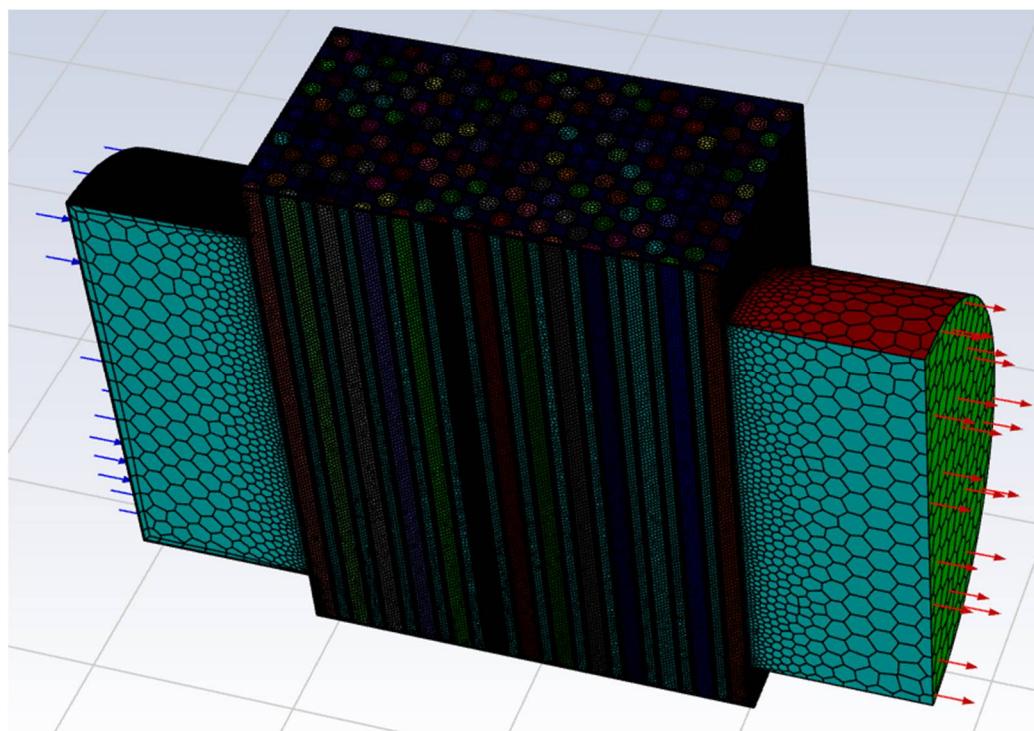
Rys. 50. Model wymiennika ciepła – metoda A.

Geometria wymiennika ciepła została zasiatkowana w programie Fluent Meshing za pomocą metody polyhexcore, która generuje siatkę sześciocienną wewnątrz modelu, a przy ściankach siatkę polihedralną z warstwą przyścienną. Zbieżność siatki przeprowadzono na podstawie porównania trzech siatek (Tabela 15) o różnej gęstości.

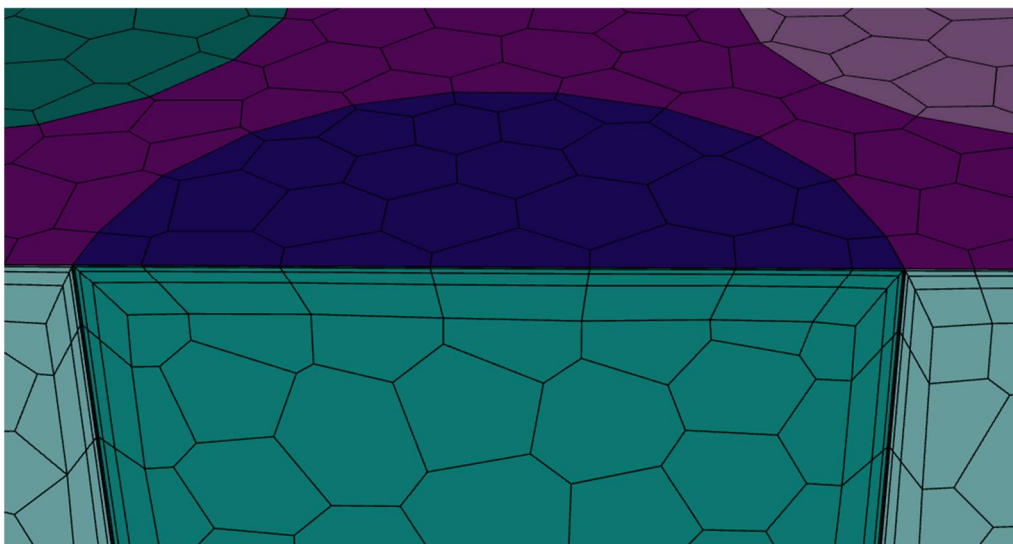
Wybrano siatkę, która uzyskała zbieżność, a liczba elementów w siatce wyniosła 8 842 337 (Rys. 51). Rozmiar elementów w siatce jest zróżnicowany w zależności od lokalnej geometrii, gdzie najmniejsze elementy mają rozmiar 1 mm, a największe 15 mm. W obszarach, gdzie wymagane jest szczegółowe odwzorowanie struktury geometrycznej, rozmiar elementów jest mniejszy, a w obszarach, gdzie geometria jest bardziej regularna, rozmiar elementów jest większy. Przy powierzchniach pomiędzy którymi zachodzi wymiana ciepła zastosowano zagęszczenie siatki w postaci warstwy przyściennej metodą last-ratio, gdzie ilość warstw wynosiła 4, a transmittion-ratio był na poziomie 0,3 (Rys. 52). Wysokość pierwszej warstwy przyściennej wynosiła 0,03 mm, została ona określona metodą kolejnych przybliżeń, tak aby otrzymać parametr y^+ na poziomie około 1-2.

Tabela 15. Dane siatek wykorzystanych do ustalenia zbieżności.

	Komórka [-]	Minimalny rozmiar [mm]	Maksymalny rozmiar [mm]	Typ metody przesunięcia	Liczba warstw [-]	Pierwsza wysokość [mm]
Siatka 1	6 080 135	2	15	last-ratio	4	0.03
Siatka 2	7 401 137	1,5	15			
Siatka 3	8 842 337	1	10			



Rys. 51. Wizualizacja siatkowania.



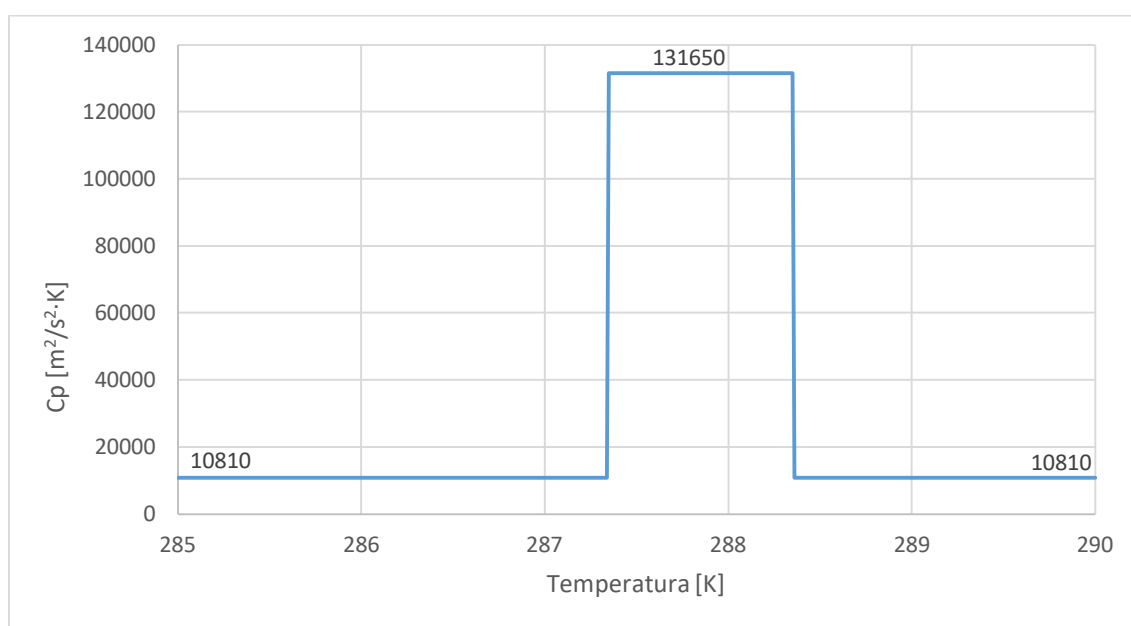
Rys. 52. Szczegół zagęszczenia siatki.

Zamodelowano parametry materiału zmiennofazowego, którym w analizowanym przypadku był olej jojoba. Na podstawie literatury ⁶⁵⁻⁶⁸ przyjęto gęstość, przewodność cieplną i lepkość (Rys. 53). Dla uproszczenia i skupienia się na głównym celu, którym jest modelowanie akumulacji ciepła utajonego, zdecydowano się na modelowanie oleju jojoba jako płynu, dla którego założono liniowy przebieg lepkości, który odzwierciedla przybliżone właściwości fizycznych oleju jojoba.

Rys. 53. Sposób zamodelowania materiału zmiennofazowego w programie Fluent.

Symulacje akumulacji ciepła utajonego zamodelowano w programie jako zwiększenie parametru ciepła właściwego w granicach temperatury topnienia o wielkość

ciepła przemiany fazy korzystając z wyników badań DSC ⁶⁷. Sposób ten nie modeluje przejścia fazowego, natomiast uzależnia ciepło właściwe od temperatury. Wartość ciepła właściwego c_p w granicach temperatury topnienia, która wynosi 287.85 K, jest zwiększona z poziomu 10810 J/kgK do poziomu 131650 J/kgK. Zwiększona wartość ciepła właściwego utrzymana podczas zmiany temperatury o 1 K, pozwala modelowi na odwzorowanie akumulacji 131650 J/kg ciepła utajonego topnienia i krzepnięcia (Wykres 10). Takie rozwiązanie spowodowało brak konieczności korzystania z metod przemiany fazy wbudowanych w program Fluent, a jednocześnie pozwoliło wykorzystać solver Fluent do obliczenia rozkładu temperatur.



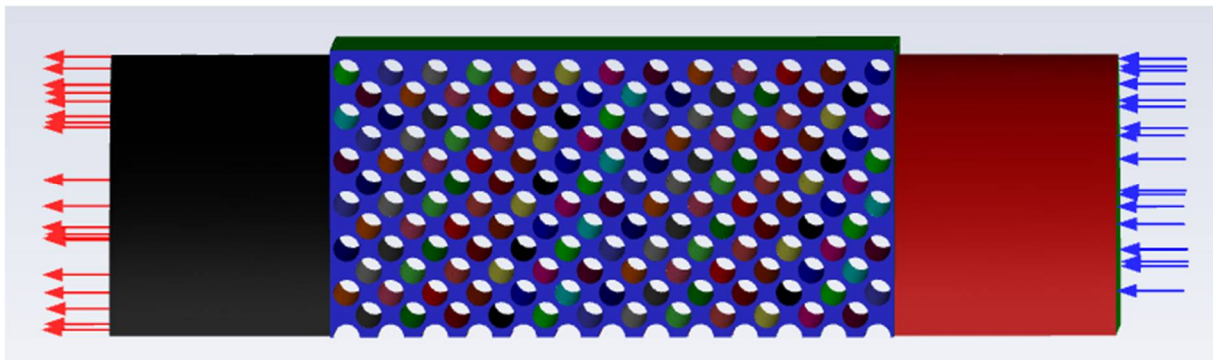
Wykres 10. Wykres ciepła właściwego materiału zmiennofazowego.

6.3 Metoda B

Polega na zastosowaniu UDF do zasymulowania akumulacji ciepła poprzez materiał zmiennofazowy wypełniający wymiennik w celu ustalenia temperatury na ściankach cylindrów wymiennika podczas procesów wymiany ciepła. UDF to narzędzie, które pozwala użytkownikom na tworzenie własnych funkcji potrzebnych do dostosowania procesów obliczeniowych w programie Ansys Fluent do ich indywidualnych potrzeb. UDF w programie Ansys Fluent umożliwia dostosowanie warunków brzegowych, definiowanie własności materiałów, szybkość reakcji powierzchniowych i objętościowych, warunki źródłowe, funkcji dyfuzyjności i tak dalej. Tworzenie funkcji UDF wymaga doświadczenia w programowaniu, ponieważ konieczne

jest pisanie kodu w języku C lub C++. Użytkownicy mogą również korzystać z gotowych funkcji UDF dostępnych w sieci lub zasobach programu Ansys Fluent. UDF jest szczególnie pożądany w przypadku bardziej złożonych symulacji numerycznych, takich jak symulacje wielofazowe, symulacje z reakcjami chemicznymi, symulacje turbulencji czy symulacje wymiany ciepła.

Geometria zastosowana w modelu B różni się od tej zastosowanej w modelu A pominięciem domeny materiału zmiennofazowego. W tym przypadku zasymulowana jest tylko domena powietrza, w której kluczowe są powierzchnie na których za pomocą, specjalnie stworzonego na potrzeby tego opracowania, UDF symulowana była temperatura ścianek cylindrów w danym momencie cyklu nawiewu/wywiewu. Podobnie jak w metodzie A ścianki cylindrów i obudowy nie były modelowane w geometrii, natomiast ich parametry zostały uwzględnione jako warunki brzegowe (Rys. 54).

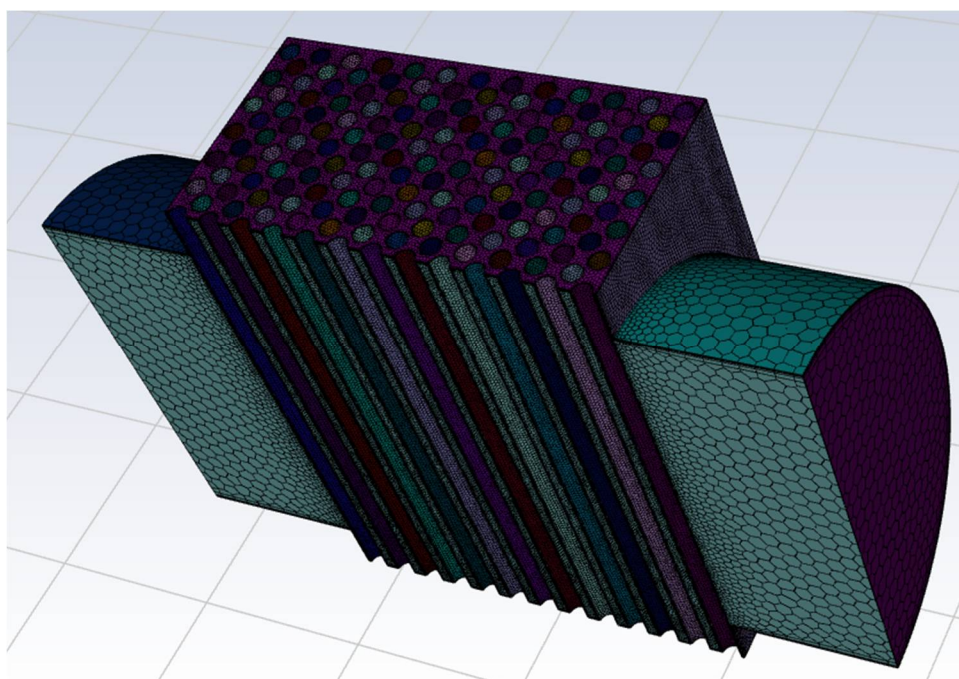


Rys. 54. Model wymiennika ciepła – metoda B.

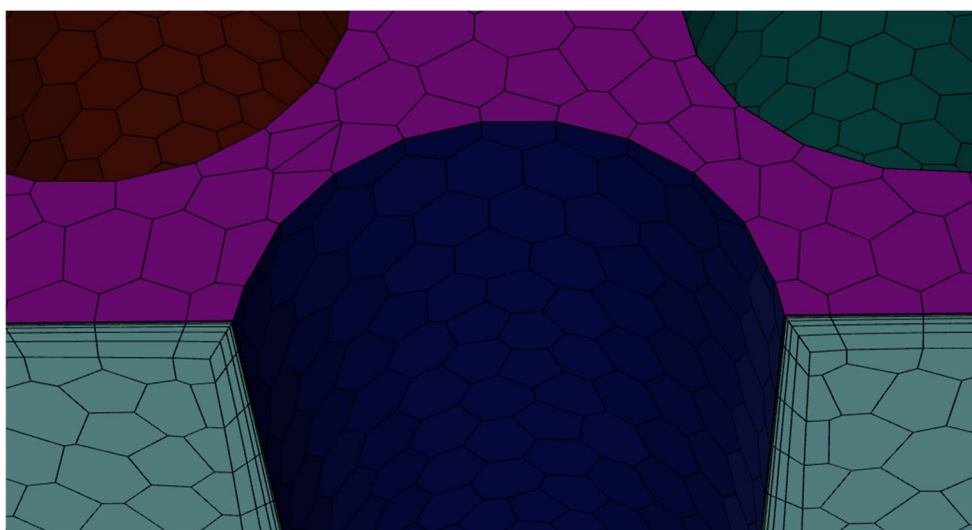
Siatkowanie geometrii zostało wykonane w programie Fluent Meshing za pomocą metody polyhexcore. Zbieżność siatki przeprowadzono na podstawie porównania trzech siatek (Tabela 16) o różnej gęstości. Wybrano siatkę, która uzyskała zbieżność, gdzie najmniejsze elementy mają rozmiar 0,3 mm a największe 10 mm. Liczba elementów w siatce wyniosła 4 907 155 (Rys. 55). Przy powierzchniach pomiędzy którymi zachodzi wymiana ciepła zastosowano zagęszczenie siatki w postaci warstwy przyściennej metodą last-ratio, gdzie ilość warstw wynosiła 6, a transmittion-ratio był na poziomie 0.3 (Rys. 56). Wysokość pierwszej warstwy przyściennej wynosiła 0,03 mm, została ona określona doświadczalnie tak aby otrzymać parametr y^+ na poziomie około 1.

Tabela 16. Dane siatek wykorzystanych do ustalenia zbieżności.

	Komórka [-]	Minimalny rozmiar [mm]	Maksymalny rozmiar [mm]	Typ metody przesunięcia	Liczba warstw [-]	Pierwsza wysokość [mm]
Siatka 1	3 515 461	1	15	last-ratio	6	0,03
Siatka 2	3 860 896	0,6	12			
Siatka 3	4 907 155	0,3	10			



Rys. 55. Wizualizacja siatkowania.



Rys. 56. Szczegół zagęszczenia siatki.

Na powierzchniach ścian cylindrów zadawano temperaturę przy pomocy UDF w każdym kroku czasowym z uwzględnieniem wirtualnej ścianki cylindra o grubości

1 mm warstwy aluminium. Do każdej ze 163 zamodelowanych ścian cylindrów przypisany został indywidualny UDF, którego zadaniem było ustalenie temperatury powierzchni ścianki w każdym kroku czasowym. Takie rozwiązanie powoduje równomierny rozkład temperatury na ściankach cylindrów. UDF działa na podstawie zdefiniowanych stałych oraz danych zaczytywanych z oprogramowania Ansys Fluent. W UDF zostały zdefiniowane stałe takie jak: temperatura topnienia i krzepnięcia materiału (287,85 K), ciepło utajone topnienia i krzepnięcia (131650 J/kg), masa materiału pojedynczego cylindra (0,303 kg), ciepło właściwe (10810 J/kgK), początkowa temperatura materiału, początkowa faza materiału (stała lub ciecz), identyfikator cylindra. W pierwszej kolejności definiowane są początkowe profile temperatury na ścianach cylindra, po czym następuje wymiana danych pomiędzy programem Ansys Fluent a UDF. W następnym kroku wykorzystywane są pobrane dane jako warunki początkowe w kolejnym kroku czasowym, w którym sprawdzana jest faza materiału i następuje obliczanie nowej temperatury. W przypadku, gdy temperatura materiału jest mniejsza od temperatury topnienia, to nie zachodzi przemiana fazowa i obliczana jest nowa temperatura zgodnie z zasadami przepływu ciepła. Jeśli temperatura materiału przekroczy temperaturę topnienia, to występuje przemiana fazowa i obliczana jest ilość ciepła potrzebna do całkowitej zmiany fazy. Następnie wykonywane są kolejne obliczenia związane z przepływem ciepła, aż do momentu osiągnięcia nowego stanu równowagi. Obliczenia nowej temperatury elementu są oparte na równaniu bilansu cieplnego, który bierze pod uwagę masę, ciepło właściwe i ciepło dostarczone/oddawane do/przez układ w kroku czasowym oraz różnicę temperatur pomiędzy krokami czasowymi. Opisane powyżej obliczenia oparte są na wzorach:

- Ogrzewanie/chłodzenie materiału

$$Q \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (19)$$

gdzie:

Q – ciepło dostarczone/oddane do/przez układ w kroku czasowym [W]

Δt – krok czasowy [s]

m – masa wkładu w rurce [kg]

c – ciepło właściwe wkładu [J/(kgK)]

ΔT – różnica temperatur między krokami czasowymi [K]:

$$\Delta T = T_{\text{aktualny_krok}} - T_{\text{poprzedni_krok}} \quad (20)$$

- Przemiana fazowa

$$Q_{\text{fazowe}} = m \cdot c_{\text{ut}} \quad (21)$$

gdzie:

Q_{fazowe} – ciepło potrzebne do całkowitej przemiany [J]

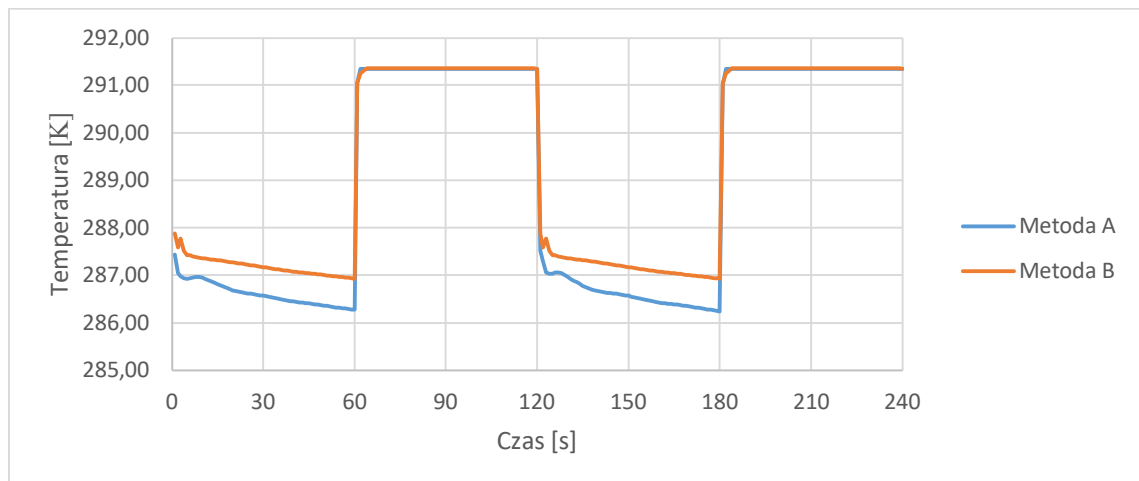
m – masa wkładu w rurce [kg]

c_{ut} – energii przejścia fazowego [J/(kg)]

Wartości Q i Δt są pobierane w czasie rzeczywistym z programu. Wartość ciepła podstawiona do równania to wartość z bieżącego kroku czasowego, która odpowiada zakończeniu obliczeń dla bieżącego kroku czasowego. Krok czasowy w równaniu jest taki sam, jak ten zdefiniowany we Fluent.

6.4 Wyniki

Przeprowadzenie symulacji dwoma metodami podczas jednonminutowych cykli nawiewu i wywiewu z zastosowaniem wymiennika z cylindrami o średnicy 10 mm, wypełnianego olejem jojoba, pozwoliło na porównanie ich dopasowania do rzeczywistego eksperymentu. Wykres 11 przedstawia przebieg średniej temperatury w punktach M4, M5 i M6 podczas dwóch ustabilizowanych cykli nawiewu i wywiewu.



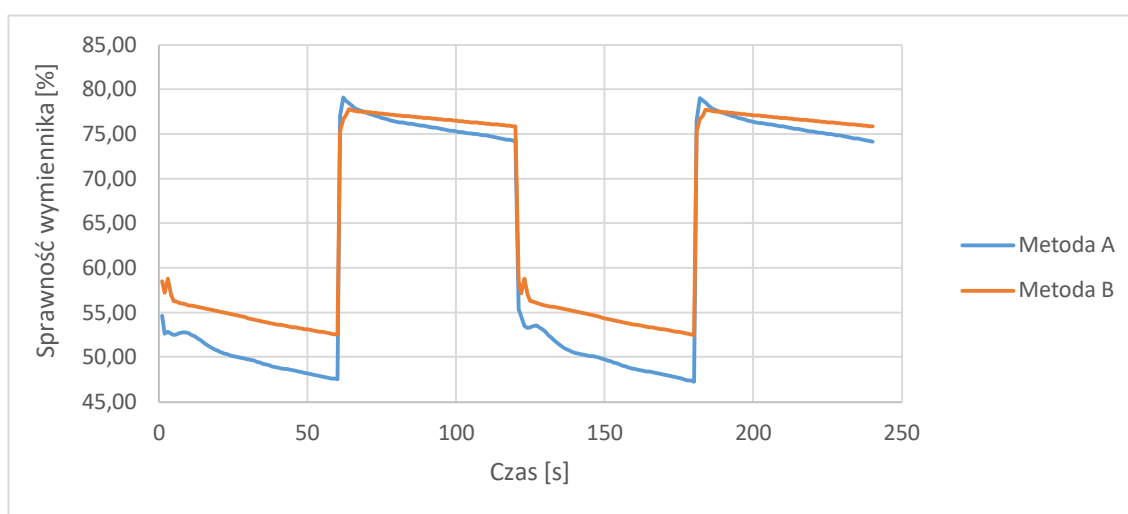
Wykres 11. Przebieg średniej temperatury z punktów M4, M5, M6 dla metod A i B.

Zgodnie z fazami cyklu podczas wywiewu temperatura utrzymywała się na zadanym poziomie średniej temperatury powietrza wywiewanego, ustalonego na podstawie eksperymentu. Podczas fazy nawiewu metoda A osiągała temperatury pomiędzy 286,3 - 287 K, natomiast przy metodzie B temperatury oscylowały pomiędzy 286,9 – 287,5 K. Średnia różnica temperatury pomiędzy dwoma metodami wyniosła

0,6 K. Obie metody charakteryzuje podobny przebieg zmian temperatury podczas cyklu nawiew/wywiew.

Takie wartości temperatury przekładają się na poziom sprawności urządzenia, która została przedstawiona na Wykres 12. Sprawność dla metody A oscylowała między 47,5 - 52,5 %, a w metodzie B między 52,5 - 57 %. Wyniki obu przypadków różniły się od siebie o średnio 4,5 %.

Należy jednak zwrócić uwagę na zaburzenia występujące po zmianie kierunku przepływu powietrza, spowodowany chwilowym brakiem zbieżności wyników w pierwszych sekundach.



Wykres 12. Sprawność wymiennika dla metod A i B.

Uśredniona sprawność temperaturowa odzysku ciepła przy zastosowaniu metody A wyniosła 49,73 %, a przy metodzie B wyniosła 54,22 %. Porównując te wartości do sprawności obliczonej na podstawie danych z eksperymentu wynoszącej 48,45 %, to różnice odpowiednio wynoszą 1,28 % dla metody A, a 5,77 % dla metody B. Obie metody A i B dobrze odwzorowują pracę wymiennika. Metoda A jest bardziej dokładna w odwzorowaniu wyników eksperymentalnych.

Tabela 17. Wizualizacja temperatury powietrza podczas cyklu nawiew/wywiew dla metody A i B.

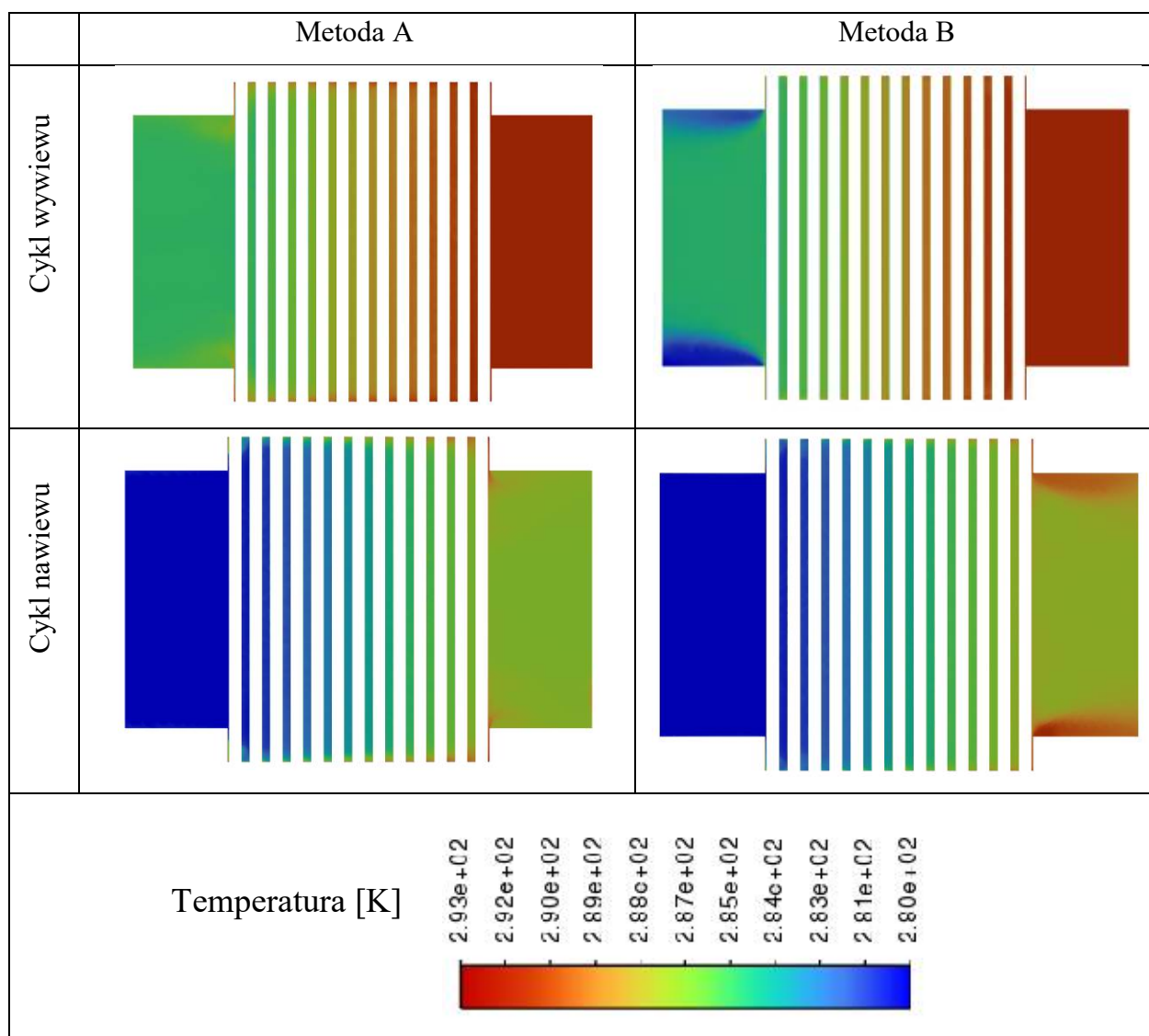
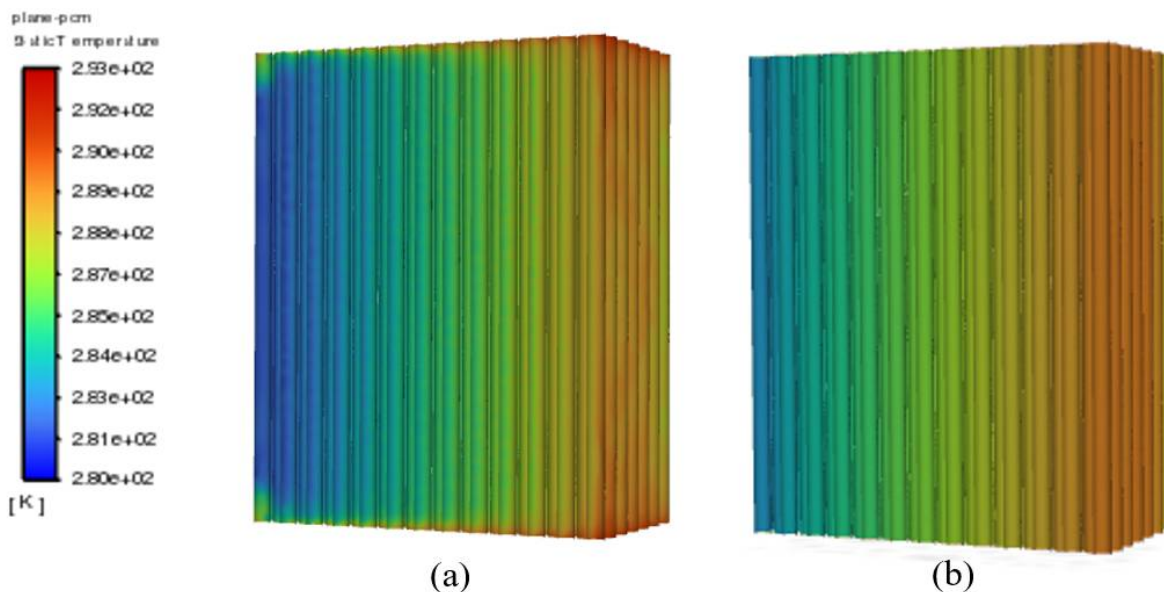


Tabela 17 przedstawia porównanie metod A i B przy pomocy wizualizacji temperatury powietrza omywającego cylindry wymiennika podczas cyklu nawiew/wywiew. Widok przedstawia przekrój przez środek symetrii wymiennika. Ramię prawe jest skierowane w stronę środowiska wewnętrznego, a ramię lewe w stronę środowiska zewnętrznego. Wizualizacja pokazuje zmianę temperatury powietrza podczas przepływu przez wymiennik.



Rys. 57. Wizualizacja temperatury na cylindrach w cyklu nawiewa dla (a) metody A, (b) metody B.

Rys. 57 przedstawia porównanie metod A i B przy pomocy wizualizacji temperatury na ściankach cylindrów wymiennika podczas cyklu nawiewu. Strona prawa jest skierowana w kierunku środowiska wewnętrznego, a strona lewa w kierunku środowiska zewnętrznego. Wizualizacja pokazuje rozkład temperatury na ściankach cylindrów podczas pracy wymiennika. Widoczna jest różnica w rozkładach temperatury na poszczególnych cylindrach. W metodzie A widoczne są nierównomierności rozkładu temperatury na poszczególnych cylindrach, natomiast w metodzie B widoczna jest stała temperatura na poszczególnych cylindrach co wynika ze sposobu modelowania.

6.5 Wnioski

Porównując metody różnica temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych, nie była większa niż 1 K, a wynikowe sprawności wymiennika nie różniły się więcej niż o 5 %.

Walidacja wykazała, że oba modele poprawnie odzwierciedlają pracę wymiennika, a osiągnięte wyniki sprawności nie różnią się więcej niż o 6 %.

Różnice pomiędzy wynikami są spowodowane tym, że w metodzie A wykorzystano solver programu Fluent do zamodelowania rozkładu temperatur na cylindrach, a w metodzie B za pomocą UDF była zadawana jednolita temperatura na całej długości cylindrów.

Zauważono, iż w metodzie A, gdzie materiał zmiennofazowy był modelowany w programie, wyniki lepiej odwzorowują wartości uzyskane w ramach eksperymentu.

Przewagą metody B jest krótszy czas obliczeń i mniejsze zapotrzebowanie na moc obliczeniową.

W zależności od indywidualnych potrzeb użytkownik może wybrać optymalną metodę, uwzględniającą większą dokładność lub krótszy czas obliczeń.

7. WNIOSKI I Dyskusja

Wykorzystanie PCM w systemach wentylacyjnych na obecną chwilę jest stosunkowo nowym rozwiązaniem. Ciągłe trwają badania nad wykorzystaniem właściwości materiałów zmiennofazowych w aktywnych systemach wentylacyjnych. PCM ma znaczącą przewagę w możliwościach magazynowania energii w określonych temperaturach w porównaniu ze standardowymi materiałami, niestety należy zwrócić także uwagę na wiele czynników które utrudniają ich wykorzystanie. Ograniczone zakresy temperatury efektywnego działania, zmienność objętości, niska przewodność czy rozkład fazowy, to ograniczenia, które utrudniają możliwości wykorzystania PCM. Jak zauważyli Veje i in. należy opracować nowe, tańsze i wydajniejsze materiały do zastosowania jako PCM²⁴. Należałoby poprzez zastosowanie bardziej zwartych projektów i lepszych materiałów do magazynowania zwiększyć możliwości magazynowania energii cieplnej w kompletnych systemach. Ważna jest również praca nad poprawą przewodności cieplnej materiałów do przechowywania, ponieważ przewodność wyznacza granicę szybkości, z jaką ciepło może być ładowane i odprowadzane do obiektu czy systemu magazynowania.

Magazynowanie energii w badanych wymiennikach odbywa się podczas cyklu wywiewu powietrza, a podczas nawiewu, zostaje ona uwalniana podnosząc temperaturę powietrza. Istnieje wiele substancji zdolnych do magazynowania dużych ilości ciepła podczas przemiany fazowej oraz do uwalniania tej samej ilości ciepła w procesie odwrotnym. Dla czystych substancji przemiana fazowa odbywa się w tej samej, określonej dla danego związku temperaturze, a proces topnienia i krzepnięcia może być powtarzany przez wiele cykli, bez zmian właściwości fizykochemicznych materiałów zmiennofazowych⁶⁹. Materiały zmiennofazowe posiadają większą pojemność cieplną dzięki ich parametrom fizycznym jakim są ciepło właściwe i ciepło utajone, konieczne do zmiany fazy. Zwiększoną ilość ciepła potrzebną do zmiany fazy (ciepło utajone) przy danych temperaturach pracy, można wykorzystać do bardziej efektywnego odzyskiwania ciepła⁷⁰.

Niniejsza praca prezentuje innowacyjne badania wymienników do odzysku ciepła w urządzeniach wentylacyjnych do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza. W literaturze brakuje badań nad zastosowaniem oleju jojoba, oleju kokosowego czy wody do akumulacji ciepła z powietrza wywiewanego, a niniejsza praca uzupełnia lukę badawczą w tym zakresie. Przeprowadzone badania rozszerzają wiedzę na temat odzysku

ciepła w zdecentralizowanych urządzeniach fasadowych. W pierwszej fazie wykonano badania eksperymentalne w warunkach laboratoryjnych. Przebadano 3 rodzaje wymienników, które były wypełniane różnymi substancjami zmiennofazowymi. Badano wymianę powietrza w pomieszczeniu poprzez naprzemienne cykle nawiewu i wywiewu o określonych czasach trwania przy różnych temperaturach zewnętrznych w celu oszacowania sprawności urządzenia do wentylacji fasadowej pod względem możliwości odzysku ciepła. Sprawność urządzenia ustalono na podstawie sprawności temperaturowej odzysku ciepła dla 144 kombinacji ustawień. Natomiast w drugiej fazie przeprowadzono badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych dla kombinacji zmiennych, które w warunkach laboratoryjnych wykazały najlepszą sprawność. W kolejnym etapie pracy opracowano dwa modele symulacji 3D stanu nieustalonego z wykorzystaniem programu Ansys Fluent v. 22 przeznaczonego do symulacji wykorzystującej komputerową dynamikę płynów CFD.

W kontekście przedstawionych celów niniejszej rozprawy doktorskiej, można z pełnym przekonaniem stwierdzić, że cele zarówno naukowe, jak i użyteczne zostały w pełni zrealizowane. Dokonano wszechstronnej oceny efektywności odzysku ciepła wymienników wypełnionych substancją zmiennofazową (PCM). Zarówno analizy przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych, jak i te prowadzone w warunkach rzeczywistych, dostarczyły niezbędnych danych, potwierdzając efektywność tych rozwiązań. Dzięki przeprowadzonym badaniom udało się określić optymalne warunki pracy wymiennika do odzysku ciepła. Te ustalenia mają ogromne znaczenie dla praktycznego zastosowania odzysku ciepła w zdecentralizowanych urządzeniach do wentylacji fasadowej. Także cel dotyczący budowy modelu numerycznego opisującego działanie wymienników, został pomyślnie osiągnięty. Powstałe modele są nie tylko precyzyjnym odzwierciedleniem badanych procesów, ale mogą stanowić narzędzie dla przemysłu, szczególnie podczas projektowania nowych instalacji z odzyskiem ciepła i naprzemiennym nawiewem i wywiewem. W świetle powyższych osiągnięć, można jednoznacznie potwierdzić, że sformułowane na początku cele naukowe oraz użyteczne zostały spełnione, co podkreśla wartość i znaczenie przeprowadzonych badań i analiz w niniejszej rozprawie.

Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań i analizy są następujące:

- Zmiany temperatury we wszystkich analizowanych punktach pomiarowych mają postać sinusoidy, zgodnie z realizowanymi fazami cyklu nawiew/wywiew.

Temperatura wzrastała podczas wywiewu powietrza w wyniku nagrzania materiału zmiennofazowego. Temperatura spadała podczas nawiewu, gdy ciepło było przekazywane z wymiennika ciepła do strumienia powietrza.

- Analiza wykazała, że najlepszą sprawność uzyskało urządzenie z zastosowaniem wymiennika z 313 cylindrami o średnicy zewnętrznej 10 mm i grubości ścianki 1 mm, wypełnionych olejem jojoba, w cyklach 1 minuta, które wyniosło 76,29 %. Także dla pomiarów sprawności samego wymiennika wyniki w tej konfiguracji były najlepsze i wyniosły 59,98 %.
- Różnica w sprawności między urządzeniem a wymiennikiem jest stosunkowo stała dla każdego rodzaju wymiennika, każdej substancji i każdego cyklu, co sugeruje, że te elementy są mocno powiązane, a efektywność wymiennika jest kluczowym czynnikiem wpływającym na efektywność całego urządzenia.
- Zauważono, że sprawność urządzenia jest średnio o 22,71 % wyższa niż sprawność samego wymiennika. To sugeruje, że inne elementy urządzenia, nie tylko wymiennik, również wpływają na ogólną efektywność. Elementy takie jak silnik wentylatora, który generuje dodatkowe ciepło, czy inne składowe urządzenia zdolne do gromadzenia i uwalniania ciepła, również przyczyniają się do końcowej efektywności. Wpływ na wyniki mogą mieć także zyski i straty ciepła wynikające z wymiany z otoczeniem mimo zastosowania izolacji urządzenia.
- Sprawność urządzenia i sprawność samego wymiennika w badaniach rzeczywistych dla analizowanego przypadku jest niższa niż w badaniach laboratoryjnych i wynosi około 10 %. Rozbieżność między wynikami z badań laboratoryjnych, a rzeczywistymi może wynikać z wielu czynników, takich jak nieidealne warunki otoczenia, a także potencjalne błędy operatora.
- Najwyższą średnią efektywność uzyskało urządzenie z wymiennikiem ciepła z cylindrami o średnicy 10 mm w porównaniu do wymienników 2 i 3 odpowiednio o 15,94 % i 22,8 %. Wpływ na takie wyniki ma także większa powierzchnia wymiany ciepła, mimo mniejszej objętości zastosowanego materiału zmiennofazowego.
- Najmniejsza średnia efektywność została zaobserwowana w przypadku urządzenia wykorzystującego wymiennik ciepła z cylindrami o średnicy 40 mm. Mimo, że ten wymiennik posiadał więcej materiału zmiennofazowego

odpowiednio o 80 % i 22 % więcej w porównaniu do wymienników 1 i 2, to nie przełożyło się to na wyższą sprawność. Wydaje się, że decydujący wpływ na ten wynik miał fakt, że wymiennik o średnicy cylindrów 40 mm ma powierzchnię wymiany ciepła mniejszą aż o odpowiednio 68 % i 55 % w porównaniu do wymienników 1 i 2.

- Sprawność generalnie maleje z wydłużeniem czasu cyklu. Najwyższą średnią sprawność zaobserwowano dla cyklu 1 minutowego (60,07 %), natomiast najniższą dla cyklu 5 minutowego (51,94 %). Wraz z wydłużaniem się długości cykli odchylenie standardowe (SD) rośnie, sugerując, że inne czynniki mogą wpływać na wyniki przy dłuższych cyklach.
- Średnie sprawności dla poszczególnych substancji różnią się nieco, ale różnice te są niewielkie. Woda (57,92 %) i olej jojoba (57,72 %) wykazują porównywalne wyniki średniej sprawności urządzenia, ale nieco wyższe od oleju kokosowego (55,45 %) co daje różnicę o odpowiednio 2,47 % i 2,27 %. Średnia sprawność wymienników wypełnionych substancjami jest wyższa niż pustych wymienników. Jak pokazuje analiza wymienniki wypełnione substancjami są generalnie bardziej efektywne w przekazywaniu ciepła o wartość między 1,91 % a 4,38 % w stosunku do niewypełnionych wymienników.
- Obniżenie temperatury zewnętrznej przyczynia się do zmniejszenia sprawności urządzenia i sprawności wymiennika dla wszystkich badanych konfiguracji.
- Analiza wieloczynnikowej wariacji MANOVA wykazała wpływ każdego czynnika na sprawność urządzenia oraz ich wszystkie możliwe interakcje między sobą. Analiza testami post-hoc z poprawką Bonferroniego, której celem było stwierdzenie czy pomiędzy dwiema badanymi grupami zachodzi istotna różnica także wykazała istotny wpływ na sprawność każdej z grup w każdej konfiguracji.
- Analiza wieloczynnikowej wariacji MANOVA wykazała, że rodzaj wymiennika jest najbardziej wpływowym czynnikiem na sprawność urządzenia. Kluczowa dla efektywności pracy urządzenia jest także długość cyklu. Z kolei mniejszą rolę odgrywają rodzaj substancji i temperatura zewnętrzna.
- Analiza post-hoc parami wykazała, iż istnieją takie pary kombinacji zmiennych, w których nie występuje istotna różnica pomiędzy wynikami sprawności. Generalnie czynnikami między którymi nie występuje istotna różnica pomiędzy parami są rodzaj substancji i temperatura zewnętrzna.

- Różnica temperatury w różnych punktach pomiarowych dla dwóch metod symulacji nie przekraczała 1 K, a ostateczne wyznaczone sprawności wymiennika nie różniły się o więcej niż 5 %
- Proces walidacji potwierdził, że obie metody symulacji adekwatnie reprezentują działanie wymiennika, a różnice w osiągniętych wynikach sprawności nie przekraczają 6 %.
- Rozbieżności między uzyskanymi wartościami wynikają z różnicy w podejściu: w metodzie A użyto solvera Fluent do symulacji rozkładu temperatur na cylindrach, natomiast w metodzie B za pośrednictwem UDF nałożono jednorodną temperaturę na całej długości cylindrów.
- Zaobserwowano, że metoda A, w której modelowano materiał zmiennofazowy w programie, daje wyniki bardziej zbliżone z rezultatami eksperymentalnymi.
- Metoda B ma przewagę w postaci krótszego czasu potrzebnego na przeprowadzenie obliczeń i mniejszych wymagań dotyczących mocy obliczeniowej.
- Wybór optymalnej metody zależy od indywidualnych wymagań użytkownika - może on decydować na podstawie preferencji dotyczących precyzyjności wyników lub krótszego czasu obliczeń.

Podsumowując pierwszą hipotezą prowadzonych badań było określenie czy zastosowanie materiałów PCM w urządzeniach fasadowych do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza pozwala na odzyskiwanie ciepła. Wyraźne cykliczne zmiany temperatury w analizowanych punktach pomiarowych, które przyjmują postać sinusoidy i są powiązane z cyklami nawiewu i wywiewu, wskazują na skuteczne akumulowanie i uwalnianie energii cieplnej przez wymienniki wypełnione PCM. Co więcej, najwyższa osiągnięta sprawność urządzenia podczas badań, na poziomie 76,29 %, uzyskana dla wymiennika 1 wypełnionego olejem jojoba, przy 1 minutowych cyklach i temperaturze zewnętrznej 0 °C, podkreśla możliwości odzysku ciepła. Kluczowa rola wymiennika ciepła jest widoczna w konsekwentnych różnicach w sprawności pomiędzy samym wymiennikiem a całym urządzeniem. Ponadto, większa powierzchnia wymiany ciepła dla wymienników o mniejszej średnicy cylindrów i krótsze cykle pracy są korzystne dla ogólnej efektywności systemu. Materiały PCM wypełniające wymienniki poprawiają wydajność odzysku ciepła o wartość do 4,38 % w stosunku do

niewypełnionych wymienników. Mimo niewielkiego wzrostu, potwierdza to hipotezę, że zastosowanie materiałów PCM pozwala odzyskiwać ciepło w urządzeniach fasadowych do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz nie można natomiast potwierdzić drugiej hipotezy, że zasadne jest wykorzystanie materiałów PCM w celu poprawienia sprawności wymienników, w zdecentralizowanej wentylacji fasadowej. Krótkie cykle pracy w systemach z użyciem substancji zmiennofazowych nie są optymalne. Oznacza to, że szybkie przejścia między fazami nie gwarantują najwyższej efektywności wymiany ciepła. Ponadto wynika to z przewodności cieplnej materiałów zmiennofazowych. Także potrzeba zwiększonej powierzchni wymiany ciepła, w stosunku do ilości użytej substancji zmiennofazowej, ogranicza potencjał akumulacji ciepła utajonego w tego rodzaju wymiennikach. Jak zauważono podczas przeprowadzania symulacji komputerowych temperatury w poszczególnych sekcjach wymiennika są zróżnicowane. Także zmienność temperatury zewnętrznej powoduje zmianę temperatury pracy materiałów zmiennofazowych, co wpływa na trudność doboru odpowiedniego materiału zmiennofazowego. Ze względu na powyższe nie jest możliwe wykorzystanie w pełni potencjału materiałów zmiennofazowych. Wyniki porównujące sprawności dla wymienników wypełnionych materiałem zmiennofazowym, w stosunku do niewypełnionych, wskazują na kilku procentową poprawę sprawności co nie jest zadawalające. Potwierdziła to analiza post-hoc parami która wykazała, że nie są to różnice istotne statystycznie. W związku z powyższym, na podstawie przeprowadzonych eksperymentów, uzyskanych wyników i analiz, nie można potwierdzić drugiej hipotezy. To oznacza, że zastosowanie substancji zmiennofazowych nie przyniosło oczekiwanej poprawy sprawności wymienników stosowanych w tego typu urządzeniach do wentylacji fasadowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można natomiast potwierdzić trzecią hipotezę, że jest możliwe opracowanie efektywnego modelu komputerowej dynamiki płynów, który adekwatnie opisuje pracę wymienników do odzysku ciepła stosowanych w urządzeniach do naprzemiennego nawiewu i wywiewu. Walidacja modeli wykazała, że różnice temperatur w poszczególnych punktach pomiarowych są nieznaczne, nie przekraczając 1 K, a różnice w wynikach sprawności wymiennika nie są większe niż 5 - 6 %. To potwierdza wysoką wiarygodność i precyzję modeli. Osiągnięte wyniki podkreślają zalety i ograniczenia obu zastosowanych metod modelowania. Metoda A, wykorzystująca solver Fluent do zamodelowania rozkładu temperatur na

cyndrach, okazała się być bardziej zgodna z wynikami doświadczalnymi. Jest to zdecydowany atut dla zastosowań, w których dokładność jest priorytetem. Z drugiej strony, metoda B, mimo pewnych ograniczeń w dokładności, oferuje znaczne oszczędności czasu i zasobów obliczeniowych, co może być kluczowe dla zastosowań, w których te aspekty są bardziej istotne niż marginalne różnice w wynikach. Dodatkowo, różnice pomiędzy wynikami obu metod są zrozumiałe i wynikają z odmiennych podejść do modelowania temperatury na cylindrach: jednolitej w przypadku metody B i zróżnicowanej w przypadku metody A. To daje użytkownikowi elastyczność w wyborze metody, która najlepiej odpowiada jego indywidualnym potrzebom, czy to w zakresie dokładności, czy efektywności obliczeniowej. W sumie, uzyskane wyniki wskazują na to, że model komputerowej dynamiki płynów jest nie tylko możliwy do opracowania, ale także oferuje wystarczającą precyzję i elastyczność, aby sprostać różnorodnym potrzebom w kontekście odzysku ciepła w urządzeniach do naprzemiennego nawiewu i wywiewu. Po modyfikacjach, model symulacji można wykorzystać do podobnych symulacji w innych zastosowaniach.

Badania dostarczyły ważnych informacji na temat odzysku ciepła w urządzeniach fasadowych do naprzemiennego nawiewu i wywiewu powietrza, jednak wiele kwestii pozostaje otwartych na dalsze analizy. Istotne będzie zbadanie różnych konstrukcji wymienników i ich wpływu na wydajność odzysku ciepła, co może doprowadzić do stworzenia bardziej efektywnych modeli. Badania określające ilość akumulacji ciepła jawnego i utajonego dostarczą kluczowych informacji na temat zdolności materiałów do magazynowania i uwalniania energii w różnych warunkach. Ponadto, ważne jest przeprowadzenie badań nad zastosowaniem zróżnicowanych PCM w poszczególnych sekcjach wymienników, co może pozwolić na lepsze dopasowanie do warunków pracy i zapewnienie wyższej sprawności w różnych zakresach temperaturowych. Długoterminowe badania nad trwałością i stabilnością materiałów PCM w realnych warunkach eksploatacji pozwolą zrozumieć ich żywotność. Analiza ekonomiczna, obejmująca koszty produkcji, instalacji i utrzymania systemów wykorzystujących PCM, pozwoli zrozumieć ich opłacalność. W przyszłości należy również ocenić środowiskowy wpływ produkcji, użytkowania i utylizacji tych materiałów w kontekście zrównoważonego rozwoju.

8. LITERATURA

1. Cincinelli A, Martellini T. Indoor Air Quality and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017, Vol 14, Page 1286. 2017;14(11):1286. doi:10.3390/IJERPH14111286
2. Tommerup H, Svendsen S. Energy savings in Danish residential building stock. *Energy Build.* 2006;38(6):618-626. doi:10.1016/j.enbuild.2005.08.017
3. Liddament MW, Orme M. Energy and ventilation. *Appl Therm Eng.* 1998;18(11). doi:10.1016/S1359-4311(98)00040-4
4. Jradi M, Arendt K, Sangogboye FC, et al. ObepME: An online building energy performance monitoring and evaluation tool to reduce energy performance gaps. *Energy Build.* 2018;166. doi:10.1016/j.enbuild.2018.02.005
5. Orme M. Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures. *Energy Build.* 2001;33(3):199-205. doi:10.1016/S0378-7788(00)00082-7
6. Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. *Energy Build.* 2008;40(3):394-398. doi:10.1016/j.enbuild.2007.03.007
7. Annunziata E, Frey M, Rizzi F. Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. *Energy.* 2013;57:125-133. doi:10.1016/j.energy.2012.11.049
8. Dodoo A. Primary energy and economic implications of ventilation heat recovery for a multi-family building in a Nordic climate. *Journal of Building Engineering.* 2020;31:101391. doi:10.1016/j.job.2020.101391
9. Mikola A, Kalamees T, Kõiv TA. Performance of ventilation in Estonian apartment buildings. *Energy Procedia.* 2017;132:963-968. doi:10.1016/j.egypro.2017.09.681
10. Justo Alonso M, Liu P, Mathisen HM, Ge G, Simonson C. Review of heat/energy recovery exchangers for use in ZEBs in cold climate countries. *Build Environ.* 2015;84:228-237. doi:10.1016/j.buildenv.2014.11.014
11. Zhang J, Fung AS, Jhingan S. Analysis and feasibility study of residential integrated heat and energy recovery ventilator with built-in economizer using an excel spreadsheet program. *Energy Build.* 2014;75:430-438. doi:10.1016/j.enbuild.2014.02.036

12. Telejko M, Zender-Świercz E. Attempt to Improve Indoor Air Quality in Kindergartens. *Procedia Eng.* 2016;161:1704-1709. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.649
13. Hurnik M, Specjal A, Popiolek Z. On-site diagnosis of hybrid ventilation system in a renovated single-family house. *Energy Build.* 2017;149:123-132. doi:10.1016/j.enbuild.2017.05.034
14. Merzkirch A, Maas S, Scholzen F, Waldmann D. Field tests of centralized and decentralized ventilation units in residential buildings – Specific fan power, heat recovery efficiency, shortcuts and volume flow unbalances. *Energy Build.* 2016;116:376-383. doi:10.1016/j.enbuild.2015.12.008
15. Ratajczak K, Szczechowiak E. Energy consumption decreasing strategy for indoor swimming pools – Decentralized Ventilation system with a heat pump. *Energy Build.* 2020;206:109574. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109574
16. Merzkirch A, Maas S, Scholzen F, Waldmann D. A semi-centralized, valveless and demand controlled ventilation system in comparison to other concepts in field tests. *Build Environ.* 2015;93:21-26. doi:10.1016/j.buildenv.2015.06.007
17. Wulfinghoff DR. Multiple-zone HVAC: An Obsolete Template. *Energy Engineering.* 2011;108(2):44-56. doi:10.1080/01998595.2011.10389019
18. Besant R, Simonson C. Air-to-air exchangers. *ASHRAE J.* 2003;45(4):42.
19. Besant RW, Simonson CJ. Air-to-air energy recovery. *ASHRAE J.* 2000;42(5):31-43.
20. Dieckmann J, Roth KW, Brodrick J. Air-to-air energy recovery heat exchangers. *ASHRAE J.* 2003;45(8):57.
21. Zhang LZ, Jiang Y. Heat and mass transfer in a membrane-based energy recovery ventilator. *J Memb Sci.* 1999;163(1):29-38. doi:10.1016/S0376-7388(99)00150-7
22. Manz H, Huber H, Schälín A, Weber A, Ferrazzini M, Studer M. Performance of single room ventilation units with recuperative or regenerative heat recovery. *Energy Build.* 2000;31(1):37-47. doi:10.1016/S0378-7788(98)00077-2
23. Zender-Świercz E. A Review of Heat Recovery in Ventilation. *Energies (Basel).* 2021;14(6):1759. doi:10.3390/en14061759

24. Veje CT, Jradi M, Lund I, et al. NeGeV: next generation energy efficient ventilation system using phase change materials. *Energy Informatics*. 2019;2(1):2. doi:10.1186/s42162-019-0067-1
25. Baetens R, Jelle BP, Gustavsen A. Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy Build*. 2010;42(9):1361-1368. doi:10.1016/j.enbuild.2010.03.026
26. Kauranen P, Peippo K, Lund PD. An organic PCM storage system with adjustable melting temperature. *Solar Energy*. 1991;46(5):275-278. doi:10.1016/0038-092X(91)90094-D
27. Krasoń J. Możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych w pasywnych rozwiązaniach ściennych elementów murowych, JCEEA, t. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*. 2014;(61, nr 3/II):297-306.
28. Kasaeian A, bahrami L, Pourfayaz F, Khodabandeh E, Yan WM. Experimental studies on the applications of PCMs and nano-PCMs in buildings: A critical review. *Energy Build*. 2017;154:96-112. doi:10.1016/j.enbuild.2017.08.037
29. Ning M, Jingyu H, Dongmei P, Shengchun L, Mengjie S. Investigations on thermal environment in residential buildings with PCM embedded in external wall. *Energy Procedia*. 2017;142:1888-1895. doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.12.387
30. Karaipekli A, Sari A. Development and thermal performance of pumice/organic PCM/gypsum composite plasters for thermal energy storage in buildings. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2016;149:19-28. doi:10.1016/j.solmat.2015.12.034
31. Takeda S, Nagano K, Mochida T, Shimakura K. Development of a ventilation system utilizing thermal energy storage for granules containing phase change material. *Solar Energy*. 2004;77(3):329-338. doi:10.1016/j.solener.2004.04.014
32. Ljungdahl V, Taha K, Dallaire J, et al. Phase change material based ventilation module - Numerical study and experimental validation of serial design. *Energy*. 2021;234:121209. doi:10.1016/j.energy.2021.121209
33. Chen X, Zhang Q, Zhai Z (John). Energy saving potential of a ventilation system with a latent heat thermal energy storage unit under different climatic

- conditions. *Energy Build.* 2016;118:339-349. doi:10.1016/j.enbuild.2016.02.049
34. Sun W, Huang R, Ling Z, Fang X, Zhang Z. Numerical simulation on the thermal performance of a PCM-containing ventilation system with a continuous change in inlet air temperature. *Renew Energy.* 2020;145:1608-1619. doi:10.1016/j.renene.2019.07.089
 35. Stritih U, Charvat P, Koželj R, et al. PCM thermal energy storage in solar heating of ventilation air—Experimental and numerical investigations. *Sustain Cities Soc.* 2018;37:104-115. doi:10.1016/j.scs.2017.10.018
 36. Yang D, Shi R, Wei H, Du J, Wang J. Investigation of the performance of a cylindrical PCM-to-air heat exchanger (PAHE) for free ventilation cooling in fluctuating ambient environments. *Sustain Cities Soc.* 2019;51:101764. doi:10.1016/j.scs.2019.101764
 37. Dechesne B, Gendebien S, Martens J, Lemort V. Designing and testing an air-PCM heat exchanger for building ventilation application coupled to energy storage. Published online 2014.
 38. Dallaire J, Adeel Hassan HM, Bjernemose JH, Rudolph Hansen MP, Lund I, Veje CT. Performance analysis of a dual-stack Air-PCM heat exchanger with novel air flow configuration for cooling applications in buildings. *Build Environ.* 2022;223:109450. doi:10.1016/j.buildenv.2022.109450
 39. Hu Y, Heiselberg PK, Drivsholm C, Søvsø AS, Vogler-Finck PJC, Kronby K. Experimental and numerical study of PCM storage integrated with HVAC system for energy flexibility. *Energy Build.* 2022;255:111651. doi:10.1016/j.enbuild.2021.111651
 40. Koç A, Yağlı H, Bilgic HH, Koç Y, Özdemir A. Performance analysis of a novel organic fluid filled regenerative heat exchanger used heat recovery ventilation (OHeX-HRV) system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments.* 2020;41:100787. doi:10.1016/j.seta.2020.100787
 41. Pekdogan T, Tokuç A, Ezan MA, Başaran T. Experimental investigation of a decentralized heat recovery ventilation system. *Journal of Building Engineering.* 2021;35:102009. doi:10.1016/j.jobee.2020.102009
 42. Pekdogan T, Tokuç A, Ezan MA, Başaran T. Experimental investigation on heat transfer and air flow behavior of latent heat storage unit in a facade

- integrated ventilation system. *J Energy Storage*. 2021;44:103367. doi:10.1016/j.est.2021.103367
43. Chang CC, Lai CH, Yang CM, Chiang YC, Chen SL. Thermal performance enhancement of a periodic total heat exchanger using energy-storage material. *Energy Build*. 2013;67:579-586. doi:10.1016/j.enbuild.2013.08.061
 44. Al-Zubaydi AYT, Hong G. Experimental investigation of counter flow heat exchangers for energy recovery ventilation in cooling mode. *International Journal of Refrigeration*. 2018;93:132-143. doi:10.1016/j.ijrefrig.2018.07.008
 45. Han H, Kwon YI. Inhaling/Exhaling Heat Recovery Ventilator Using the Concept of Alternating-Current Ventilation. *HVAC&R Res*. 2006;12:843-859. doi:10.1080/10789669.2006.10391212
 46. Norton T, Sun DW, Grant J, Fallon R, Dodd V. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review. *Bioresour Technol*. 2007;98(12):2386-2414. doi:10.1016/j.biortech.2006.11.025
 47. Zienkiewicz OC, Taylor RL, Taylor RL, Taylor RL. *The Finite Element Method: Solid Mechanics*. Vol 2. Butterworth-heinemann; 2000.
 48. ANSYS Inc. ANSYS Documentation for Release 15.0 / Customer Training Material. Published online 2018.
 49. Kazimierski Z. *Podstawy Mechaniki Płynów i Metod Komputerowej Symulacji Przepływów*. Wydaw. PŁ; 2004.
 50. Tuliszcza-Sznitko E. *Wybrane Zagadnienia z Mechaniki Płynów Wirujących*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej; 2011.
 51. Vreman B, Geurts B, Kuerten H. Large-eddy simulation of the turbulent mixing layer. *J Fluid Mech*. 1997;339:357-390.
 52. Boguslawski A, Drobnik S, Tyliczszak A. Turbulencja-od losowości do determinizmu. *Modelowanie inżynierskie*. 2008;5(36):41-48.
 53. Błazik-Borowa E. *Problemy Związane Ze Stosowaniem Modelu Turbulencji K-[Epsilon] Do Wyznaczenia Parametrów Opływu Budynków*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej Lublin, Poland; 2008.
 54. Easom G. Improved turbulence models for computational wind engineering. *Nottingham eTheses*. Published online 2000.

55. Wilcox DC. Turbulence modeling for CFD. La Canada, CA: DCW Industries. *Inc, November*. Published online 2006.
56. Menter FR. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*. 1994;32(8):1598-1605. doi:10.2514/3.12149
57. Menter F. Zonal Two Equation k-w Turbulence Models For Aerodynamic Flows. In: *23rd Fluid Dynamics, Plasmadynamics, and Lasers Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics; 1993. doi:10.2514/6.1993-2906
58. Zender-Świercz E. Utility model number Ru.072910 Accumulation heat exchanger especially for facade ventilation. Published online 2022.
59. Committee PS. PN-EN 16798-1: 2019-06 Energy Performance of Buildings—Ventilation for Buildings—Part 1: Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality. *Thermal Environment, Lighting a*. Published online 2019.
60. Committee PS. PN-EN 12831:2017-08. Charakterystyka energetyczna budynków - Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego - Część 1: Obciążenie cieplne. Published online 2017.
61. Carey G. Multivariate analysis of variance (MANOVA): I. Theory. *Retrieved May*. 1998;14:2011.
62. Menter F. Zonal Two Equation k-w Turbulence Models For Aerodynamic Flows. In: *23rd Fluid Dynamics, Plasmadynamics, and Lasers Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics; 1993. doi:10.2514/6.1993-2906
63. Ansys Fluent Theory Guide. Ansys Fluent Theory Guide. *ANSYS Inc, USA*. 2022;15317(July).
64. Issa RI. Solution of the implicitly discretised fluid flow equations by operator-splitting. *J Comput Phys*. 1986;62(1):40-65. doi:10.1016/0021-9991(86)90099-9
65. Ghannam MT, Selim MYE, Thaher A, Binamro A, Almansoori M, Abdallah S. Flow characteristics of jojoba and other oil blends for skin treatment fluids. *International Journal of Thermofluids*. 2023;18:100362. doi:10.1016/J.IJFT.2023.100362

66. Gad HA, Roberts A, Hamzi SH, et al. Jojoba Oil: An Updated Comprehensive Review on Chemistry, Pharmaceutical Uses, and Toxicity. *Polymers* 2021, Vol 13, Page 1711. 2021;13(11):1711. doi:10.3390/POLYM13111711
67. Galiszewska B, Zender-Świercz E. Heat Recovery Using PCM in Decentralised Façade Ventilation. *Energies* 2023, Vol 16, Page 3310. 2023;16(8):3310. doi:10.3390/EN16083310
68. Wisniak Jaime. The chemistry and technology of jojoba oil. Published online 1987:272.
69. Ciulla G, Brano V lo, Cellura M, Franzitta V, Milone D. A finite difference model of a PV-PCM system. *Energy Procedia*. 2012;30:198-206.
70. Melcer A, Klugmann-Radziemska E, Lewandowski W, Iwaniak-Lewandowska W. Materiały zmiennofazowe dostępne na rynku. Właściwości i zastosowanie. *Przemysł Chemiczny*. 2012;91(9):1733-1742.

9. STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM I ANGIELSKIM

W pierwszej fazie przeprowadzono badania odzysku ciepła w urządzeniu do wentylacji fasadowej w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu komory klimatycznej, która pozwalała na zasymulowanie stabilnych warunków zewnętrznych oraz wewnętrznych. Urządzenie wyposażone w wentylator rewersyjny oraz komorę na wymiennik ciepła, sterowane automatyką, miało za zadanie wymianę powietrza w pomieszczeniu poprzez naprzemienne cykle nawiewu i wywiewu o określonych czasach trwania. Przebadano 3 rodzaje wymienników, które były wypełniane różnymi substancjami zmiennofazowymi. Badano wymianę powietrza w pomieszczeniu poprzez naprzemienne cykle nawiewu i wywiewu o określonych czasach trwania, przy różnych temperaturach zewnętrznych w celu oszacowania sprawności urządzenia do wentylacji fasadowej pod względem możliwości odzysku ciepła. Sprawność urządzenia ustalono na podstawie sprawności temperaturowej odzysku ciepła dla 144 kombinacji ustawień. Najlepsze wyniki sprawności 76,29 % uzyskało rozwiązanie z zastosowaniem wymiennika zbudowanego z cylindrów o średnicy zewnętrznej 10mm i grubości ścianki 1mm wypełniony olejem jojoba przy jedno minutowych cyklach pracy.

Natomiast w drugiej fazie przeprowadzono badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych dla kombinacji zmiennych, które w warunkach laboratoryjnych wykazały najlepszą sprawność.

W kolejnym etapie pracy opracowano dwa modele symulacji 3D stanu nieustalonego z wykorzystaniem programu Ansys Fluent v. 22 przeznaczonego do symulacji wykorzystującej technikę komputerowej dynamiki płynów CFD. Dokonano walidacji przy pomocy danych eksperymentalnych. Opracowano i porównano dwa podejścia do symulacji pracy wymiennika wypełnionego olejem jojoba, podczas jednodominutowych cykli nawiewu i wywiewu z zastosowaniem wymiennika z cylindrami o średnicy 10mm. Metoda A polegała na zamodelowaniu materiału wypełniającego wymiennik odpowiednio modelując jego parametry fizyczne, z uwzględnieniem ciepła przemiany fazowej, bezpośrednio w programie Ansys Fluent. Metoda B polegała na stworzeniu zewnętrznego skryptu UDF, który miał na celu zdefiniować zmieniającą się temperaturę na ściankach cylindrów w wymienniku, z uwzględnieniem akumulacji ciepła przez materiał zmiennofazowy. Opracowanie uzupełnia dotychczasową wiedzę naukową dotyczącą zastosowania materiałów zmiennofazowych w urządzeniach do wentylacji fasadowej oraz symulacji komputerowych tych rozwiązań.

In the first phase, heat recovery tests were carried out in a façade ventilation device under laboratory conditions using a climatic chamber, which allowed the simulation of stable external and internal conditions. The device, equipped with a reversible fan and a heat exchanger chamber controlled by automation, was tasked with exchanging air in the room through alternating cycles of supply and exhaust at specified durations. Three types of heat exchangers were examined, which were filled with various phase change materials. The air exchange in the room was examined through alternating supply and exhaust cycles at specified durations, under various external temperatures to estimate the efficiency of the façade ventilation device in terms of heat recovery capability. The efficiency of the device was determined based on the temperature efficiency of heat recovery for 144 combinations of settings. The best efficiency results of 76.29 % were achieved by a solution using a heat exchanger built from cylinders with an external diameter of 10mm and a wall thickness of 1mm filled with jojoba oil during one-minute work cycles.

In the second phase, experimental tests were carried out under real conditions for combinations of variables, which in laboratory conditions showed the best efficiency.

In the next stage of the work, two 3D unsteady-state simulation models were developed using Ansys Fluent v. 22, intended for simulations using the numerical fluid mechanics technique, CFD. Validation was carried out using experimental data. Two approaches to simulating the operation of a heat exchanger filled with jojoba oil during one-minute supply and exhaust cycles using a heat exchanger with cylinders with a diameter of 10mm were developed and compared. Method A involved modelling the material filling the heat exchanger by appropriately modelling its physical parameters, taking into account the heat of phase change, directly in the Ansys Fluent program. Method B involved creating an external UDF script, which aimed to define the changing temperature on the cylinder walls in the heat exchanger, taking into account heat accumulation by the phase change material. The study supplements the existing scientific knowledge regarding the application of phase change materials in façade ventilation devices and computer simulations of these solutions.

10. WYKAZ TABEL

Tabela 1. Parametry komory klimatycznej.

Tabela 2. Parametry wymienników ciepła

Tabela 3. Właściwości termofizyczne wybranych materiałów zmiennofazowych.

Tabela 4. Parametry termopar - Pt100

Tabela 5. Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika – wymiennik ciepła 1

Tabela 6. Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika – wymiennik ciepła 2

Tabela 7. Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika – wymiennik ciepła 3

Tabela 8. Średnia różnica pomiędzy sprawnością urządzenia a samego wymiennika.

Tabela 9. Badania rzeczywiste - Zestawienie sprawności urządzenia i sprawności samego wymiennika

Tabela 10. Podstawowe statystyki opisowe badanych zmiennych.

Tabela 11. Podstawowe statystyki opisowe dla grup badanych zmiennych.

Tabela 12. Wyniki wieloczynnikowej wariancji MANOVA.

Tabela 13. Porównanie wielokrotne – test Bonferroniego

Tabela 14. Wyniki testów post-hoc dla przypadku 10mm 1min olej jojoba 0 °C.

Tabela 15. Dane siatek wykorzystanych do ustalenia zbieżności.

Tabela 16. Dane siatek wykorzystanych do ustalenia zbieżności.

Tabela 17. Wizualizacja temperatury powietrza podczas cyklu nawiew/wywiew dla metody A i B.

11. WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 1. Zasada stosowania utajonego magazynowania energii w porównaniu ze standardowym magazynowaniem energii²⁴ (tłumaczenie własne).

Rys. 2. Entalpia topnienia i temperatura topnienia dla różnych grup materiałów zmiennofazowych²⁵ (tłumaczenie własne).

Rys. 3. Widok aparatury doświadczalnej³¹ (tłumaczenie własne).

Rys. 4. Eksperymentalna konfiguracja systemu wentylacji z PCM³².

Rys. 5. Góra: Schemat konfiguracji eksperymentalnej z rozmieszczeniem czujników. Dół: Konstrukcja pojedynczego stosu z równoległymi płytami PCM nad sobą z małą szczeliną powietrzną pomiędzy³² (tłumaczenie własne).

Rys. 6. Schemat systemu wentylacji z jednostką LHTES: a) wentylacja bezpośrednia, b) rozładowywanie i c) tryby ładowania³³ (tłumaczenie własne).

Rys. 7. Schemat jednostki magazynowania energii cieplnej³³ (tłumaczenie własne).

Rys. 8. a) jednostka powietrze-PCM; b) materiały izolacyjne oraz c) miejsce instalacji systemu wentylacji³⁴ (tłumaczenie własne).

Rys. 9. Konfiguracja eksperymentalna³⁵ (tłumaczenie własne).

Rys. 10. Schemat systemu³⁵ (tłumaczenie własne).

Rys. 11. Jednostka LHTES z płytami CSM (po lewej) i kolektorem słonecznym (po prawej) systemu eksperymentalnego³⁵ (tłumaczenie własne).

Rys. 12. Obraz aparatury doświadczalnej³⁶ (tłumaczenie własne).

Rys. 13. Schemat i wymiary eksperymentalnej rurki PAHE³⁶.

Rys. 14. Przetestowany moduł PCM³⁷.

Rys. 15. Skrzynka wymiennika ciepła³⁷.

Rys. 16. Schemat systemu LHTES³⁸ (tłumaczenie własne).

Rys. 17. Przegląd systemu LHTES podłączonego do stałego ośrodka testowego w DTI³⁸ (tłumaczenie własne).

Rys. 18. Konfiguracja systemowa magazynu PCM zintegrowanego z pompą ciepła³⁹ (tłumaczenie własne).

Rys. 19. Zintegrowany PCM z systemem powietrznym pompy ciepła³⁹ (tłumaczenie własne).

Rys. 20. Konfiguracja systemu w laboratorium³⁹ (tłumaczenie własne).

Rys. 21. Lokalizacja kanałów w pomieszczeniach symulacyjnych z punktami pomiaru temperatury i prędkości⁴¹ (tłumaczenie własne).

Rys. 22. Wymiennik ceramiczny⁴¹.

Rys. 23. Wymiennik rurkowy⁴².

Rys. 24. Kształty elementu siatki strukturalnej⁴⁸ (tłumaczenie własne).

Rys. 25. Prawidłowa lokalizacja punktów granicznych⁴⁸ (tłumaczenie własne).

Rys. 26. Zła lokalizacja punktów granicznych⁴⁸ (tłumaczenie własne).

Rys. 27. Kaskada wirów⁴⁸ (tłumaczenie własne).

Rys. 28. Schemat stanowiska eksperymentalnego

Rys. 29. Komora klimatyczna – część lewa symuluje warunki środowiska wewnętrznego.

Rys. 30. Komora klimatyczna – część prawa symuluje warunki środowiska zewnętrznego.

Rys. 31. Urządzenie do wentylacji fasadowej (widok od strony symulującej warunki środowiska wewnętrznego).

Rys. 32. Urządzenie do wentylacji fasadowej (widok od strony symulującej warunki środowiska zewnętrznego).

Rys. 33. Automatyka do sterowania wentylatorem.

Rys. 34. Wymiennik ciepła 1 - cylindry 10 mm x 1mm.

Rys. 35. Wymiennik ciepła 2 - cylindry 25 mm x 1 mm.

Rys. 36. Wymiennik ciepła 3 - cylindry 40 mm x 1 mm.

Rys. 37. Wymiennik ciepła 1 - układ cylindrów

Rys. 38. Wymiennik ciepła 2 - układ cylindrów

Rys. 39. Wymiennik ciepła 3 - układ cylindrów

Rys. 40. Podpięcie termopar

Rys. 41. Rejestrator Almemo 5690-1 V5

Rys. 42. Schemat rozmieszczenia termopar (3D).

Rys. 43. Schemat rozmieszczenia termopar (bok).

Rys. 44. Schemat rozmieszczenia termopar (górze).

Rys. 45. Urządzenie do wentylacji fasadowej (widok od strony symulującej warunki środowiska wewnętrznego).

Rys. 46. Czerpnia / wyrzutnia (widok od strony symulującej warunki środowiska zewnętrznego).

Rys. 47. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych (termopar).

Rys. 48. Schemat domeny obliczeniowej w cyklu wywiewu oraz dane wejściowe podane zgodnie z nazewnictwem programu Ansys Fluent v. 22.

Rys. 49. Schemat domeny obliczeniowej w cyklu nawiewu oraz dane wejściowe podane zgodnie z nazewnictwem programu Ansys Fluent v. 22.

Rys. 50. Model wymiennika ciepła – metoda A.

Rys. 51. Wizualizacja siatkowania.

Rys. 52. Szczegół zagęszczenia siatki.

Rys. 53. Sposób zamodelowania materiału zmiennofazowego w programie Fluent.

Rys. 54. Model wymiennika ciepła – metoda B.

Rys. 55. Wizualizacja siatkowania.

Rys. 56. Szczegół zagęszczenia siatki.

Rys. 57. Wizualizacja temperatury na cylindrach w cyklu nawiewa dla (a) metody A, (b) metody B.

12. WYKAZ WYKRESÓW

Wykres 1. Przebieg zmian temperatury – olej jojoba - wymiennik 10x1mm, cykl 1 min, temp. zew. -20 °C, temp. wew. 20 °C.

Wykres 2. Przebieg zmian temperatury – olej jojoba - wymiennik 10x1mm, cykl 1 min, temp. zew. -10 °C, temp. wew. 20 °C.

Wykres 3. Przebieg zmian temperatury – olej jojoba - wymiennik 10x1mm, cykl 1 min, temp. zew. 0 °C, temp. wew. 20 °C.

Wykres 4. Sprawności urządzenia z wymiennikami o średnicy cylindrów a) 10mm, b) 25mm, c) 40mm.

Wykres 5. Badania rzeczywiste - Przebieg zmian temperatury

Wykres 6. Statystyki opisowe dla grupy wymienników.

Wykres 7. Statystyki opisowe dla grupy długości cyklu.

Wykres 8. Statystyki opisowe dla grupy rodzaju substancji.

Wykres 9. Statystyki opisowe dla grupy temperatur zewnętrznych.

Wykres 10. Wykres ciepła właściwego materiału zmiennofazowego.

Wykres 11. Przebieg średniej temperatury z punktów M4. M5. M6 dla metod A i B.

Wykres 12. Sprawność wymiennika dla metod A i B.

13. WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW

Załącznik 1 – Wyniki badań DSC olejów kokosowego i jojoba oraz wody.

Załącznik 2 – Dane techniczne rejestrator Almemo 5690-1 V5.

Załącznik 3 - Zestawienie przebiegów zmian temperatur.

Załącznik 4 - Zestawienie danych z badań laboratoryjnych.

Załącznik 1 - Wyniki badań DSC olejów kokosowego i jojoba oraz wody

1. Olej kokosowy

W tabeli 1 przedstawiono oznaczenia ciepła właściwego, ciepła topnienia, ciepła krzepnięcia, temperatury topnienia, temperatury krzepnięcia oraz pojemności cieplnej dla oleju kokosowego.

Ciepło topnienia, ciepło krzepnięcia, temperatura topnienia i temperatura krzepnięcia oznaczane były w zakresie temperatury od -50°C do 50°C , przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Ciepło właściwe i pojemność cieplna oznaczane były w zakresie temperatury od -25°C do 30°C , przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $27,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Tabela 1. Ciepło właściwe, ciepło topnienia, ciepło krzepnięcia, temperatura topnienia, temperatura krzepnięcia oraz pojemność cieplna dla oleju kokosowego

Właściwość	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Wartość średnia
Ciepło właściwe, $\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$	1,58	1,77	1,63	1,59	1,71	1,67
Ciepło topnienia, J/g	103,10	102,00	104,00	102,80	103,21	103,02
Ciepło krzepnięcia, J/g	86,93	86,90	86,02	87,01	86,52	86,68
Temperatura topnienia, $^{\circ}\text{C}$	25,1	25,4	24,6	24,8	24,9	25,0
Temperatura krzepnięcia, $^{\circ}\text{C}$	-1,3	-1,7	-1,5	-1,6	-1,7	-1,6
Pojemność cieplna, J/K	0,0151	0,0163	0,0154	0,0153	0,0161	0,0156

2. Olej jojoba

W tabeli 2 przedstawiono oznaczenia ciepła właściwego, ciepła topnienia, ciepła krzepnięcia, temperatury topnienia, temperatury krzepnięcia oraz pojemności cieplnej dla oleju jojoba.

Ciepło topnienia, ciepło krzepnięcia, temperatura topnienia i temperatura krzepnięcia oznaczane były w zakresie temperatury od -50°C do 50°C , przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Ciepło właściwe i pojemność cieplna oznaczane były w zakresie temperatury od -25°C do 30°C , przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $27,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Tabela 2. Ciepło właściwe, ciepło topnienia, ciepło krzepnięcia, temperatura topnienia, temperatura krzepnięcia oraz pojemność cieplna dla oleju jojoba

Właściwość	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Wartość średnia
Ciepło właściwe, $\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$	10,39	11,21	10,82	11,05	10,56	10,81
Ciepło topnienia, J/g	133,0	128,1	132,6	129,9	131,2	130,7
Ciepło krzepnięcia, J/g	133,9	132,8	130,6	132,4	133,1	132,6
Temperatura topnienia, $^{\circ}\text{C}$	15,0	14,5	14,8	14,5	14,9	14,7
Temperatura krzepnięcia, $^{\circ}\text{C}$	0,4	0,8	0,4	0,7	0,6	0,6
Pojemność cieplna, J/K	0,0996	0,1153	0,0969	0,1074	0,1036	0,1046

3. Woda destylowana

W tabeli 3 przedstawiono oznaczenia ciepła właściwego, ciepła topnienia, ciepła krzepnięcia, temperatury topnienia, temperatury krzepnięcia oraz pojemności cieplnej dla wody destylowanej.

Ciepło topnienia, ciepło krzepnięcia, temperatura topnienia i temperatura krzepnięcia oznaczane były w zakresie temperatury od -50°C do 50°C , przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Ciepło właściwe i pojemność cieplna oznaczane były w zakresie temperatury od -25°C do 30°C , przy szybkości ogrzewania i chłodzenia $27,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Tabela 3. Ciepło właściwe, ciepło topnienia, ciepło krzepnięcia, temperatura topnienia, temperatura krzepnięcia oraz pojemność cieplna dla wody destylowanej

Właściwość	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Wartość średnia
Ciepło właściwe, $\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$	19,642	20,319	19,318	20,202	19,903	19,877
Ciepło topnienia, J/g	331,5	329,6	330,8	331,2	328,9	330,4
Ciepło krzepnięcia, J/g	258,6	253,9	257,8	259,1	257,2	258,9
Temperatura topnienia, $^{\circ}\text{C}$	0,3	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3
Temperatura krzepnięcia, $^{\circ}\text{C}$	-0,9	-0,8	-0,8	-1,1	-0,8	-0,9
Pojemność cieplna, J/K	0,273	0,256	0,253	0,287	0,229	0,260

Załącznik 2 – Dane techniczne rejestrator Almemo 5690-1 V5

Measuring inputs :

Master meas. circuit board MM-A9: 9 ALMEMO® sockets, suitable for ALMEMO® flat connectors
Measuring channels: 9 primary channels, electrically isolated, maximum 31 additional channels for double sensors and function channels
A/D converter : Delta - sigma, 24-bit, 2.5 / 10 / 50 / 100 measuring operations
per second, adjustable 1 to 100
Sensor power supply : 200 mA

Selector switch board U-A10: 10 ALMEMO® sockets, suitable for ALMEMO® flat connectors
10 channels, electrically isolated, 30 additional channels with sensor power supply, 2 slots

Selector switch board U-MU: 10 inputs, electrically isolated, via 10x MU connector without sensor power supply, 30 additional channels, 1 slot

Selector switch board U-TH: 10 inputs, electrically isolated, via miniature thermocouples without sensor power supply, 30 additional channels, 1 or 2 slots
If arranged in series one dummy panel must be inserted, 4 DU

Selector switch board U-KS: 10 inputs, electrically isolated, via 2 clamp connectors without sensor power supply, 30 additional channels, 1 slot

Option KSUI: 10 inputs, A - C, with divider 100/1
Accuracy 0.1 % (22 °C), drift 0.003 % / K
10 inputs, A - B, with shunt, 2 ohms
Accuracy 0.1 % (22 °C), drift 0.005 % / K

Outputs : 2 ALMEMO® sockets for all output modules
Alarm signal transmitter, internal

Standard equipment :

Operation : 1 key (On / Off, Start / Stop)
Date and time-of-day : Real-time clock, buffered with lithium battery
Memory (option S) : 512-KB EEPROM (64,000 to 100,000 measured values)
Cannot be used at 100 measuring operations per second.

Microprocessor : M16C62P

Power supply : external 10 to 13 VDC

Mains adapter : ZA 1212-NAX, 230 VAC to 12 VDC, 2.5 A

Rechargeable battery in module AP : 8 NiMH cells, AA, 9 to 11.5 V, 1600 mAh

Current consumption

Active mode approx. 25 mA (without input and output modules)

Sleep mode approx. 0.05 mA

Selector switch boards approx. 5 mA

Housing

19-inch desktop housing, 12 DU

WxHxD 78 x 145 x 218 mm, polystyrene

19-inch desktop housing, 32 DU

WxHxD 179 x 158 x 232 mm, polystyrene shielded

19-inch desktop housing, 84 DU

WxHxD 444 x 158 x 232 mm, polystyrene shielded

19" sub-rack, 84 DU

WxHxD 483 x 132 x 273 mm

Suitable conditions

Operating temperature -10 to +50 °C (storage temperature -20 to +60 °C)

Ambient relative humidity 10 to 90 % rH (non-condensing)

Załącznik 3 – Zestawienie przebiegów zmian temperatur

Spis wykresów:

Wykres 1 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 2 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 3 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 4 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 5 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 6 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 7 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 8 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 9 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 10 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 11 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 12 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 13 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 14 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 15 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 16 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 17 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 18 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 19 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 20 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 21 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 22 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 23 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 24 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 25 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 26 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 27 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 28 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 29 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 30 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 31 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 32 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 33 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 34 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 35 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 36 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 37 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 38 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 39 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 40 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 41 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 42 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 43 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 44 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 45 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 46 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 47 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 48 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 49 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 50 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 51 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 52 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 53 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 54 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 55 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 56 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 57 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 58 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 59 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 60 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 61 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 62 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 63 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 64 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 65 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 66 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 67 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 68 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 69 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 70 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 71 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 72 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 73 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 74 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 75 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 76 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 77 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 78 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 79 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 80 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 81 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 82 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 83 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 84 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 85 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 86 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 87 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 88 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 89 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 90 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 91 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 92 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 93 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 94 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 95 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 96 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 97 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 98 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 99 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 100 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 101 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 102 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 103 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 104 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 105 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 106 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 107 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 108 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 109 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 110 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 111 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 112 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 113 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 114 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 115 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 116 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 117 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 118 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 119 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 120 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 121 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 122 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 123 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 124 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 125 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 126 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 127 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 128 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 129 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 130 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 131 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 132 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 133 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 134 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 135 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 136 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 137 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 138 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 139 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 140 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

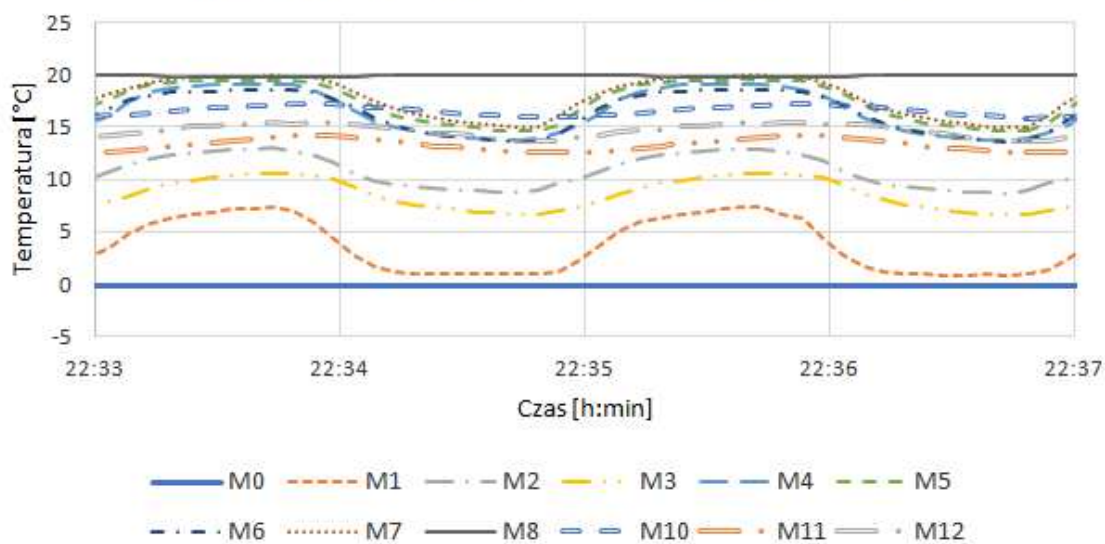
Wykres 141 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 142 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

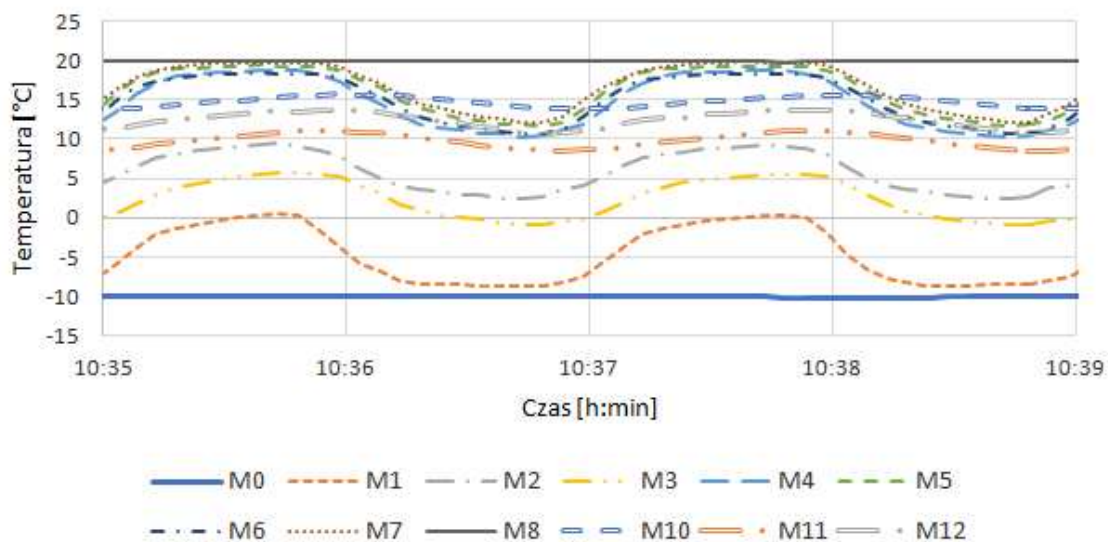
Wykres 143 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Wykres 144 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

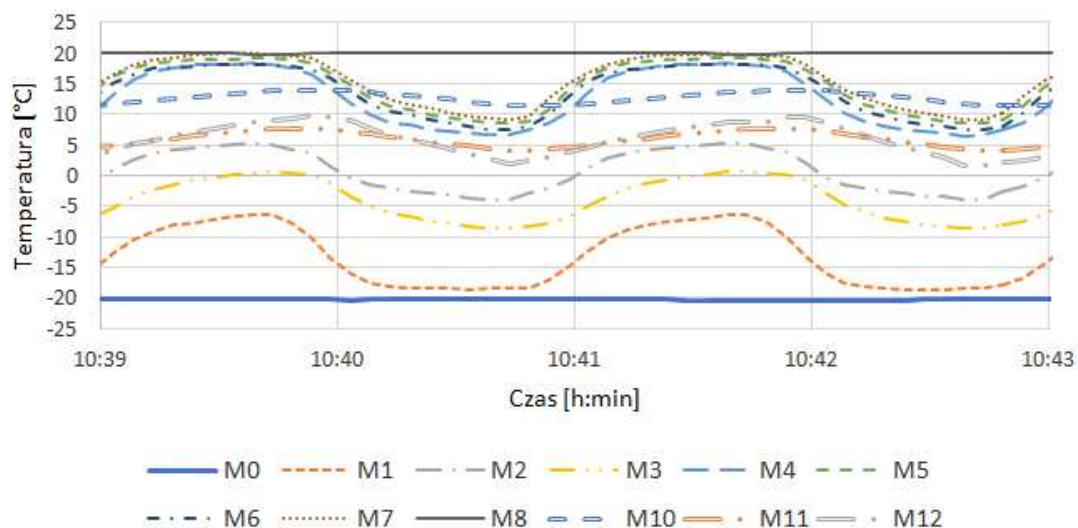
Wykres 1 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



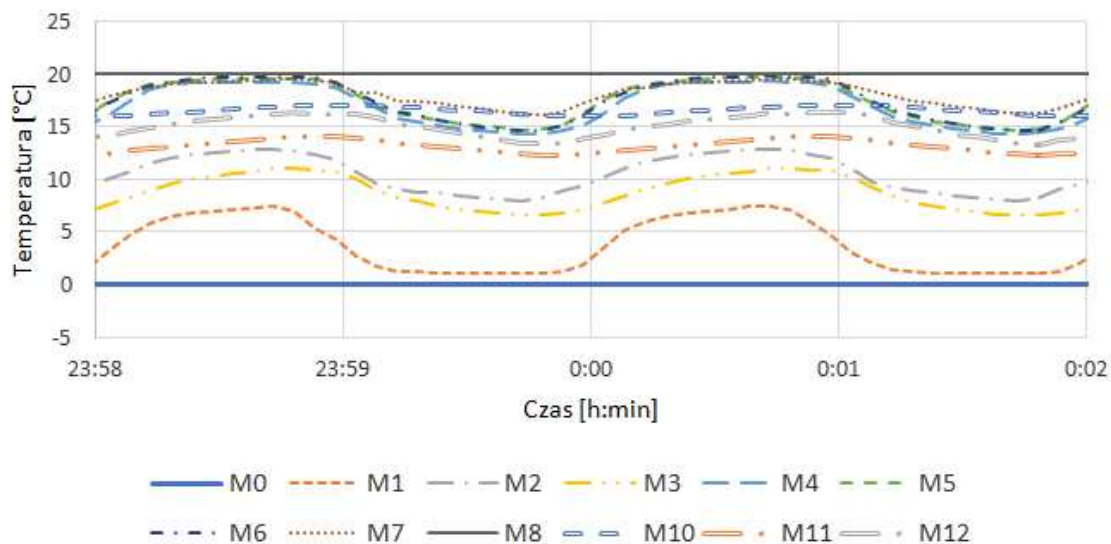
Wykres 2 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



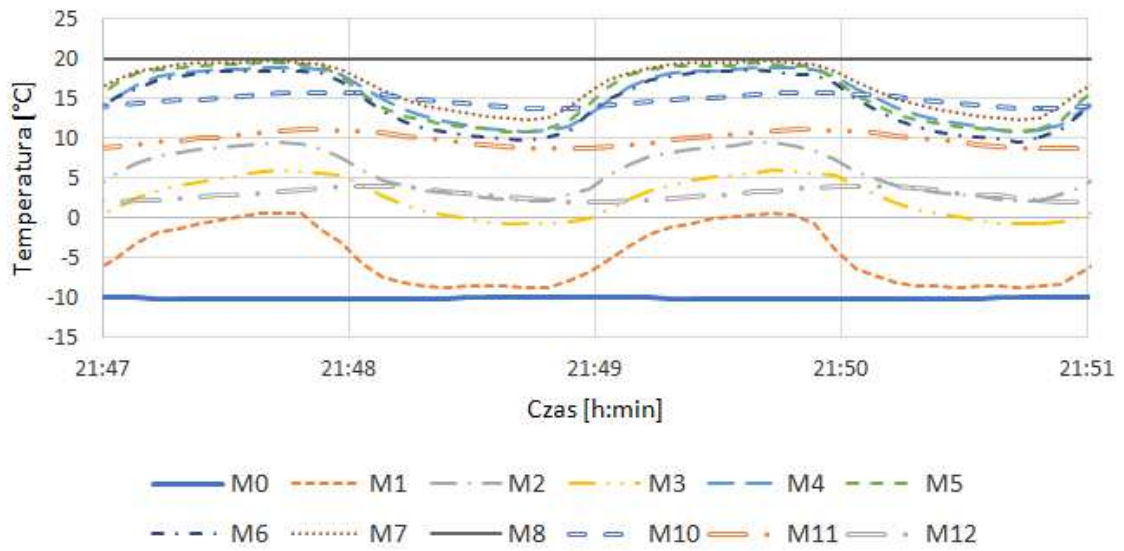
Wykres 3 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



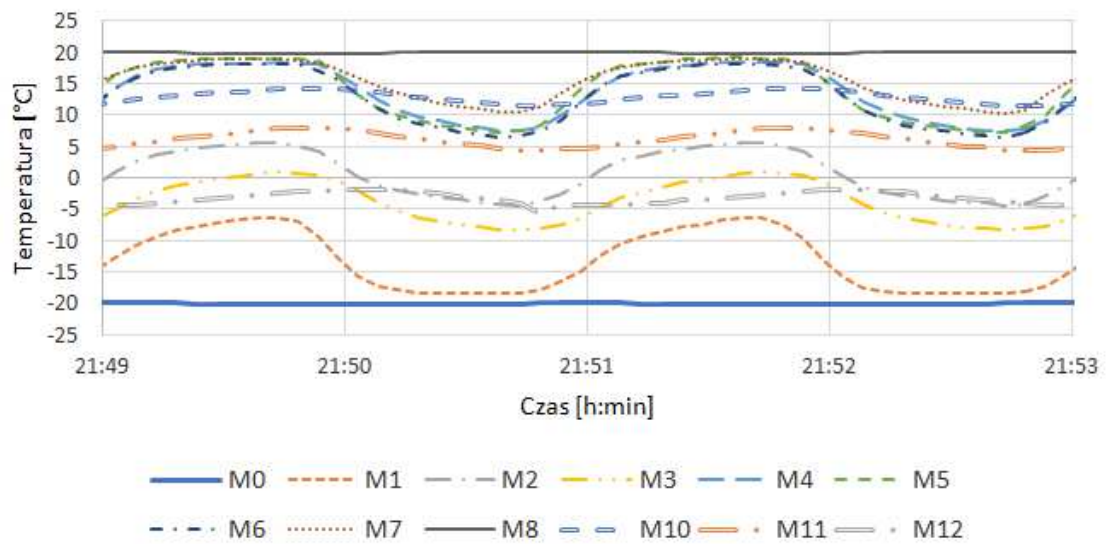
Wykres 4 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



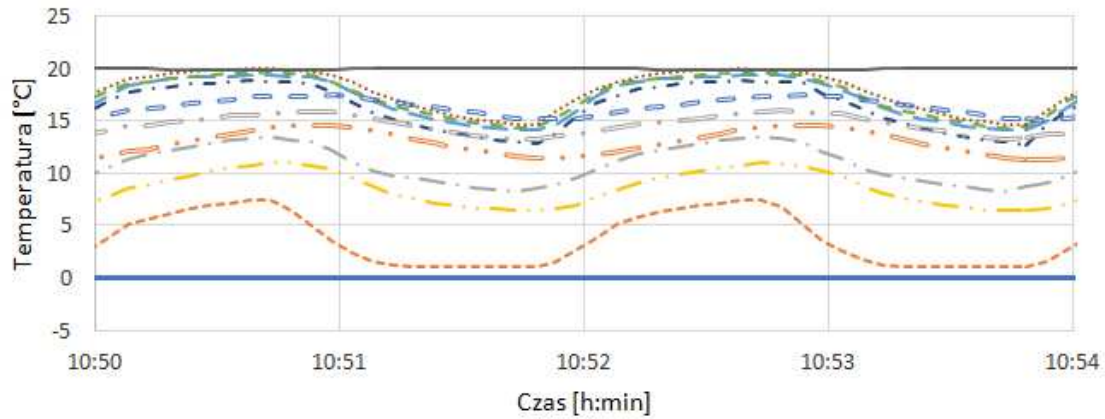
Wykres 5 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 6 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

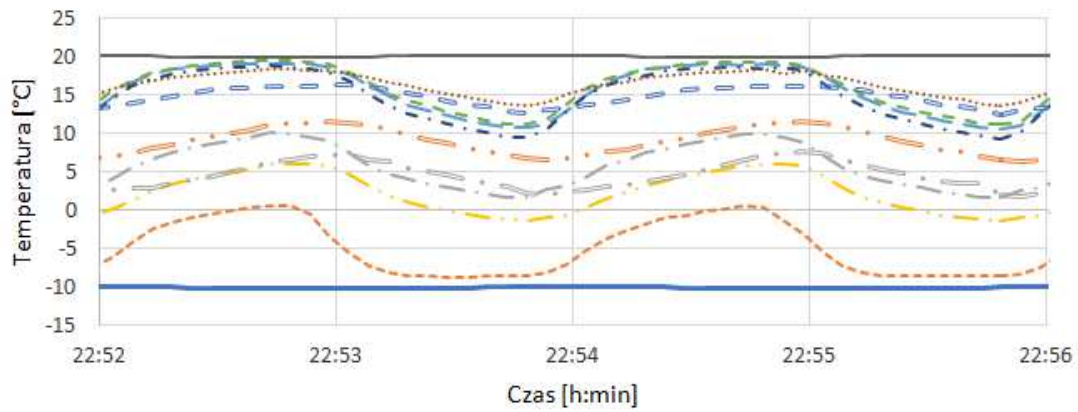


Wykres 7 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



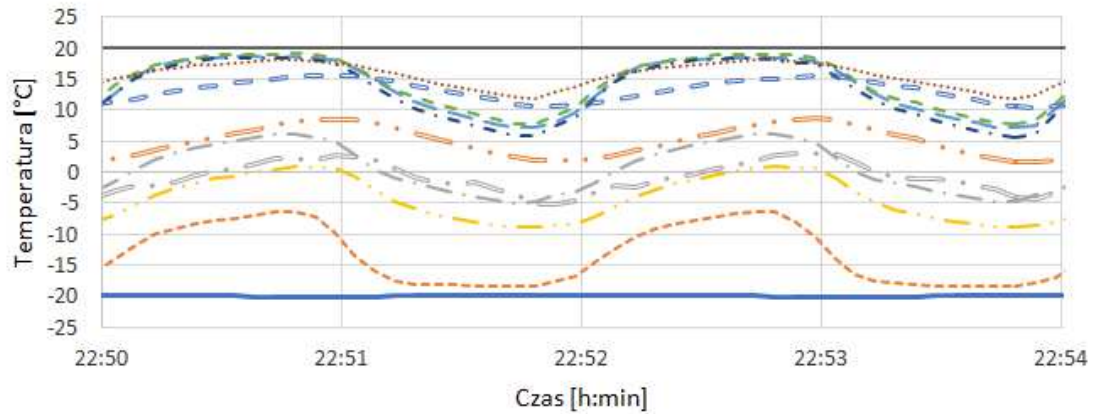
— M0 - - - M1 - · - M2 · · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 8 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



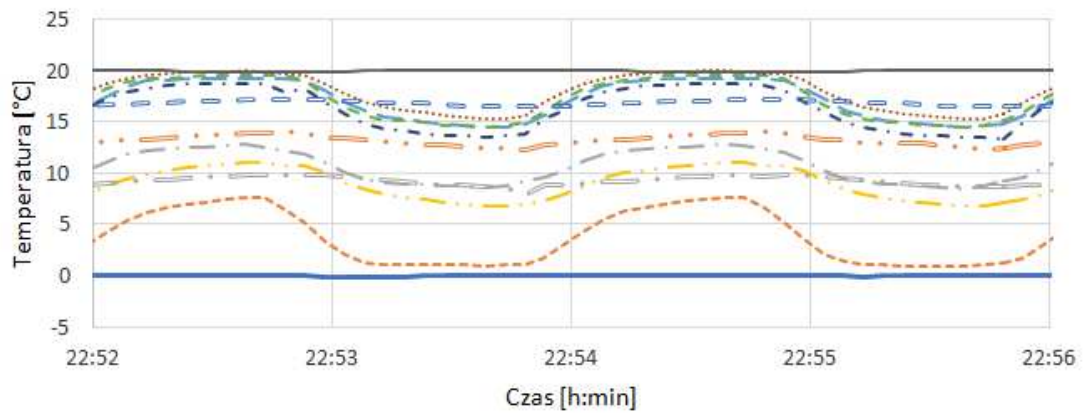
— M0 - - - M1 - · - M2 · · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 9 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



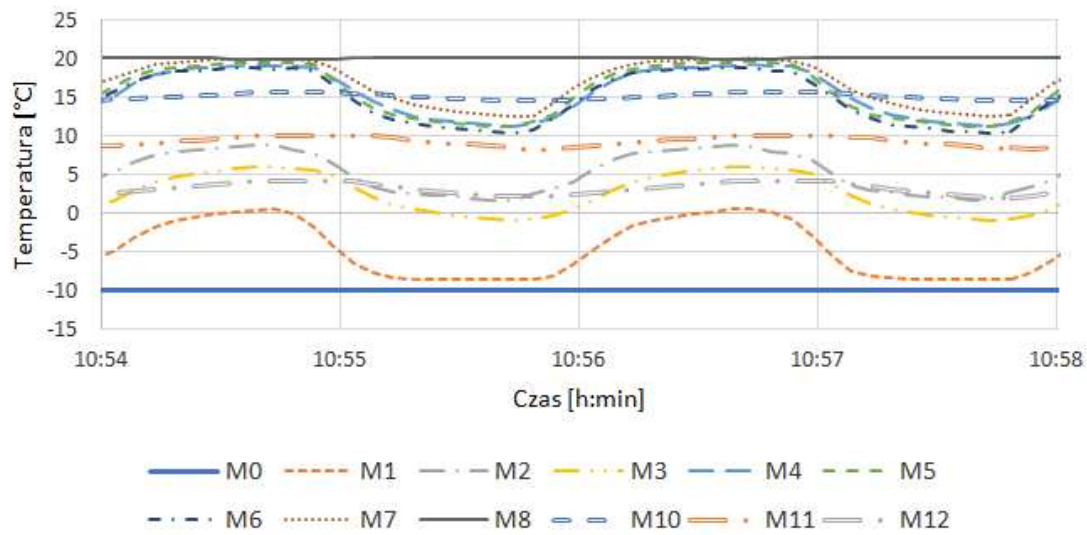
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
- · - M6 ····· M7 — M8 - · - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 10 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

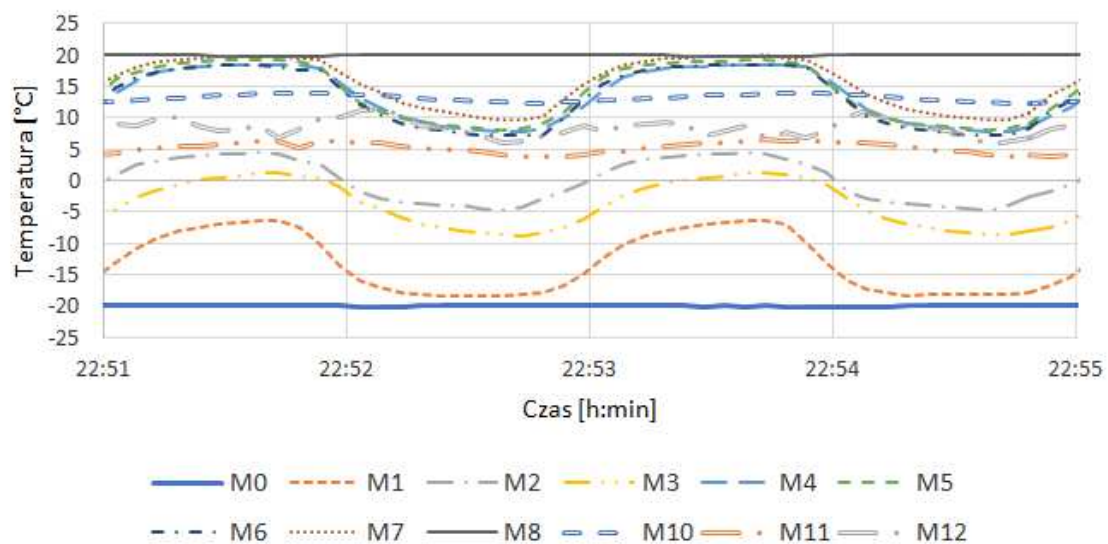


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
- · - M6 ····· M7 — M8 - · - M10 - · - M11 - · - M12

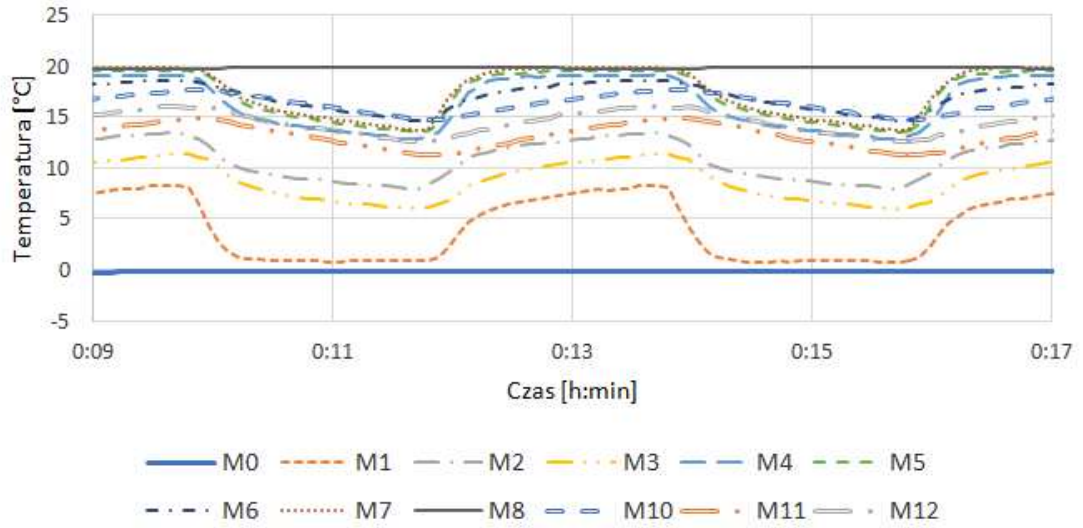
Wykres 11 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



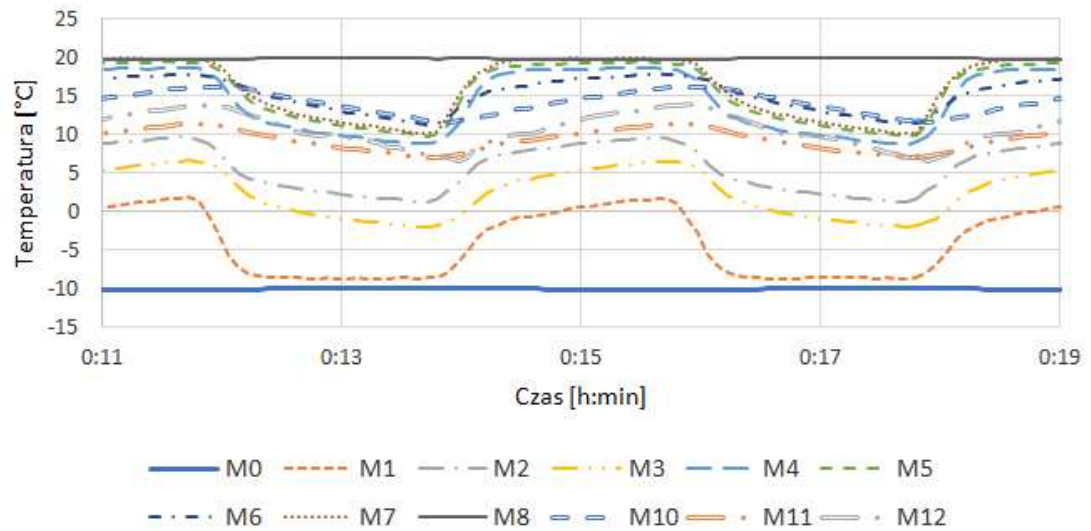
Wykres 12 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



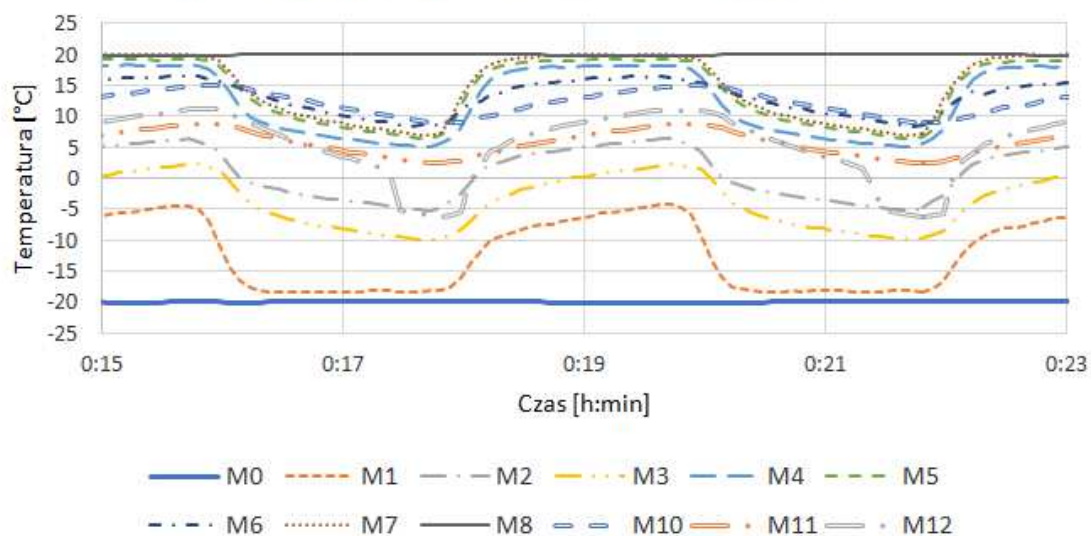
Wykres 13 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



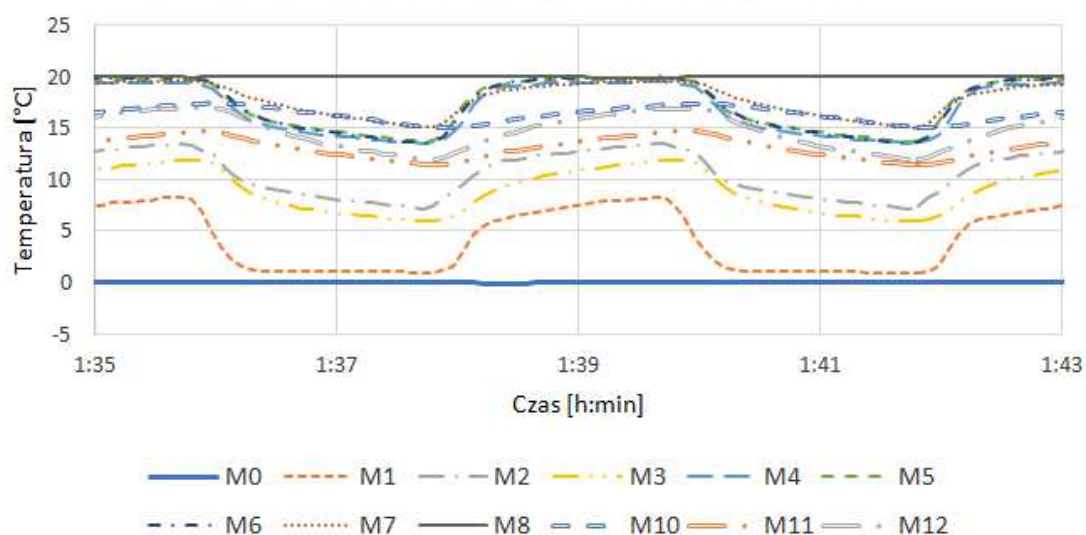
Wykres 14 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



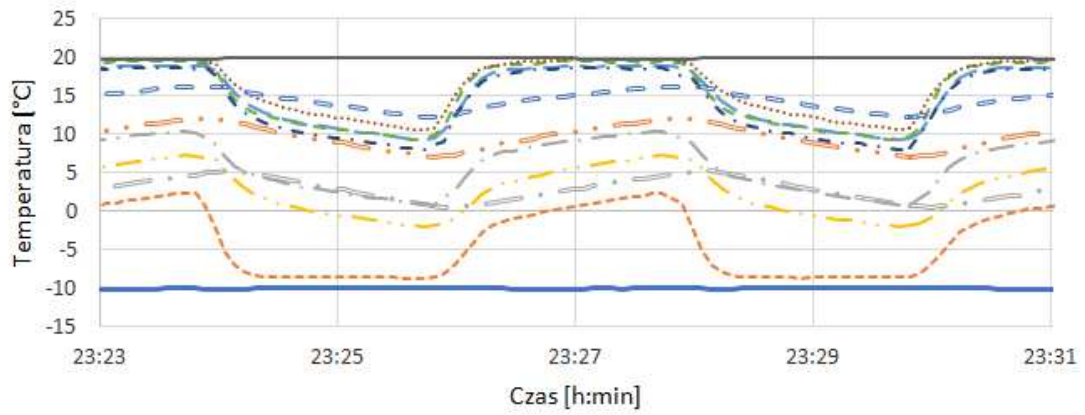
Wykres 15 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 16 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

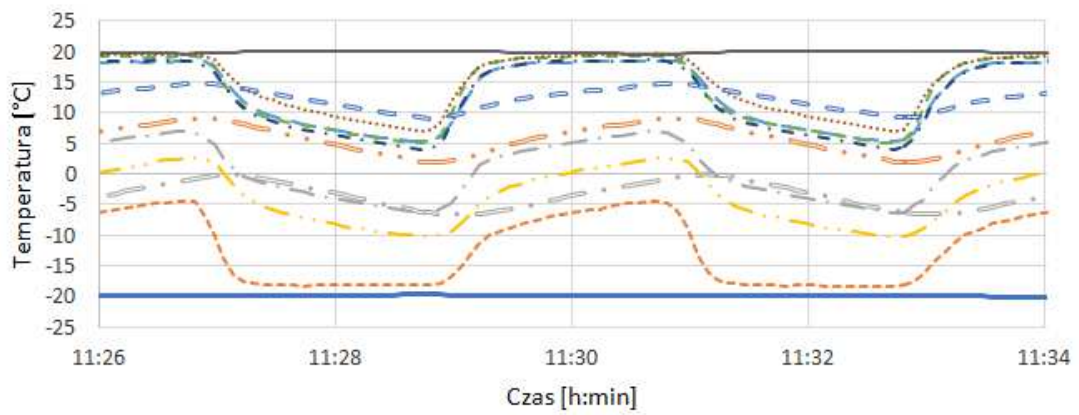


Wykres 17 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



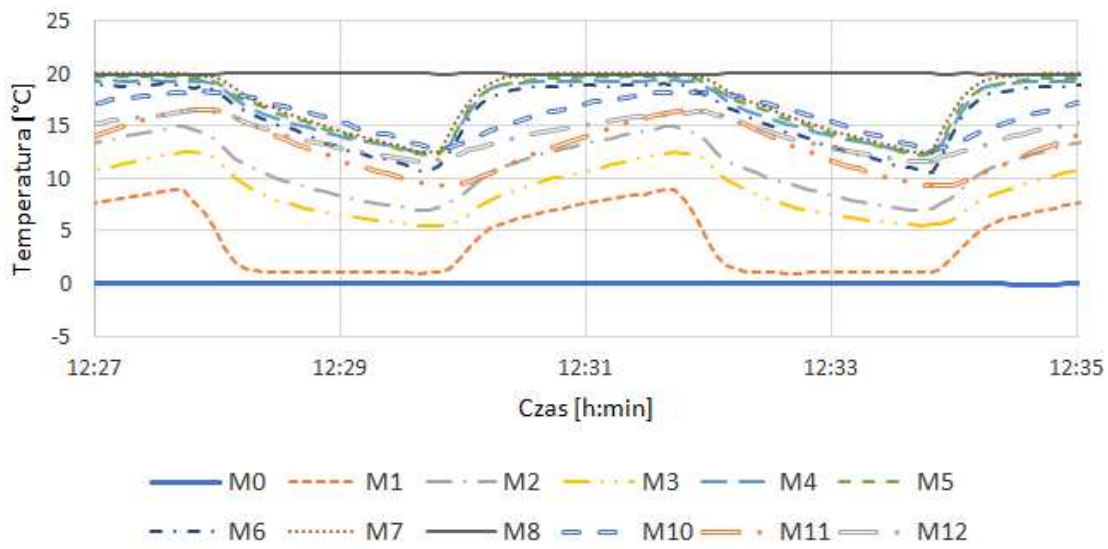
— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · · M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

Wykres 18 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

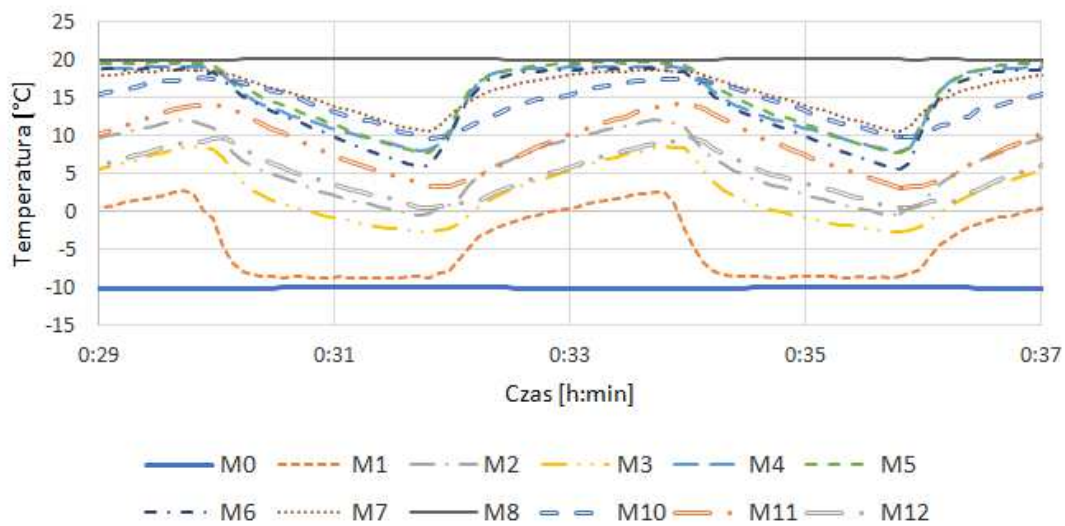


— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · · M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

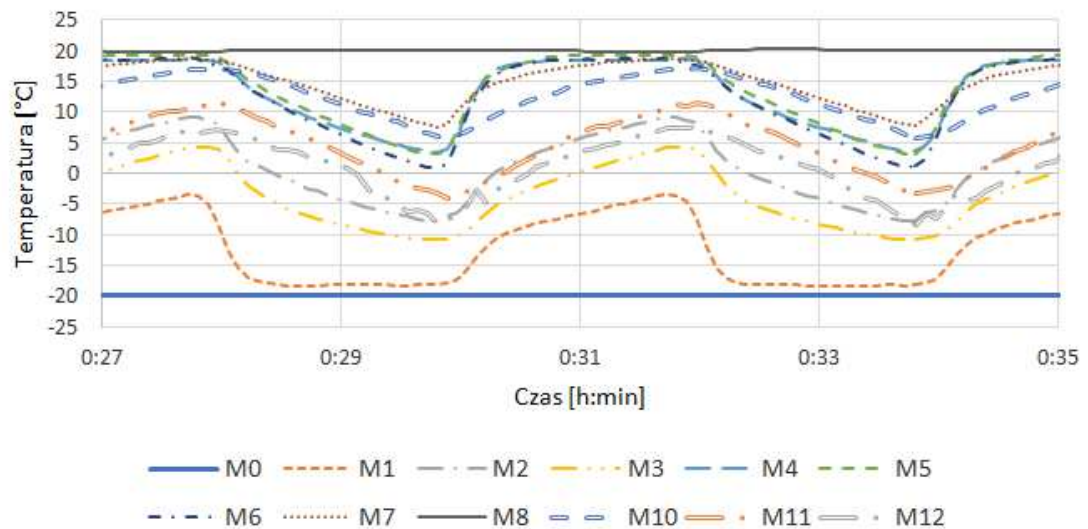
Wykres 19 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



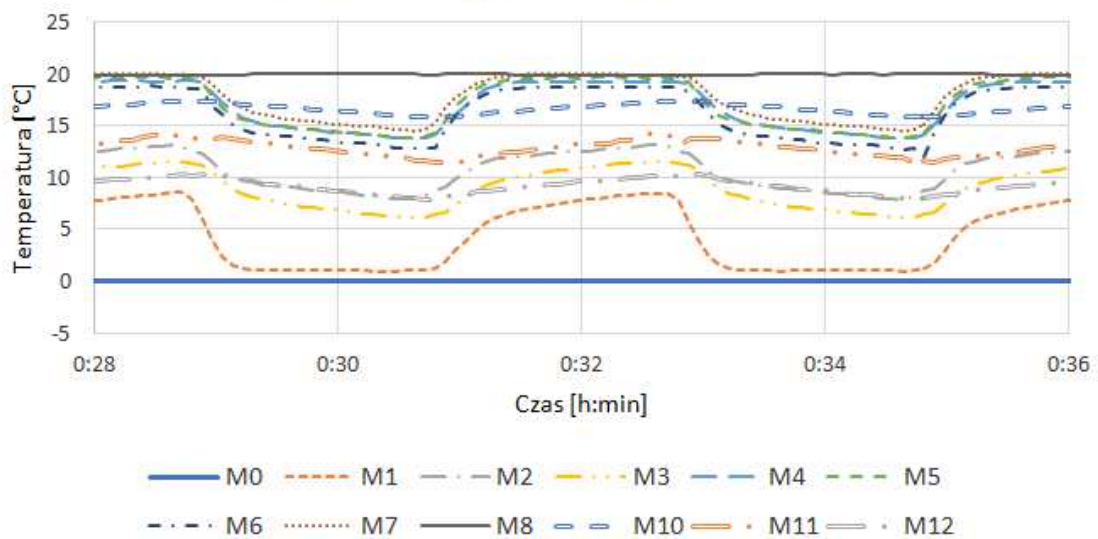
Wykres 20 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



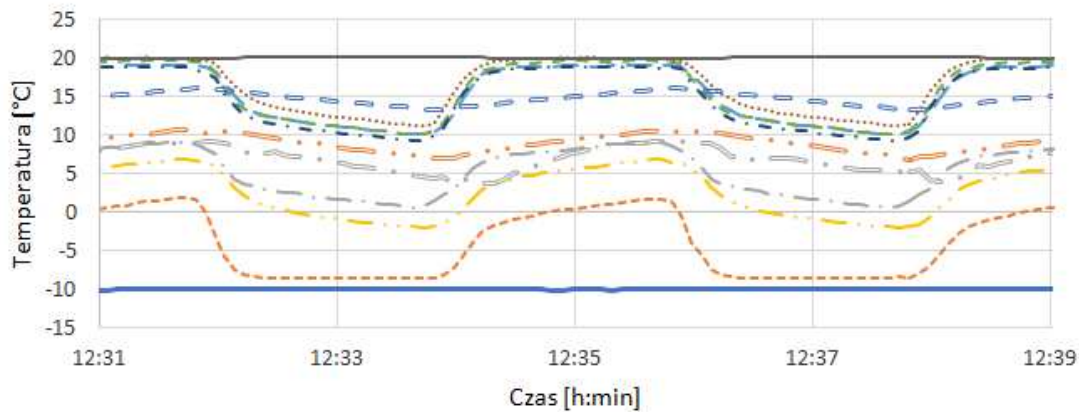
Wykres 21 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 22 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

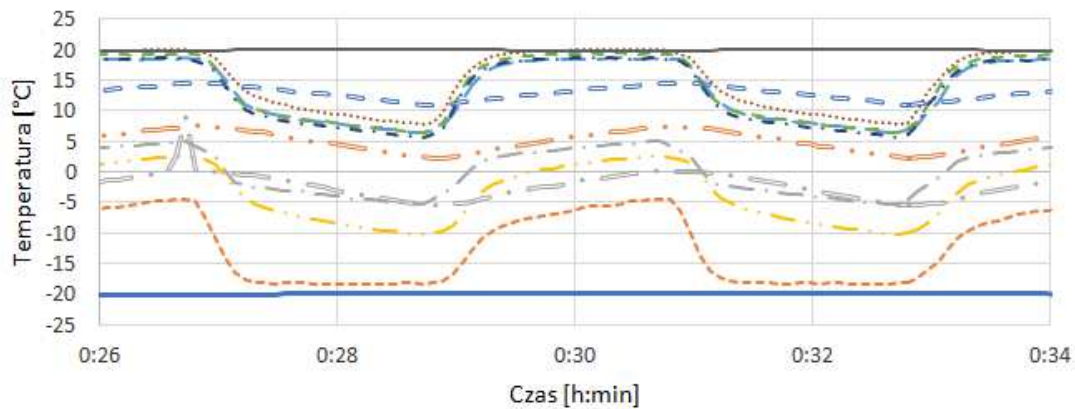


Wykres 23 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



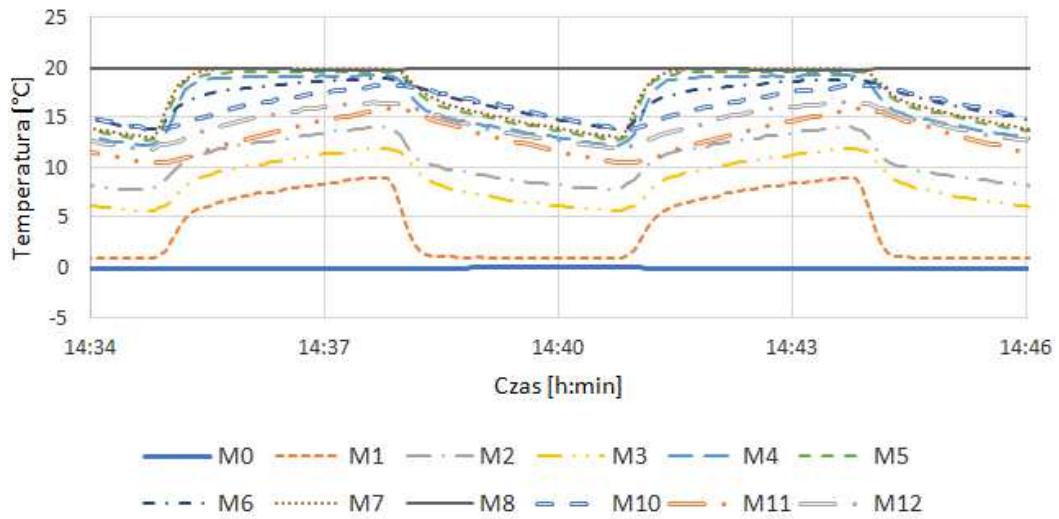
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
- · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 24 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

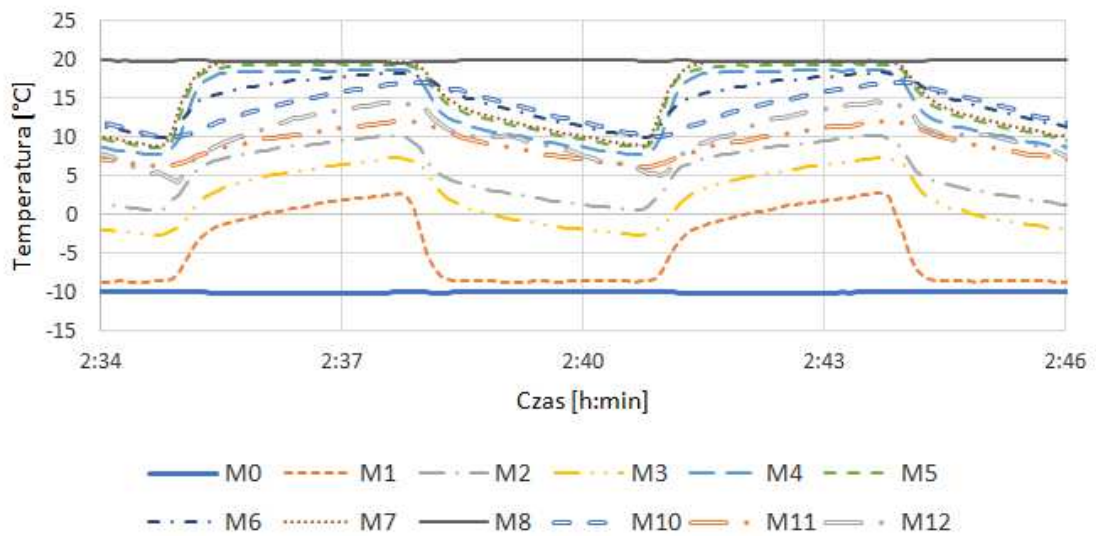


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
- · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

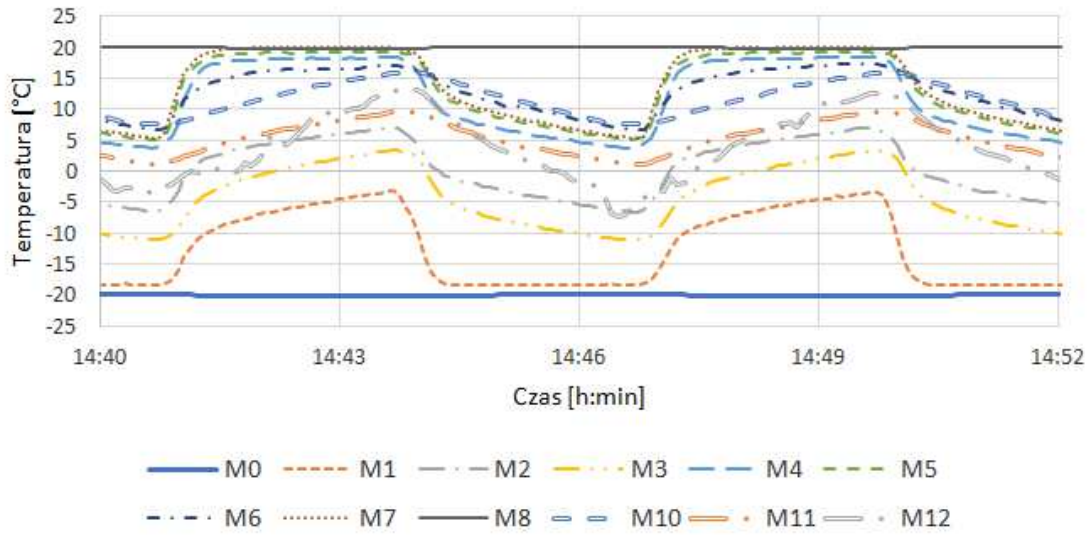
Wykres 25 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



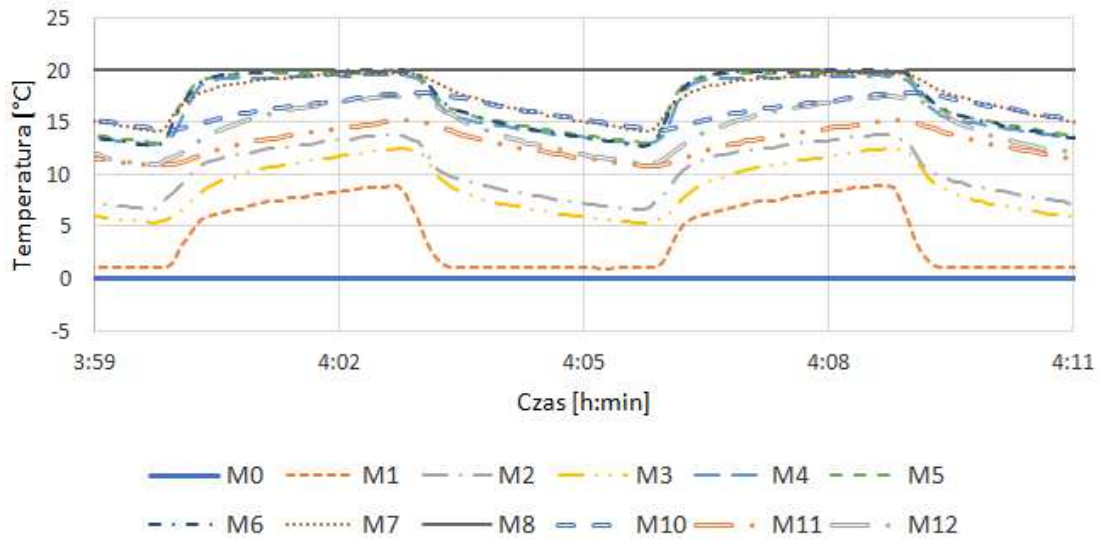
Wykres 26 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



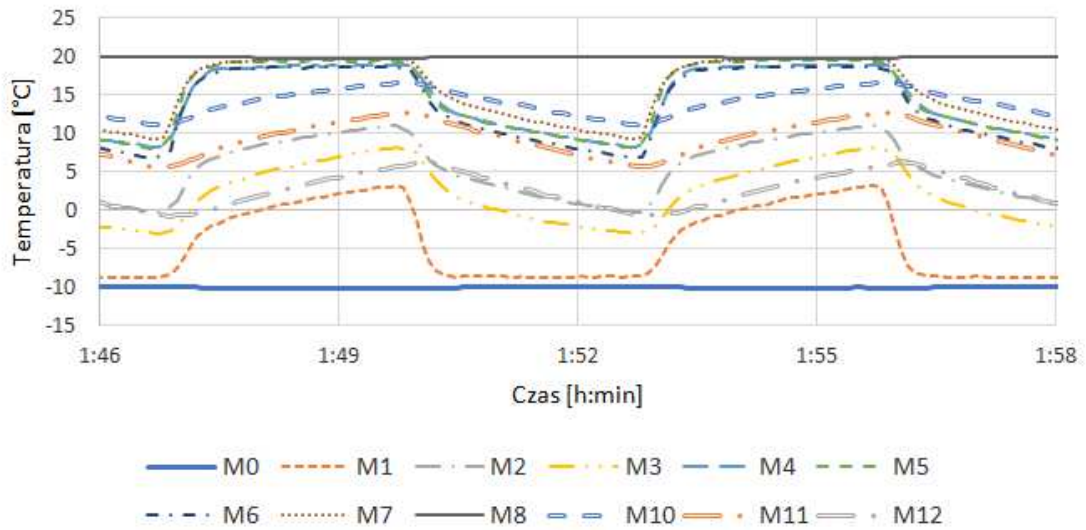
Wykres 27 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



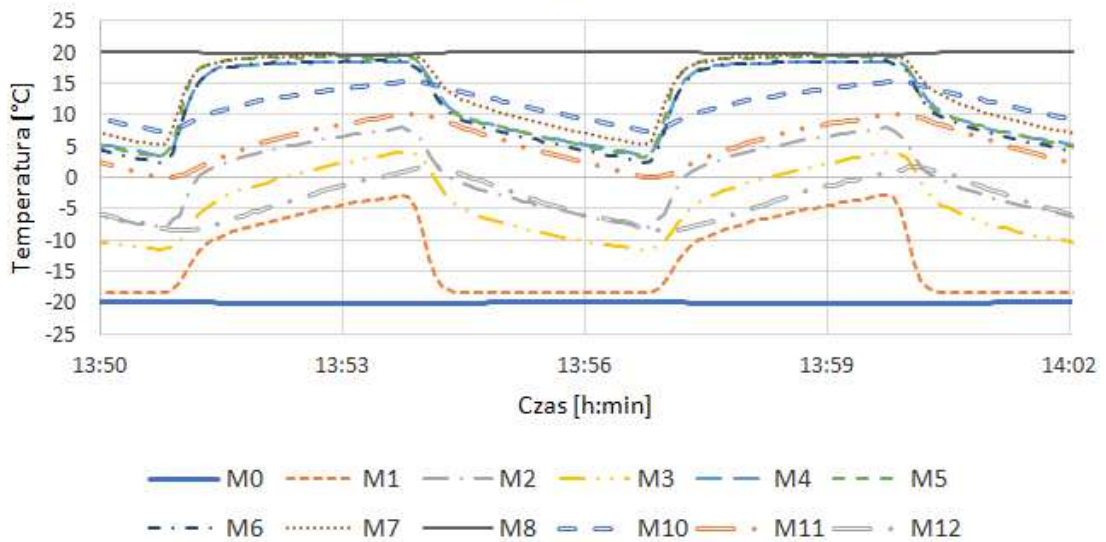
Wykres 28 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



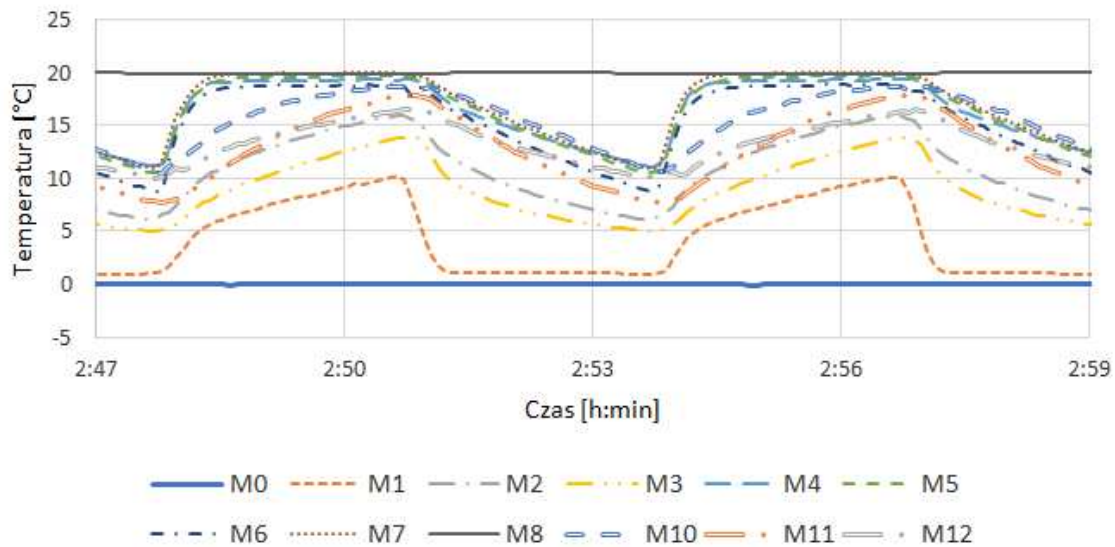
Wykres 29 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



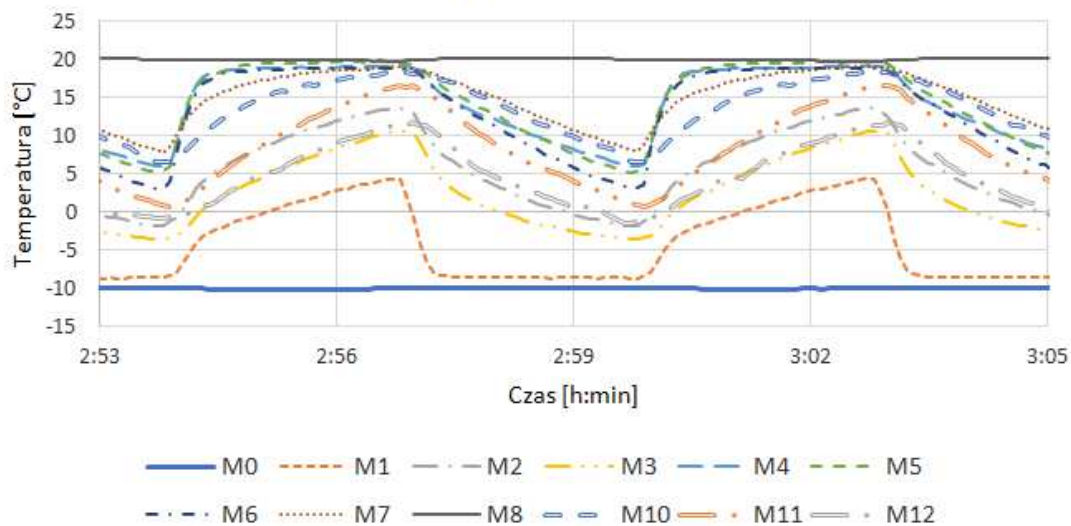
Wykres 30 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



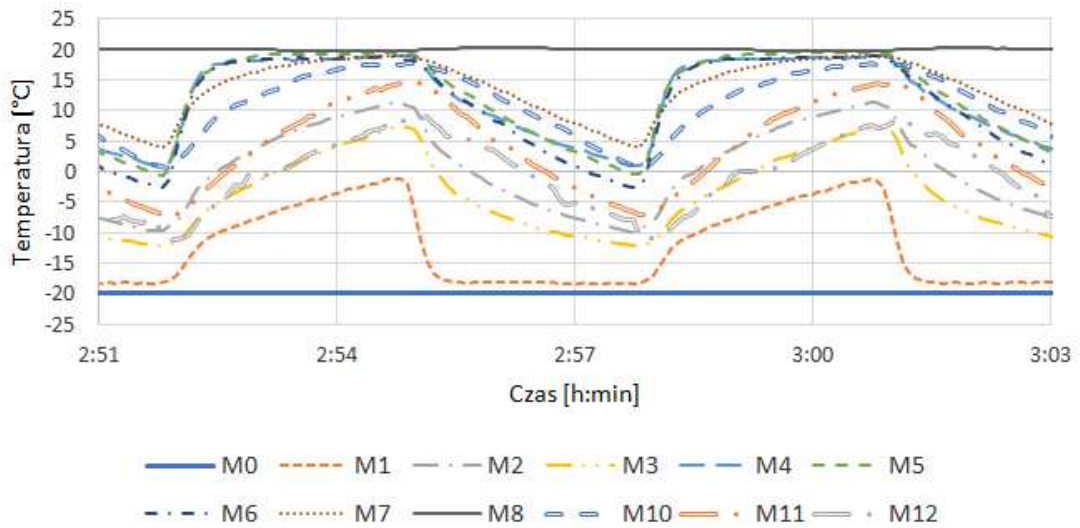
Wykres 31 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



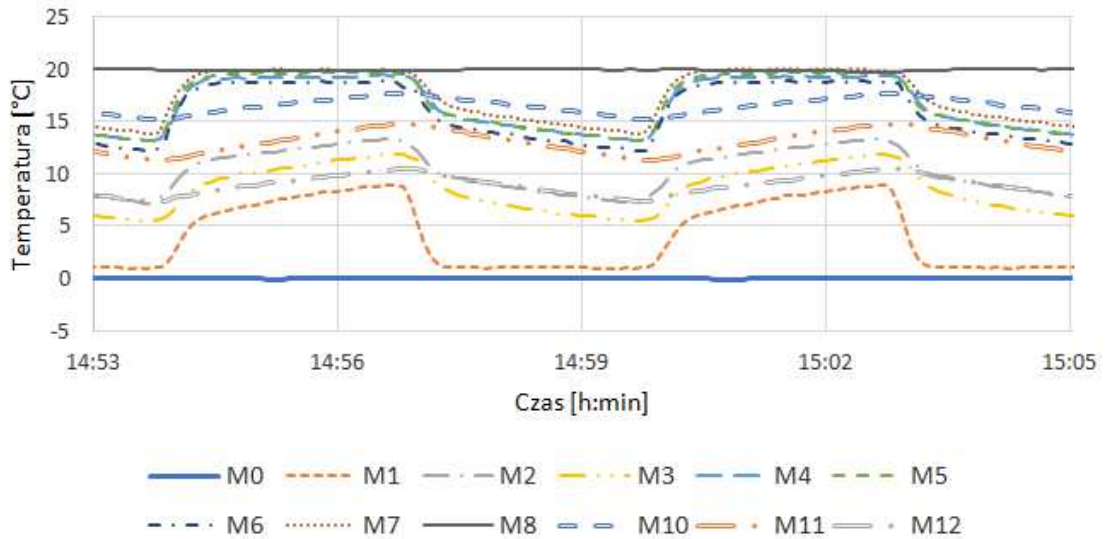
Wykres 32 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



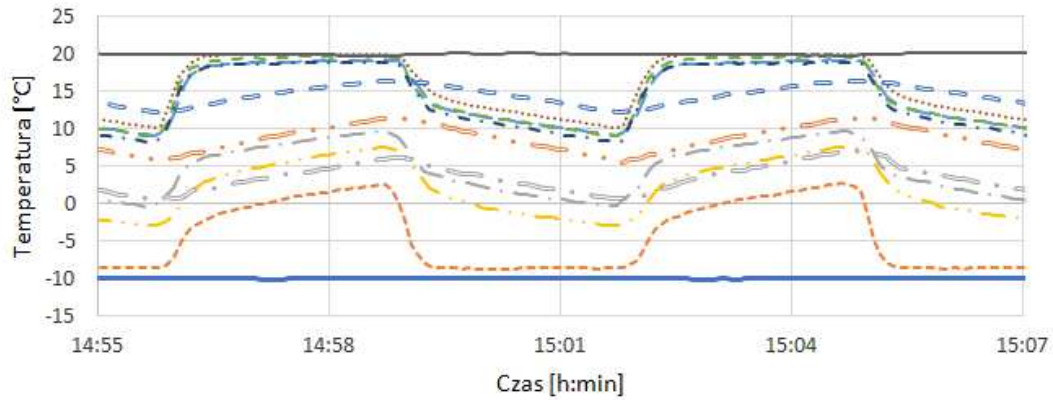
Wykres 33 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 34 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

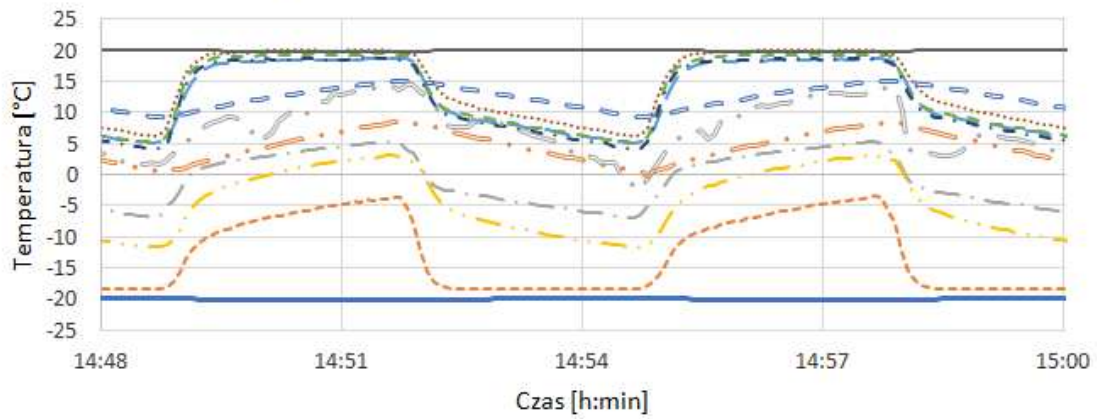


Wykres 35 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



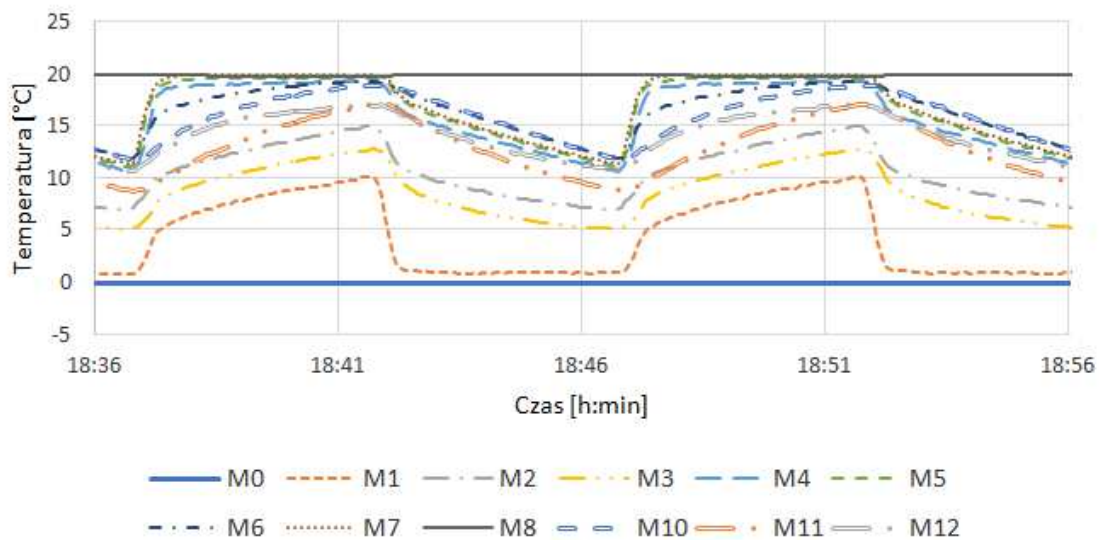
— M0 - - - M1 - · - · M2 - · - · M3 - - - M4 - - - M5
- · - · M6 · · · · · M7 — M8 - - - M10 · · · · · M11 - · - · M12

Wykres 36 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

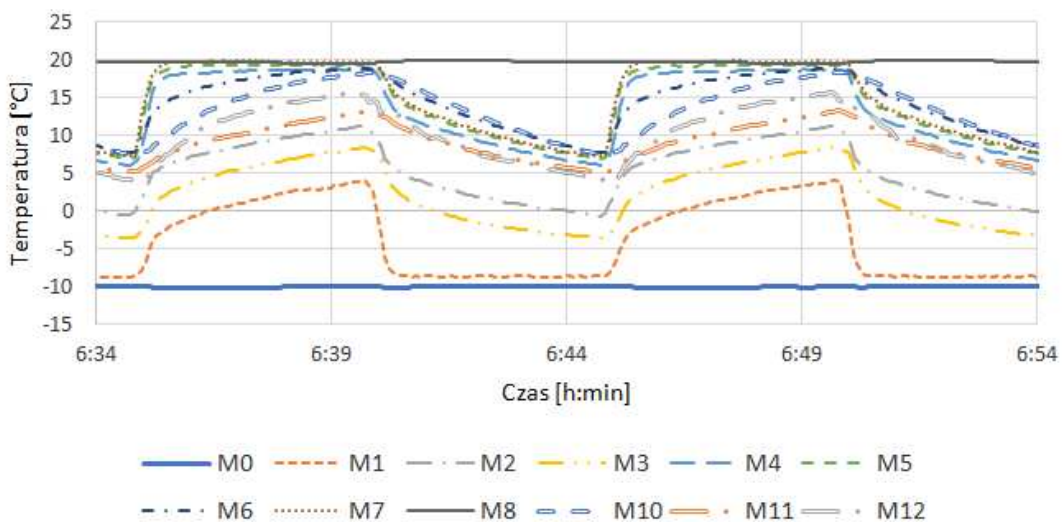


— M0 - - - M1 - · - · M2 - · - · M3 - - - M4 - - - M5
- · - · M6 · · · · · M7 — M8 - - - M10 · · · · · M11 - · - · M12

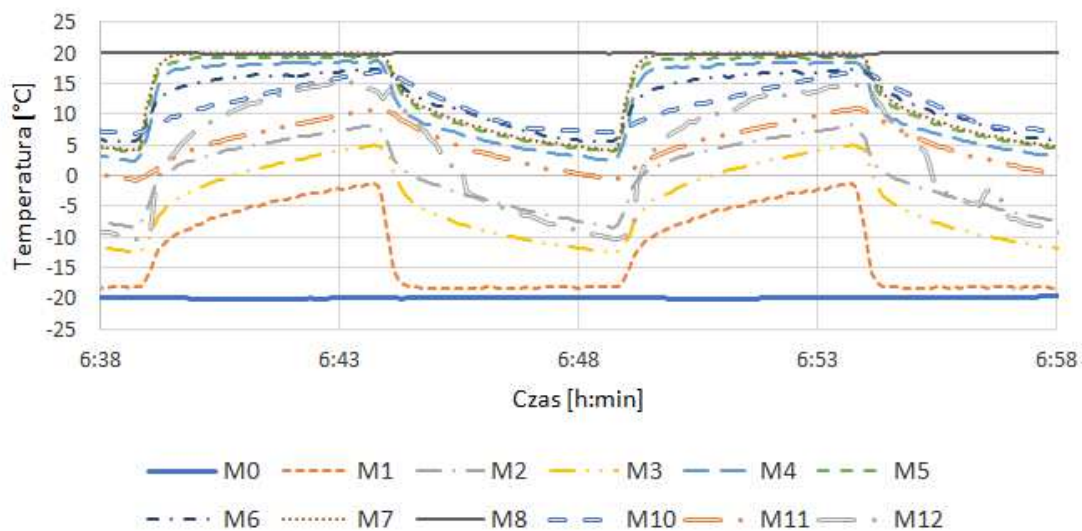
Wykres 37 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



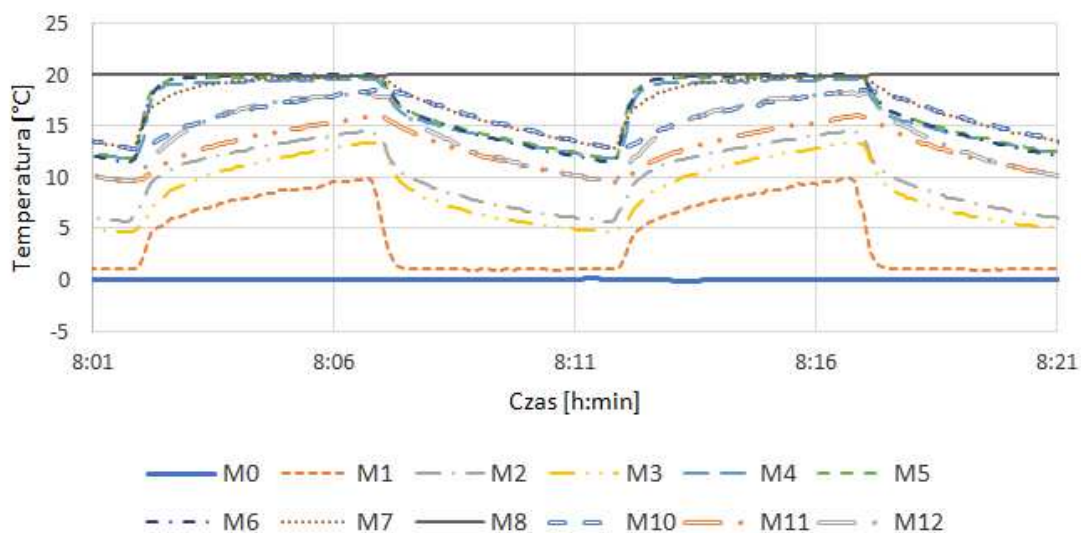
Wykres 38 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



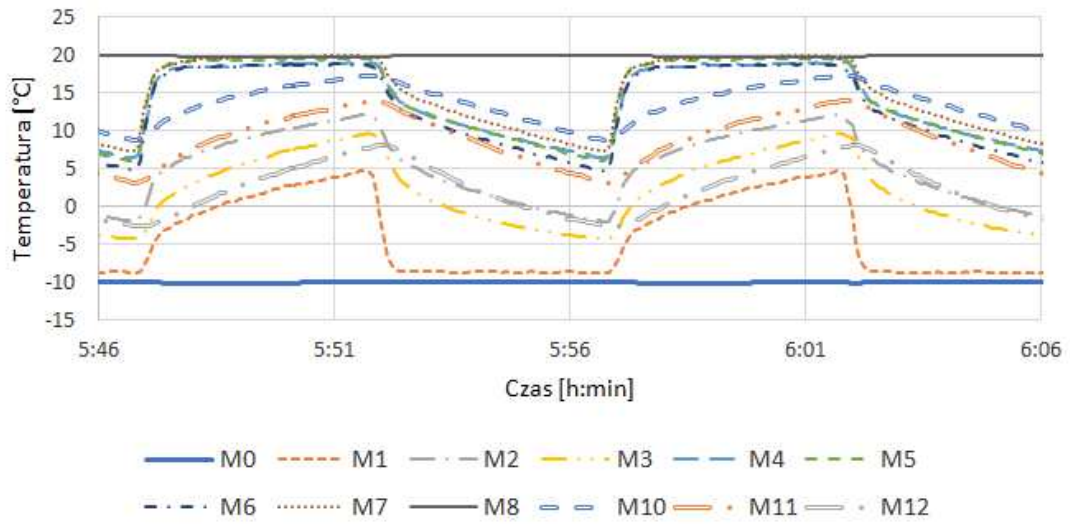
Wykres 39 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



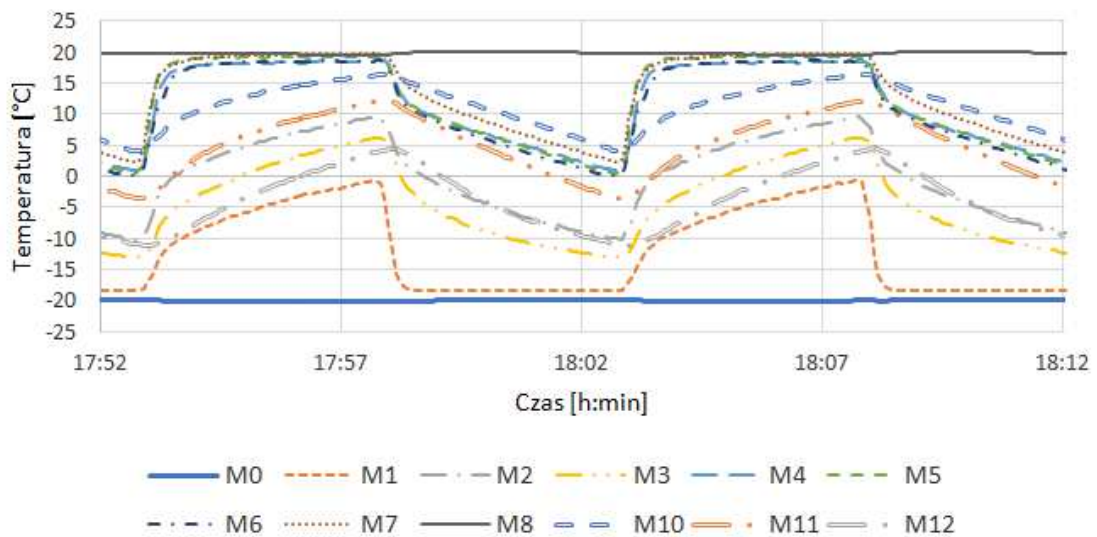
Wykres 40 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



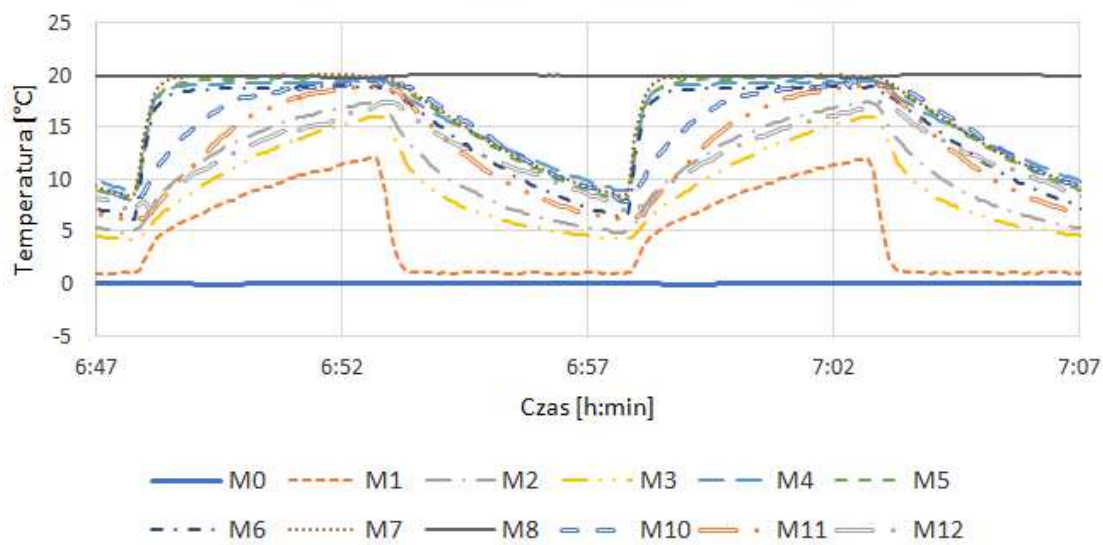
Wykres 41 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



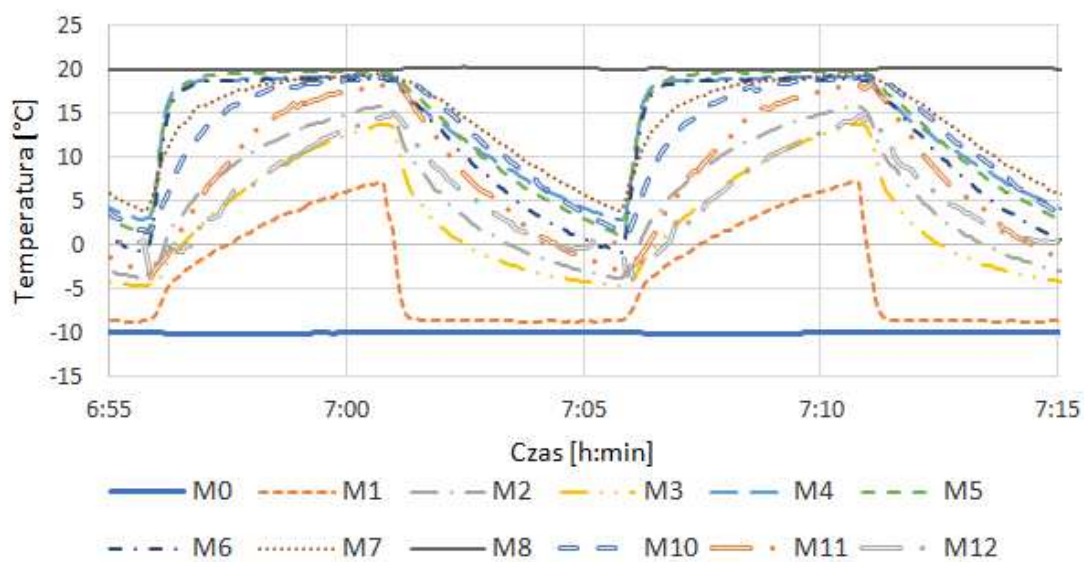
Wykres 42 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



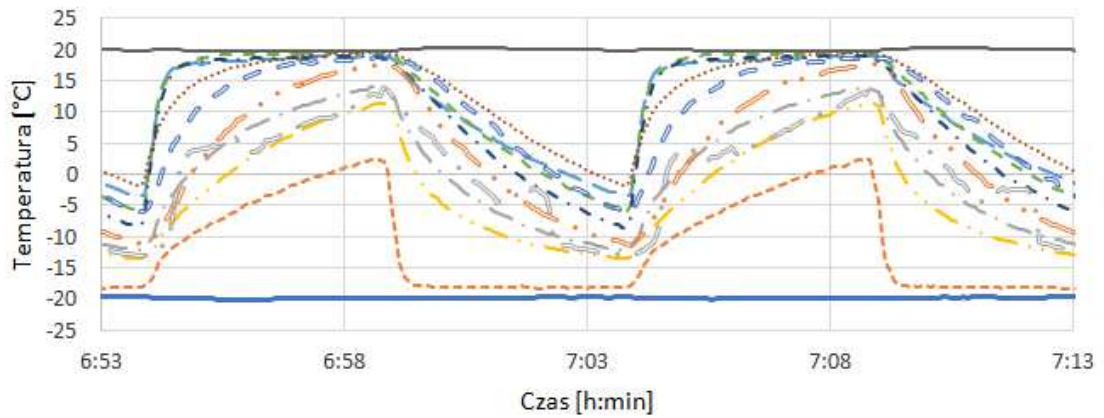
Wykres 43 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 44 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

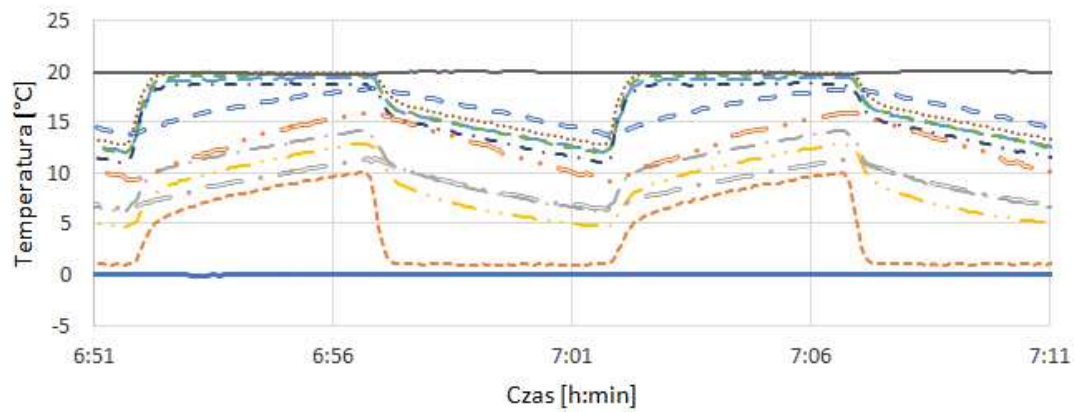


Wykres 45 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



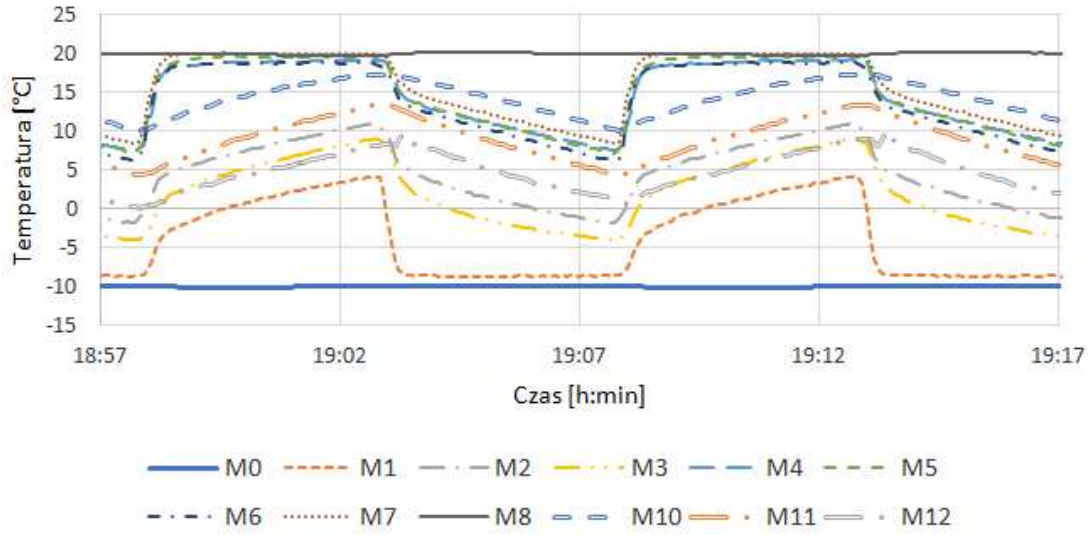
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
- · - M6 ····· M7 ——— M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 46 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

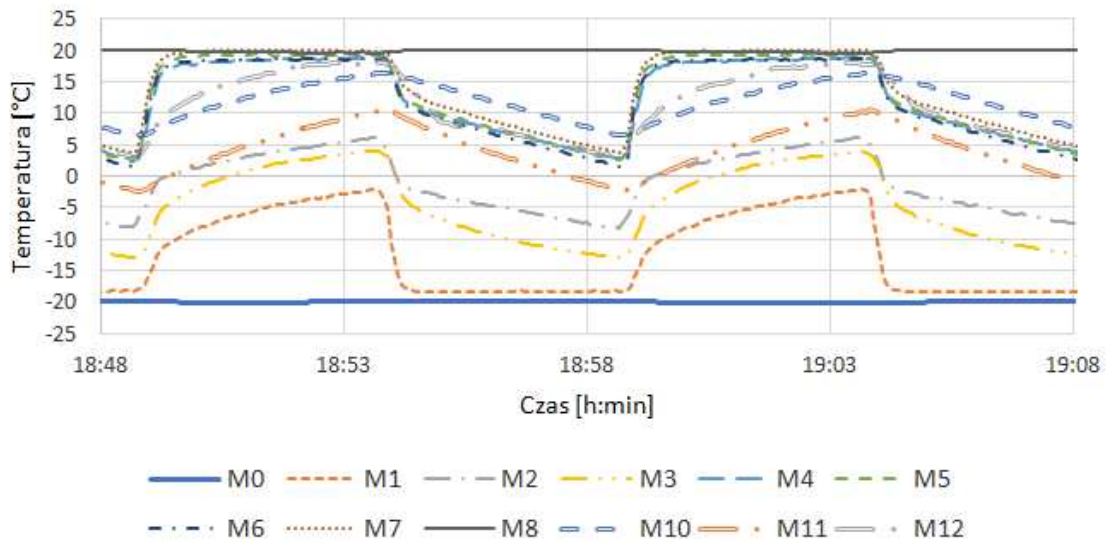


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
- · - M6 ····· M7 ——— M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

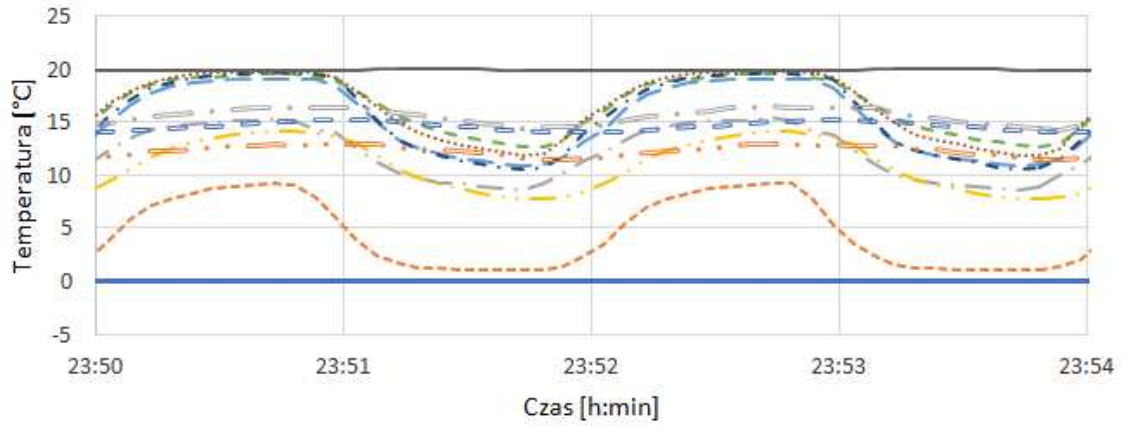
Wykres 47 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 48 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

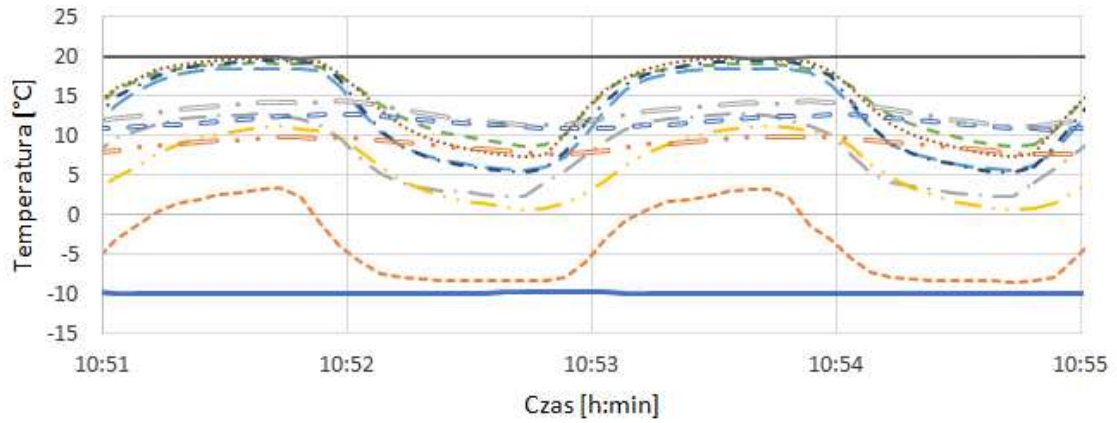


Wykres 49 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



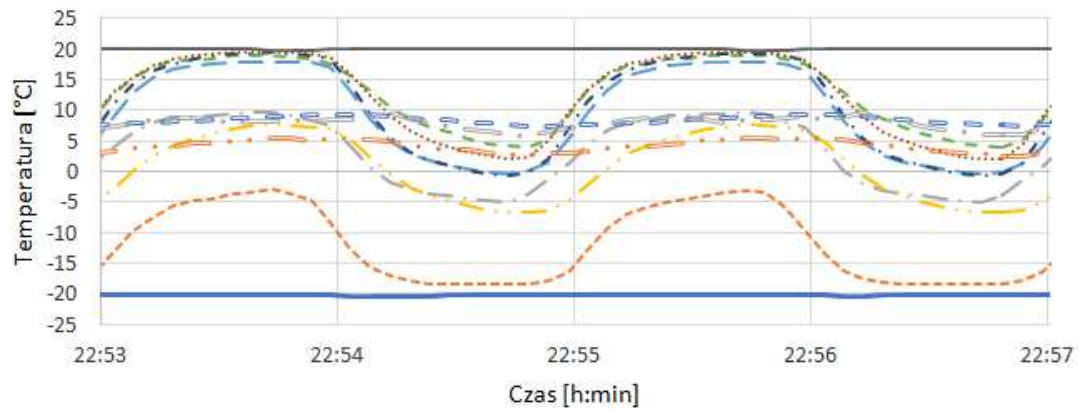
— M0 - - - M1 - - - M2 - - - M3 - - - M4 - - - M5
 - - - M6 ····· M7 ——— M8 - - - M10 - - - M11 - - - M12

Wykres 50 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



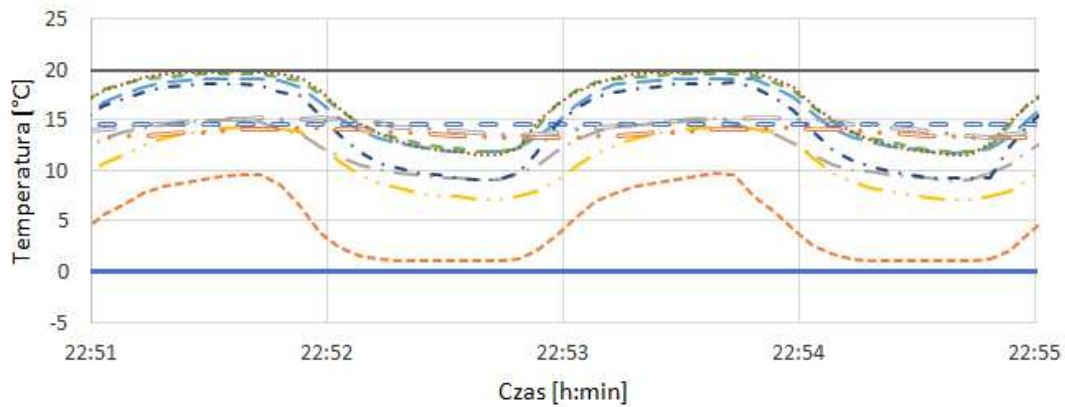
— M0 - - - M1 - - - M2 - - - M3 - - - M4 - - - M5
 - - - M6 ····· M7 ——— M8 - - - M10 - - - M11 - - - M12

Wykres 51 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



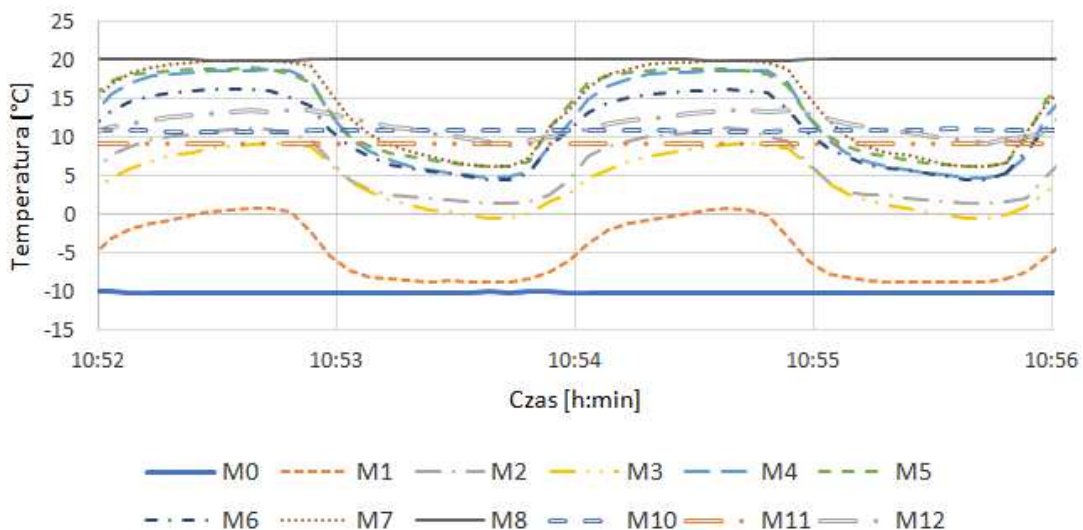
— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · · M6 · · · · · M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

Wykres 52 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

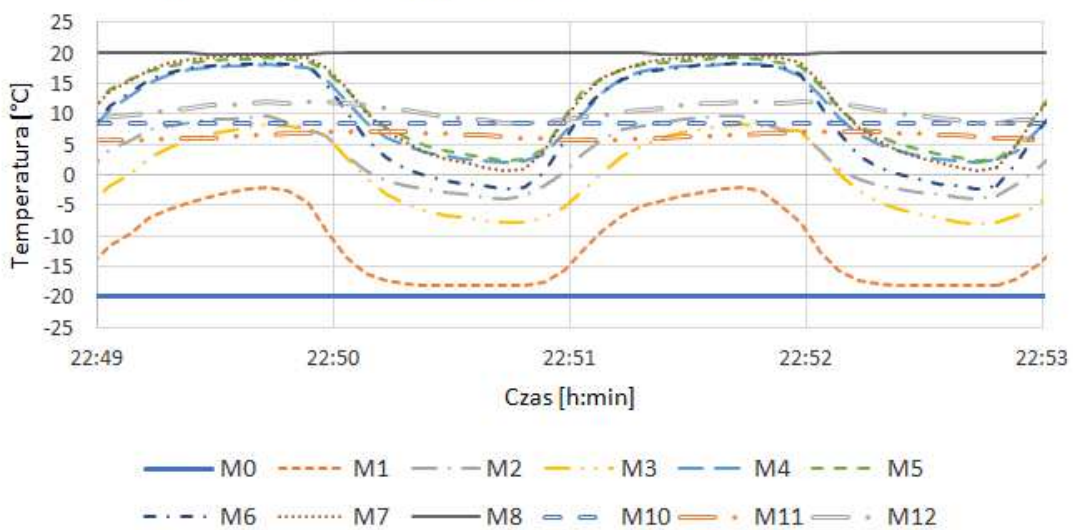


— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · · M6 · · · · · M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

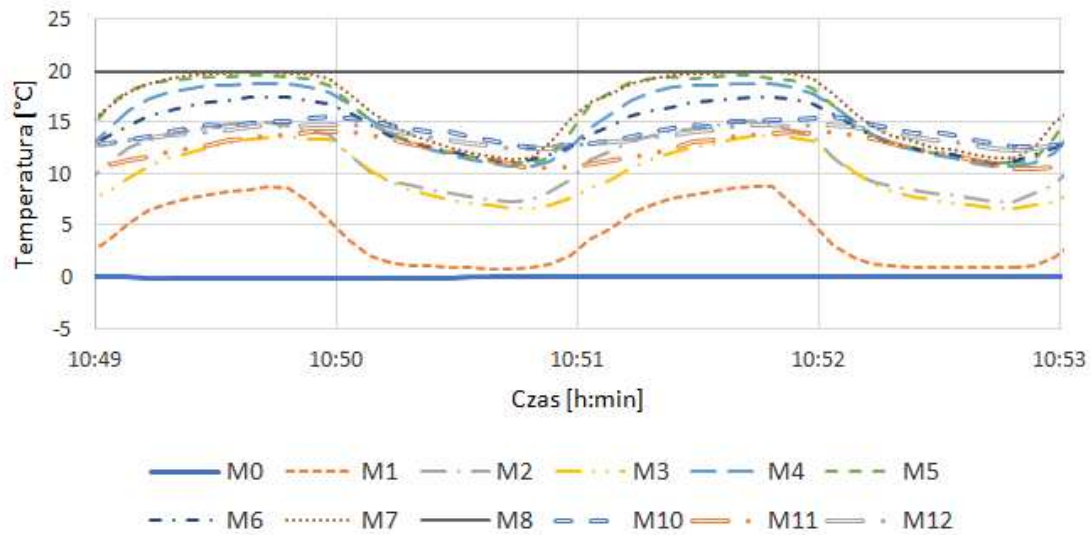
Wykres 53 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



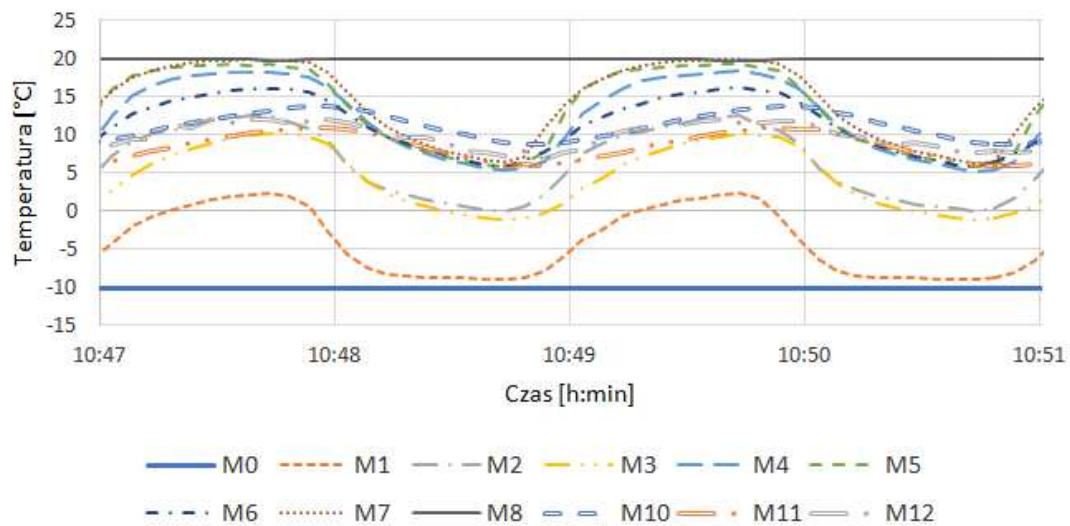
Wykres 54 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



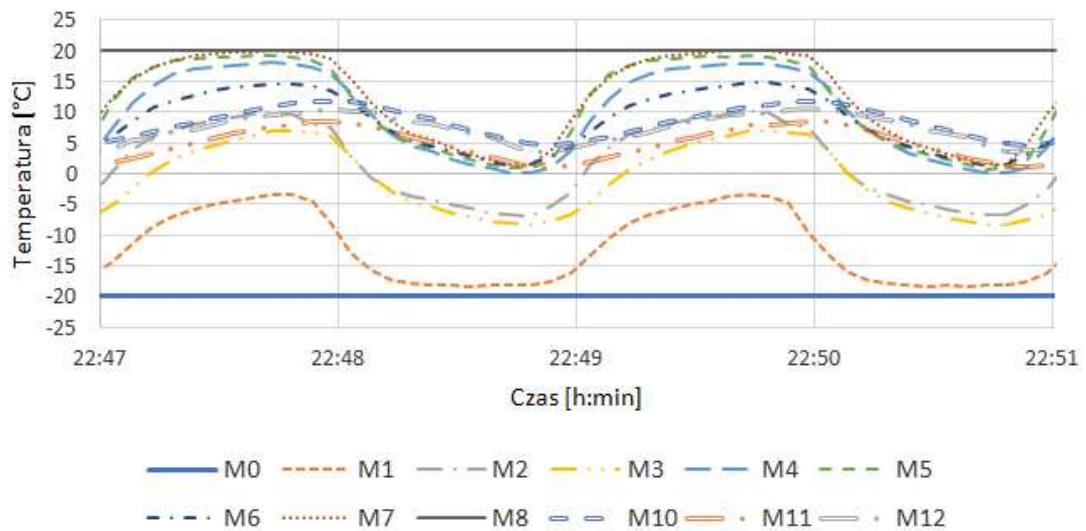
Wykres 55 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



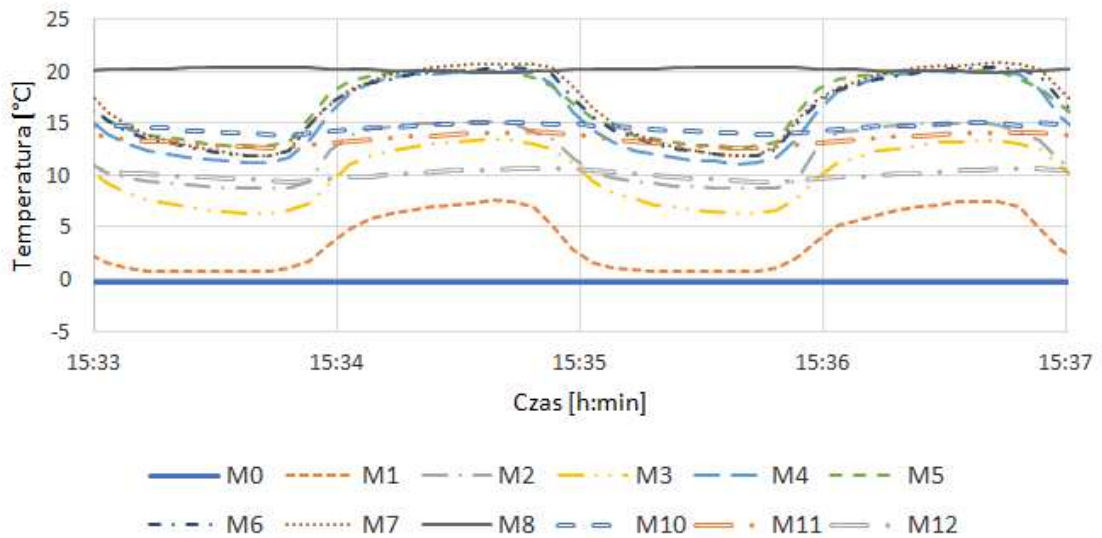
Wykres 56 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



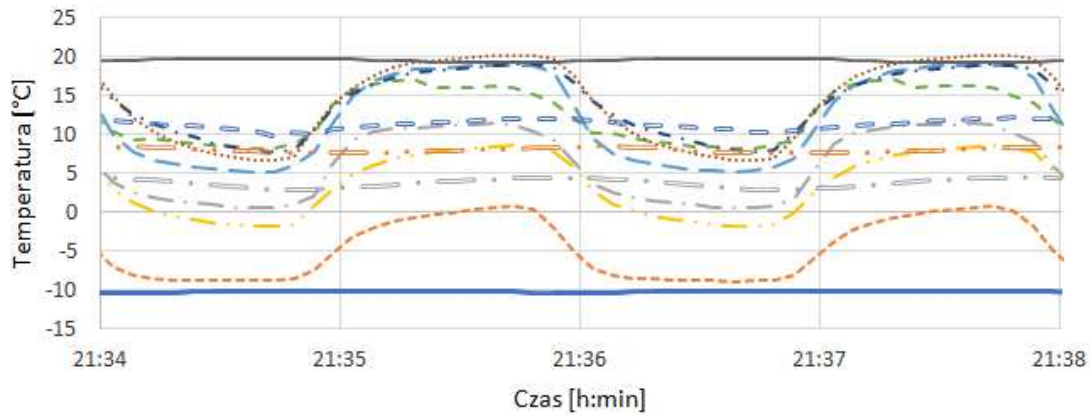
Wykres 57 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 58 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

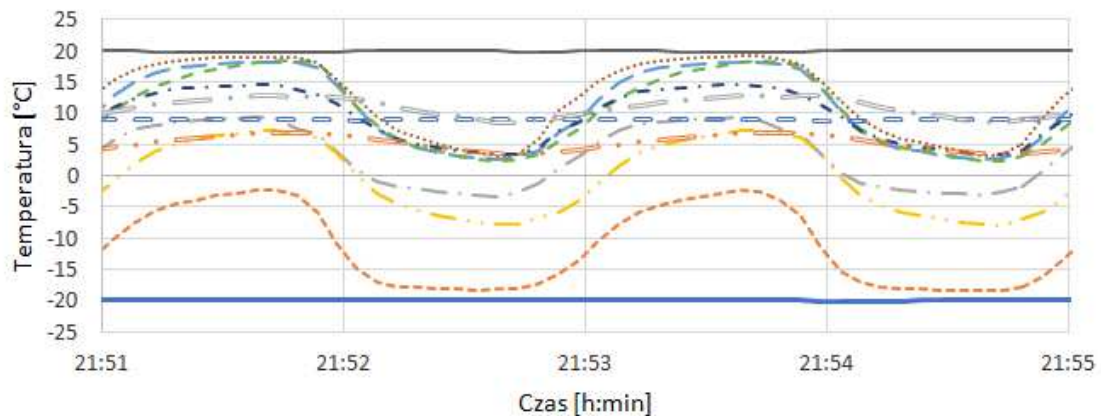


Wykres 59 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



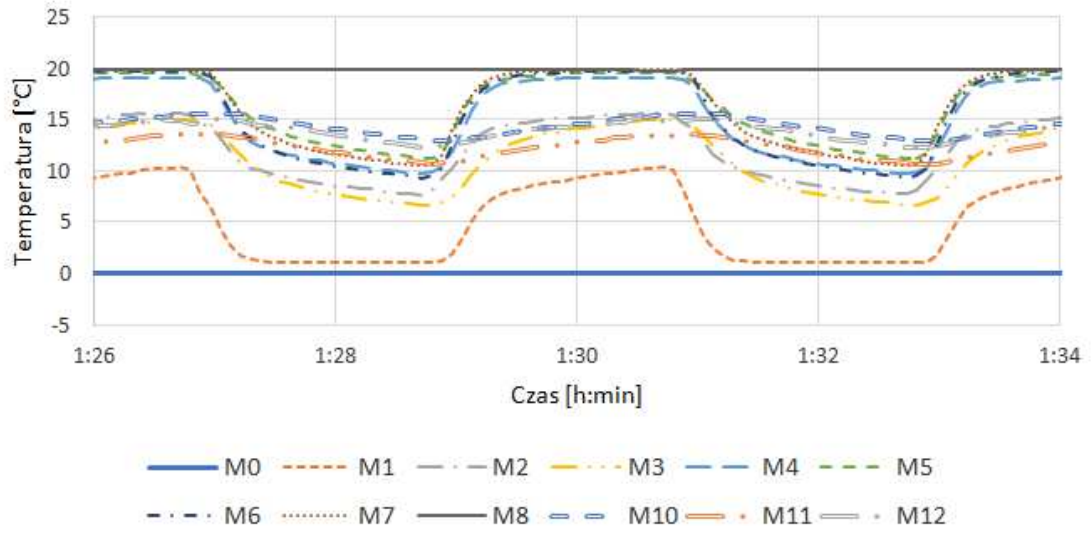
— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
- · · M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

Wykres 60 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

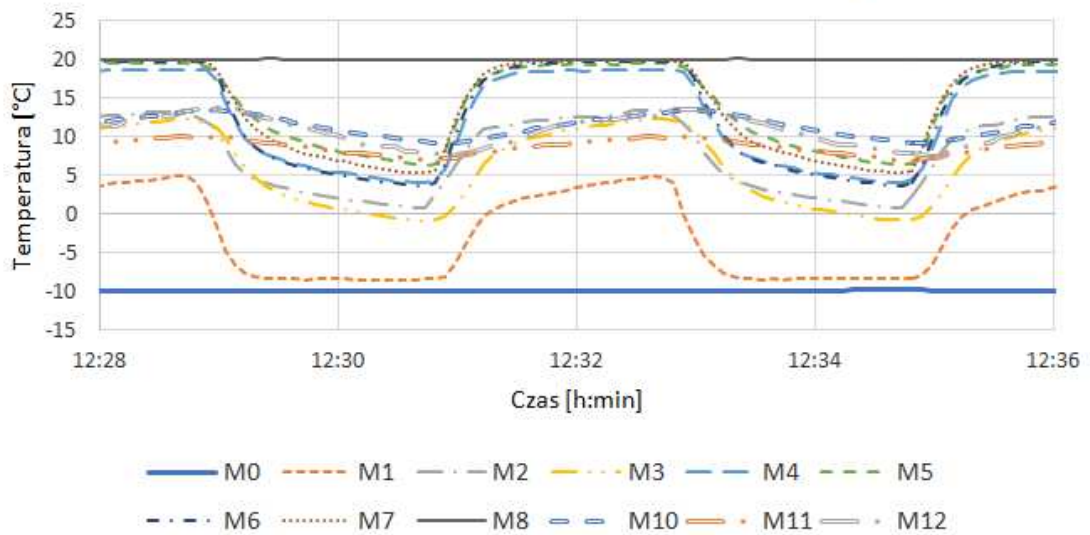


— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
- · · M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

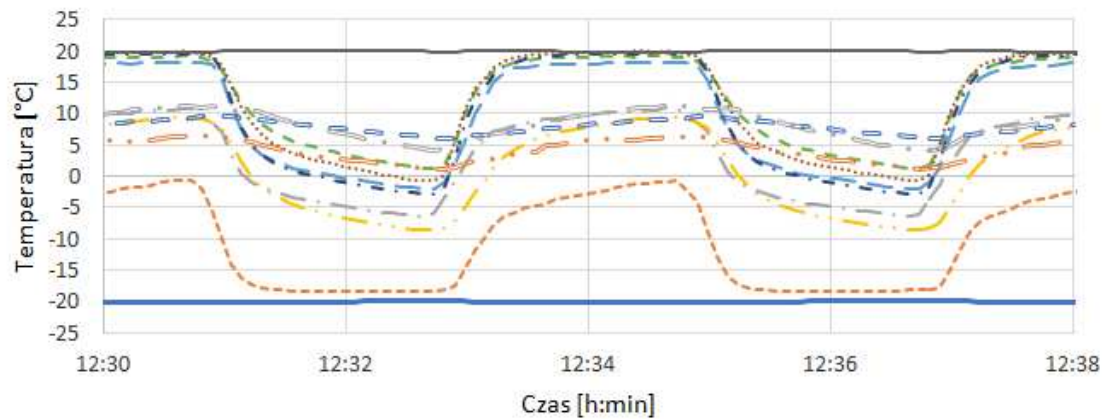
Wykres 61 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 62 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

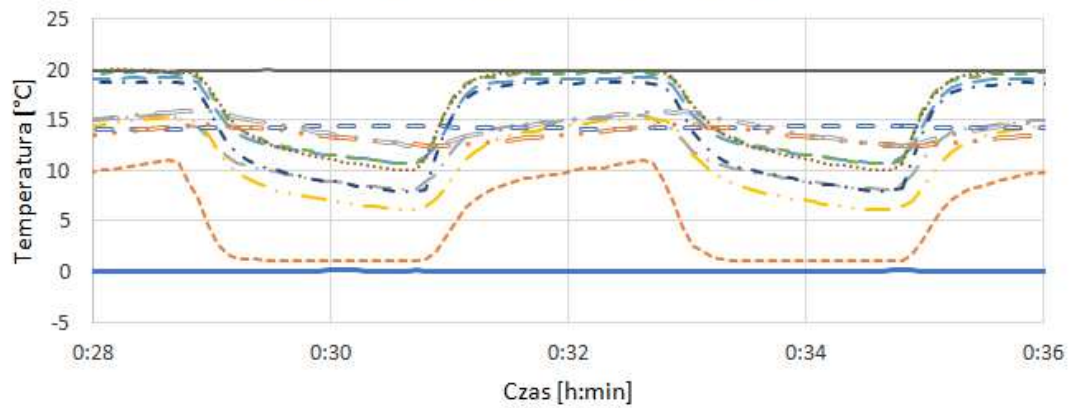


Wykres 63 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



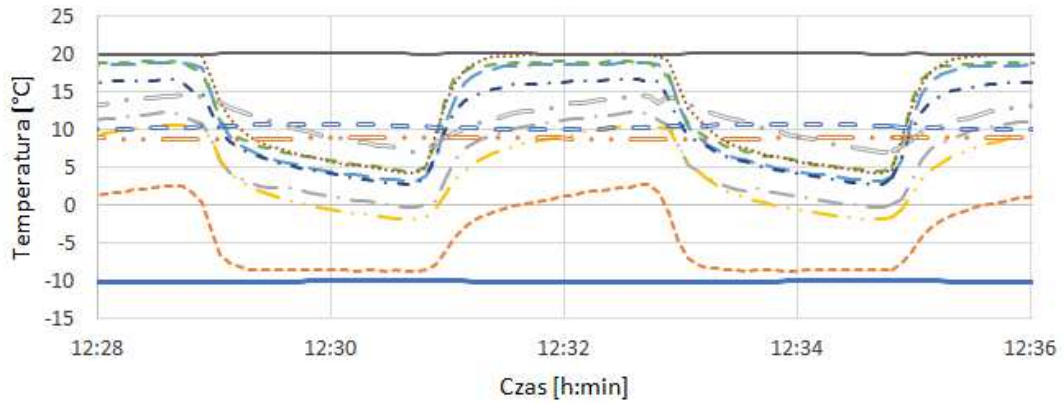
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 64 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



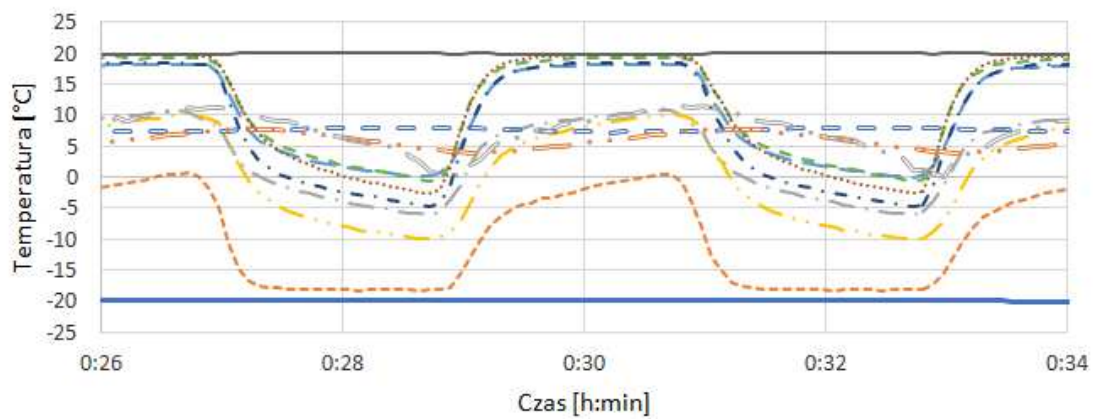
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 65 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



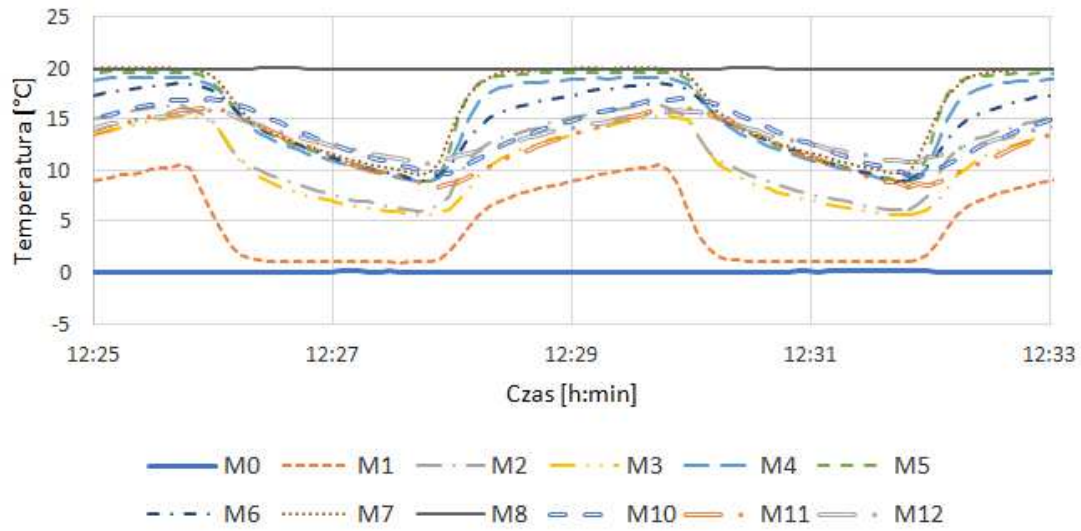
— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
- · · M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

Wykres 66 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

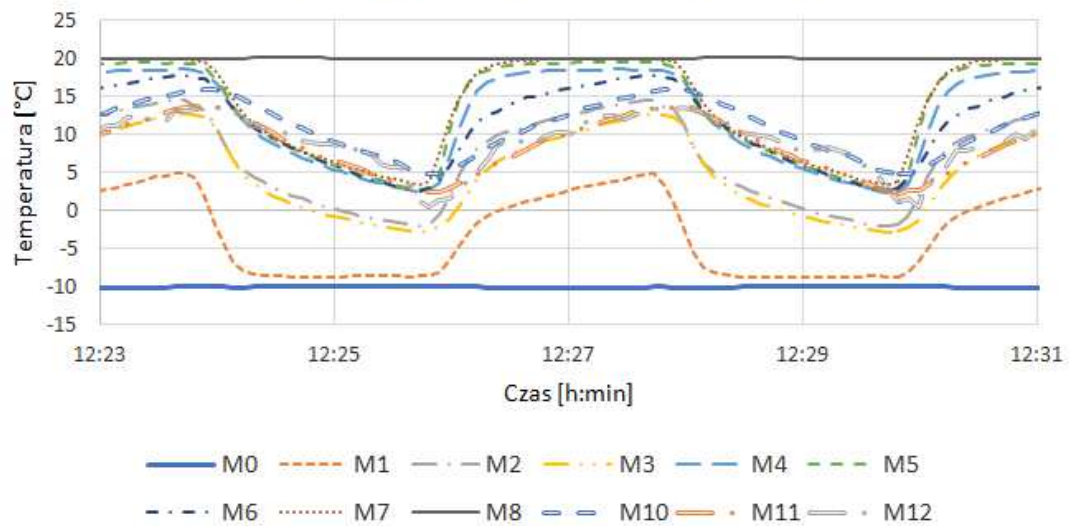


— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
- · · M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · · M11 - · · M12

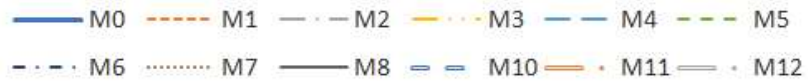
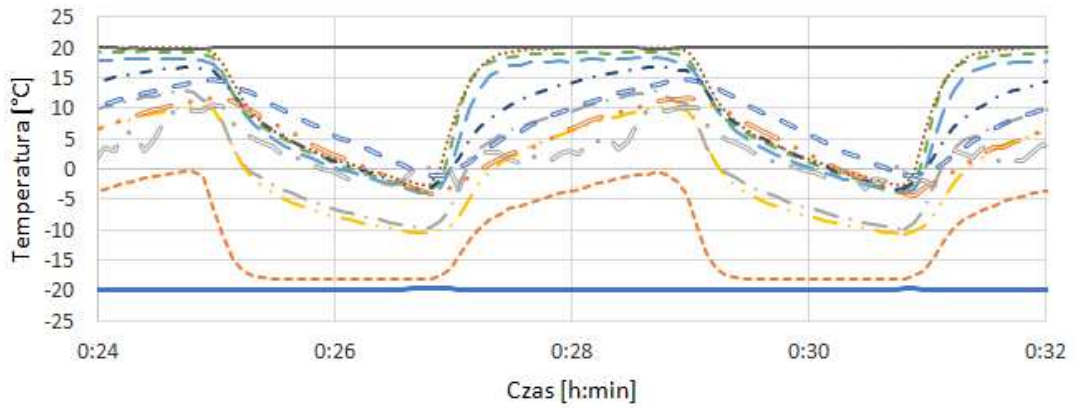
Wykres 67 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



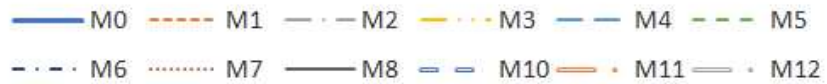
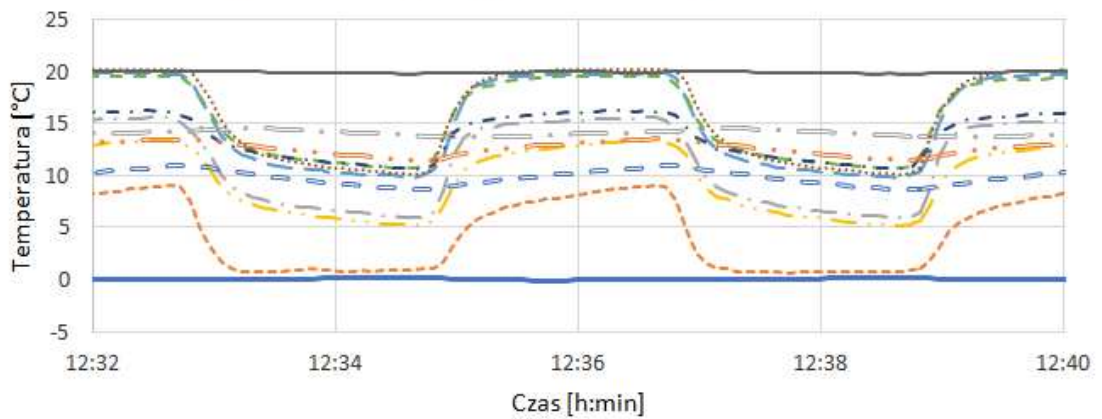
Wykres 68 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



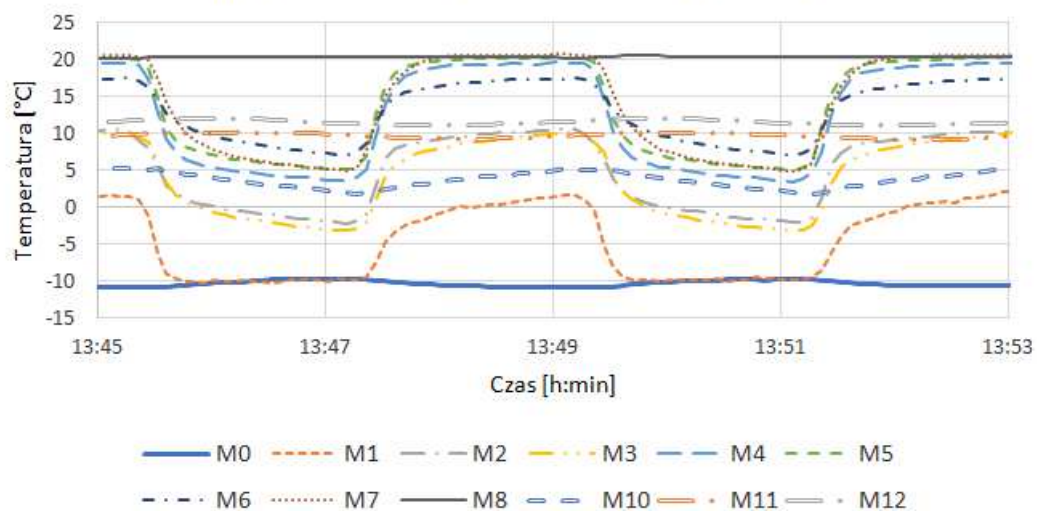
Wykres 69 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



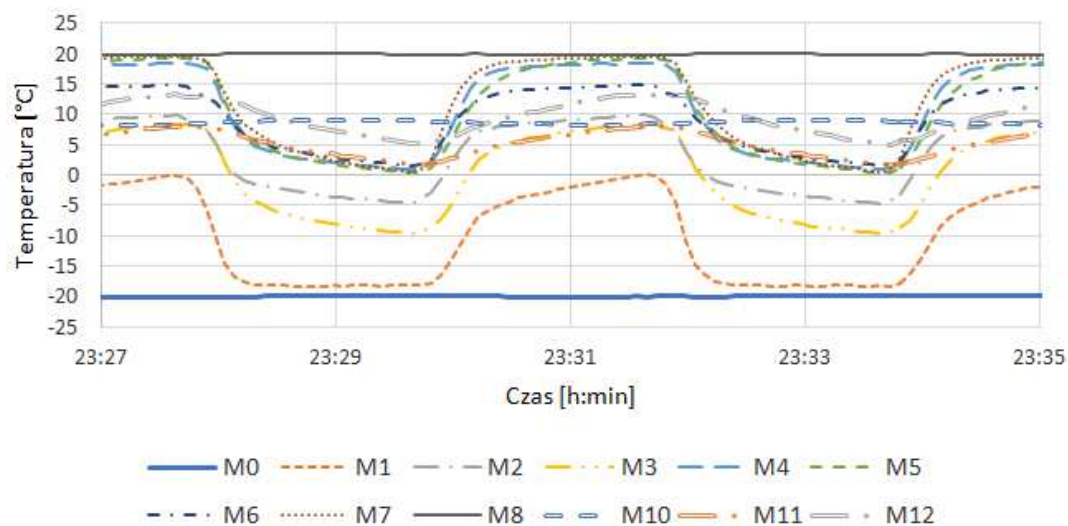
Wykres 70 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



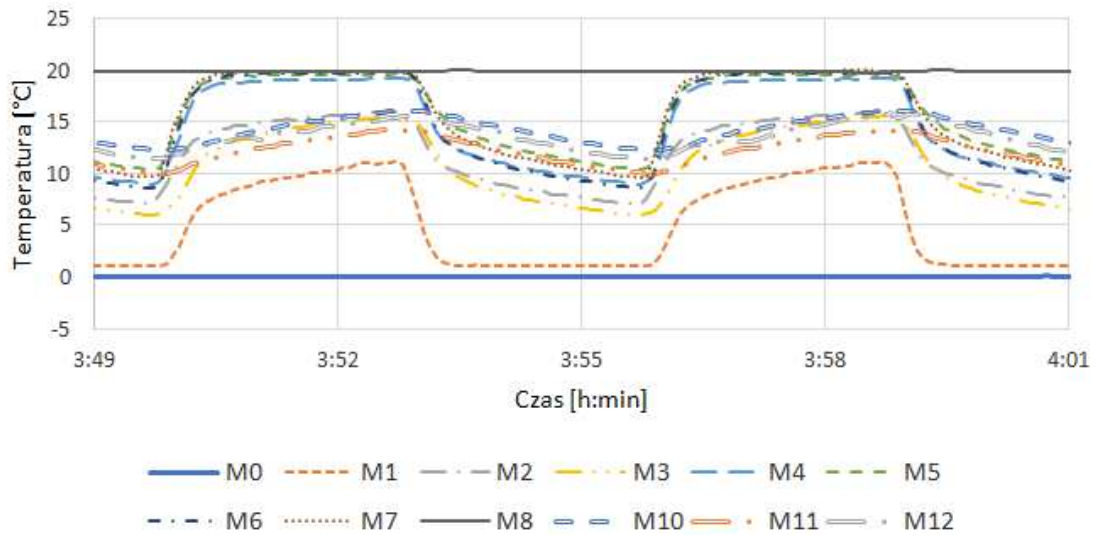
Wykres 71 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



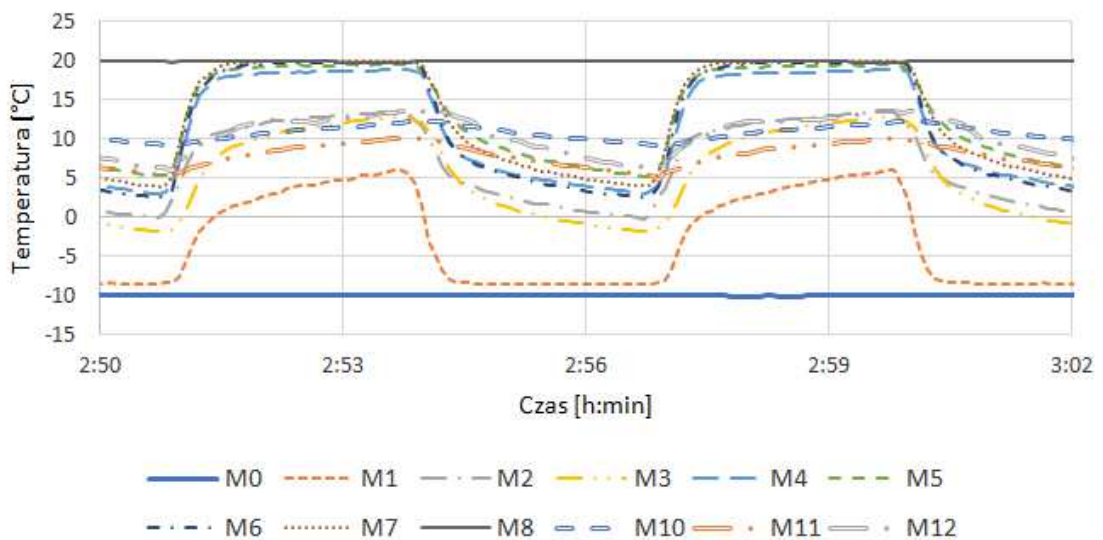
Wykres 72 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



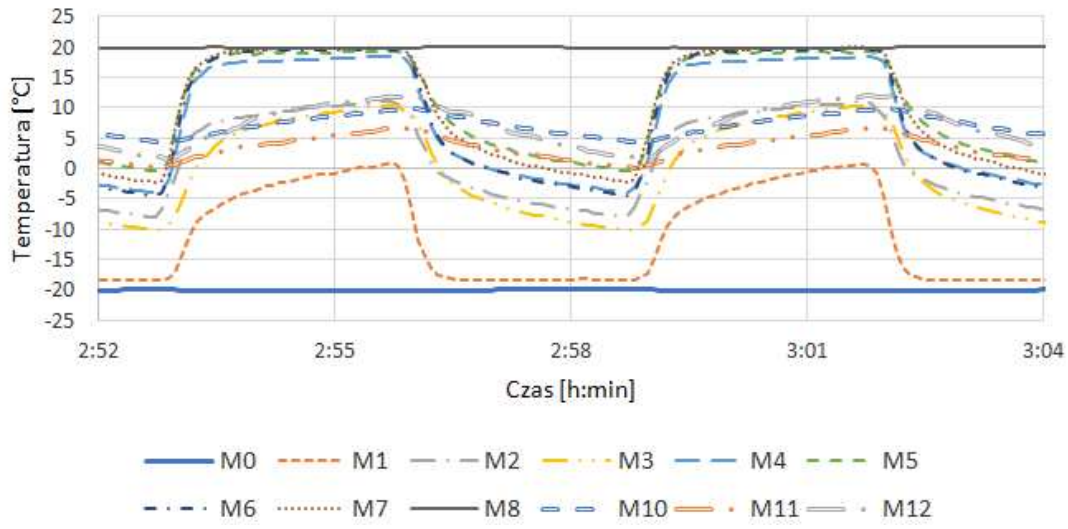
Wykres 73 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



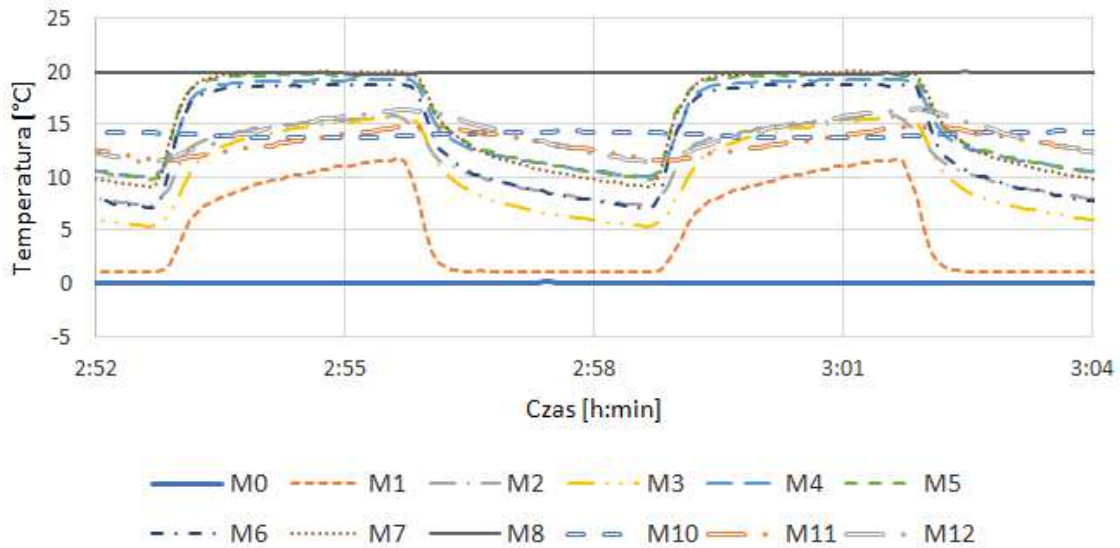
Wykres 74 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



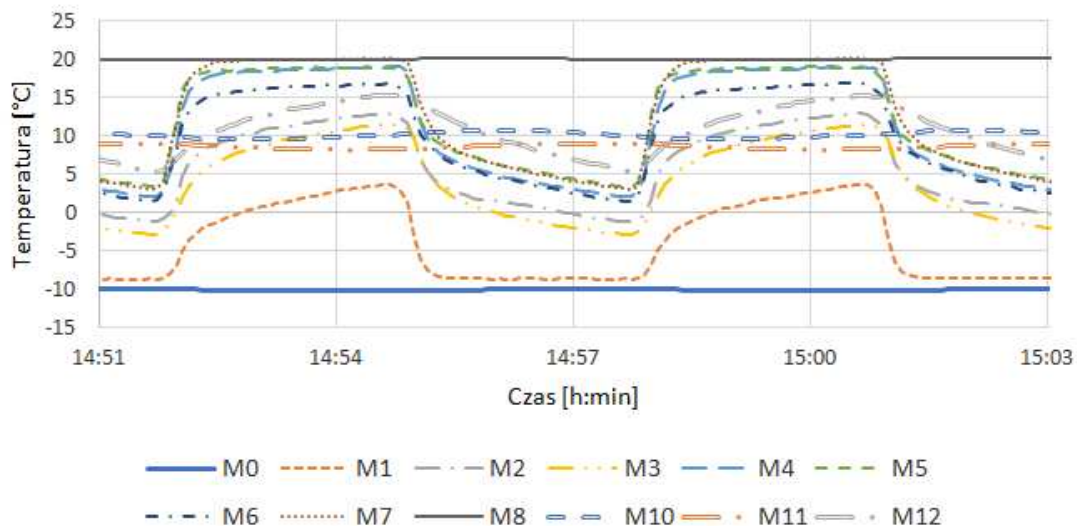
Wykres 75 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



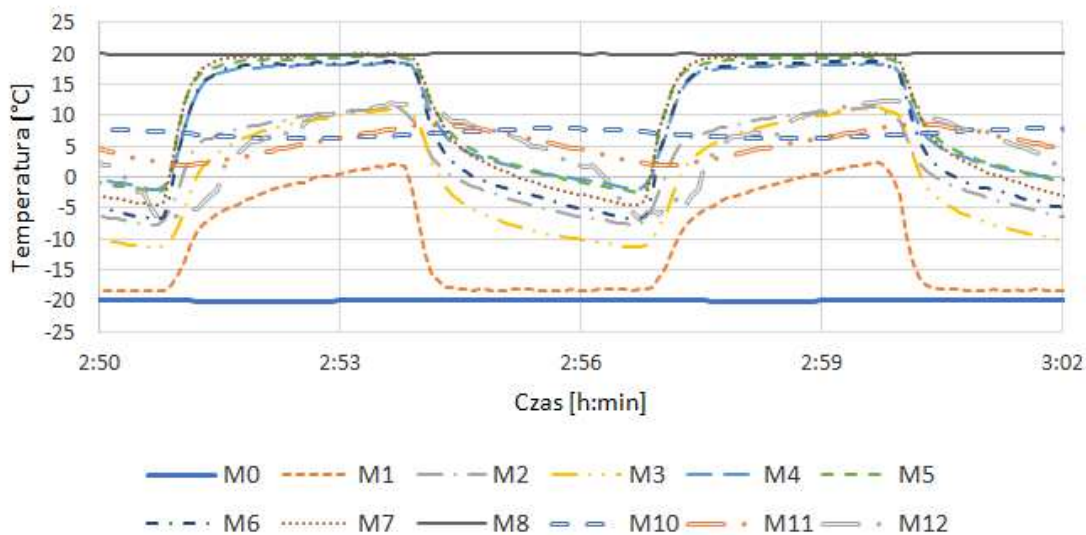
Wykres 76 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



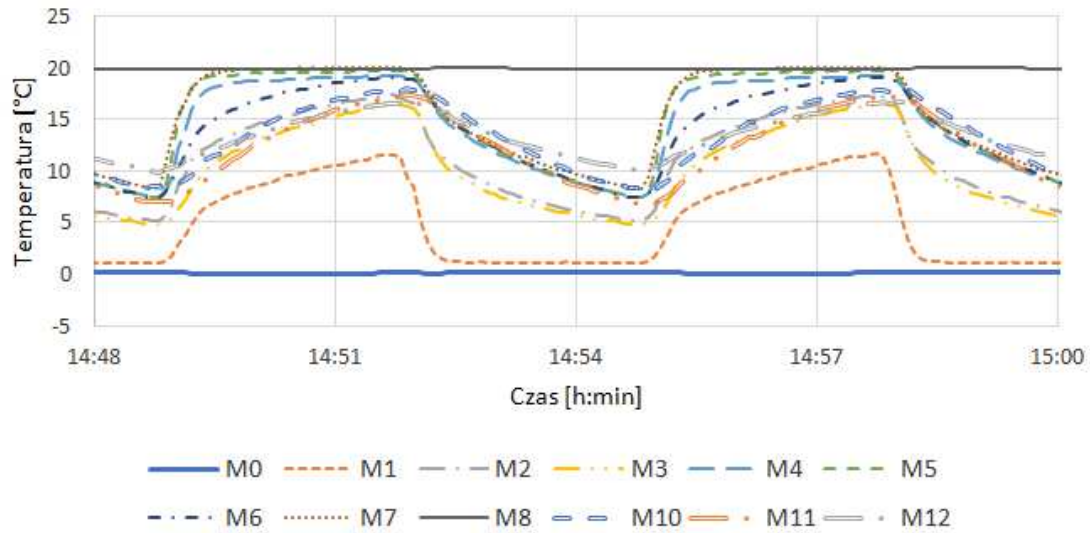
Wykres 77 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



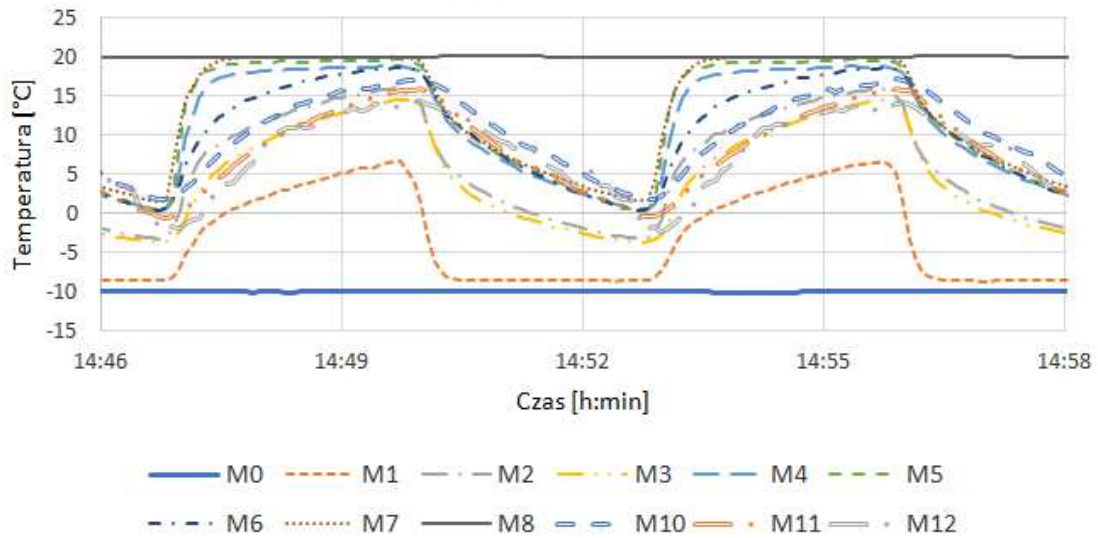
Wykres 78 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



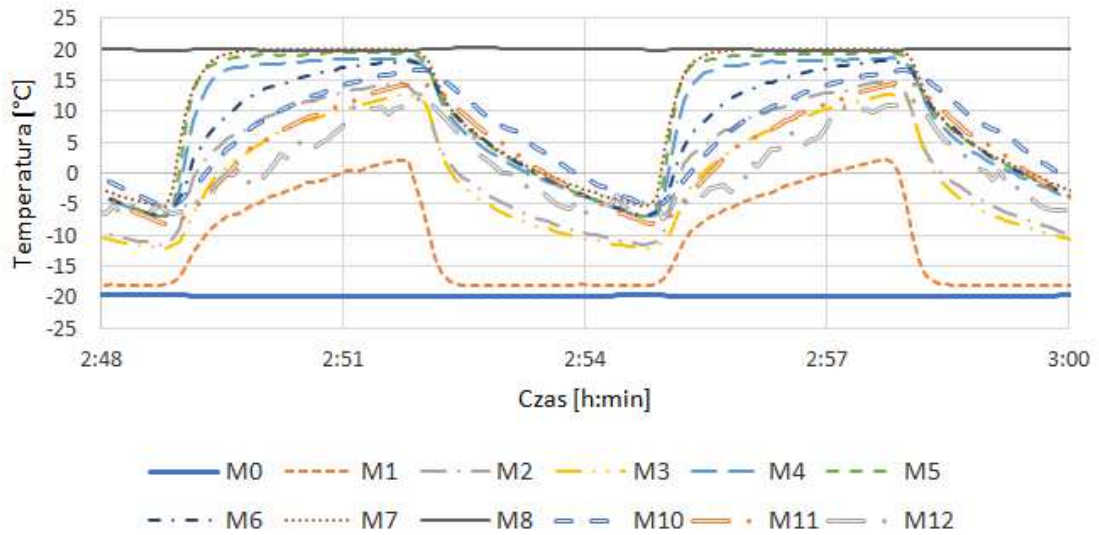
Wykres 79 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



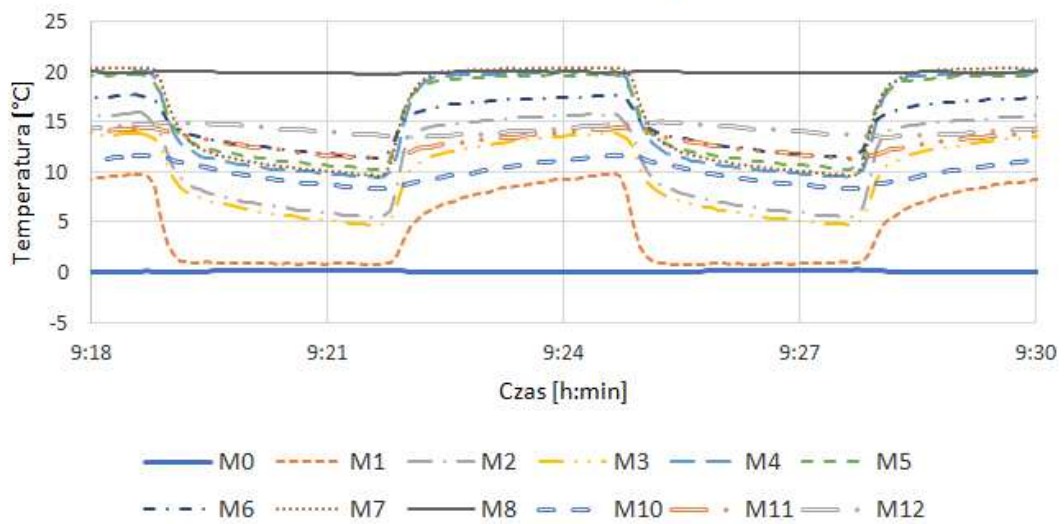
Wykres 80 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



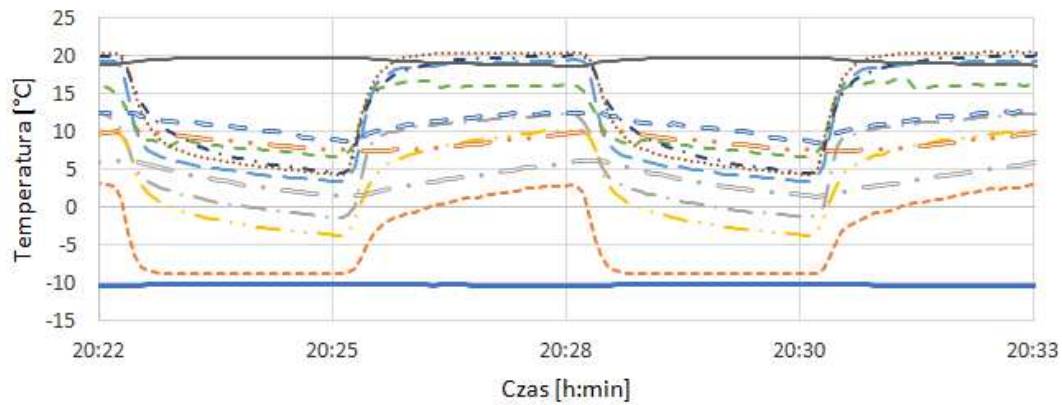
Wykres 81 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 82 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

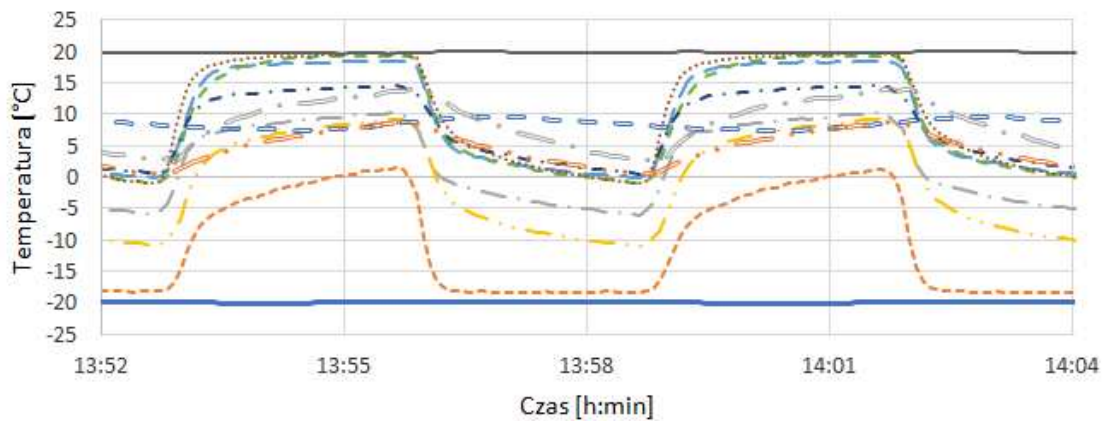


Wykres 83 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



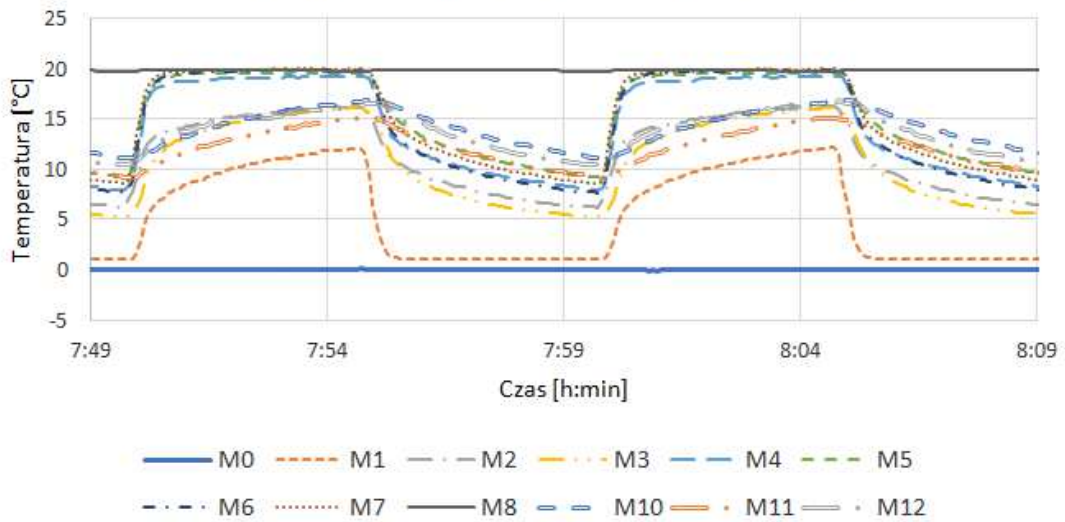
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 84 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

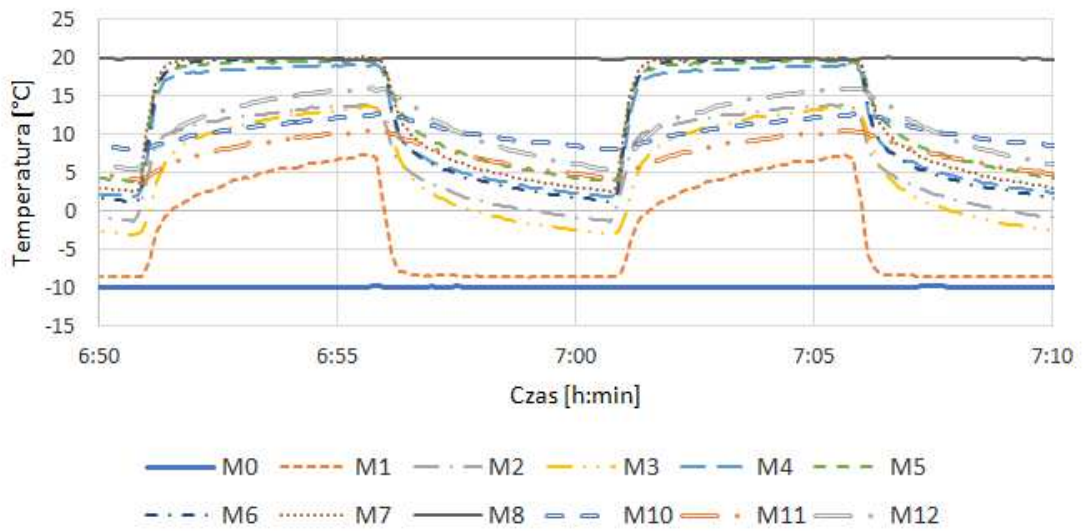


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

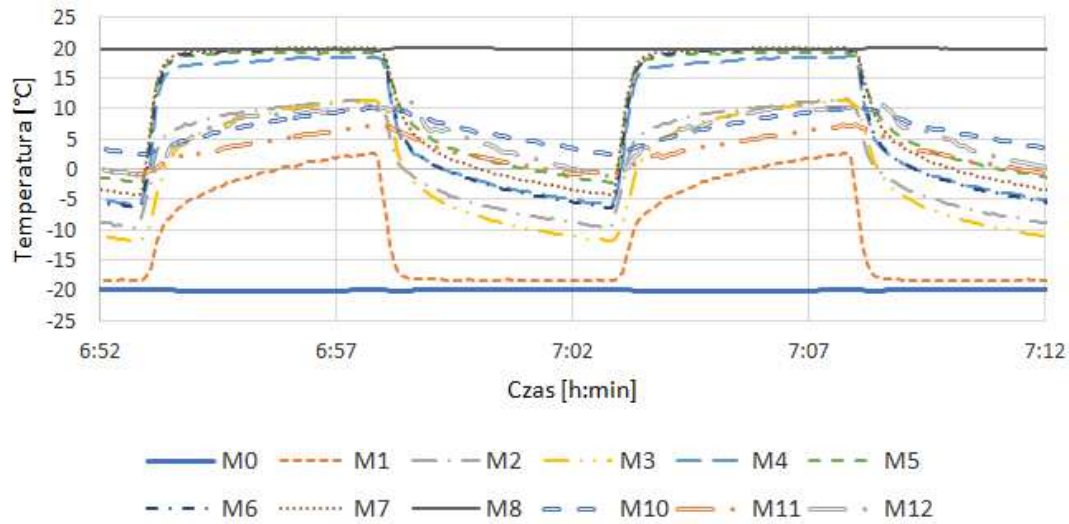
Wykres 85 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



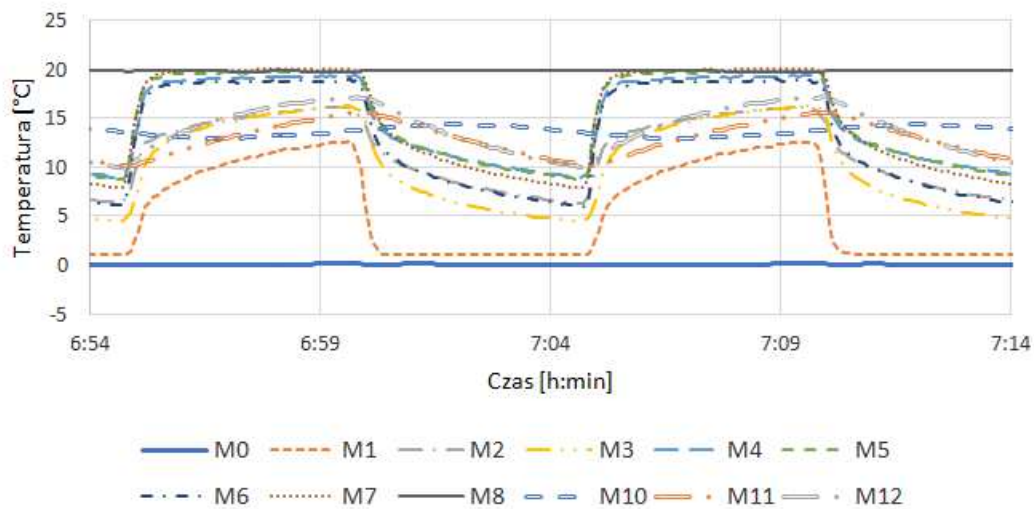
Wykres 86 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



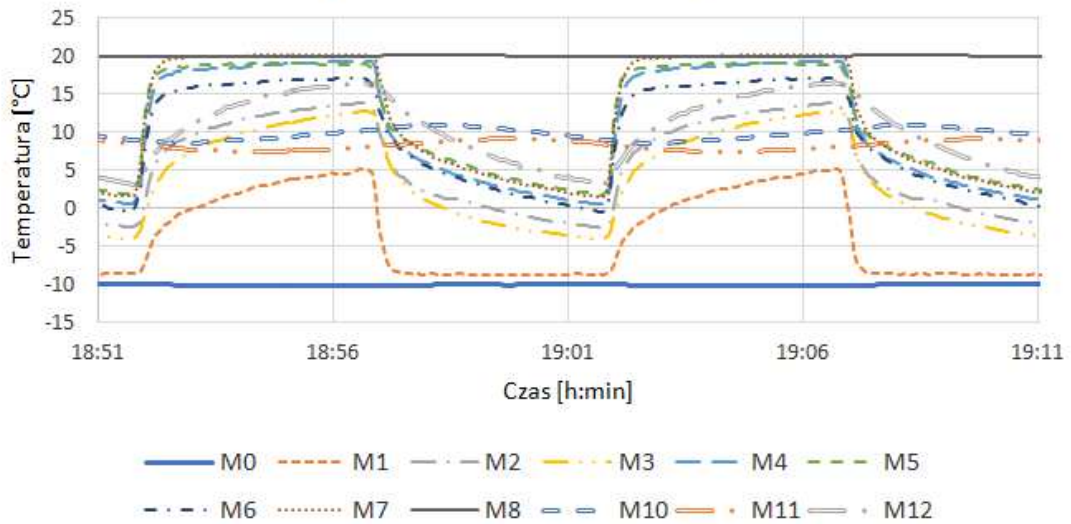
Wykres 87 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



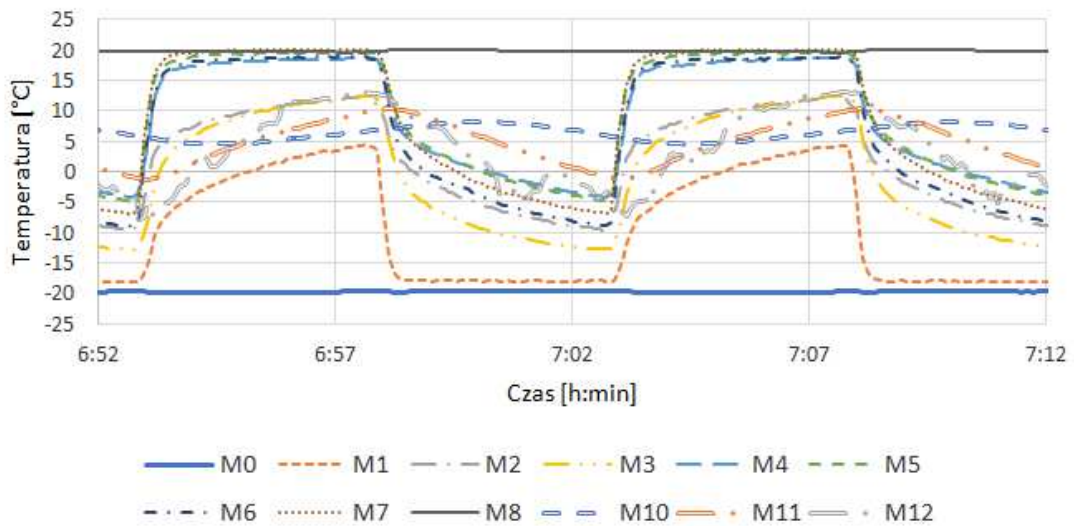
Wykres 88 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



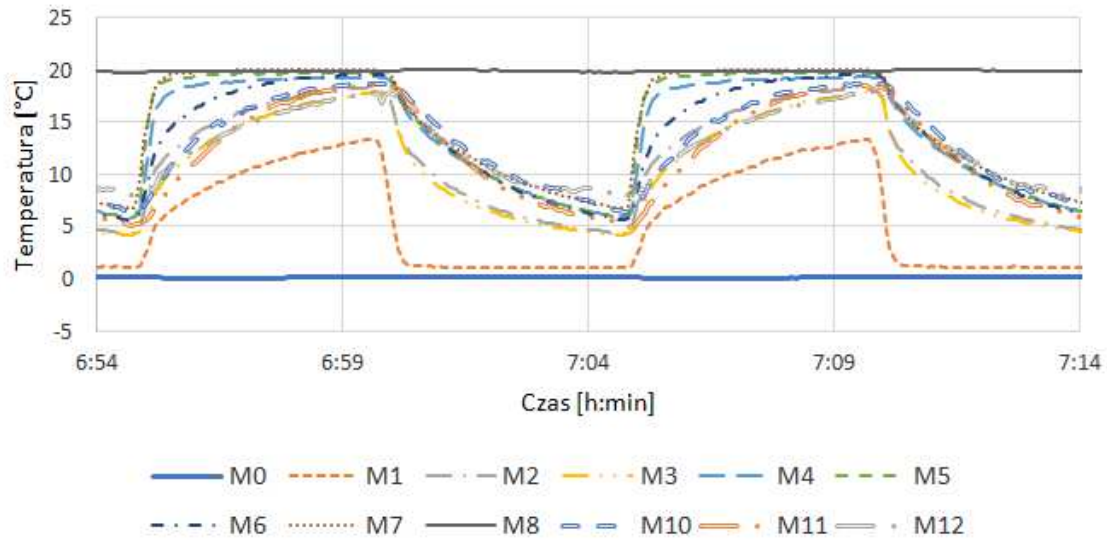
Wykres 89 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



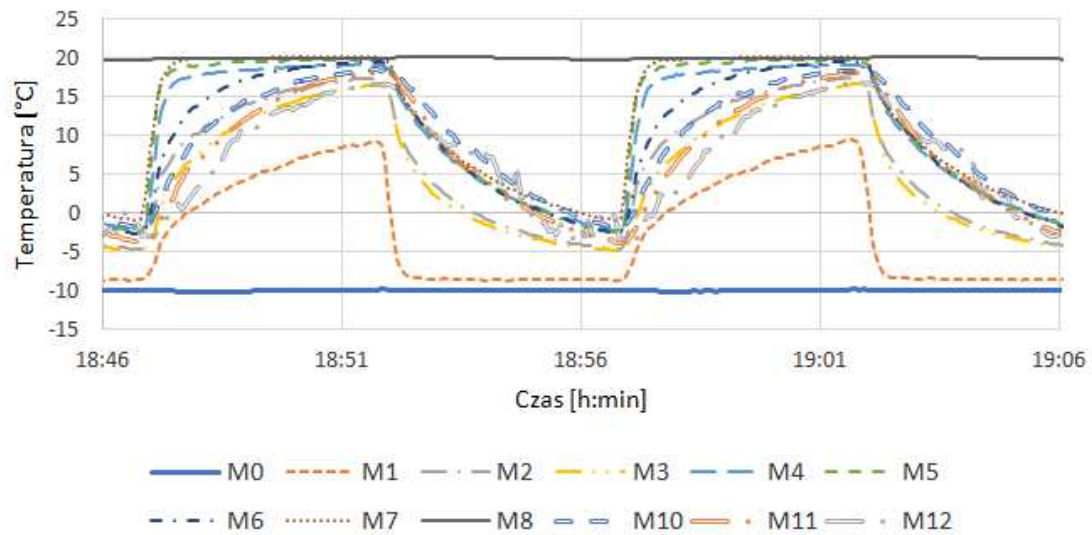
Wykres 90 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



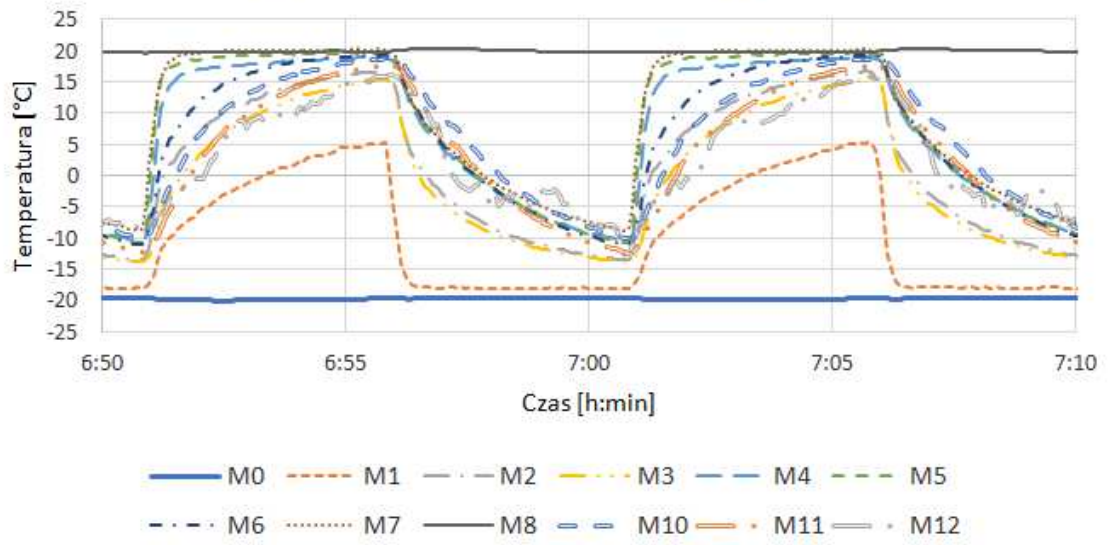
Wykres 91 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



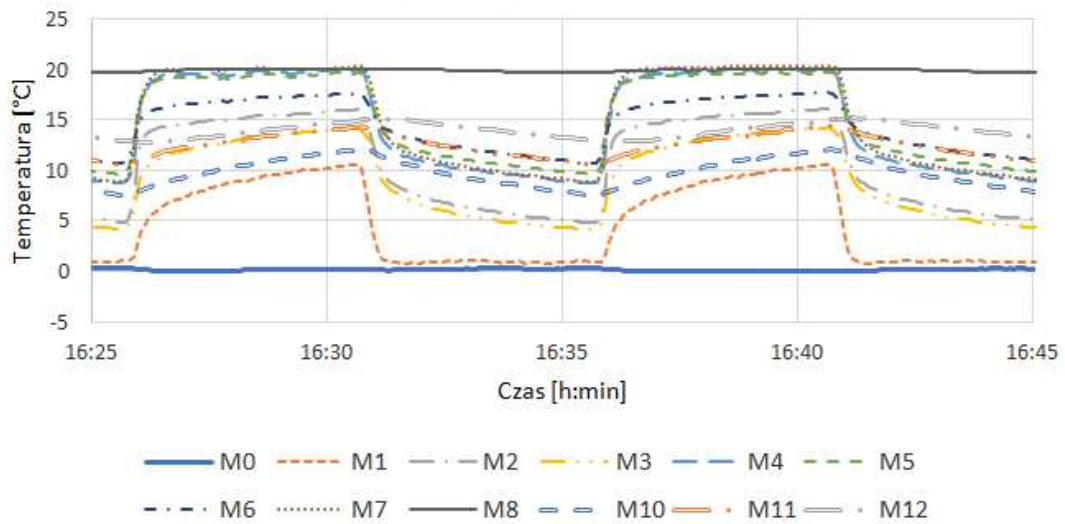
Wykres 92 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



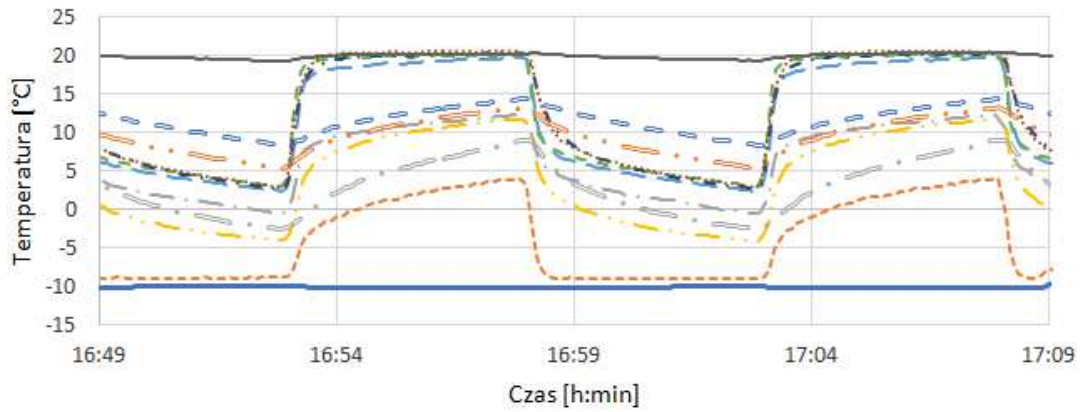
Wykres 93 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 94 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

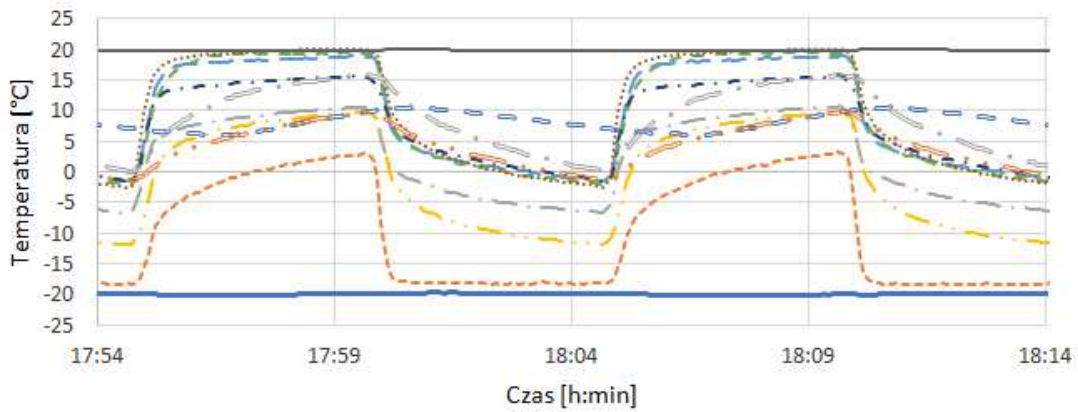


Wykres 95 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



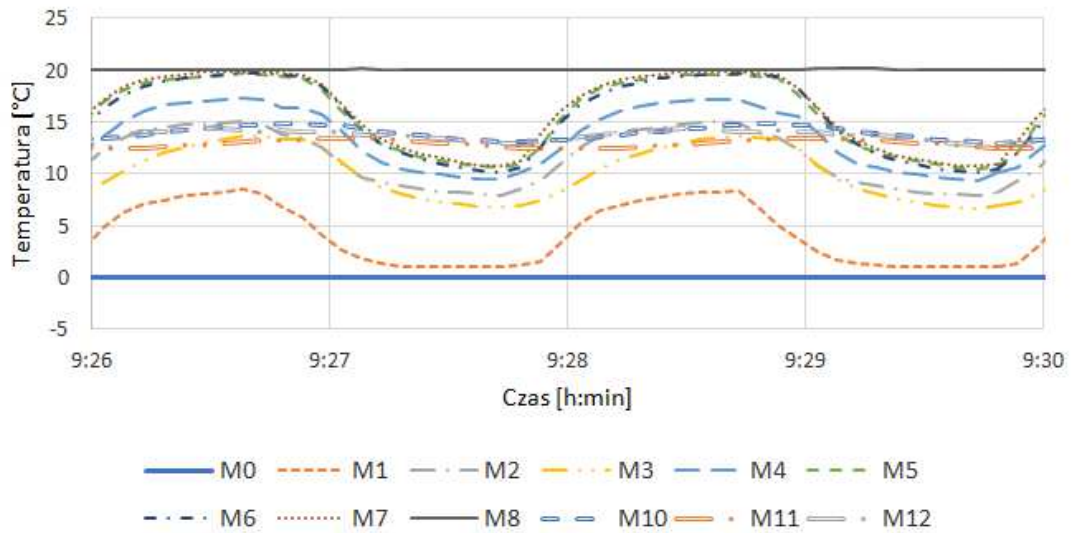
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - - - M4 - - - M5
- · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 96 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

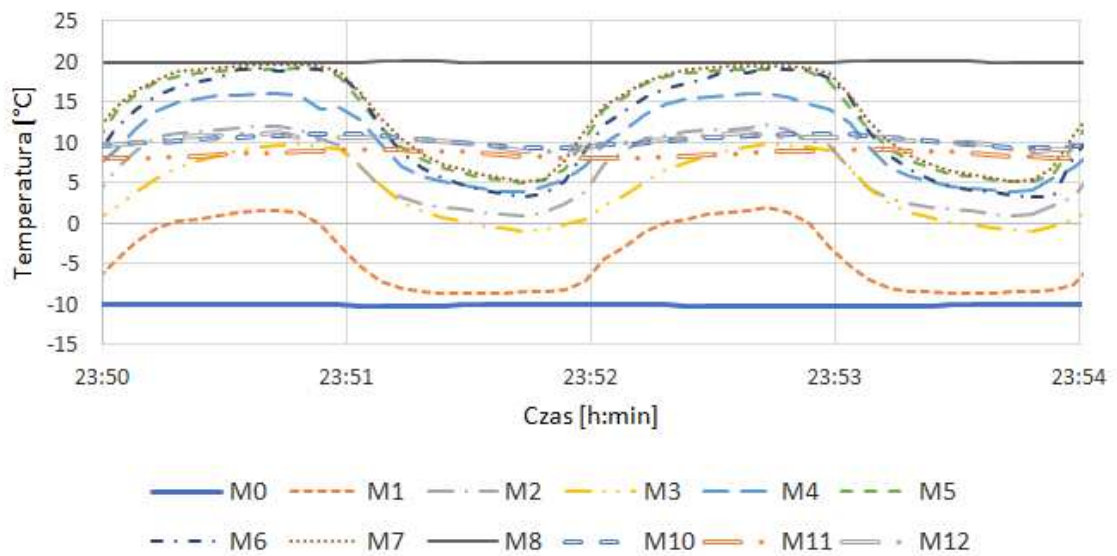


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - - - M4 - - - M5
- · - M6 ····· M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

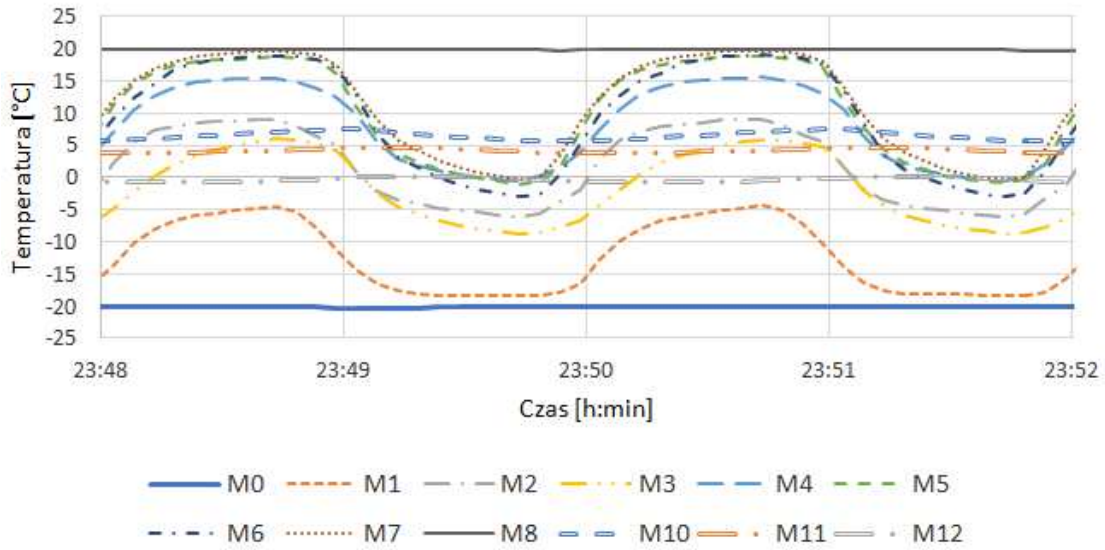
Wykres 97 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



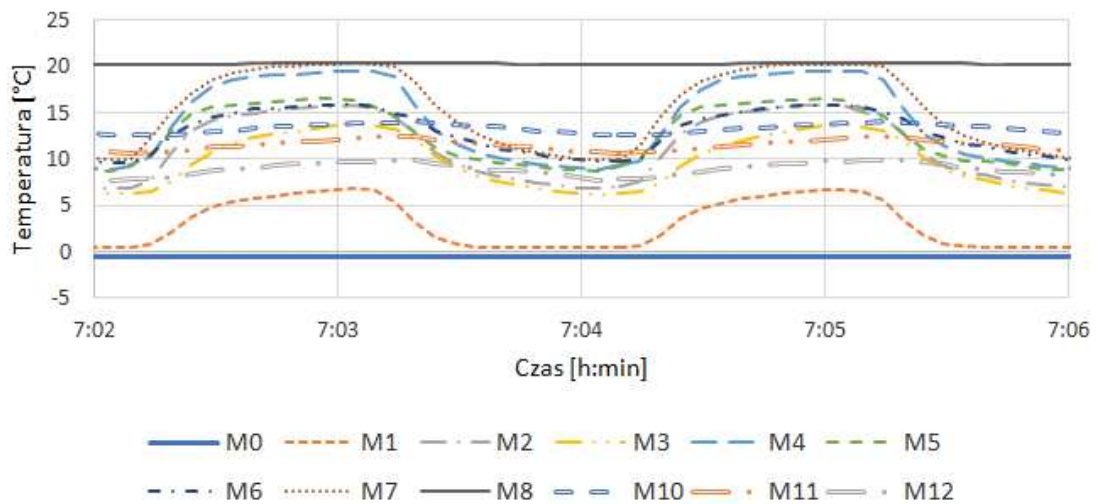
Wykres 98 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



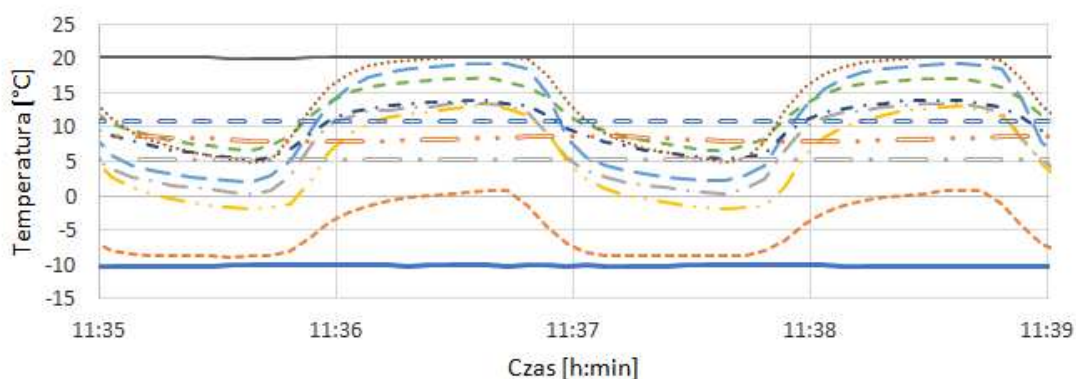
Wykres 99 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 100 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

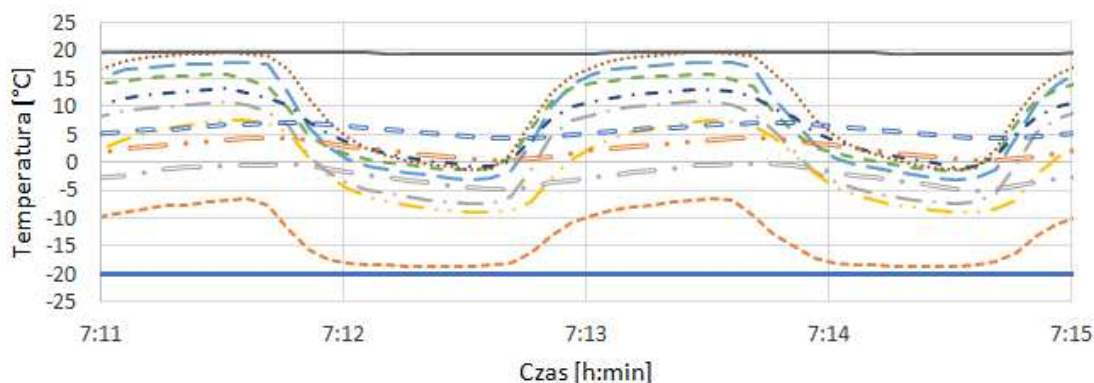


Wykres 101 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



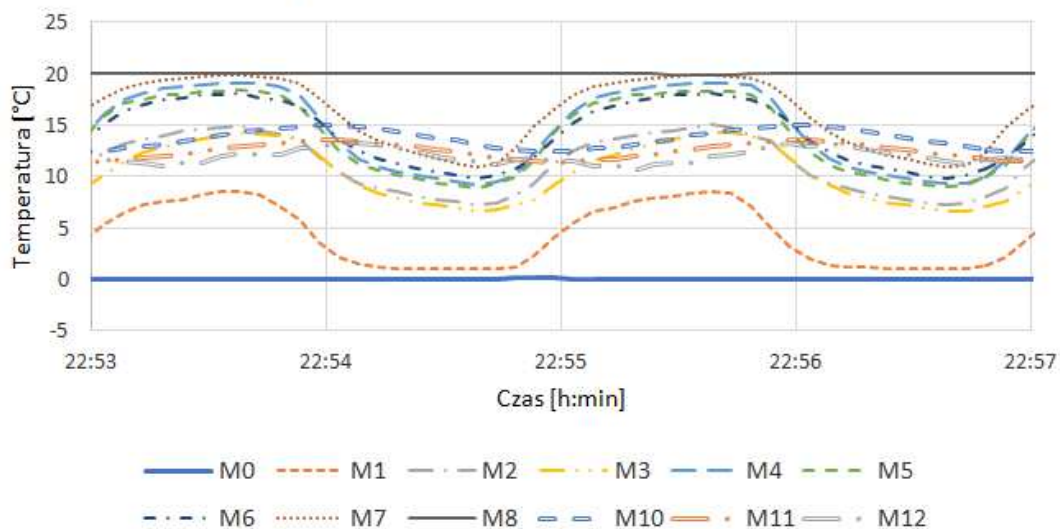
— M0 - - - M1 - · - · M2 - · - · M3 - · - · M4 - · - · M5
 - · - · M6 ····· M7 — M8 - · - · M10 - · - · M11 - · - · M12

Wykres 102 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

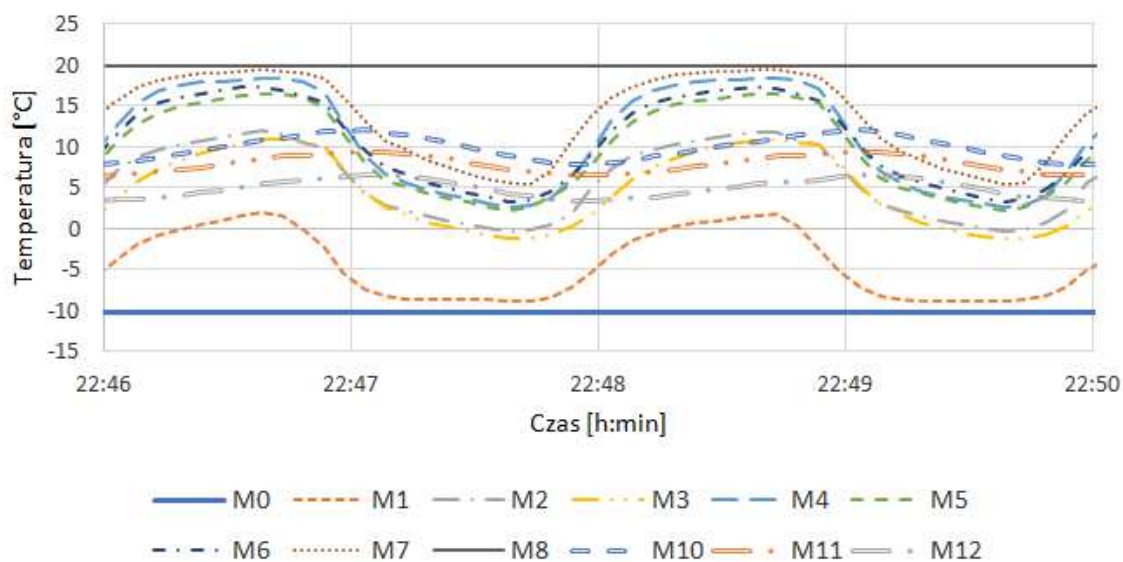


— M0 - - - M1 - · - · M2 - · - · M3 - · - · M4 - · - · M5
 - · - · M6 ····· M7 — M8 - · - · M10 - · - · M11 - · - · M12

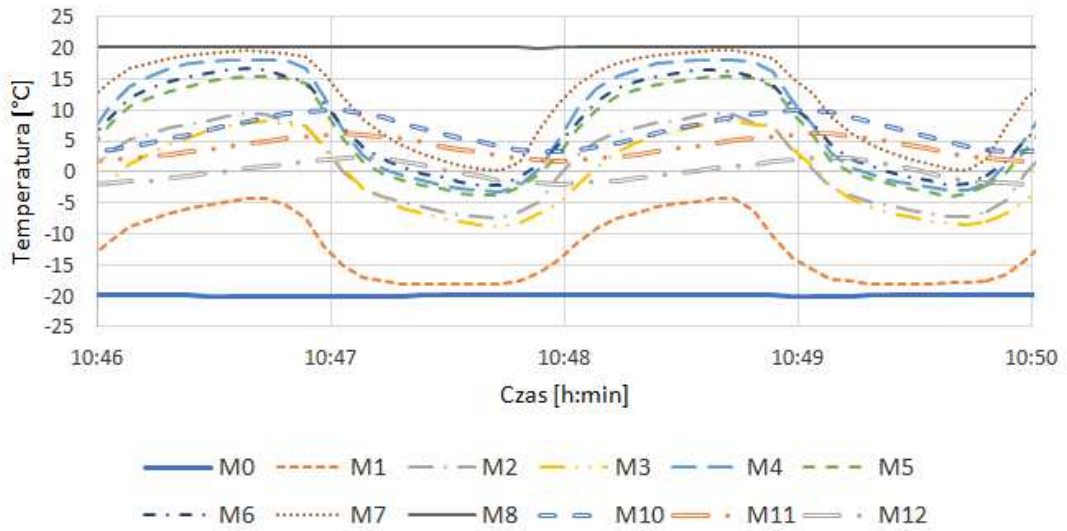
Wykres 103 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



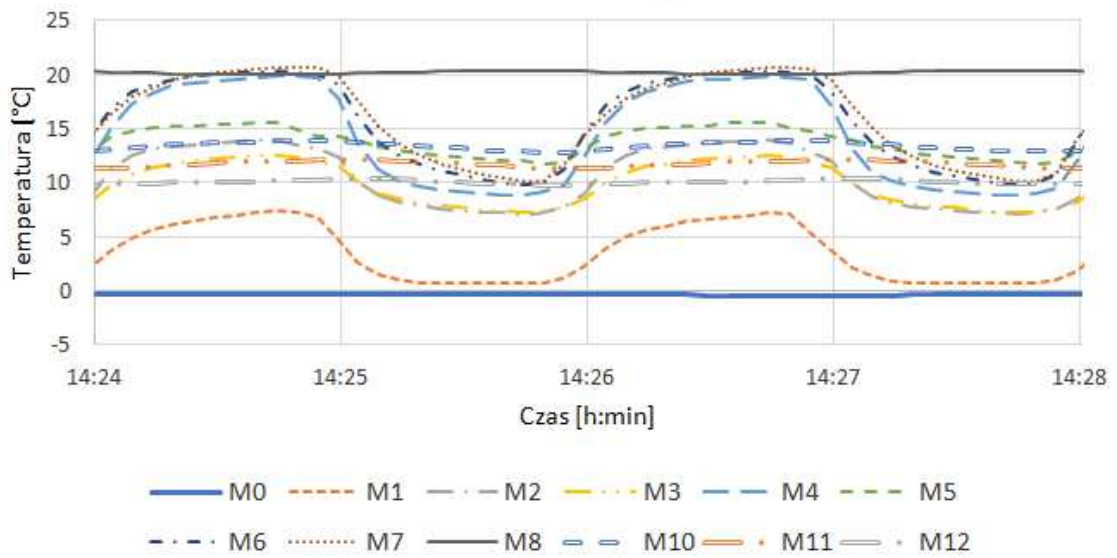
Wykres 104 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



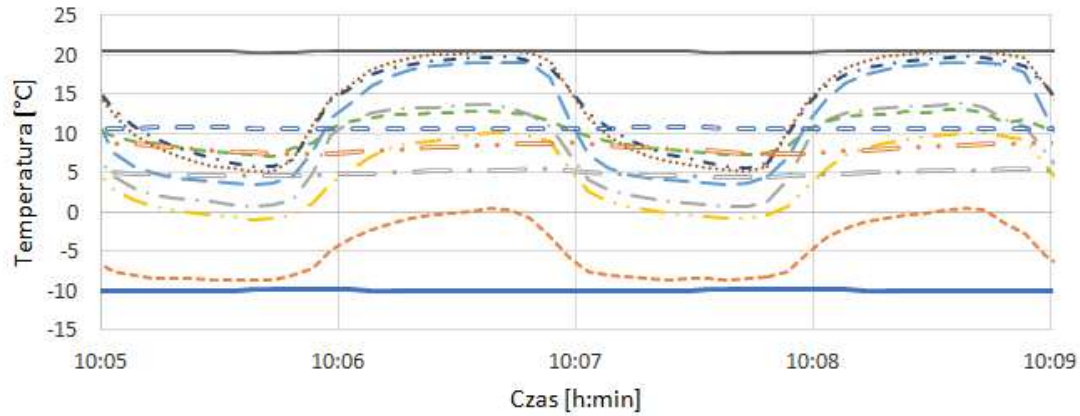
Wykres 105 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 106 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

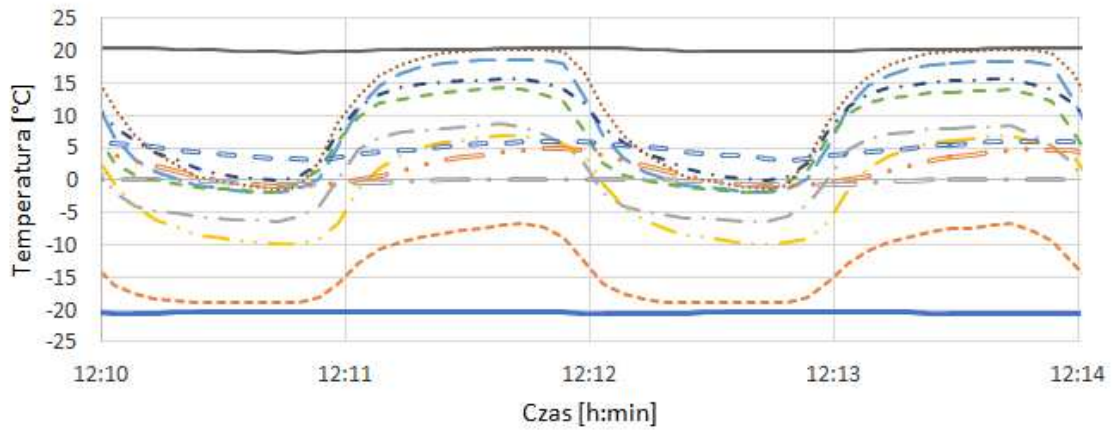


Wykres 107 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



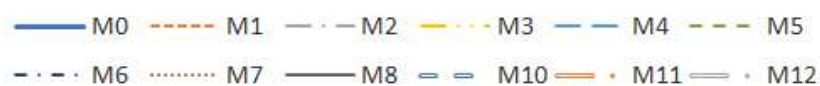
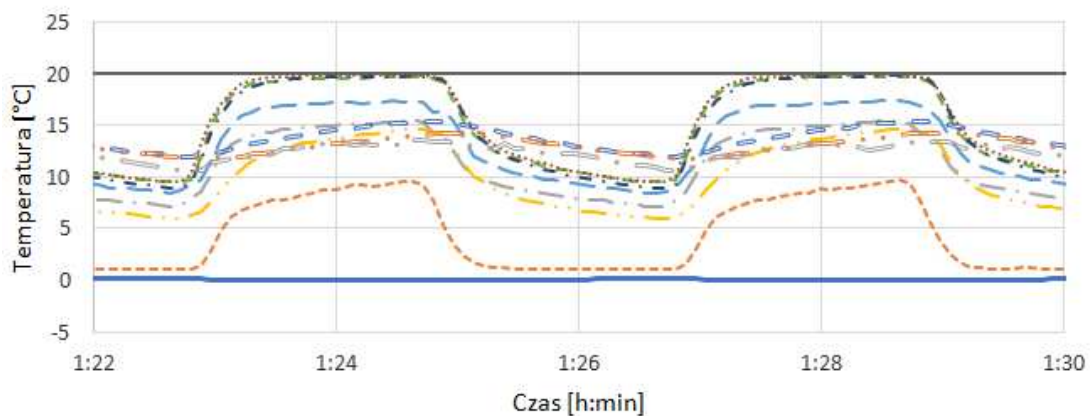
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - - - M4 - - - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 108 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

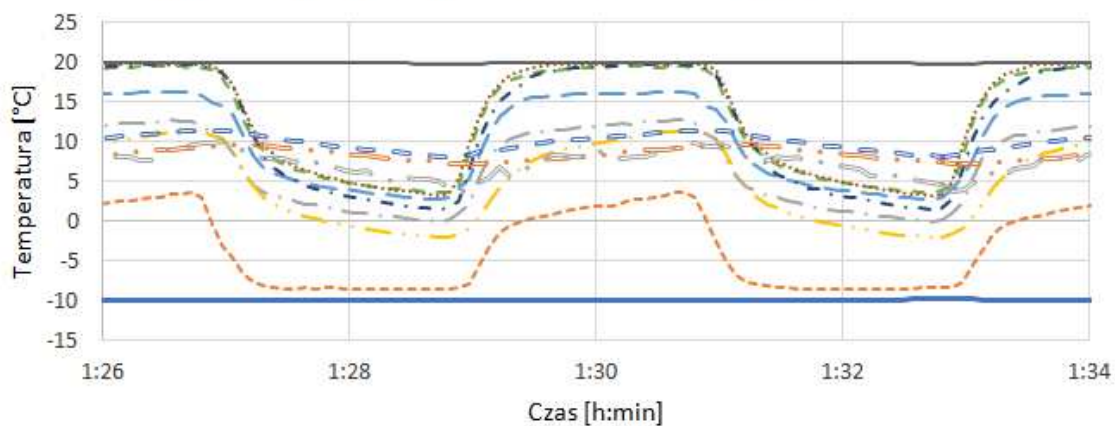


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - - - M4 - - - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

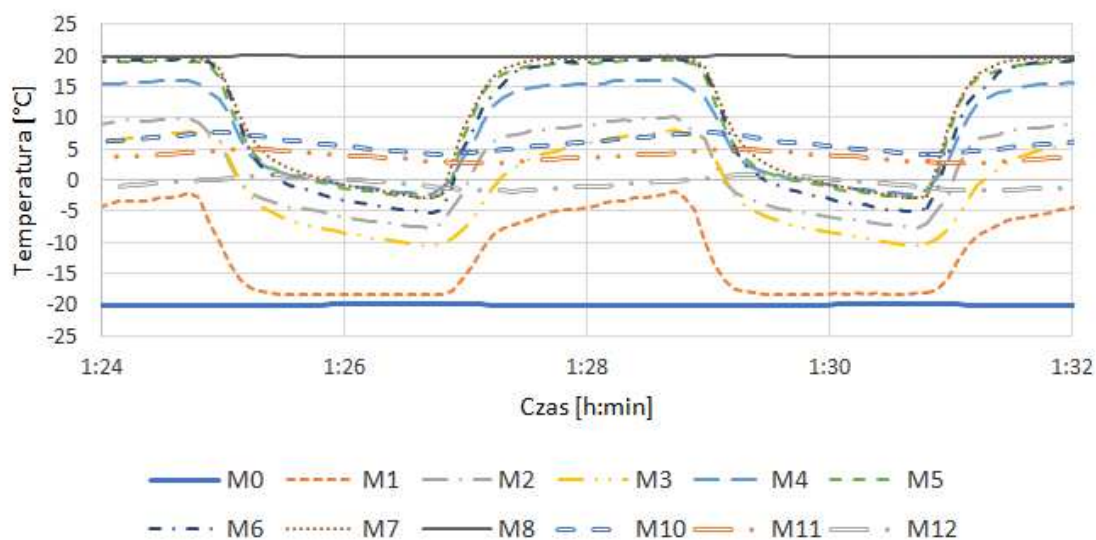
Wykres 109 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



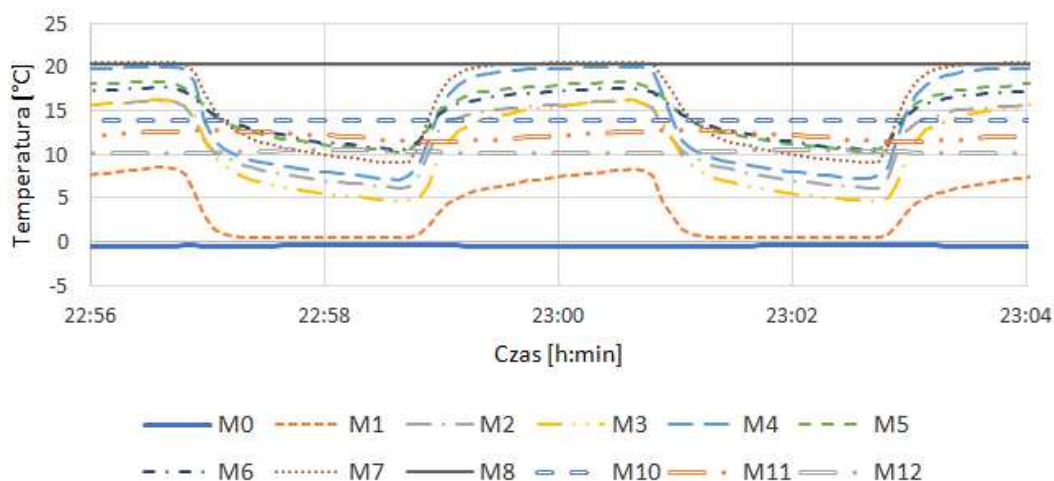
Wykres 110 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



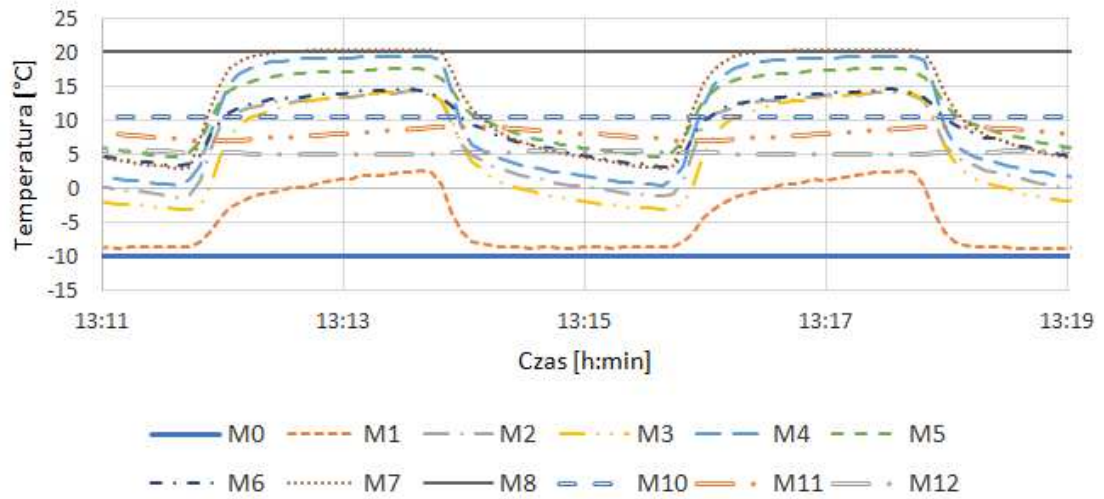
Wykres 111 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



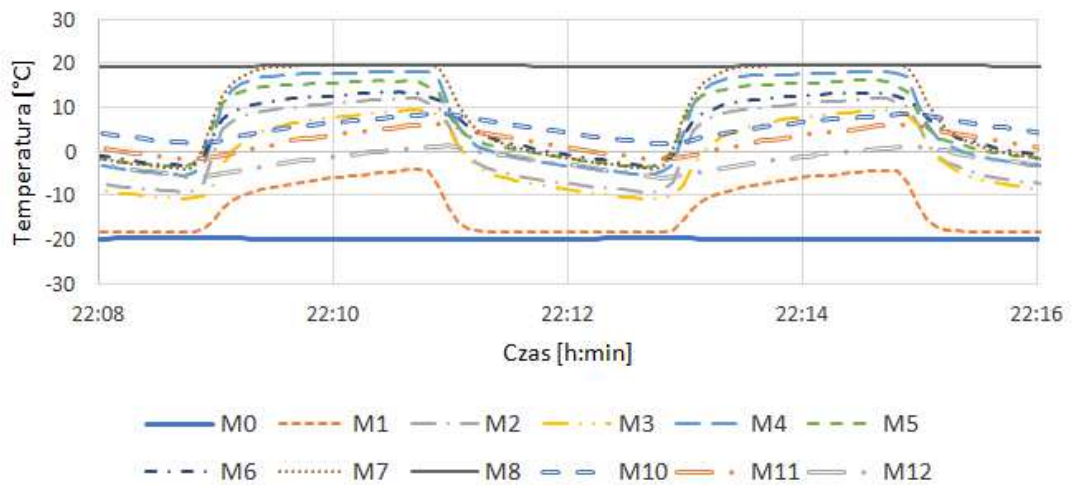
Wykres 112 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



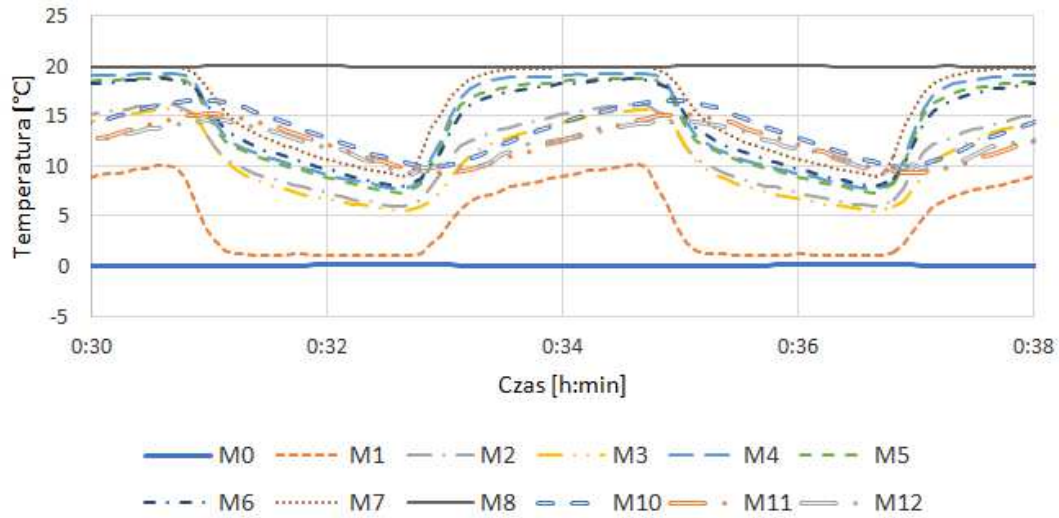
Wykres 113 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



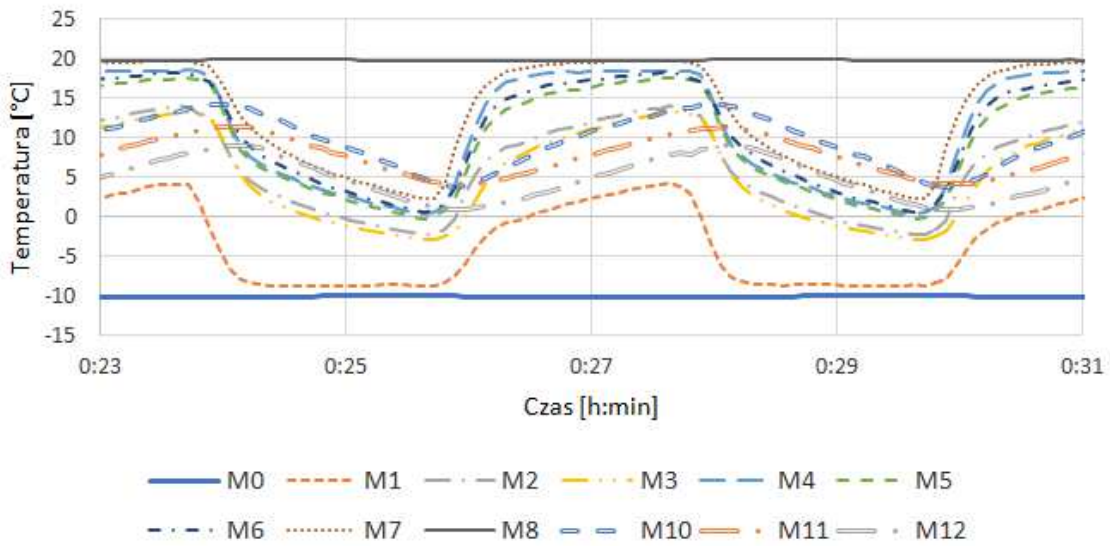
Wykres 114 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



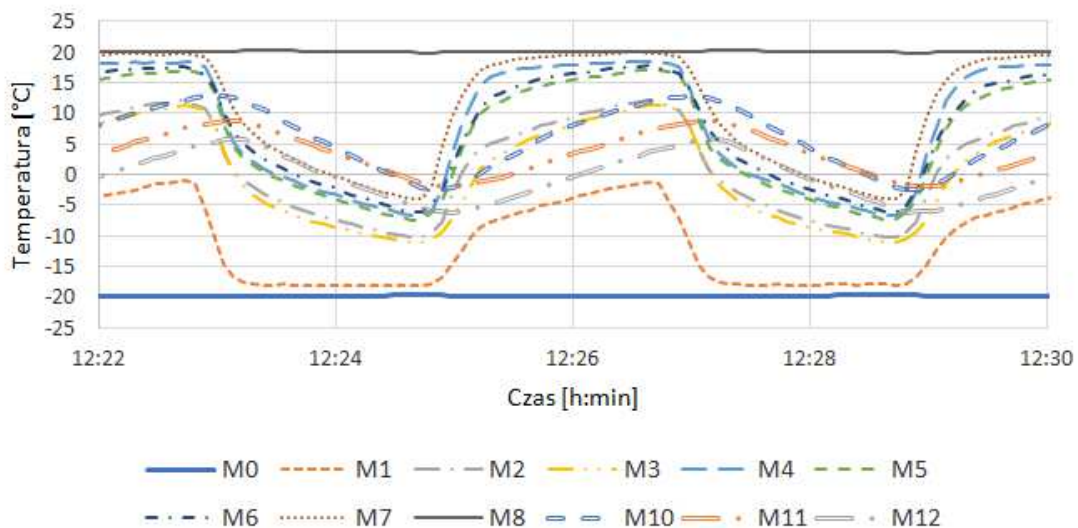
Wykres 115 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



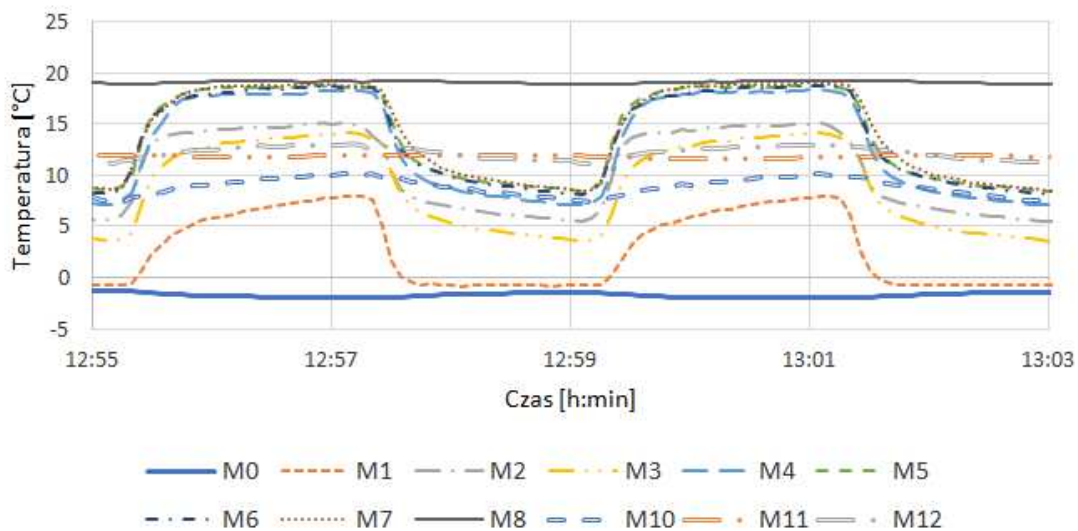
Wykres 116 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



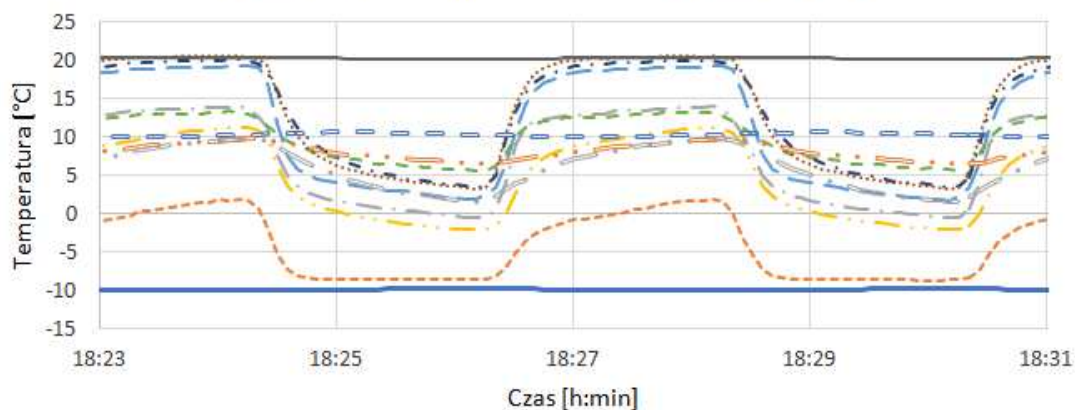
Wykres 117 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 118 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

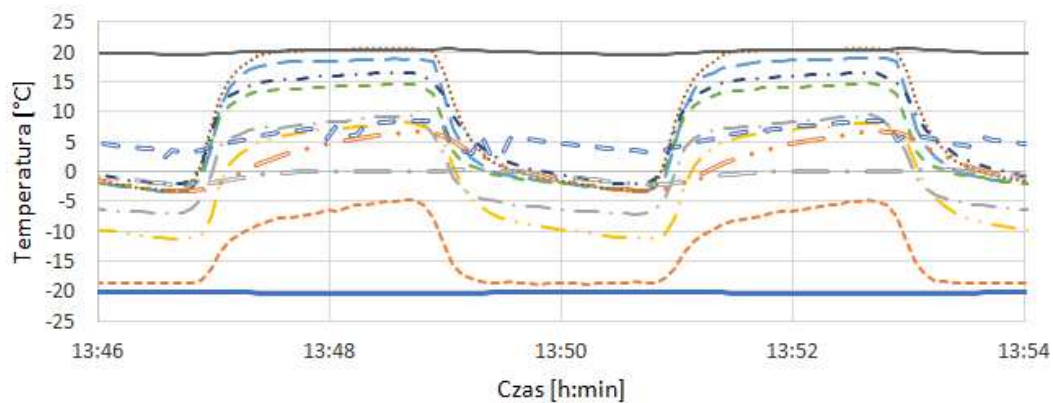


Wykres 119 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



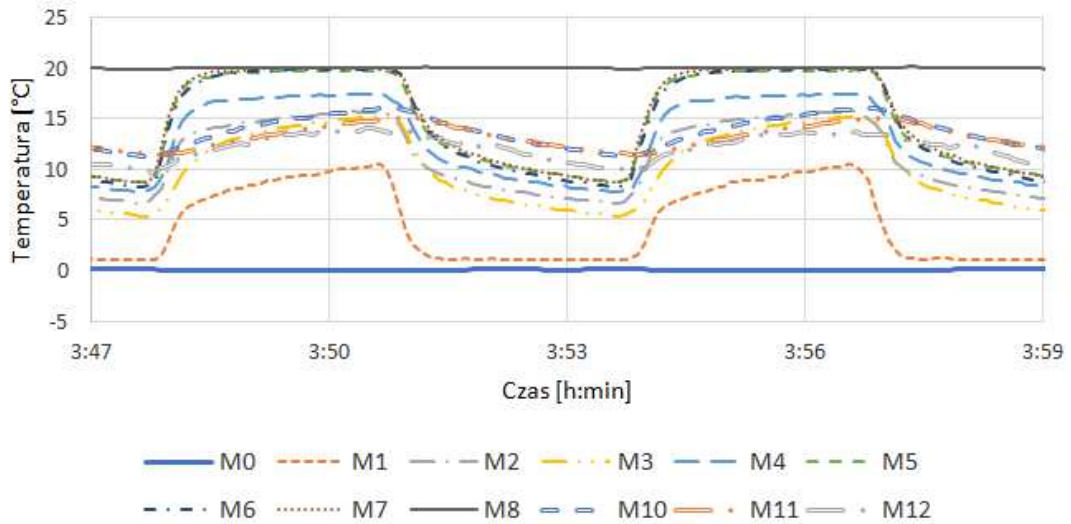
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 120 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

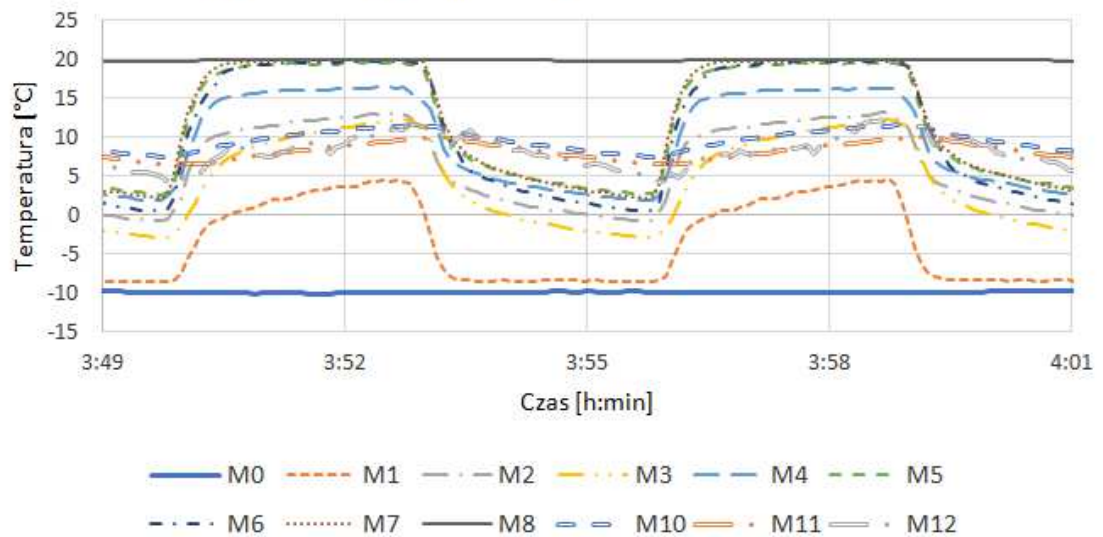


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

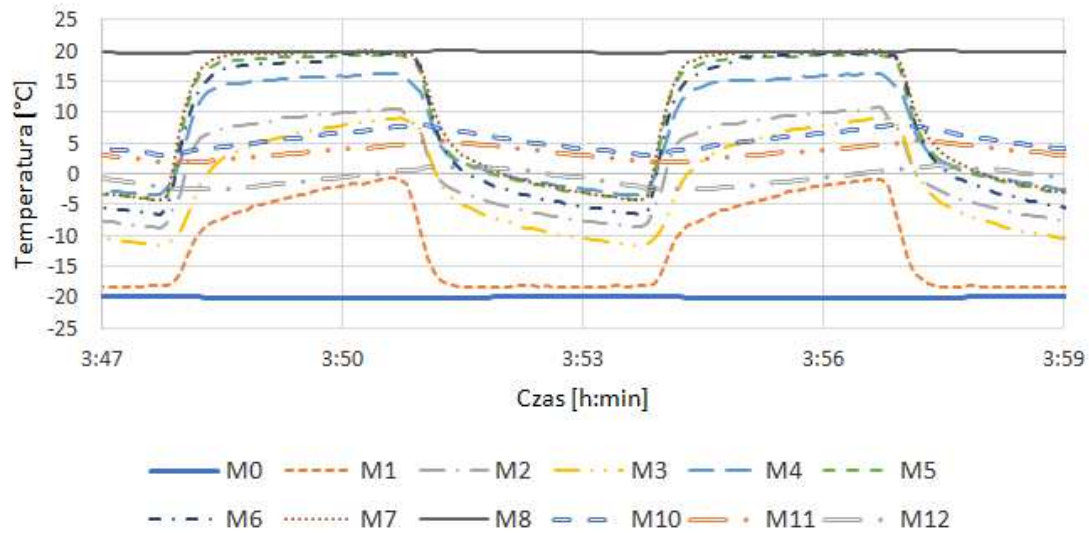
Wykres 121 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



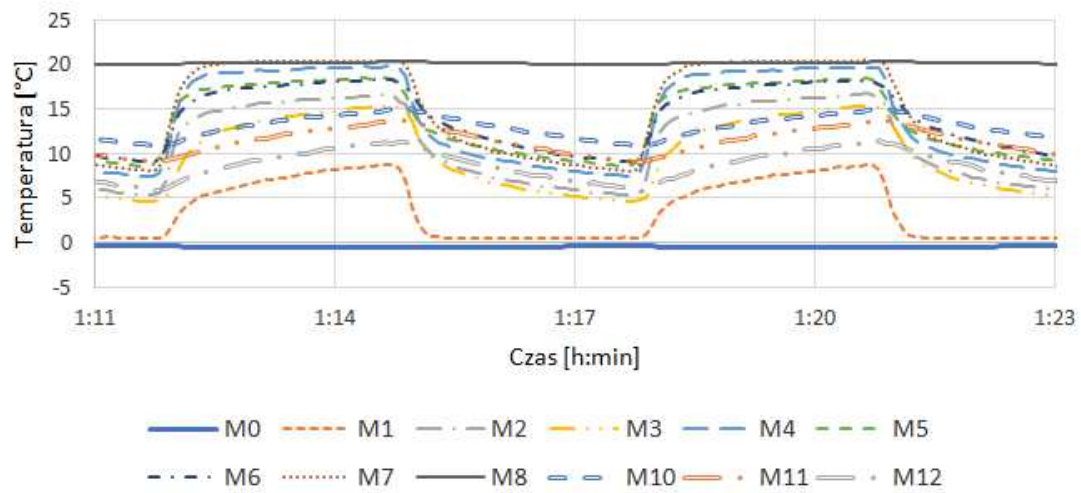
Wykres 122 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



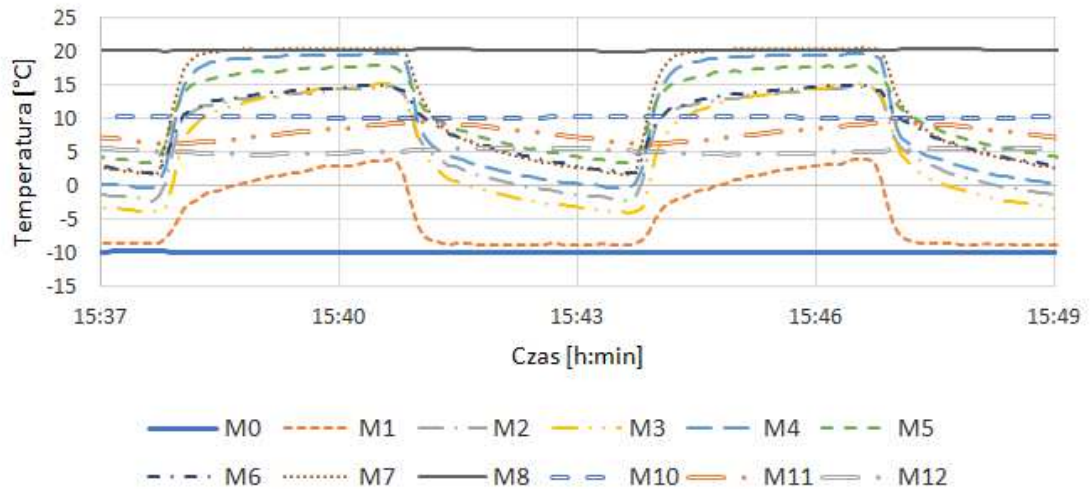
Wykres 123 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



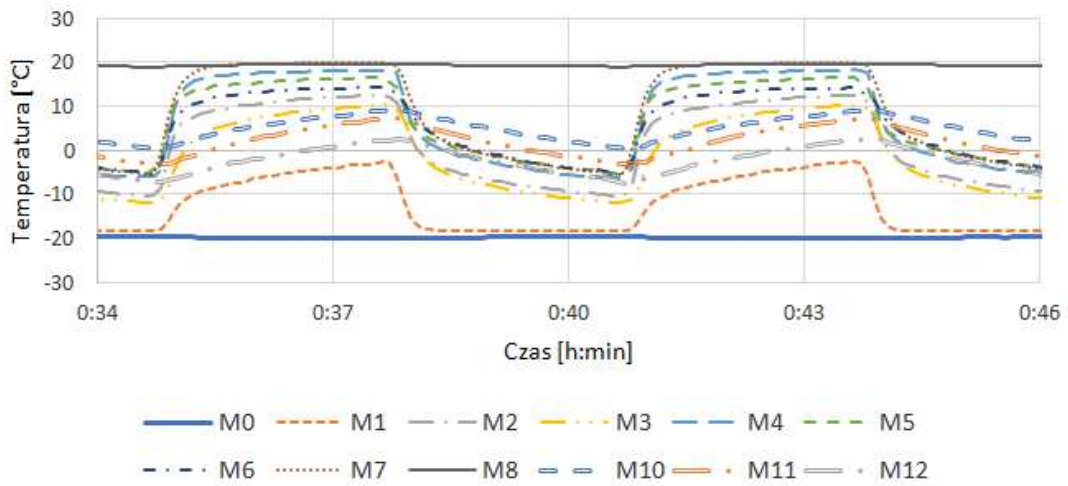
Wykres 124 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



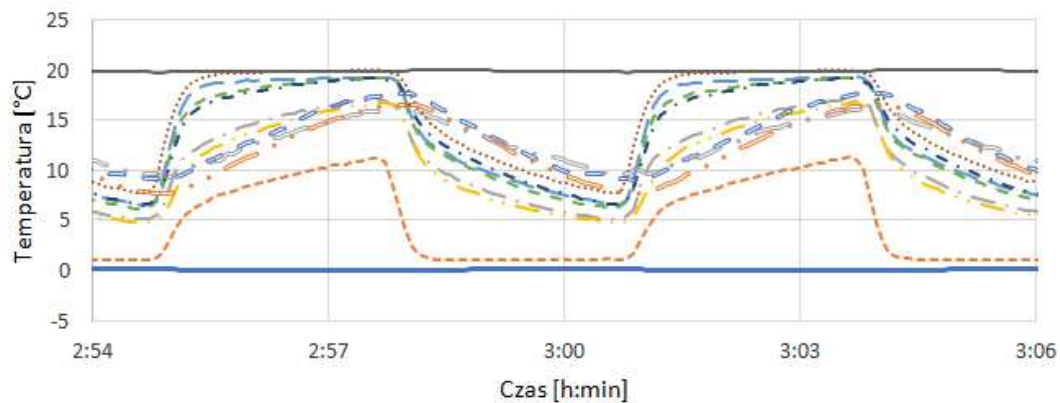
Wykres 125 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 126 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

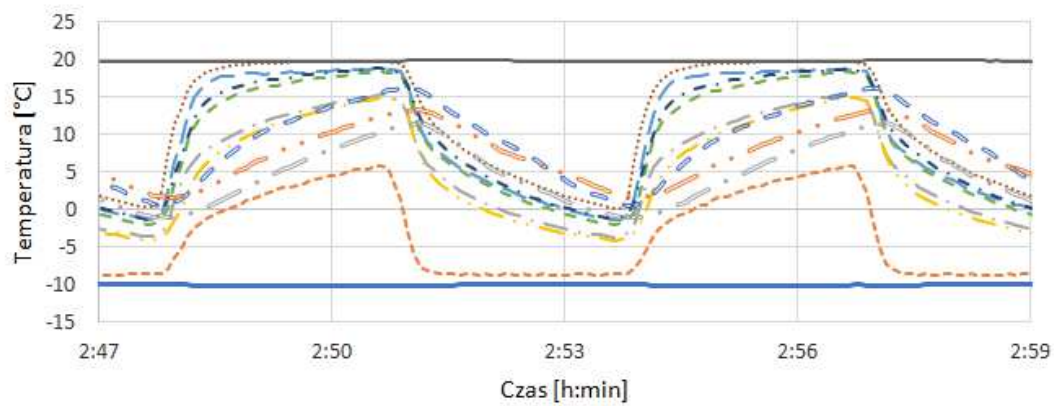


Wykres 127 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



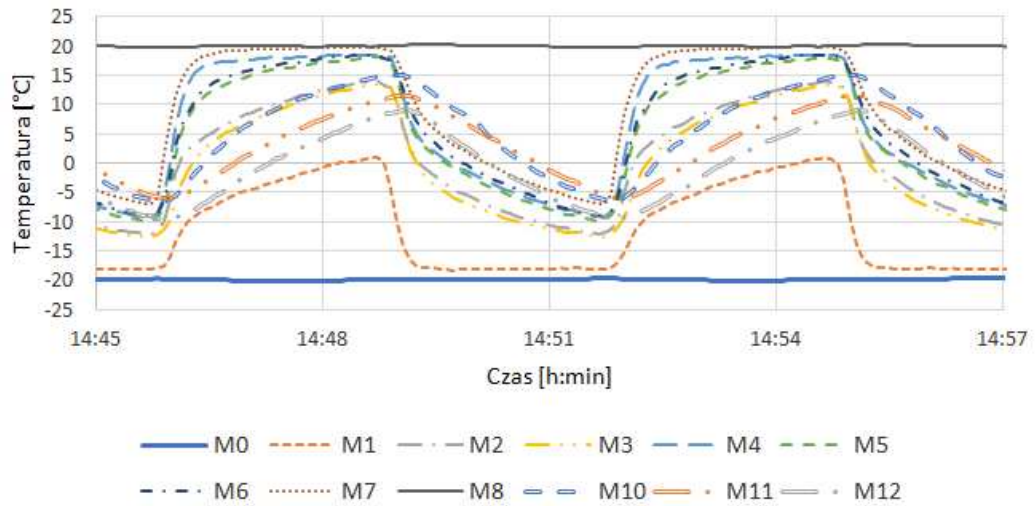
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 ——— M8 - · - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 128 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

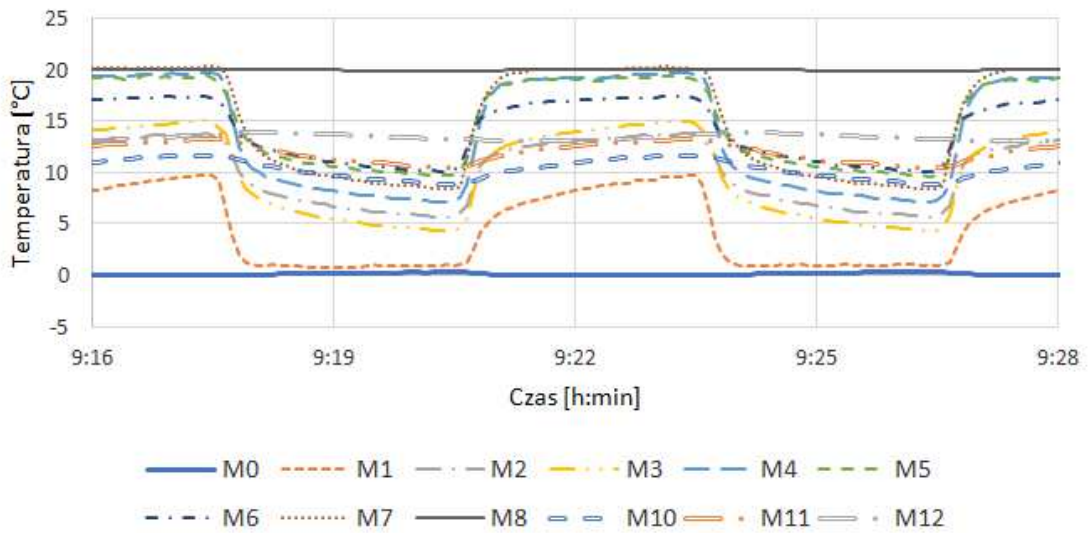


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 ——— M8 - · - M10 - · - M11 - · - M12

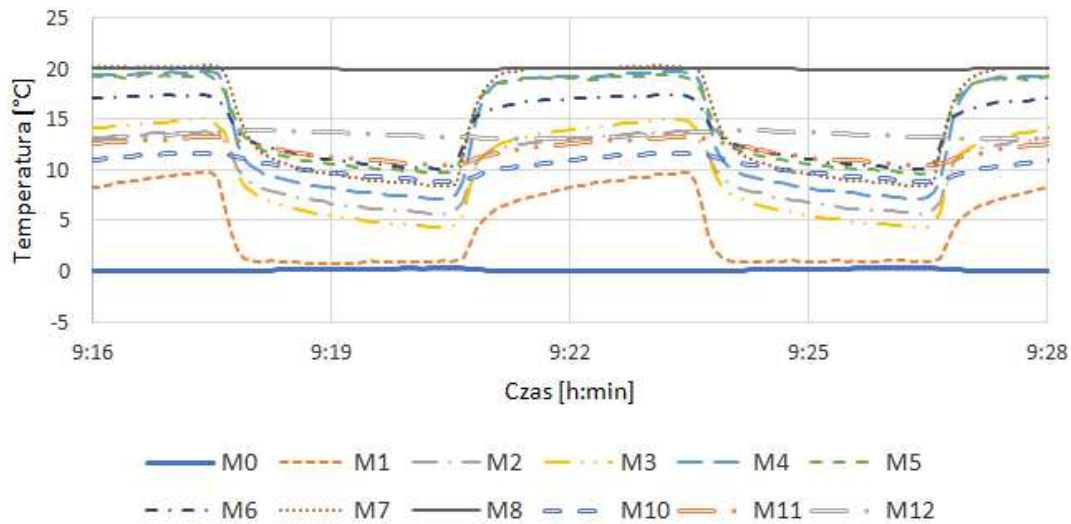
Wykres 129 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



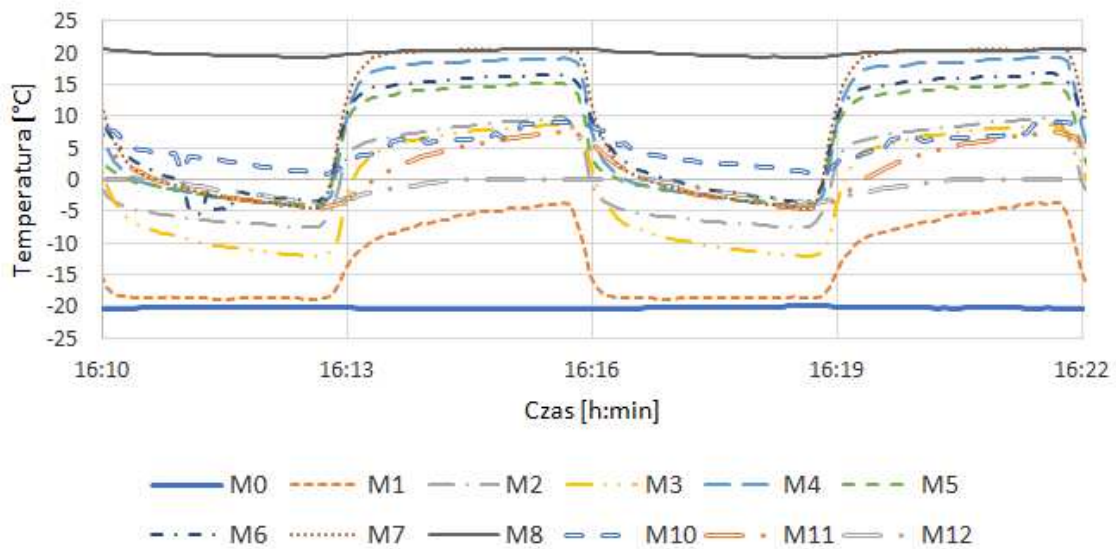
Wykres 130 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



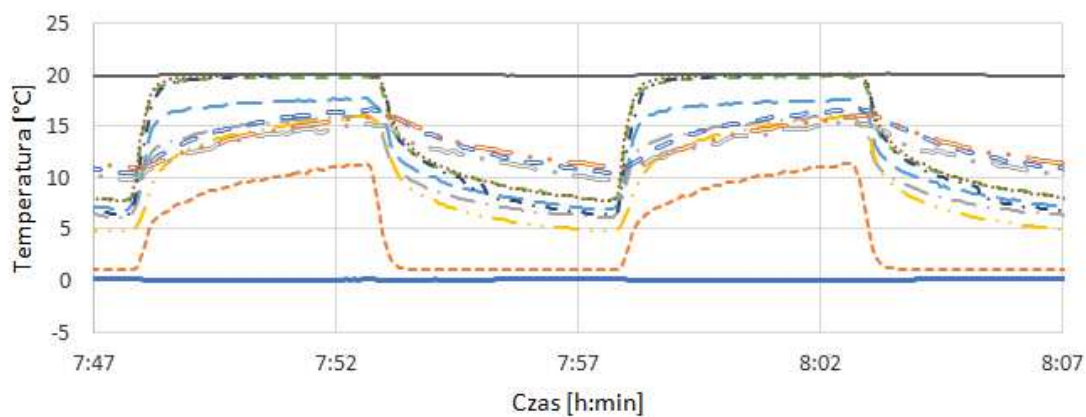
Wykres 131 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 132 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

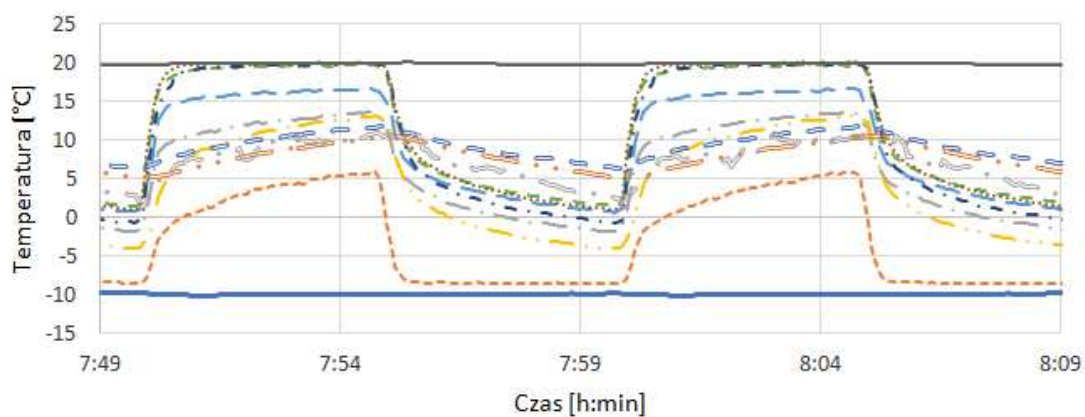


Wykres 133 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



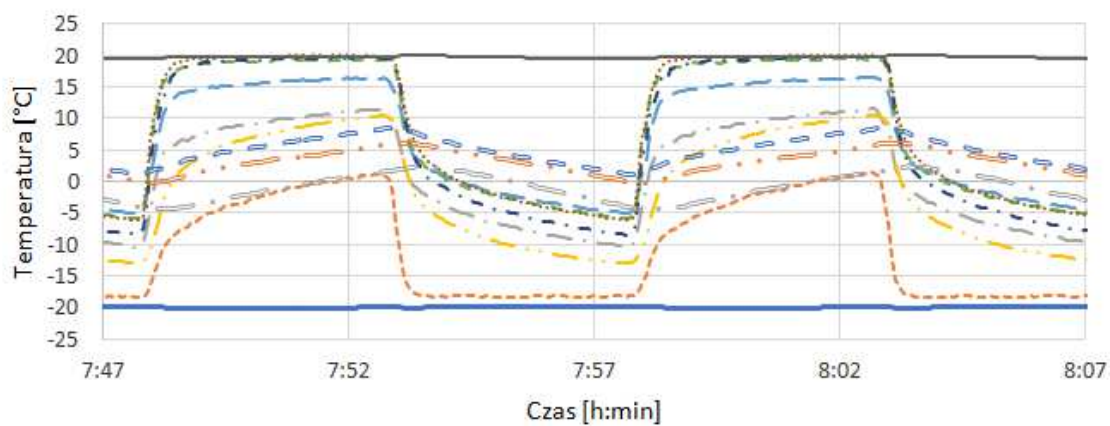
— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 134 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



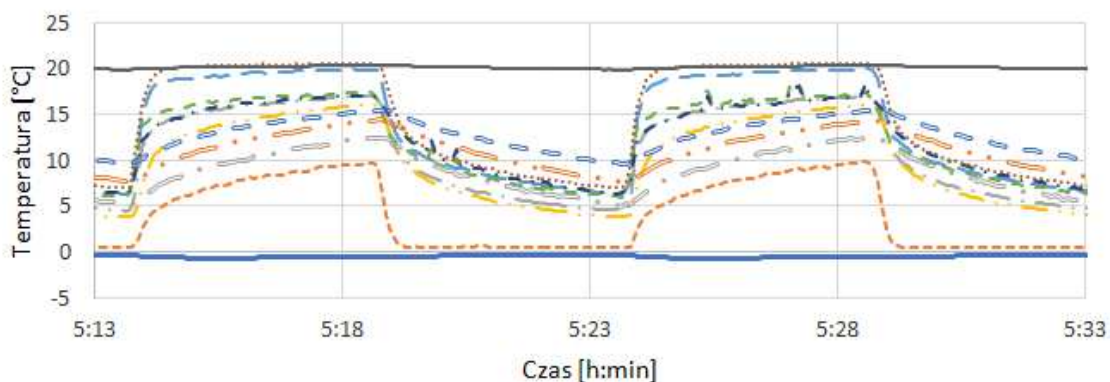
— M0 - - - M1 - · - M2 - · · M3 - - - M4 - - - M5
 - · - M6 · · · M7 — M8 - - - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 135 - Przebieg zmian temperatury - olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



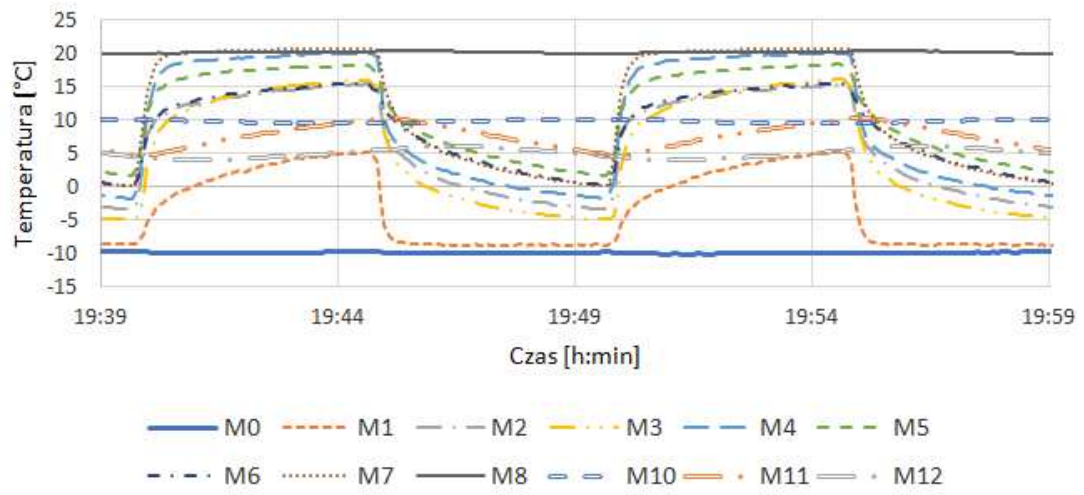
— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 — M8 - · - M10 - · - M11 - · - M12

Wykres 136 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

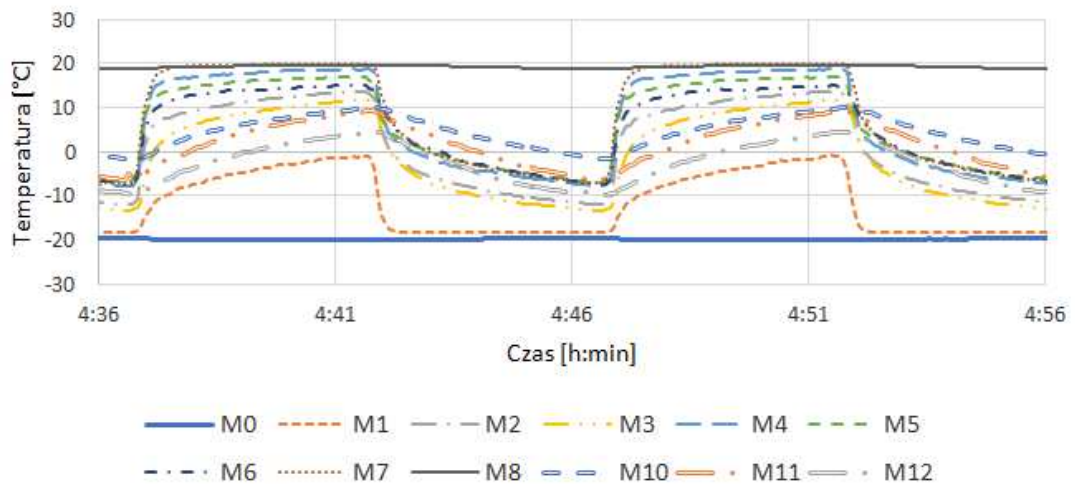


— M0 - - - M1 - · - M2 - · - M3 - · - M4 - · - M5
 - · - M6 ····· M7 — M8 - · - M10 - · - M11 - · - M12

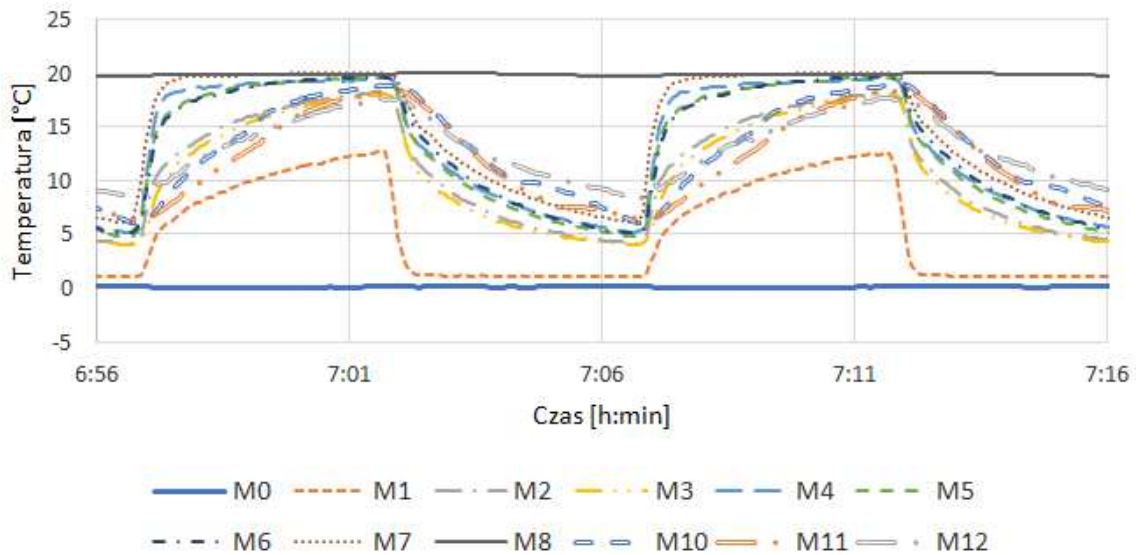
Wykres 137 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



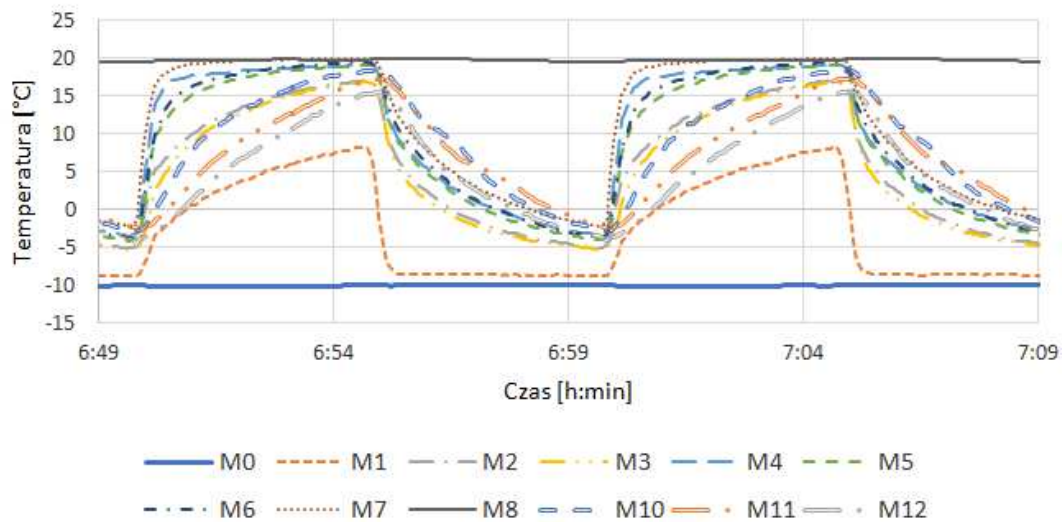
Wykres 138 - Przebieg zmian temperatury - olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



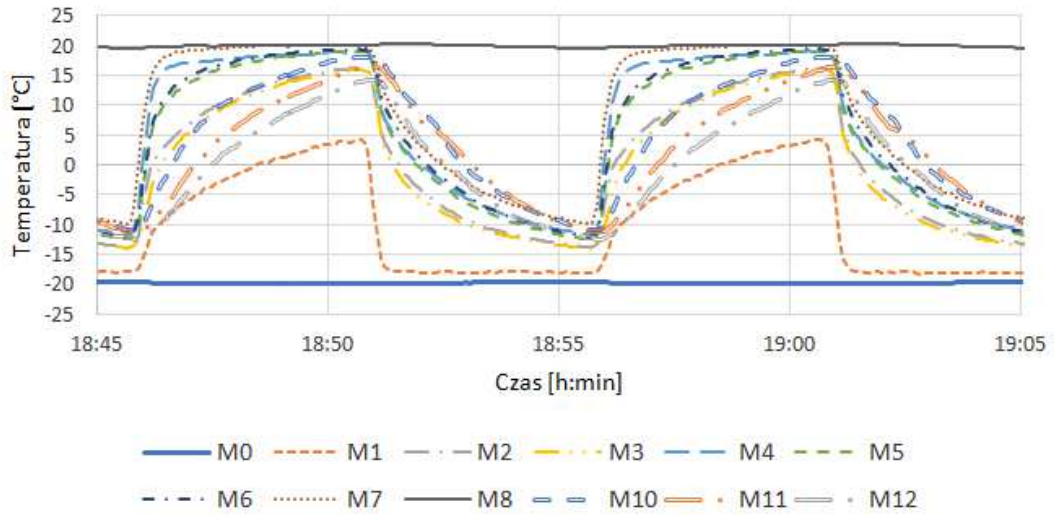
Wykres 139 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



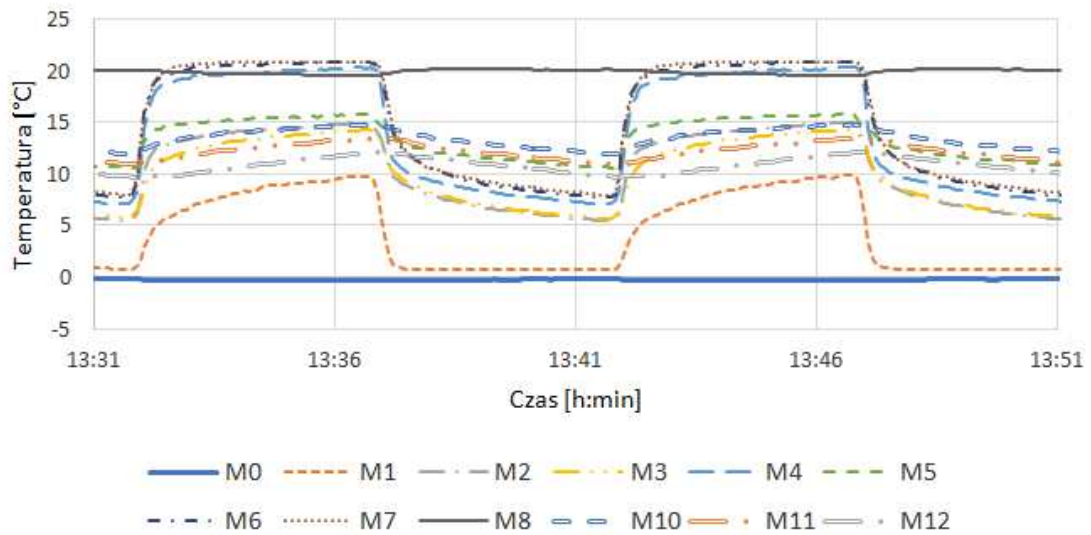
Wykres 140 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



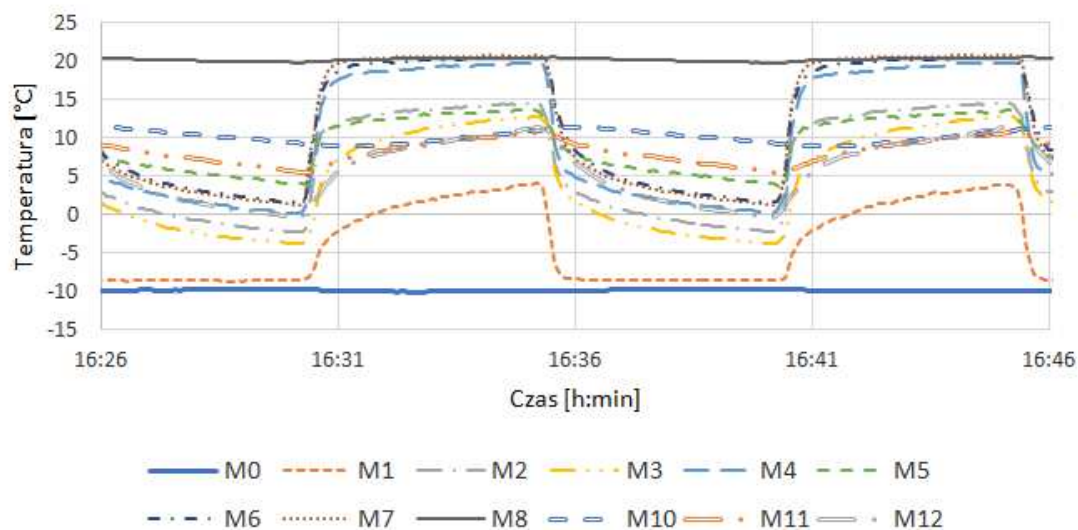
Wykres 141 - Przebieg zmian temperatury - pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



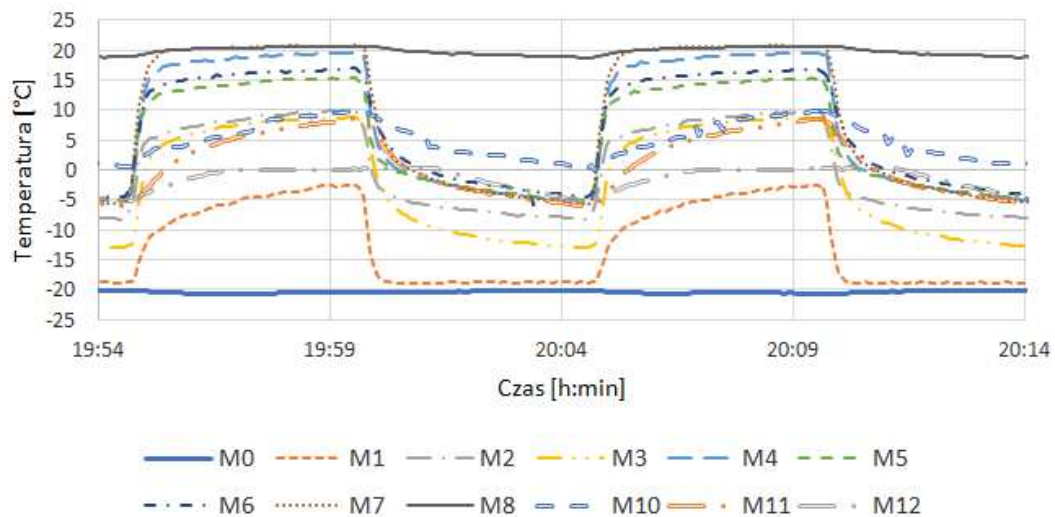
Wykres 142 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 143 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.



Wykres 144 - Przebieg zmian temperatury - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.



Załącznik 4 – Zestawienie danych z badań laboratoryjnych.

Spis tabel:

- Tabela 1 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 2 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 3 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 4 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 5 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 6 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 7 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 8 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 9 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 10 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 11 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 12 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 13 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 14 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 15 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 16 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 17 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 18 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 19 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 20 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 21 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 22 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 23 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 24 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 25 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 26 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 27 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 28 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 29 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 30 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 31 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 32 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 33 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 34 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.
- Tabela 35 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

Tabela 1 - Dane dla - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,20	15,12	19,87	7,99	76,32%	59,99%
2	-0,20	15,11	19,89	7,99	76,20%	59,82%
3	-0,18	15,16	19,89	8,01	76,43%	60,19%
4	-0,18	15,13	19,89	7,98	76,28%	60,01%
5	-0,21	15,13	19,89	7,96	76,30%	60,09%
6	-0,20	15,13	19,89	8,00	76,31%	59,97%
7	-0,17	15,12	19,89	7,98	76,20%	59,92%
8	-0,21	15,15	19,90	8,01	76,39%	60,08%
9	-0,22	15,12	19,90	7,98	76,27%	59,96%
10	-0,20	15,12	19,91	7,99	76,18%	59,81%
średnia	-0,20	15,13	19,89	7,99	76,29%	59,98%

Tabela 2 - Dane dla - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,06	12,70	19,99	1,46	75,74%	60,66%
2	-10,06	12,71	20,02	1,46	75,69%	60,60%
3	-10,08	12,72	20,01	1,44	75,75%	60,71%
4	-10,08	12,66	20,00	1,39	75,60%	60,56%
5	-10,09	12,74	20,02	1,46	75,85%	60,82%
6	-10,03	12,68	20,00	1,43	75,64%	60,60%
7	-10,05	12,69	19,99	1,44	75,71%	60,66%
8	-10,11	12,70	19,96	1,42	75,87%	60,86%
9	-10,03	12,64	19,98	1,37	75,56%	60,61%
10	-10,09	12,71	19,98	1,44	75,83%	60,80%
średnia	-10,07	12,70	19,99	1,43	75,72%	60,69%

Tabela 3 - Dane dla - olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,15	9,41	20,03	-5,63	73,55%	58,59%
2	-20,11	9,36	20,05	-5,70	73,37%	58,47%
3	-20,17	9,43	20,05	-5,63	73,60%	58,65%
4	-20,18	9,38	20,10	-5,65	73,38%	58,36%
5	-20,22	9,44	20,05	-5,63	73,67%	58,72%
6	-20,19	9,42	20,06	-5,63	73,57%	58,59%
7	-20,17	9,38	20,06	-5,67	73,46%	58,49%
8	-20,21	9,45	20,05	-5,63	73,67%	58,71%
9	-20,23	9,39	20,04	-5,66	73,56%	58,57%
10	-20,28	9,47	20,04	-5,64	73,79%	58,85%
średnia	-20,19	9,41	20,05	-5,65	73,56%	58,60%

Tabela 4 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,01	15,08	20,07	7,78	75,13%	59,40%
2	-0,02	15,07	20,08	7,78	75,07%	59,25%
3	-0,03	15,09	20,07	7,78	75,24%	59,52%
4	-0,04	15,05	20,08	7,71	75,01%	59,37%
5	-0,04	15,08	20,08	7,77	75,13%	59,36%
6	-0,06	15,07	20,07	7,76	75,13%	59,34%
7	-0,03	15,05	20,10	7,73	74,94%	59,19%
8	-0,02	15,09	20,08	7,78	75,21%	59,46%
9	-0,04	15,04	20,10	7,71	74,89%	59,18%
10	-0,02	15,09	20,07	7,78	75,23%	59,52%
średnia	-0,03	15,07	20,08	7,76	75,10%	59,36%

Tabela 5 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,19	11,16	19,99	1,32	70,73%	52,69%
2	-10,20	11,12	20,03	1,27	70,51%	52,50%
3	-10,20	11,13	19,99	1,28	70,66%	52,67%
4	-10,19	11,12	19,99	1,32	70,60%	52,49%
5	-10,19	11,07	19,98	1,24	70,47%	52,46%
6	-10,20	11,13	19,97	1,31	70,70%	52,63%
7	-10,19	11,10	20,00	1,26	70,53%	52,52%
8	-10,18	11,11	20,02	1,29	70,49%	52,40%
9	-10,20	11,10	20,02	1,28	70,48%	52,39%
10	-10,18	11,08	20,01	1,24	70,41%	52,40%
średnia	-10,19	11,11	20,00	1,28	70,56%	52,51%

Tabela 6 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,06	7,81	19,98	-5,65	69,61%	52,53%
2	-20,07	7,88	19,94	-5,58	69,86%	52,75%
3	-20,10	7,83	19,99	-5,62	69,67%	52,51%
4	-20,02	7,83	19,99	-5,58	69,60%	52,45%
5	-19,99	7,84	19,96	-5,56	69,65%	52,49%
6	-19,96	7,79	19,98	-5,61	69,49%	52,37%
7	-20,05	7,88	19,97	-5,54	69,80%	52,62%
8	-20,09	7,83	19,98	-5,61	69,67%	52,51%
9	-20,07	7,86	19,98	-5,59	69,73%	52,59%
10	-20,12	7,85	19,95	-5,62	69,80%	52,67%
średnia	-20,05	7,84	19,97	-5,60	69,69%	52,55%

Tabela 7 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,00	14,59	20,02	7,90	72,89%	55,20%
2	-0,03	14,52	20,02	7,83	72,57%	54,89%
3	-0,03	14,53	20,02	7,87	72,62%	54,82%
4	-0,01	14,55	20,02	7,85	72,69%	55,06%
5	-0,02	14,52	20,01	7,81	72,58%	54,98%
6	0,00	14,59	20,00	7,89	72,94%	55,30%
7	-0,02	14,52	20,01	7,85	72,58%	54,83%
8	-0,04	14,58	20,01	7,88	72,92%	55,26%
9	-0,02	14,53	20,01	7,86	72,64%	54,91%
10	0,01	14,52	20,01	7,87	72,52%	54,76%
średnia	-0,02	14,54	20,01	7,86	72,70%	55,00%

Tabela 8 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,21	11,80	20,08	1,13	72,65%	56,31%
2	-10,20	11,96	20,13	1,22	73,05%	56,78%
3	-10,19	11,89	20,10	1,18	72,90%	56,62%
4	-10,20	11,90	20,08	1,19	72,99%	56,70%
5	-10,21	11,89	20,09	1,20	72,93%	56,58%
6	-10,19	11,84	20,09	1,19	72,74%	56,33%
7	-10,19	11,94	20,10	1,21	73,06%	56,80%
8	-10,24	11,87	20,10	1,15	72,86%	56,56%
9	-10,20	11,92	20,09	1,23	73,05%	56,72%
10	-10,19	11,89	20,08	1,21	72,95%	56,61%
średnia	-10,20	11,89	20,09	1,19	72,92%	56,60%

Tabela 9 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,02	8,92	20,08	-5,59	72,18%	56,54%
2	-20,04	8,98	20,09	-5,52	72,30%	56,60%
3	-20,01	8,85	20,14	-5,59	71,87%	56,12%
4	-19,98	9,02	20,12	-5,48	72,32%	56,63%
5	-20,00	8,94	20,13	-5,55	72,14%	56,45%
6	-20,04	8,93	20,11	-5,53	72,15%	56,39%
7	-20,04	8,94	20,11	-5,52	72,18%	56,42%
8	-20,02	8,86	20,11	-5,60	71,95%	56,22%
9	-20,04	9,04	20,10	-5,49	72,44%	56,77%
10	-20,02	8,91	20,13	-5,62	72,06%	56,43%
średnia	-20,02	8,94	20,11	-5,55	72,16%	56,46%

Tabela 10 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,06	14,43	19,98	7,92	72,32%	54,02%
2	-0,08	14,41	19,98	7,91	72,21%	53,82%
3	-0,04	14,41	19,99	7,98	72,12%	53,53%
4	-0,06	14,41	19,98	7,93	72,18%	53,75%
5	-0,02	14,40	19,98	7,93	72,10%	53,68%
6	-0,02	14,39	19,99	7,94	71,99%	53,50%
7	-0,02	14,39	19,99	7,94	72,02%	53,53%
8	-0,01	14,42	19,98	7,95	72,19%	53,79%
9	-0,06	14,40	19,99	7,93	72,12%	53,65%
10	-0,06	14,43	19,99	7,95	72,27%	53,82%
średnia	-0,04	14,41	19,98	7,94	72,15%	53,71%

Tabela 11 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,04	11,54	20,18	0,94	71,44%	55,13%
2	-10,07	11,48	20,18	0,88	71,25%	54,93%
3	-10,09	11,53	20,17	0,88	71,47%	55,23%
4	-10,07	11,48	20,14	0,85	71,33%	55,09%
5	-10,05	11,47	20,13	0,86	71,31%	55,07%
6	-10,08	11,48	20,17	0,84	71,28%	55,04%
7	-10,06	11,42	20,16	0,86	71,09%	54,74%
8	-10,07	11,51	20,15	0,88	71,39%	55,15%
9	-10,08	11,47	20,17	0,88	71,24%	54,90%
10	-10,07	11,45	20,15	0,82	71,21%	55,01%
średnia	-10,07	11,48	20,16	0,87	71,30%	55,03%

Tabela 12 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,05	8,08	20,01	-6,17	70,22%	54,42%
2	-20,05	8,06	20,04	-6,19	70,11%	54,33%
3	-20,05	8,10	20,06	-6,13	70,18%	54,34%
4	-20,05	8,07	20,04	-6,15	70,13%	54,28%
5	-20,05	8,12	20,05	-6,13	70,24%	54,42%
6	-20,02	8,07	20,06	-6,16	70,08%	54,26%
7	-20,02	8,07	20,06	-6,15	70,08%	54,25%
8	-20,07	8,11	20,05	-6,10	70,24%	54,34%
9	-20,02	8,06	20,06	-6,22	70,07%	54,34%
10	-20,03	8,14	20,00	-6,11	70,37%	54,58%
średnia	-20,04	8,09	20,04	-6,15	70,17%	54,36%

Tabela 13 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,15	14,72	19,88	7,82	74,26%	57,23%
2	-0,14	14,71	19,87	7,82	74,17%	57,12%
3	-0,15	14,71	19,87	7,79	74,23%	57,27%
4	-0,14	14,71	19,87	7,80	74,21%	57,28%
5	-0,15	14,71	19,87	7,80	74,21%	57,22%
6	-0,15	14,71	19,88	7,80	74,17%	57,17%
7	-0,16	14,71	19,88	7,80	74,21%	57,21%
8	-0,18	14,70	19,88	7,76	74,18%	57,27%
9	-0,13	14,69	19,87	7,79	74,11%	57,15%
10	-0,15	14,70	19,88	7,78	74,17%	57,24%
średnia	-0,15	14,71	19,88	7,80	74,19%	57,22%

Tabela 14 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,11	11,45	19,88	0,72	71,88%	55,99%
2	-10,11	11,44	19,86	0,72	71,92%	56,02%
3	-10,13	11,43	19,85	0,71	71,91%	56,00%
4	-10,13	11,45	19,85	0,73	71,98%	56,09%
5	-10,12	11,45	19,85	0,72	71,97%	56,08%
6	-10,12	11,45	19,86	0,72	71,95%	56,07%
7	-10,10	11,43	19,87	0,71	71,84%	55,96%
8	-10,11	11,44	19,86	0,70	71,90%	56,04%
9	-10,13	11,46	19,85	0,73	72,00%	56,11%
10	-10,13	11,44	19,84	0,74	71,99%	56,06%
średnia	-10,12	11,44	19,86	0,72	71,94%	56,04%

Tabela 15 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,99	8,41	20,04	-5,80	70,95%	55,01%
2	-19,96	8,44	20,03	-5,80	71,02%	55,13%
3	-19,97	8,45	20,04	-5,85	71,03%	55,24%
4	-19,93	8,47	20,05	-5,79	71,05%	55,21%
5	-19,96	8,46	20,03	-5,79	71,07%	55,21%
6	-19,98	8,44	20,05	-5,79	71,00%	55,08%
7	-19,94	8,48	20,05	-5,78	71,06%	55,20%
8	-19,93	8,45	20,05	-5,78	70,98%	55,08%
9	-19,99	8,45	20,02	-5,78	71,07%	55,14%
10	-19,97	8,51	20,02	-5,80	71,22%	55,42%
średnia	-19,96	8,46	20,04	-5,80	71,05%	55,17%

Tabela 16 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,00	14,57	20,07	7,53	72,61%	56,15%
2	-0,01	14,57	20,06	7,53	72,61%	56,15%
3	0,00	14,57	20,09	7,54	72,51%	56,01%
4	0,01	14,56	20,07	7,53	72,55%	56,07%
5	0,00	14,57	20,08	7,55	72,57%	56,06%
6	-0,01	14,58	20,08	7,51	72,63%	56,25%
7	0,01	14,57	20,06	7,53	72,64%	56,23%
8	0,02	14,58	20,07	7,55	72,61%	56,16%
9	0,00	14,58	20,06	7,54	72,67%	56,21%
10	0,00	14,58	20,07	7,54	72,67%	56,21%
średnia	0,00	14,57	20,07	7,54	72,61%	56,15%

Tabela 17 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,08	10,38	19,98	0,98	68,05%	49,47%
2	-10,11	10,38	19,99	0,97	68,09%	49,51%
3	-10,11	10,38	19,97	1,00	68,11%	49,43%
4	-10,09	10,38	19,98	1,02	68,08%	49,37%
5	-10,09	10,37	19,96	1,01	68,08%	49,40%
6	-10,06	10,39	19,96	1,00	68,12%	49,52%
7	-10,10	10,37	19,95	0,97	68,11%	49,50%
8	-10,11	10,36	19,96	0,96	68,09%	49,50%
9	-10,11	10,36	19,98	0,99	68,03%	49,35%
10	-10,09	10,36	19,97	0,98	68,04%	49,40%
średnia	-10,09	10,37	19,97	0,99	68,08%	49,45%

Tabela 18 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,00	6,95	20,00	-6,01	67,38%	49,82%
2	-20,07	6,95	19,96	-6,03	67,50%	49,95%
3	-20,09	6,95	19,98	-6,04	67,47%	49,91%
4	-20,10	6,95	19,98	-6,07	67,49%	49,98%
5	-20,01	6,91	19,97	-6,08	67,34%	49,86%
6	-19,94	6,90	19,97	-6,08	67,25%	49,84%
7	-19,93	6,94	19,96	-5,99	67,37%	49,84%
8	-19,98	6,93	19,98	-6,03	67,35%	49,84%
9	-19,93	6,94	19,97	-6,03	67,33%	49,87%
10	-19,93	6,92	19,97	-6,03	67,32%	49,84%
średnia	-20,00	6,93	19,97	-6,04	67,38%	49,87%

Tabela 19 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,04	13,92	20,02	7,66	69,50%	50,69%
2	0,01	13,92	20,00	7,66	69,57%	50,70%
3	0,02	13,93	20,00	7,64	69,60%	50,85%
4	0,03	13,93	20,01	7,68	69,56%	50,66%
5	0,02	13,91	20,01	7,67	69,48%	50,56%
6	0,02	13,89	20,02	7,65	69,36%	50,45%
7	0,01	13,89	20,01	7,66	69,42%	50,48%
8	0,02	13,91	20,01	7,65	69,48%	50,63%
9	0,03	13,91	20,01	7,64	69,47%	50,69%
10	-0,01	13,89	20,01	7,64	69,44%	50,54%
średnia	0,02	13,91	20,01	7,66	69,49%	50,62%

Tabela 20 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,13	10,73	20,09	0,80	69,04%	51,50%
2	-10,08	10,76	20,11	0,83	69,02%	51,51%
3	-10,11	10,74	20,11	0,79	69,00%	51,51%
4	-10,12	10,75	20,09	0,79	69,08%	51,58%
5	-10,11	10,73	20,08	0,80	69,03%	51,50%
6	-10,12	10,75	20,05	0,81	69,17%	51,66%
7	-10,14	10,74	20,09	0,81	69,08%	51,52%
8	-10,12	10,75	20,10	0,82	69,04%	51,48%
9	-10,14	10,75	20,12	0,81	69,05%	51,51%
10	-10,13	10,74	20,10	0,81	69,04%	51,50%
średnia	-10,12	10,74	20,09	0,81	69,05%	51,53%

Tabela 21 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,92	7,35	20,13	-6,06	68,09%	51,20%
2	-19,91	7,36	20,11	-6,02	68,13%	51,19%
3	-19,94	7,36	20,10	-6,03	68,20%	51,27%
4	-19,95	7,36	20,11	-6,07	68,16%	51,28%
5	-19,92	7,33	20,14	-6,09	68,01%	51,15%
6	-19,92	7,34	20,11	-6,05	68,11%	51,19%
7	-19,92	7,36	20,10	-6,02	68,16%	51,22%
8	-19,92	7,36	20,11	-6,00	68,17%	51,20%
9	-19,92	7,37	20,09	-5,99	68,21%	51,24%
10	-19,93	7,37	20,13	-6,03	68,14%	51,21%
średnia	-19,93	7,36	20,11	-6,04	68,14%	51,22%

Tabela 22 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,01	14,14	19,97	7,74	70,80%	52,30%
2	0,00	14,13	19,97	7,74	70,77%	52,27%
3	-0,01	14,12	19,97	7,75	70,72%	52,13%
4	0,00	14,14	19,97	7,76	70,79%	52,22%
5	0,02	14,14	19,96	7,76	70,81%	52,27%
6	0,00	14,14	19,96	7,75	70,83%	52,30%
7	-0,03	14,12	19,96	7,74	70,79%	52,20%
8	-0,02	14,13	19,97	7,75	70,77%	52,20%
9	0,00	14,14	19,98	7,77	70,79%	52,21%
10	0,00	14,12	19,97	7,76	70,72%	52,09%
średnia	-0,01	14,13	19,97	7,75	70,78%	52,22%

Tabela 23 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,06	10,92	20,07	0,46	69,64%	53,35%
2	-10,06	10,93	20,06	0,45	69,69%	53,44%
3	-10,08	10,91	20,06	0,45	69,63%	53,33%
4	-10,10	10,92	20,08	0,43	69,64%	53,39%
5	-10,08	10,90	20,07	0,43	69,60%	53,34%
6	-10,06	10,91	20,07	0,45	69,59%	53,30%
7	-10,06	10,91	20,08	0,45	69,56%	53,28%
8	-10,06	10,91	20,10	0,44	69,52%	53,24%
9	-10,08	10,91	20,09	0,44	69,58%	53,27%
10	-10,08	10,92	20,07	0,43	69,65%	53,41%
średnia	-10,07	10,91	20,07	0,44	69,61%	53,33%

Tabela 24 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,07	7,71	20,00	-6,19	69,32%	53,07%
2	-20,04	7,71	20,00	-6,19	69,31%	53,08%
3	-19,96	7,71	20,00	-6,17	69,25%	53,04%
4	-19,96	7,73	20,02	-6,16	69,25%	53,03%
5	-19,92	7,73	20,01	-6,11	69,26%	53,00%
6	-19,94	7,73	19,99	-6,15	69,29%	53,09%
7	-19,93	7,72	20,00	-6,16	69,25%	53,06%
8	-19,98	7,75	19,99	-6,13	69,38%	53,15%
9	-19,98	7,74	20,00	-6,15	69,32%	53,10%
10	-19,93	7,74	20,01	-6,14	69,28%	53,09%
średnia	-19,97	7,73	20,00	-6,15	69,29%	53,07%

Tabela 25 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,08	14,62	19,93	7,84	73,46%	56,08%
2	-0,09	14,62	19,91	7,83	73,53%	56,19%
3	-0,09	14,60	19,92	7,82	73,43%	56,06%
4	-0,10	14,61	19,91	7,81	73,51%	56,19%
5	-0,09	14,60	19,90	7,81	73,48%	56,16%
6	-0,10	14,60	19,91	7,79	73,46%	56,19%
7	-0,09	14,60	19,91	7,79	73,42%	56,14%
8	-0,08	14,60	19,91	7,80	73,46%	56,20%
9	-0,10	14,58	19,91	7,77	73,38%	56,12%
10	-0,07	14,56	19,90	7,78	73,25%	55,95%
średnia	-0,09	14,60	19,91	7,80	73,44%	56,13%

Tabela 26 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,11	10,97	19,84	0,46	70,39%	54,24%
2	-10,13	10,98	19,83	0,48	70,47%	54,29%
3	-10,11	10,99	19,84	0,49	70,45%	54,27%
4	-10,10	10,98	19,83	0,49	70,45%	54,27%
5	-10,13	10,99	19,84	0,49	70,46%	54,26%
6	-10,09	10,99	19,82	0,49	70,47%	54,31%
7	-10,10	11,01	19,84	0,52	70,51%	54,30%
8	-10,12	11,01	19,84	0,53	70,54%	54,30%
9	-10,11	11,00	19,84	0,51	70,48%	54,26%
10	-10,10	11,00	19,84	0,51	70,49%	54,30%
średnia	-10,11	10,99	19,83	0,50	70,47%	54,28%

Tabela 27 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,93	7,79	20,04	-6,43	69,36%	53,73%
2	-19,92	7,78	20,05	-6,42	69,31%	53,66%
3	-19,93	7,78	20,03	-6,41	69,35%	53,69%
4	-19,96	7,78	20,02	-6,40	69,39%	53,68%
5	-20,04	7,77	20,01	-6,44	69,44%	53,73%
6	-20,05	7,79	19,99	-6,45	69,55%	53,88%
7	-20,03	7,78	20,01	-6,46	69,46%	53,80%
8	-20,01	7,79	20,00	-6,47	69,47%	53,87%
9	-20,05	7,75	20,02	-6,46	69,37%	53,65%
10	-20,02	7,78	20,04	-6,47	69,40%	53,76%
średnia	-19,99	7,78	20,02	-6,44	69,41%	53,75%

Tabela 28 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,05	14,32	20,07	7,37	71,28%	54,73%
2	0,02	14,32	20,05	7,34	71,37%	54,88%
3	0,02	14,31	20,06	7,34	71,31%	54,82%
4	0,02	14,31	20,06	7,35	71,33%	54,79%
5	0,00	14,30	20,07	7,32	71,28%	54,80%
6	0,02	14,31	20,07	7,32	71,26%	54,80%
7	0,03	14,30	20,07	7,31	71,25%	54,82%
8	0,02	14,31	20,06	7,34	71,31%	54,80%
9	0,01	14,31	20,08	7,32	71,27%	54,81%
10	0,02	14,31	20,07	7,33	71,28%	54,81%
średnia	0,02	14,31	20,07	7,33	71,29%	54,80%

Tabela 29 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,13	9,88	19,96	0,56	66,51%	48,07%
2	-10,11	9,88	19,95	0,56	66,53%	48,11%
3	-10,12	9,87	19,96	0,53	66,47%	48,08%
4	-10,11	9,88	19,95	0,55	66,49%	48,09%
5	-10,12	9,88	19,96	0,53	66,48%	48,10%
6	-10,13	9,87	19,97	0,54	66,44%	48,02%
7	-10,13	9,88	19,98	0,53	66,47%	48,07%
8	-10,14	9,88	19,95	0,52	66,52%	48,15%
9	-10,13	9,85	19,96	0,51	66,40%	48,00%
10	-10,12	9,87	19,95	0,51	66,49%	48,16%
średnia	-10,12	9,87	19,96	0,53	66,48%	48,09%

Tabela 30 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,99	6,28	19,93	-6,56	65,80%	48,47%
2	-19,99	6,32	19,91	-6,52	65,93%	48,56%
3	-19,96	6,30	19,95	-6,51	65,80%	48,42%
4	-20,06	6,28	19,95	-6,59	65,84%	48,49%
5	-20,07	6,29	19,93	-6,60	65,90%	48,57%
6	-19,98	6,26	19,92	-6,59	65,77%	48,49%
7	-19,96	6,29	19,95	-6,55	65,77%	48,45%
8	-19,99	6,29	19,94	-6,56	65,82%	48,50%
9	-20,02	6,29	19,95	-6,57	65,82%	48,49%
10	-20,09	6,29	19,94	-6,60	65,89%	48,56%
średnia	-20,01	6,29	19,94	-6,56	65,83%	48,50%

Tabela 31 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,00	13,24	20,01	7,48	66,16%	45,97%
2	0,00	13,24	20,01	7,49	66,16%	45,93%
3	0,01	13,26	20,00	7,51	66,29%	46,05%
4	0,00	13,27	20,00	7,51	66,32%	46,06%
5	0,01	13,24	20,00	7,50	66,22%	45,95%
6	0,00	13,24	20,00	7,50	66,21%	45,94%
7	-0,01	13,24	20,00	7,48	66,22%	45,98%
8	-0,01	13,25	20,00	7,49	66,26%	46,04%
9	0,02	13,24	19,99	7,49	66,20%	45,99%
10	0,00	13,24	19,99	7,49	66,20%	45,98%
średnia	0,00	13,25	20,00	7,49	66,22%	45,99%

Tabela 32 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,08	9,72	20,08	0,51	65,65%	47,08%
2	-10,06	9,71	20,07	0,48	65,62%	47,11%
3	-10,07	9,72	20,07	0,47	65,66%	47,20%
4	-10,08	9,70	20,08	0,45	65,58%	47,13%
5	-10,07	9,71	20,07	0,44	65,63%	47,21%
6	-10,11	9,68	20,07	0,42	65,58%	47,12%
7	-10,07	9,69	20,08	0,45	65,54%	47,07%
8	-10,09	9,70	20,10	0,43	65,57%	47,15%
9	-10,05	9,69	20,09	0,43	65,52%	47,13%
10	-10,06	9,69	20,08	0,44	65,53%	47,08%
średnia	-10,08	9,70	20,08	0,45	65,59%	47,13%

Tabela 33 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,89	5,99	20,12	-6,51	64,69%	46,96%
2	-19,88	5,99	20,10	-6,49	64,70%	46,92%
3	-19,87	5,99	20,13	-6,47	64,65%	46,85%
4	-19,85	6,00	20,11	-6,49	64,68%	46,95%
5	-19,84	5,99	20,11	-6,49	64,65%	46,92%
6	-19,84	6,01	20,11	-6,48	64,72%	47,00%
7	-19,88	5,97	20,11	-6,55	64,63%	46,95%
8	-19,90	5,97	20,10	-6,55	64,66%	46,95%
9	-19,89	5,95	20,14	-6,52	64,54%	46,76%
10	-19,86	5,99	20,12	-6,50	64,65%	46,92%
średnia	-19,87	5,98	20,11	-6,51	64,66%	46,92%

Tabela 34 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,01	13,95	19,98	7,52	69,84%	51,67%
2	0,01	13,97	19,97	7,53	69,91%	51,74%
3	0,01	13,97	19,98	7,52	69,91%	51,79%
4	0,00	13,96	19,97	7,51	69,89%	51,78%
5	0,02	13,97	19,97	7,50	69,94%	51,91%
6	0,02	13,97	19,98	7,50	69,91%	51,89%
7	0,00	13,97	19,97	7,50	69,94%	51,87%
8	0,02	13,96	19,98	7,50	69,86%	51,78%
9	0,00	13,96	19,97	7,49	69,91%	51,85%
10	0,00	13,97	19,97	7,50	69,94%	51,84%
średnia	0,01	13,96	19,97	7,51	69,90%	51,81%

Tabela 35 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,07	10,64	20,04	0,08	68,78%	52,90%
2	-10,06	10,61	20,03	0,08	68,70%	52,78%
3	-10,07	10,61	20,04	0,07	68,68%	52,77%
4	-10,08	10,63	20,05	0,09	68,72%	52,79%
5	-10,06	10,63	20,04	0,10	68,75%	52,82%
6	-10,06	10,62	20,02	0,09	68,75%	52,84%
7	-10,06	10,64	20,03	0,09	68,79%	52,90%
8	-10,06	10,62	20,02	0,08	68,75%	52,84%
9	-10,06	10,63	20,03	0,08	68,77%	52,90%
10	-10,08	10,61	20,05	0,09	68,68%	52,72%
średnia	-10,07	10,62	20,03	0,09	68,74%	52,83%

Tabela 36 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,01	7,09	19,99	-7,13	67,73%	52,41%
2	-20,03	7,09	20,00	-7,16	67,75%	52,46%
3	-20,01	7,08	20,00	-7,15	67,70%	52,39%
4	-20,04	7,07	19,98	-7,16	67,74%	52,42%
5	-20,01	7,08	20,00	-7,13	67,71%	52,37%
6	-20,00	7,08	20,00	-7,12	67,70%	52,36%
7	-20,02	7,07	19,99	-7,12	67,70%	52,33%
8	-20,00	7,08	20,02	-7,09	67,66%	52,26%
9	-20,03	7,08	20,03	-7,10	67,68%	52,28%
10	-19,97	7,08	20,00	-7,11	67,67%	52,33%
średnia	-20,01	7,08	20,00	-7,13	67,70%	52,36%

Tabela 37 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,10	14,03	19,88	7,46	70,69%	52,84%
2	-0,11	14,01	19,88	7,45	70,65%	52,78%
3	-0,12	14,00	19,88	7,43	70,61%	52,80%
4	-0,12	14,00	19,87	7,43	70,63%	52,82%
5	-0,10	14,01	19,89	7,44	70,58%	52,75%
6	-0,13	14,01	19,88	7,43	70,63%	52,81%
7	-0,12	14,01	19,88	7,44	70,63%	52,81%
8	-0,13	14,00	19,87	7,43	70,64%	52,81%
9	-0,13	14,00	19,88	7,44	70,61%	52,73%
10	-0,11	14,01	19,88	7,44	70,62%	52,81%
średnia	-0,12	14,01	19,88	7,44	70,63%	52,80%

Tabela 38 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,11	10,19	19,82	0,06	67,81%	51,24%
2	-10,10	10,19	19,85	0,06	67,76%	51,22%
3	-10,11	10,19	19,82	0,07	67,82%	51,25%
4	-10,13	10,20	19,83	0,06	67,85%	51,28%
5	-10,10	10,20	19,83	0,06	67,82%	51,28%
6	-10,11	10,19	19,81	0,06	67,87%	51,30%
7	-10,12	10,19	19,83	0,05	67,82%	51,27%
8	-10,12	10,19	19,83	0,04	67,82%	51,29%
9	-10,13	10,20	19,84	0,05	67,85%	51,31%
10	-10,12	10,20	19,82	0,05	67,85%	51,31%
średnia	-10,12	10,19	19,83	0,06	67,83%	51,27%

Tabela 39 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,93	6,86	19,99	-6,97	67,11%	51,29%
2	-19,91	6,87	19,98	-6,94	67,13%	51,30%
3	-19,92	6,94	19,98	-6,97	67,31%	51,61%
4	-19,86	6,83	19,99	-6,92	66,96%	51,08%
5	-19,92	6,93	19,99	-6,93	67,28%	51,49%
6	-19,88	6,97	20,00	-6,90	67,34%	51,58%
7	-19,90	6,95	20,01	-6,92	67,26%	51,49%
8	-19,86	6,91	19,99	-6,92	67,16%	51,37%
9	-19,87	6,98	20,02	-6,87	67,32%	51,52%
10	-19,90	6,97	19,99	-6,93	67,38%	51,65%
średnia	-19,90	6,92	19,99	-6,93	67,22%	51,44%

Tabela 40 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,02	13,82	20,06	6,87	68,86%	52,70%
2	0,04	13,82	20,05	6,88	68,89%	52,73%
3	0,03	13,82	20,05	6,87	68,86%	52,70%
4	0,06	13,83	20,06	6,91	68,87%	52,65%
5	0,03	13,84	20,06	6,91	68,97%	52,73%
6	0,02	13,85	20,05	6,94	69,04%	52,70%
7	0,03	13,86	20,06	6,95	69,07%	52,74%
8	0,03	13,85	20,04	6,92	69,05%	52,80%
9	0,02	13,85	20,06	6,92	69,01%	52,75%
10	0,03	13,85	20,06	6,92	69,02%	52,77%
średnia	0,03	13,84	20,05	6,91	68,96%	52,73%

Tabela 41 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,13	9,18	19,93	-0,06	64,25%	46,23%
2	-10,10	9,19	19,93	-0,05	64,22%	46,23%
3	-10,12	9,19	19,93	-0,04	64,25%	46,22%
4	-10,12	9,21	19,92	-0,04	64,34%	46,33%
5	-10,12	9,21	19,90	-0,06	64,38%	46,42%
6	-10,13	9,19	19,92	-0,09	64,31%	46,39%
7	-10,12	9,19	19,93	-0,11	64,24%	46,37%
8	-10,10	9,19	19,94	-0,11	64,22%	46,39%
9	-10,11	9,17	19,93	-0,14	64,17%	46,36%
10	-10,09	9,16	19,93	-0,14	64,11%	46,33%
średnia	-10,11	9,19	19,93	-0,08	64,25%	46,33%

Tabela 42 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,98	5,32	19,92	-7,44	63,41%	46,63%
2	-20,02	5,31	19,91	-7,45	63,44%	46,66%
3	-20,01	5,31	19,91	-7,46	63,42%	46,65%
4	-20,02	5,30	19,90	-7,46	63,42%	46,62%
5	-19,94	5,30	19,90	-7,43	63,35%	46,57%
6	-19,91	5,33	19,96	-7,34	63,32%	46,44%
7	-20,03	5,38	19,92	-7,33	63,61%	46,65%
8	-20,08	5,36	19,92	-7,35	63,61%	46,63%
9	-20,03	5,37	19,93	-7,33	63,55%	46,57%
10	-20,05	5,41	19,93	-7,27	63,69%	46,63%
średnia	-20,01	5,34	19,92	-7,39	63,48%	46,60%

Tabela 43 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,00	12,09	19,98	7,05	60,53%	38,99%
2	0,00	12,09	19,99	7,07	60,48%	38,87%
3	0,00	12,11	20,00	7,07	60,55%	39,00%
4	-0,01	12,11	19,98	7,06	60,59%	39,02%
5	0,01	12,11	20,01	7,08	60,52%	38,96%
6	0,01	12,13	20,00	7,09	60,61%	39,02%
7	0,00	12,10	20,00	7,09	60,51%	38,85%
8	0,01	12,11	20,00	7,09	60,55%	38,91%
9	0,01	12,10	20,00	7,10	60,50%	38,76%
10	0,01	12,09	19,98	7,09	60,49%	38,79%
średnia	0,01	12,10	19,99	7,08	60,53%	38,92%

Tabela 44 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,08	7,76	20,07	-0,31	59,19%	39,63%
2	-10,08	7,74	20,05	-0,33	59,13%	39,58%
3	-10,08	7,72	20,06	-0,33	59,07%	39,48%
4	-10,07	7,75	20,07	-0,32	59,14%	39,59%
5	-10,05	7,74	20,06	-0,31	59,09%	39,52%
6	-10,07	7,75	20,06	-0,30	59,14%	39,52%
7	-10,07	7,73	20,05	-0,32	59,11%	39,53%
8	-10,05	7,75	20,06	-0,31	59,13%	39,58%
9	-10,08	7,74	20,05	-0,32	59,14%	39,58%
10	-10,08	7,74	20,07	-0,30	59,10%	39,48%
średnia	-10,07	7,74	20,06	-0,31	59,12%	39,55%

Tabela 45 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,80	3,34	20,08	-7,49	58,02%	39,27%
2	-19,80	3,33	20,06	-7,49	58,02%	39,27%
3	-19,80	3,35	20,08	-7,48	58,05%	39,31%
4	-19,81	3,33	20,08	-7,50	58,00%	39,26%
5	-19,80	3,31	20,10	-7,50	57,92%	39,17%
6	-19,79	3,33	20,08	-7,50	57,97%	39,24%
7	-19,80	3,31	20,07	-7,50	57,96%	39,21%
8	-19,78	3,32	20,10	-7,51	57,92%	39,21%
9	-19,79	3,31	20,08	-7,51	57,94%	39,23%
10	-19,81	3,31	20,09	-7,52	57,94%	39,22%
średnia	-19,80	3,32	20,08	-7,50	57,98%	39,24%

Tabela 46 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,03	13,67	19,97	7,16	68,49%	50,79%
2	-0,02	13,68	19,97	7,17	68,54%	50,88%
3	0,00	13,68	19,96	7,18	68,51%	50,85%
4	0,00	13,68	19,97	7,18	68,52%	50,83%
5	0,01	13,69	19,96	7,19	68,59%	50,90%
6	-0,02	13,68	19,95	7,17	68,58%	50,91%
7	0,00	13,69	19,96	7,19	68,57%	50,89%
8	-0,01	13,68	19,97	7,19	68,53%	50,80%
9	-0,02	13,68	19,96	7,19	68,60%	50,88%
10	-0,02	13,69	19,96	7,18	68,60%	50,90%
średnia	-0,01	13,68	19,96	7,18	68,55%	50,86%

Tabela 47 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,10	10,16	20,05	-0,35	67,22%	51,54%
2	-10,10	10,19	20,05	-0,30	67,28%	51,54%
3	-10,09	10,18	20,05	-0,30	67,27%	51,52%
4	-10,10	10,18	20,03	-0,29	67,30%	51,51%
5	-10,08	10,18	20,04	-0,30	67,26%	51,52%
6	-10,08	10,18	20,03	-0,30	67,27%	51,54%
7	-10,11	10,18	20,03	-0,33	67,31%	51,61%
8	-10,09	10,17	20,03	-0,33	67,28%	51,60%
9	-10,11	10,17	20,03	-0,35	67,29%	51,62%
10	-10,10	10,16	20,04	-0,36	67,23%	51,58%
średnia	-10,10	10,18	20,04	-0,32	67,27%	51,56%

Tabela 48 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 10mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,04	6,37	19,99	-7,74	65,96%	50,87%
2	-20,04	6,37	20,00	-7,74	65,95%	50,85%
3	-20,04	6,35	20,00	-7,74	65,92%	50,80%
4	-20,04	6,37	20,00	-7,74	65,95%	50,84%
5	-20,09	6,36	19,99	-7,76	66,00%	50,89%
6	-20,07	6,36	20,01	-7,72	65,95%	50,78%
7	-20,02	6,35	19,99	-7,74	65,90%	50,80%
8	-19,96	6,36	20,00	-7,68	65,86%	50,71%
9	-19,92	6,38	20,00	-7,65	65,88%	50,74%
10	-19,95	6,40	20,00	-7,62	65,96%	50,76%
średnia	-20,02	6,37	20,00	-7,71	65,93%	50,80%

Tabela 49 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,01	12,13	19,96	8,81	60,76%	29,81%
2	0,01	12,21	19,94	8,87	61,21%	30,19%
3	0,01	12,14	19,95	8,82	60,87%	29,90%
4	-0,02	12,23	19,95	8,88	61,34%	30,31%
5	-0,02	12,17	19,96	8,83	61,03%	30,02%
6	0,02	12,14	19,96	8,83	60,80%	29,76%
7	-0,01	12,17	19,95	8,83	61,03%	30,03%
8	0,02	12,13	19,94	8,83	60,81%	29,71%
9	0,00	12,22	19,97	8,88	61,20%	30,12%
10	0,02	12,18	19,97	8,86	60,97%	29,92%
średnia	0,01	12,18	19,96	8,84	61,00%	29,98%

Tabela 50 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,02	7,56	19,93	2,31	58,70%	29,81%
2	-9,96	7,50	19,94	2,30	58,39%	29,48%
3	-10,02	7,52	19,93	2,32	58,57%	29,56%
4	-10,05	7,51	19,92	2,32	58,58%	29,49%
5	-10,03	7,44	19,92	2,25	58,35%	29,40%
6	-10,03	7,51	19,92	2,27	58,55%	29,67%
7	-9,99	7,44	19,89	2,23	58,32%	29,51%
8	-10,05	7,52	19,91	2,24	58,63%	29,86%
9	-10,05	7,43	19,89	2,18	58,40%	29,69%
10	-9,97	7,39	19,91	2,18	58,12%	29,40%
średnia	-10,02	7,48	19,92	2,26	58,46%	29,59%

Tabela 51 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,18	2,54	20,02	-4,59	56,54%	29,00%
2	-20,16	2,70	20,02	-4,44	56,90%	29,20%
3	-20,15	2,58	19,98	-4,51	56,66%	28,97%
4	-20,17	2,56	20,03	-4,58	56,56%	29,03%
5	-20,16	2,65	20,03	-4,51	56,76%	29,17%
6	-20,15	2,52	20,01	-4,58	56,43%	28,87%
7	-20,15	2,71	20,05	-4,46	56,84%	29,23%
8	-20,21	2,56	20,01	-4,58	56,62%	29,05%
9	-20,28	2,57	20,02	-4,57	56,70%	29,03%
10	-20,30	2,58	19,99	-4,56	56,80%	29,09%
średnia	-20,19	2,60	20,01	-4,54	56,68%	29,06%

Tabela 52 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,03	11,35	19,95	8,45	56,82%	25,22%
2	0,04	11,32	19,95	8,42	56,65%	25,16%
3	0,03	11,36	19,96	8,44	56,85%	25,31%
4	0,03	11,36	19,95	8,46	56,89%	25,26%
5	0,03	11,32	19,96	8,41	56,68%	25,24%
6	0,04	11,36	19,95	8,44	56,83%	25,32%
7	0,04	11,35	19,96	8,43	56,79%	25,31%
8	0,04	11,41	19,95	8,45	57,09%	25,70%
9	0,03	11,36	19,96	8,45	56,83%	25,25%
10	0,00	11,33	19,95	8,43	56,78%	25,19%
średnia	0,03	11,35	19,95	8,44	56,82%	25,29%

Tabela 53 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,21	5,64	20,12	0,93	52,27%	24,56%
2	-10,23	5,69	20,11	0,89	52,46%	24,96%
3	-10,20	5,68	20,12	0,87	52,36%	24,99%
4	-10,21	5,72	20,12	0,93	52,54%	25,00%
5	-10,23	5,69	20,11	0,91	52,47%	24,89%
6	-10,22	5,68	20,10	0,93	52,44%	24,76%
7	-10,22	5,70	20,13	0,94	52,47%	24,80%
8	-10,20	5,63	20,12	0,93	52,23%	24,54%
9	-10,22	5,71	20,14	0,94	52,46%	24,82%
10	-10,21	5,67	20,11	0,92	52,37%	24,75%
średnia	-10,22	5,68	20,12	0,92	52,41%	24,81%

Tabela 54 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,00	2,10	20,01	-4,74	55,24%	27,65%
2	-19,99	2,03	20,02	-4,80	55,02%	27,51%
3	-19,97	2,11	20,02	-4,71	55,20%	27,55%
4	-19,99	2,06	20,03	-4,75	55,08%	27,46%
5	-19,99	1,98	20,04	-4,86	54,87%	27,45%
6	-20,00	2,09	19,99	-4,73	55,26%	27,62%
7	-19,99	1,99	20,02	-4,81	54,93%	27,37%
8	-19,97	2,13	20,04	-4,72	55,25%	27,67%
9	-19,98	2,03	20,04	-4,75	54,98%	27,34%
10	-19,97	2,02	20,03	-4,80	54,96%	27,45%
średnia	-19,98	2,05	20,02	-4,77	55,08%	27,51%

Tabela 55 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,10	11,79	19,87	7,61	59,53%	34,09%
2	-0,08	11,88	19,88	7,67	59,89%	34,47%
3	-0,09	11,81	19,89	7,65	59,55%	33,96%
4	-0,08	11,88	19,91	7,69	59,87%	34,32%
5	-0,06	11,87	19,91	7,69	59,73%	34,18%
6	-0,07	11,85	19,93	7,65	59,60%	34,21%
7	-0,09	11,89	19,93	7,71	59,87%	34,27%
8	-0,08	11,86	19,90	7,68	59,76%	34,17%
9	-0,09	11,93	19,95	7,76	59,98%	34,21%
10	-0,07	11,89	19,91	7,71	59,86%	34,26%
średnia	-0,08	11,86	19,91	7,68	59,76%	34,21%

Tabela 56 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,32	6,72	19,94	0,18	56,31%	33,10%
2	-10,33	6,82	19,98	0,28	56,59%	33,23%
3	-10,30	6,77	19,95	0,19	56,43%	33,29%
4	-10,34	6,81	19,99	0,26	56,52%	33,18%
5	-10,32	6,81	19,96	0,24	56,56%	33,29%
6	-10,34	6,73	19,93	0,21	56,39%	33,08%
7	-10,32	6,86	19,96	0,28	56,72%	33,40%
8	-10,30	6,78	19,97	0,23	56,43%	33,20%
9	-10,29	6,92	19,96	0,33	56,90%	33,57%
10	-10,31	6,85	19,95	0,28	56,71%	33,40%
średnia	-10,32	6,81	19,96	0,25	56,56%	33,27%

Tabela 57 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,95	2,74	20,12	-5,98	56,64%	33,42%
2	-19,97	2,63	20,11	-6,04	56,39%	33,15%
3	-19,99	2,81	20,12	-5,88	56,84%	33,42%
4	-19,99	2,67	20,10	-6,01	56,52%	33,25%
5	-19,97	2,72	20,09	-5,97	56,64%	33,35%
6	-19,97	2,72	20,11	-5,94	56,60%	33,23%
7	-19,99	2,62	20,10	-6,04	56,39%	33,12%
8	-19,95	2,78	20,10	-5,92	56,76%	33,42%
9	-19,95	2,66	20,10	-5,99	56,45%	33,15%
10	-19,97	2,75	20,09	-5,92	56,72%	33,33%
średnia	-19,97	2,71	20,10	-5,97	56,60%	33,28%

Tabela 58 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,33	12,55	20,27	7,98	62,53%	37,17%
2	-0,33	12,55	20,28	7,97	62,49%	37,22%
3	-0,33	12,46	20,29	7,91	61,99%	36,72%
4	-0,31	12,43	20,32	7,90	61,77%	36,50%
5	-0,33	12,39	20,32	7,86	61,59%	36,36%
6	-0,33	12,33	20,32	7,81	61,30%	36,12%
7	-0,34	12,34	20,35	7,82	61,28%	36,08%
8	-0,34	12,26	20,33	7,78	60,97%	35,74%
9	-0,33	12,29	20,32	7,81	61,10%	35,81%
10	-0,29	12,23	20,33	7,75	60,72%	35,60%
średnia	-0,33	12,38	20,31	7,86	61,57%	36,33%

Tabela 59 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,37	7,45	19,73	-0,35	59,21%	38,85%
2	-10,38	7,48	19,72	-0,35	59,33%	39,00%
3	-10,38	7,46	19,75	-0,35	59,23%	38,87%
4	-10,38	7,54	19,73	-0,30	59,53%	39,16%
5	-10,36	7,49	19,71	-0,35	59,37%	39,10%
6	-10,38	7,57	19,73	-0,28	59,62%	39,25%
7	-10,38	7,55	19,72	-0,28	59,56%	39,16%
8	-10,36	7,55	19,73	-0,31	59,52%	39,22%
9	-10,38	7,60	19,71	-0,28	59,76%	39,43%
10	-10,36	7,58	19,71	-0,27	59,65%	39,27%
średnia	-10,37	7,53	19,72	-0,31	59,48%	39,13%

Tabela 60 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,10	3,39	19,97	-5,02	58,62%	33,64%
2	-20,06	3,48	19,98	-4,98	58,78%	33,87%
3	-20,05	3,42	20,00	-4,98	58,61%	33,65%
4	-20,04	3,49	19,97	-4,96	58,80%	33,88%
5	-19,97	3,47	19,98	-4,98	58,69%	33,86%
6	-19,98	3,46	19,98	-4,96	58,66%	33,76%
7	-19,98	3,52	19,96	-4,93	58,83%	33,95%
8	-19,97	3,43	19,96	-5,01	58,59%	33,78%
9	-19,95	3,55	19,97	-4,89	58,86%	33,95%
10	-19,99	3,48	19,92	-4,93	58,79%	33,84%
średnia	-20,01	3,47	19,97	-4,96	58,72%	33,82%

Tabela 61 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,08	11,43	19,93	8,37	57,19%	26,51%
2	0,05	11,43	19,95	8,37	57,19%	26,44%
3	0,05	11,44	19,94	8,36	57,24%	26,55%
4	0,05	11,44	19,94	8,35	57,27%	26,67%
5	0,04	11,42	19,93	8,34	57,24%	26,59%
6	0,06	11,42	19,93	8,35	57,16%	26,52%
7	0,04	11,42	19,93	8,33	57,21%	26,63%
8	0,05	11,41	19,92	8,35	57,18%	26,47%
9	0,04	11,41	19,91	8,34	57,24%	26,57%
10	0,05	11,42	19,91	8,34	57,25%	26,59%
średnia	0,05	11,43	19,93	8,35	57,22%	26,56%

Tabela 62 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,01	6,41	19,98	1,54	54,73%	26,38%
2	-10,00	6,39	20,00	1,52	54,65%	26,37%
3	-9,96	6,41	20,02	1,55	54,60%	26,31%
4	-9,99	6,40	20,03	1,53	54,61%	26,35%
5	-9,99	6,42	20,01	1,54	54,72%	26,44%
6	-9,98	6,41	20,01	1,54	54,66%	26,40%
7	-10,01	6,40	20,00	1,54	54,69%	26,32%
8	-9,99	6,41	20,00	1,53	54,67%	26,41%
9	-10,01	6,42	19,98	1,53	54,77%	26,50%
10	-10,00	6,43	19,98	1,54	54,78%	26,47%
średnia	-9,99	6,41	20,00	1,54	54,69%	26,39%

Tabela 63 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,10	1,07	19,98	-5,47	52,81%	25,68%
2	-20,12	1,06	20,00	-5,45	52,79%	25,59%
3	-20,10	1,01	19,98	-5,47	52,69%	25,48%
4	-20,09	1,02	19,97	-5,47	52,70%	25,51%
5	-20,09	1,03	19,99	-5,50	52,70%	25,61%
6	-20,08	1,00	19,98	-5,51	52,63%	25,53%
7	-20,11	1,01	19,97	-5,46	52,69%	25,45%
8	-20,14	0,98	19,98	-5,52	52,64%	25,49%
9	-20,10	0,98	19,98	-5,51	52,59%	25,45%
10	-20,08	0,98	19,97	-5,50	52,58%	25,43%
średnia	-20,10	1,01	19,98	-5,49	52,68%	25,52%

Tabela 64 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,08	10,86	19,94	8,15	54,27%	22,96%
2	0,07	10,84	19,94	8,13	54,21%	22,97%
3	0,07	10,84	19,94	8,13	54,21%	22,94%
4	0,07	10,84	19,94	8,14	54,20%	22,89%
5	0,08	10,83	19,93	8,13	54,17%	22,91%
6	0,06	10,81	19,94	8,10	54,08%	22,87%
7	0,10	10,84	19,93	8,13	54,16%	22,98%
8	0,06	10,84	19,94	8,12	54,23%	23,04%
9	0,08	10,83	19,95	8,13	54,13%	22,89%
10	0,06	10,84	19,94	8,11	54,20%	23,03%
średnia	0,07	10,84	19,94	8,13	54,19%	22,95%

Tabela 65 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,14	4,93	20,11	0,33	49,81%	23,27%
2	-10,13	4,94	20,11	0,36	49,82%	23,18%
3	-10,21	4,92	20,11	0,34	49,91%	23,17%
4	-10,16	4,94	20,09	0,35	49,92%	23,24%
5	-10,15	4,94	20,08	0,35	49,93%	23,29%
6	-10,22	4,93	20,09	0,32	49,97%	23,31%
7	-10,17	4,94	20,10	0,34	49,91%	23,26%
8	-10,19	4,93	20,10	0,34	49,92%	23,25%
9	-10,17	4,94	20,08	0,37	49,96%	23,21%
10	-10,17	4,95	20,10	0,34	49,95%	23,33%
średnia	-10,17	4,94	20,10	0,34	49,91%	23,25%

Tabela 66 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,86	0,88	19,96	-5,49	52,08%	25,04%
2	-19,93	0,84	19,96	-5,52	52,07%	24,97%
3	-19,95	0,84	19,96	-5,53	52,10%	24,99%
4	-19,95	0,80	19,97	-5,58	51,97%	24,95%
5	-19,87	0,79	19,97	-5,57	51,84%	24,89%
6	-19,86	0,80	20,00	-5,54	51,81%	24,82%
7	-19,75	0,84	20,01	-5,49	51,78%	24,80%
8	-19,79	0,86	19,99	-5,51	51,92%	25,00%
9	-19,86	0,80	19,96	-5,55	51,90%	24,92%
10	-19,91	0,79	19,97	-5,59	51,91%	24,95%
średnia	-19,87	0,82	19,98	-5,54	51,94%	24,93%

Tabela 67 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,08	11,29	19,95	7,50	56,43%	30,46%
2	0,08	11,30	19,95	7,49	56,46%	30,54%
3	0,05	11,30	19,94	7,51	56,57%	30,52%
4	0,05	11,31	19,94	7,49	56,59%	30,64%
5	0,04	11,32	19,97	7,50	56,63%	30,68%
6	0,08	11,32	19,96	7,51	56,55%	30,63%
7	0,08	11,31	19,96	7,51	56,47%	30,52%
8	0,06	11,32	19,95	7,50	56,62%	30,69%
9	0,07	11,33	19,95	7,52	56,65%	30,65%
10	0,08	11,34	19,95	7,54	56,67%	30,61%
średnia	0,07	11,31	19,95	7,51	56,56%	30,59%

Tabela 68 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,15	5,84	19,98	-0,13	53,09%	29,69%
2	-10,14	5,84	19,97	-0,13	53,04%	29,68%
3	-10,14	5,85	20,01	-0,10	53,04%	29,60%
4	-10,13	5,88	20,01	-0,09	53,12%	29,71%
5	-10,13	5,89	20,03	-0,10	53,13%	29,76%
6	-10,12	5,88	20,00	-0,08	53,13%	29,70%
7	-10,12	5,89	20,02	-0,09	53,10%	29,71%
8	-10,11	5,88	20,01	-0,08	53,11%	29,68%
9	-10,10	5,92	20,01	-0,04	53,22%	29,73%
10	-10,12	5,94	20,02	-0,04	53,29%	29,82%
średnia	-10,13	5,88	20,01	-0,09	53,13%	29,71%

Tabela 69 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,87	1,28	20,07	-6,72	52,97%	29,88%
2	-19,88	1,27	20,06	-6,72	52,95%	29,82%
3	-19,91	1,28	20,06	-6,74	53,00%	29,91%
4	-19,86	1,27	20,05	-6,73	52,93%	29,85%
5	-19,81	1,31	20,10	-6,68	52,93%	29,84%
6	-19,85	1,30	20,03	-6,71	53,03%	29,94%
7	-19,88	1,29	20,06	-6,72	53,01%	29,91%
8	-19,88	1,24	20,05	-6,76	52,89%	29,85%
9	-19,87	1,29	20,07	-6,73	52,98%	29,93%
10	-19,90	1,31	20,06	-6,73	53,07%	29,98%
średnia	-19,87	1,28	20,06	-6,72	52,98%	29,89%

Tabela 70 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,08	10,98	19,85	6,31	55,16%	34,51%
2	0,13	11,00	19,84	6,36	55,13%	34,42%
3	0,10	10,97	19,85	6,33	55,07%	34,37%
4	0,11	11,01	19,85	6,33	55,19%	34,58%
5	0,08	10,99	19,86	6,33	55,16%	34,46%
6	0,12	11,01	19,84	6,33	55,21%	34,64%
7	0,17	11,04	19,86	6,36	55,18%	34,62%
8	0,10	11,03	19,87	6,34	55,28%	34,68%
9	0,09	11,05	19,87	6,36	55,40%	34,71%
10	0,09	11,05	19,87	6,33	55,43%	34,88%
średnia	0,11	11,01	19,86	6,34	55,22%	34,59%

Tabela 71 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-9,99	7,17	20,42	-0,68	56,43%	37,19%
2	-10,13	6,74	20,34	-1,07	55,36%	36,47%
3	-10,08	6,64	20,30	-1,06	55,02%	36,04%
4	-10,03	6,51	20,32	-1,14	54,49%	35,65%
5	-10,21	6,39	20,29	-1,28	54,43%	35,54%
6	-10,06	6,38	20,34	-1,25	54,07%	35,33%
7	-9,98	6,39	20,31	-1,20	54,05%	35,30%
8	-10,08	6,44	20,33	-1,30	54,33%	35,79%
9	-10,26	6,32	20,32	-1,51	54,22%	35,88%
10	-10,16	6,34	20,34	-1,46	54,11%	35,81%
średnia	-10,10	6,53	20,33	-1,20	54,65%	35,90%

Tabela 72 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,93	2,46	19,90	-5,56	56,21%	31,49%
2	-19,98	2,45	19,89	-5,58	56,26%	31,52%
3	-20,00	2,44	19,87	-5,59	56,29%	31,56%
4	-19,97	2,45	19,89	-5,59	56,25%	31,56%
5	-19,99	2,44	19,88	-5,61	56,26%	31,57%
6	-20,04	2,42	19,92	-5,62	56,20%	31,48%
7	-19,95	2,44	19,90	-5,60	56,18%	31,52%
8	-19,97	2,44	19,93	-5,62	56,15%	31,54%
9	-19,98	2,44	19,93	-5,62	56,18%	31,55%
10	-19,96	2,46	19,90	-5,62	56,23%	31,65%
średnia	-19,98	2,44	19,90	-5,60	56,22%	31,54%

Tabela 73 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,05	10,99	19,90	8,04	55,08%	24,85%
2	0,07	11,00	19,90	8,05	55,10%	24,89%
3	0,07	10,99	19,91	8,04	55,05%	24,89%
4	0,06	10,99	19,90	8,04	55,12%	24,89%
5	0,06	10,99	19,91	8,04	55,04%	24,84%
6	0,06	10,98	19,90	8,03	55,07%	24,88%
7	0,06	10,97	19,89	8,01	55,02%	24,94%
8	0,08	10,98	19,91	8,02	54,95%	24,86%
9	0,05	10,97	19,90	8,02	55,04%	24,89%
10	0,04	10,96	19,90	7,99	54,99%	24,95%
średnia	0,06	10,98	19,90	8,03	55,05%	24,89%

Tabela 74 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,03	5,77	19,93	1,14	52,74%	24,67%
2	-10,04	5,78	19,93	1,12	52,78%	24,77%
3	-10,04	5,78	19,95	1,13	52,77%	24,72%
4	-10,02	5,79	19,94	1,14	52,78%	24,77%
5	-10,02	5,81	19,96	1,16	52,80%	24,72%
6	-10,05	5,79	19,94	1,14	52,81%	24,75%
7	-10,04	5,78	19,96	1,14	52,74%	24,65%
8	-10,04	5,79	19,93	1,15	52,81%	24,70%
9	-10,05	5,80	19,95	1,17	52,84%	24,68%
10	-10,04	5,79	19,93	1,15	52,82%	24,71%
średnia	-10,04	5,79	19,94	1,14	52,79%	24,71%

Tabela 75 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,15	0,05	19,94	-6,18	50,39%	23,84%
2	-20,15	0,04	19,92	-6,20	50,39%	23,89%
3	-20,13	0,06	19,92	-6,18	50,42%	23,90%
4	-20,10	0,06	19,90	-6,17	50,41%	23,91%
5	-20,11	0,07	19,90	-6,15	50,43%	23,87%
6	-20,07	0,07	19,92	-6,14	50,38%	23,85%
7	-20,05	0,07	19,90	-6,12	50,36%	23,80%
8	-20,12	0,08	19,92	-6,14	50,45%	23,87%
9	-20,07	0,11	19,92	-6,10	50,46%	23,86%
10	-20,11	0,09	19,94	-6,13	50,45%	23,87%
średnia	-20,11	0,07	19,92	-6,15	50,41%	23,87%

Tabela 76 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,07	10,43	19,91	7,79	52,24%	21,82%
2	0,09	10,44	19,92	7,80	52,17%	21,75%
3	0,06	10,44	19,93	7,79	52,25%	21,86%
4	0,07	10,43	19,91	7,81	52,23%	21,69%
5	0,07	10,44	19,92	7,80	52,25%	21,83%
6	0,07	10,44	19,92	7,78	52,24%	21,93%
7	0,07	10,42	19,92	7,77	52,14%	21,83%
8	0,07	10,44	19,91	7,79	52,27%	21,89%
9	0,07	10,44	19,91	7,77	52,25%	21,96%
10	0,07	10,43	19,93	7,77	52,16%	21,86%
średnia	0,07	10,44	19,92	7,79	52,22%	21,84%

Tabela 77 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,16	4,41	20,08	-0,15	48,17%	22,51%
2	-10,14	4,43	20,07	-0,12	48,22%	22,51%
3	-10,14	4,43	20,09	-0,11	48,18%	22,46%
4	-10,14	4,43	20,10	-0,10	48,17%	22,42%
5	-10,13	4,41	20,07	-0,11	48,16%	22,40%
6	-10,13	4,43	20,09	-0,11	48,17%	22,47%
7	-10,11	4,45	20,08	-0,08	48,21%	22,47%
8	-10,16	4,43	20,08	-0,08	48,26%	22,39%
9	-10,14	4,43	20,08	-0,09	48,21%	22,40%
10	-10,11	4,43	20,08	-0,10	48,15%	22,42%
średnia	-10,14	4,43	20,08	-0,10	48,19%	22,45%

Tabela 78 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,95	-0,23	19,95	-6,39	49,42%	23,38%
2	-19,91	-0,24	19,96	-6,37	49,34%	23,28%
3	-19,94	-0,23	19,94	-6,37	49,41%	23,33%
4	-19,93	-0,22	19,94	-6,37	49,44%	23,38%
5	-19,97	-0,23	19,95	-6,38	49,44%	23,35%
6	-19,98	-0,26	19,95	-6,42	49,38%	23,35%
7	-19,99	-0,28	19,95	-6,44	49,34%	23,33%
8	-19,96	-0,26	19,94	-6,43	49,37%	23,38%
9	-19,94	-0,24	19,95	-6,40	49,38%	23,36%
10	-19,94	-0,24	19,94	-6,40	49,40%	23,38%
średnia	-19,95	-0,24	19,95	-6,40	49,39%	23,35%

Tabela 79 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,14	10,68	19,96	7,22	53,17%	27,12%
2	0,11	10,67	19,95	7,22	53,24%	27,16%
3	0,14	10,67	19,94	7,20	53,18%	27,22%
4	0,11	10,68	19,95	7,21	53,27%	27,23%
5	0,12	10,67	19,97	7,20	53,13%	27,18%
6	0,12	10,67	19,97	7,21	53,15%	27,12%
7	0,13	10,67	19,95	7,20	53,18%	27,19%
8	0,11	10,68	19,94	7,21	53,28%	27,27%
9	0,12	10,67	19,94	7,20	53,20%	27,20%
10	0,12	10,67	19,97	7,21	53,16%	27,14%
średnia	0,12	10,67	19,95	7,21	53,20%	27,18%

Tabela 80 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,05	4,97	20,03	-0,45	49,93%	26,48%
2	-10,06	4,98	20,04	-0,45	49,97%	26,50%
3	-10,04	4,98	20,03	-0,46	49,95%	26,53%
4	-10,05	4,99	20,03	-0,44	50,00%	26,51%
5	-10,04	4,98	20,04	-0,44	49,93%	26,45%
6	-10,05	4,97	20,02	-0,46	49,95%	26,51%
7	-10,02	4,99	20,00	-0,43	50,00%	26,54%
8	-10,04	5,00	20,02	-0,41	50,01%	26,46%
9	-10,03	5,00	20,02	-0,42	50,02%	26,52%
10	-10,03	4,99	20,02	-0,44	49,98%	26,52%
średnia	-10,04	4,98	20,03	-0,44	49,97%	26,50%

Tabela 81 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,80	-0,15	20,05	-7,41	49,30%	26,43%
2	-19,80	-0,19	20,04	-7,45	49,22%	26,40%
3	-19,83	-0,17	20,04	-7,43	49,31%	26,43%
4	-19,82	-0,15	20,04	-7,42	49,35%	26,48%
5	-19,80	-0,17	20,06	-7,42	49,26%	26,39%
6	-19,81	-0,19	20,03	-7,44	49,25%	26,39%
7	-19,81	-0,17	20,04	-7,44	49,28%	26,45%
8	-19,81	-0,18	20,04	-7,43	49,28%	26,40%
9	-19,86	-0,18	20,04	-7,44	49,32%	26,42%
10	-19,84	-0,17	20,04	-7,44	49,32%	26,45%
średnia	-19,82	-0,17	20,04	-7,43	49,29%	26,42%

Tabela 82 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,16	11,26	19,87	6,13	56,30%	37,31%
2	0,16	11,26	19,87	6,12	56,32%	37,38%
3	0,13	11,25	19,89	6,13	56,30%	37,26%
4	0,17	11,25	19,87	6,15	56,27%	37,24%
5	0,16	11,27	19,88	6,16	56,32%	37,23%
6	0,13	11,28	19,88	6,16	56,45%	37,34%
7	0,15	11,27	19,87	6,14	56,40%	37,40%
8	0,13	11,27	19,89	6,13	56,37%	37,36%
9	0,15	11,27	19,88	6,17	56,37%	37,23%
10	0,16	11,28	19,89	6,16	56,36%	37,31%
średnia	0,15	11,27	19,88	6,14	56,35%	37,31%

Tabela 83 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,31	6,39	19,72	-0,97	55,61%	35,56%
2	-10,33	6,39	19,72	-0,96	55,63%	35,53%
3	-10,34	6,39	19,72	-0,97	55,66%	35,55%
4	-10,35	6,39	19,73	-0,97	55,65%	35,56%
5	-10,35	6,37	19,72	-1,00	55,60%	35,56%
6	-10,34	6,37	19,70	-0,98	55,64%	35,54%
7	-10,35	6,37	19,71	-0,99	55,60%	35,52%
8	-10,30	6,36	19,72	-0,97	55,49%	35,43%
9	-10,31	6,36	19,71	-0,97	55,54%	35,45%
10	-10,31	6,35	19,72	-0,98	55,48%	35,42%
średnia	-10,33	6,37	19,72	-0,97	55,59%	35,51%

Tabela 84 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,94	1,85	19,87	-6,27	54,73%	31,05%
2	-19,86	1,85	19,88	-6,24	54,63%	30,96%
3	-19,87	1,85	19,88	-6,24	54,63%	30,96%
4	-19,95	1,83	19,84	-6,28	54,74%	31,07%
5	-20,00	1,80	19,89	-6,30	54,66%	30,94%
6	-19,95	1,80	19,87	-6,29	54,60%	30,91%
7	-19,92	1,81	19,86	-6,28	54,62%	30,93%
8	-19,84	1,81	19,88	-6,22	54,49%	30,76%
9	-19,97	1,78	19,86	-6,30	54,61%	30,89%
10	-20,01	1,79	19,89	-6,30	54,62%	30,87%
średnia	-19,93	1,82	19,87	-6,27	54,63%	30,93%

Tabela 85 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,04	10,29	19,86	7,44	51,73%	22,96%
2	0,05	10,27	19,88	7,43	51,55%	22,86%
3	0,06	10,29	19,88	7,44	51,61%	22,88%
4	0,04	10,28	19,87	7,43	51,62%	22,90%
5	0,06	10,29	19,88	7,44	51,61%	22,91%
6	0,03	10,29	19,87	7,43	51,73%	23,05%
7	0,05	10,31	19,88	7,46	51,74%	22,96%
8	0,05	10,31	19,86	7,46	51,79%	22,97%
9	0,05	10,31	19,87	7,46	51,74%	22,97%
10	0,04	10,29	19,87	7,43	51,71%	23,04%
średnia	0,05	10,29	19,87	7,44	51,68%	22,95%

Tabela 86 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,02	4,84	19,90	0,35	49,65%	22,97%
2	-10,04	4,83	19,90	0,32	49,66%	23,02%
3	-10,06	4,82	19,89	0,33	49,68%	22,97%
4	-10,03	4,82	19,89	0,33	49,62%	22,95%
5	-10,04	4,81	19,90	0,33	49,60%	22,90%
6	-10,01	4,82	19,88	0,34	49,60%	22,89%
7	-10,03	4,82	19,90	0,33	49,61%	22,92%
8	-10,03	4,82	19,91	0,34	49,60%	22,87%
9	-10,03	4,82	19,91	0,34	49,58%	22,87%
10	-10,01	4,84	19,91	0,38	49,63%	22,83%
średnia	-10,03	4,82	19,90	0,34	49,62%	22,92%

Tabela 87 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,97	-1,09	19,88	-7,15	47,39%	22,43%
2	-19,98	-1,05	19,86	-7,13	47,50%	22,50%
3	-20,05	-1,07	19,86	-7,15	47,55%	22,51%
4	-20,04	-1,06	19,87	-7,14	47,56%	22,51%
5	-20,08	-1,07	19,87	-7,17	47,59%	22,55%
6	-20,07	-1,08	19,85	-7,17	47,56%	22,53%
7	-19,99	-1,05	19,89	-7,13	47,49%	22,49%
8	-19,94	-0,99	19,89	-7,05	47,57%	22,48%
9	-20,01	-0,96	19,89	-7,03	47,73%	22,53%
10	-19,99	-0,95	19,84	-7,00	47,81%	22,56%
średnia	-20,01	-1,04	19,87	-7,11	47,57%	22,51%

Tabela 88 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,06	9,86	19,89	7,27	49,43%	20,56%
2	0,06	9,86	19,90	7,27	49,38%	20,49%
3	0,06	9,85	19,89	7,26	49,39%	20,53%
4	0,06	9,86	19,89	7,25	49,39%	20,61%
5	0,08	9,84	19,88	7,22	49,30%	20,66%
6	0,05	9,81	19,88	7,18	49,21%	20,68%
7	0,06	9,81	19,91	7,20	49,12%	20,53%
8	0,07	9,82	19,90	7,21	49,21%	20,61%
9	0,07	9,82	19,89	7,20	49,18%	20,59%
10	0,07	9,82	19,90	7,20	49,16%	20,61%
średnia	0,06	9,84	19,89	7,23	49,28%	20,59%

Tabela 89 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,10	3,58	20,06	-0,80	45,37%	21,01%
2	-10,09	3,56	20,04	-0,78	45,31%	20,84%
3	-10,09	3,56	20,04	-0,77	45,29%	20,81%
4	-10,10	3,54	20,03	-0,79	45,26%	20,79%
5	-10,10	3,59	20,04	-0,79	45,41%	21,00%
6	-10,09	3,61	20,05	-0,77	45,44%	21,02%
7	-10,09	3,62	20,06	-0,76	45,45%	21,01%
8	-10,12	3,61	20,05	-0,78	45,51%	21,08%
9	-10,05	3,61	20,03	-0,75	45,42%	21,00%
10	-10,15	3,59	20,04	-0,80	45,52%	21,09%
średnia	-10,10	3,59	20,04	-0,78	45,40%	20,96%

Tabela 90 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,90	-1,65	19,92	-7,46	45,84%	21,24%
2	-19,89	-1,64	19,91	-7,46	45,84%	21,26%
3	-19,88	-1,63	19,92	-7,47	45,86%	21,31%
4	-19,93	-1,64	19,92	-7,49	45,88%	21,32%
5	-19,88	-1,63	19,92	-7,47	45,84%	21,29%
6	-19,87	-1,63	19,90	-7,46	45,85%	21,30%
7	-19,89	-1,65	19,91	-7,49	45,82%	21,32%
8	-19,98	-1,68	19,90	-7,54	45,88%	21,33%
9	-19,95	-1,68	19,92	-7,53	45,82%	21,31%
10	-19,85	-1,65	19,89	-7,47	45,79%	21,26%
średnia	-19,90	-1,65	19,91	-7,48	45,84%	21,30%

Tabela 91 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,13	9,40	19,91	6,60	46,86%	21,02%
2	0,15	9,41	19,91	6,63	46,86%	20,92%
3	0,13	9,43	19,93	6,64	46,99%	21,01%
4	0,13	9,42	19,93	6,64	46,89%	20,90%
5	0,12	9,44	19,92	6,65	47,05%	21,01%
6	0,13	9,44	19,92	6,65	47,06%	21,02%
7	0,13	9,44	19,92	6,65	47,03%	20,99%
8	0,12	9,45	19,92	6,66	47,11%	21,02%
9	0,12	9,43	19,92	6,64	47,01%	20,99%
10	0,12	9,44	19,92	6,65	47,09%	21,02%
średnia	0,13	9,43	19,92	6,64	47,00%	20,99%

Tabela 92 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,02	3,19	20,01	-1,24	43,99%	20,86%
2	-10,02	3,22	19,99	-1,22	44,10%	20,90%
3	-10,01	3,21	19,99	-1,23	44,06%	20,91%
4	-9,98	3,20	19,99	-1,23	43,97%	20,85%
5	-10,02	3,20	19,97	-1,23	44,10%	20,90%
6	-10,02	3,20	19,98	-1,24	44,07%	20,91%
7	-10,03	3,21	19,98	-1,22	44,10%	20,90%
8	-9,99	3,22	19,98	-1,20	44,08%	20,85%
9	-10,02	3,21	19,98	-1,22	44,09%	20,90%
10	-10,02	3,24	19,98	-1,19	44,18%	20,89%
średnia	-10,01	3,21	19,98	-1,22	44,07%	20,89%

Tabela 93 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,75	-2,83	19,99	-8,70	42,58%	20,48%
2	-19,73	-2,80	19,97	-8,68	42,63%	20,51%
3	-19,77	-2,81	19,97	-8,69	42,66%	20,50%
4	-19,72	-2,82	19,99	-8,68	42,56%	20,45%
5	-19,76	-2,83	19,97	-8,69	42,60%	20,43%
6	-19,75	-2,84	19,97	-8,72	42,57%	20,49%
7	-19,73	-2,83	19,98	-8,70	42,56%	20,47%
8	-19,73	-2,87	19,96	-8,75	42,47%	20,47%
9	-19,73	-2,86	19,98	-8,75	42,49%	20,49%
10	-19,75	-2,88	19,99	-8,77	42,46%	20,48%
średnia	-19,74	-2,84	19,98	-8,71	42,56%	20,48%

Tabela 94 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,23	10,94	19,83	5,81	54,67%	36,60%
2	0,17	10,94	19,81	5,79	54,81%	36,73%
3	0,23	10,94	19,81	5,82	54,70%	36,61%
4	0,26	10,94	19,82	5,82	54,61%	36,56%
5	0,24	10,95	19,84	5,81	54,61%	36,59%
6	0,22	10,95	19,82	5,82	54,75%	36,65%
7	0,16	10,92	19,85	5,78	54,62%	36,51%
8	0,29	10,93	19,82	5,83	54,49%	36,48%
9	0,23	10,92	19,86	5,80	54,49%	36,44%
10	0,21	10,95	19,86	5,81	54,65%	36,56%
średnia	0,22	10,94	19,83	5,81	54,64%	36,57%

Tabela 95 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,16	4,95	19,63	-0,10	50,74%	25,60%
2	-10,17	4,95	19,63	-0,11	50,73%	25,62%
3	-10,14	4,97	19,65	-0,07	50,72%	25,55%
4	-10,20	4,95	19,66	-0,09	50,73%	25,52%
5	-10,23	4,92	19,67	-0,16	50,66%	25,59%
6	-10,22	4,91	19,62	-0,15	50,71%	25,61%
7	-10,15	4,92	19,68	-0,16	50,51%	25,58%
8	-10,14	4,92	19,66	-0,12	50,55%	25,49%
9	-10,17	4,91	19,67	-0,15	50,54%	25,51%
10	-10,20	4,90	19,67	-0,16	50,56%	25,53%
średnia	-10,18	4,93	19,65	-0,13	50,64%	25,56%

Tabela 96 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 25mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,97	0,94	19,81	-7,03	52,55%	29,68%
2	-19,97	0,93	19,83	-7,02	52,52%	29,61%
3	-19,97	0,92	19,84	-7,04	52,48%	29,61%
4	-19,97	0,92	19,85	-6,99	52,46%	29,47%
5	-20,00	0,94	19,89	-6,97	52,48%	29,44%
6	-19,99	0,92	19,84	-6,98	52,49%	29,45%
7	-19,95	0,92	19,84	-6,96	52,47%	29,41%
8	-19,86	0,95	19,83	-6,89	52,43%	29,34%
9	-19,96	0,94	19,84	-6,92	52,50%	29,35%
10	-19,85	0,96	19,84	-6,86	52,44%	29,31%
średnia	-19,95	0,93	19,84	-6,97	52,48%	29,47%

Tabela 97 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,04	10,68	20,06	7,81	53,17%	23,48%
2	0,02	10,71	20,06	7,84	53,34%	23,48%
3	0,01	10,67	20,06	7,81	53,14%	23,33%
4	0,02	10,65	20,06	7,79	53,04%	23,30%
5	0,02	10,68	20,07	7,81	53,20%	23,46%
6	0,01	10,67	20,05	7,78	53,18%	23,51%
7	0,02	10,69	20,08	7,83	53,22%	23,41%
8	0,00	10,69	20,05	7,80	53,32%	23,59%
9	0,02	10,65	20,06	7,79	53,05%	23,30%
10	0,03	10,67	20,06	7,79	53,09%	23,43%
średnia	0,02	10,68	20,06	7,81	53,18%	23,43%

Tabela 98 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,07	5,14	19,93	0,81	50,72%	22,68%
2	-10,11	5,21	19,94	0,88	50,96%	22,71%
3	-10,10	5,13	19,95	0,83	50,70%	22,49%
4	-10,12	5,22	19,96	0,85	50,98%	22,85%
5	-10,12	5,17	19,95	0,85	50,84%	22,61%
6	-10,14	5,13	19,95	0,82	50,74%	22,53%
7	-10,11	5,23	19,96	0,88	51,03%	22,83%
8	-10,12	5,17	19,96	0,83	50,82%	22,69%
9	-10,11	5,27	19,98	0,92	51,11%	22,85%
10	-10,11	5,18	19,93	0,87	50,88%	22,61%
średnia	-10,11	5,18	19,95	0,85	50,88%	22,68%

Tabela 99 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,13	-0,23	19,86	-6,43	49,77%	23,58%
2	-20,13	-0,26	19,88	-6,47	49,67%	23,56%
3	-20,16	-0,14	19,89	-6,38	49,99%	23,77%
4	-20,17	-0,23	19,89	-6,45	49,78%	23,63%
5	-20,17	-0,21	19,89	-6,43	49,82%	23,62%
6	-20,18	-0,22	19,88	-6,40	49,82%	23,51%
7	-20,17	-0,24	19,90	-6,44	49,73%	23,53%
8	-20,17	-0,19	19,86	-6,37	49,92%	23,56%
9	-20,18	-0,26	19,88	-6,43	49,71%	23,45%
10	-20,18	-0,12	19,86	-6,33	50,09%	23,69%
średnia	-20,16	-0,21	19,88	-6,41	49,83%	23,59%

Tabela 100 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,58	9,64	20,17	7,03	49,26%	19,84%
2	-0,59	9,63	20,14	7,05	49,30%	19,70%
3	-0,61	9,62	20,16	7,03	49,25%	19,68%
4	-0,59	9,54	20,15	7,01	48,83%	19,25%
5	-0,59	9,54	20,15	7,07	48,86%	18,95%
6	-0,57	9,64	20,15	7,03	49,28%	19,92%
7	-0,59	9,64	20,15	7,05	49,31%	19,76%
8	-0,58	9,60	20,16	7,04	49,08%	19,50%
9	-0,58	9,58	20,17	7,04	48,97%	19,33%
10	-0,57	9,62	20,17	7,08	49,12%	19,41%
średnia	-0,59	9,60	20,16	7,04	49,13%	19,53%

Tabela 101 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,17	5,19	20,06	-0,26	50,83%	26,84%
2	-10,12	5,19	20,06	-0,24	50,74%	26,78%
3	-10,15	5,15	20,08	-0,30	50,63%	26,75%
4	-10,11	5,22	20,08	-0,22	50,79%	26,80%
5	-10,12	5,22	20,08	-0,23	50,78%	26,80%
6	-10,16	5,26	20,06	-0,24	51,03%	27,10%
7	-10,14	5,18	20,06	-0,23	50,73%	26,67%
8	-10,16	5,16	20,07	-0,32	50,66%	26,84%
9	-10,15	5,24	20,06	-0,21	50,93%	26,87%
10	-10,13	5,22	20,10	-0,21	50,77%	26,72%
średnia	-10,14	5,20	20,07	-0,25	50,79%	26,82%

Tabela 102 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,01	-0,98	19,34	-7,46	48,35%	24,16%
2	-20,01	-1,02	19,32	-7,43	48,27%	23,96%
3	-20,01	-0,98	19,38	-7,41	48,32%	24,01%
4	-19,99	-1,03	19,37	-7,48	48,17%	24,00%
5	-20,01	-0,96	19,35	-7,42	48,40%	24,14%
6	-19,98	-0,97	19,37	-7,48	48,31%	24,27%
7	-19,97	-0,98	19,37	-7,40	48,27%	23,97%
8	-19,98	-0,98	19,40	-7,44	48,24%	24,06%
9	-19,98	-1,05	19,33	-7,48	48,15%	23,97%
10	-20,02	-0,97	19,37	-7,44	48,37%	24,15%
średnia	-20,00	-0,99	19,36	-7,44	48,28%	24,07%

Tabela 103 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,04	9,86	20,01	7,45	49,20%	19,20%
2	0,02	9,88	19,97	7,48	49,44%	19,28%
3	0,05	9,89	19,98	7,46	49,37%	19,42%
4	0,05	9,84	20,01	7,44	49,09%	19,12%
5	0,03	9,91	20,00	7,46	49,45%	19,51%
6	0,03	9,83	19,99	7,43	49,07%	19,12%
7	0,01	9,90	19,99	7,49	49,50%	19,27%
8	0,02	9,88	20,00	7,45	49,34%	19,35%
9	0,04	9,88	19,97	7,47	49,39%	19,33%
10	0,05	9,89	19,99	7,48	49,36%	19,24%
średnia	0,03	9,88	19,99	7,46	49,32%	19,28%

Tabela 104 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,27	3,56	19,84	-0,08	45,91%	18,26%
2	-10,21	3,50	19,87	-0,10	45,58%	18,03%
3	-10,23	3,61	19,87	-0,03	45,97%	18,27%
4	-10,19	3,58	19,84	-0,06	45,87%	18,30%
5	-10,21	3,63	19,87	0,00	46,02%	18,29%
6	-10,25	3,59	19,88	-0,06	45,95%	18,32%
7	-10,21	3,55	19,86	-0,07	45,76%	18,15%
8	-10,25	3,61	19,85	-0,03	46,03%	18,31%
9	-10,24	3,57	19,85	-0,09	45,87%	18,34%
10	-10,21	3,63	19,89	0,00	45,97%	18,24%
średnia	-10,23	3,58	19,86	-0,05	45,89%	18,25%

Tabela 105 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,87	-1,86	20,13	-6,84	45,03%	18,49%
2	-19,88	-1,93	20,13	-6,88	44,88%	18,32%
3	-19,97	-1,97	20,14	-6,91	44,88%	18,27%
4	-19,95	-1,92	20,11	-6,90	45,02%	18,45%
5	-19,93	-2,03	20,11	-6,97	44,71%	18,24%
6	-19,89	-1,89	20,14	-6,85	44,97%	18,38%
7	-19,90	-2,01	20,12	-6,98	44,71%	18,37%
8	-19,93	-1,92	20,11	-6,87	44,97%	18,33%
9	-19,93	-1,93	20,12	-6,93	44,94%	18,46%
10	-19,93	-2,02	20,14	-7,00	44,69%	18,34%
średnia	-19,92	-1,95	20,12	-6,91	44,88%	18,37%

Tabela 106 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,34	10,53	20,26	7,44	52,74%	24,07%
2	-0,34	10,53	20,27	7,43	52,74%	24,16%
3	-0,33	10,54	20,23	7,48	52,89%	24,07%
4	-0,32	10,59	20,25	7,47	53,03%	24,42%
5	-0,31	10,58	20,27	7,47	52,93%	24,34%
6	-0,34	10,63	20,28	7,48	53,19%	24,57%
7	-0,36	10,63	20,31	7,47	53,19%	24,67%
8	-0,34	10,66	20,27	7,52	53,36%	24,65%
9	-0,34	10,69	20,28	7,53	53,48%	24,81%
10	-0,34	10,67	20,29	7,52	53,38%	24,70%
średnia	-0,34	10,61	20,27	7,48	53,09%	24,45%

Tabela 107 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-9,89	6,09	20,44	0,45	52,69%	28,21%
2	-9,88	6,19	20,42	0,47	53,06%	28,71%
3	-9,92	6,14	20,42	0,43	52,94%	28,58%
4	-9,91	6,12	20,44	0,48	52,83%	28,29%
5	-9,88	6,09	20,40	0,45	52,74%	28,26%
6	-9,91	6,09	20,40	0,42	52,79%	28,41%
7	-9,94	6,12	20,37	0,42	52,99%	28,60%
8	-9,89	6,03	20,41	0,41	52,56%	28,13%
9	-9,93	6,12	20,40	0,41	52,92%	28,58%
10	-9,92	6,09	20,41	0,41	52,80%	28,44%
średnia	-9,91	6,11	20,41	0,43	52,83%	28,42%

Tabela 108 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 1min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,42	-0,68	20,09	-7,44	48,73%	24,57%
2	-20,46	-0,65	20,06	-7,46	48,89%	24,75%
3	-20,46	-0,67	20,01	-7,43	48,91%	24,66%
4	-20,40	-0,63	20,00	-7,50	48,93%	24,97%
5	-20,48	-0,62	20,04	-7,51	49,02%	25,02%
6	-20,50	-0,60	20,03	-7,51	49,11%	25,09%
7	-20,45	-0,59	20,04	-7,46	49,04%	24,96%
8	-20,45	-0,54	20,05	-7,47	49,15%	25,16%
9	-20,34	-0,53	20,01	-7,43	49,10%	25,14%
10	-20,33	-0,54	20,01	-7,43	49,06%	25,10%
średnia	-20,43	-0,61	20,03	-7,46	48,99%	24,94%

Tabela 109 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,09	10,09	20,04	7,52	50,16%	20,57%
2	0,10	10,10	20,04	7,53	50,16%	20,53%
3	0,07	10,09	20,03	7,51	50,21%	20,62%
4	0,09	10,11	20,04	7,52	50,21%	20,64%
5	0,09	10,11	20,03	7,52	50,24%	20,68%
6	0,06	10,09	20,04	7,49	50,19%	20,70%
7	0,08	10,10	20,03	7,52	50,21%	20,60%
8	0,10	10,10	20,03	7,53	50,20%	20,62%
9	0,08	10,10	20,05	7,52	50,19%	20,62%
10	0,09	10,11	20,05	7,53	50,18%	20,59%
średnia	0,08	10,10	20,04	7,52	50,19%	20,62%

Tabela 110 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,01	4,26	19,91	0,44	47,67%	19,58%
2	-10,01	4,27	19,90	0,47	47,73%	19,56%
3	-9,99	4,28	19,92	0,49	47,70%	19,50%
4	-10,01	4,27	19,91	0,49	47,72%	19,48%
5	-10,00	4,25	19,91	0,46	47,64%	19,47%
6	-10,00	4,26	19,91	0,48	47,68%	19,45%
7	-10,03	4,26	19,90	0,46	47,72%	19,53%
8	-10,03	4,24	19,90	0,48	47,68%	19,37%
9	-10,04	4,25	19,91	0,48	47,72%	19,42%
10	-10,02	4,29	19,92	0,49	47,78%	19,53%
średnia	-10,01	4,26	19,91	0,47	47,71%	19,49%

Tabela 111 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,08	-1,34	19,79	-6,92	47,00%	20,89%
2	-20,06	-1,33	19,79	-6,92	46,99%	20,91%
3	-20,08	-1,34	19,78	-6,96	47,03%	21,02%
4	-20,07	-1,36	19,76	-6,94	46,97%	20,91%
5	-20,06	-1,36	19,76	-6,95	46,96%	20,91%
6	-20,07	-1,36	19,74	-6,99	47,00%	21,06%
7	-20,07	-1,36	19,77	-6,95	46,98%	20,95%
8	-20,04	-1,36	19,73	-6,97	46,97%	21,00%
9	-20,06	-1,39	19,78	-6,99	46,86%	20,90%
10	-20,08	-1,37	19,80	-6,99	46,91%	20,99%
średnia	-20,07	-1,36	19,77	-6,96	46,97%	20,95%

Tabela 112 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,46	10,34	20,32	6,44	51,95%	28,07%
2	-0,47	10,34	20,33	6,43	51,98%	28,15%
3	-0,47	10,34	20,34	6,43	51,93%	28,09%
4	-0,47	10,33	20,36	6,45	51,84%	27,91%
5	-0,45	10,33	20,35	6,45	51,83%	27,92%
6	-0,45	10,35	20,34	6,46	51,94%	28,04%
7	-0,46	10,33	20,33	6,43	51,92%	28,09%
8	-0,43	10,33	20,33	6,44	51,83%	27,98%
9	-0,47	10,31	20,33	6,41	51,85%	28,08%
10	-0,47	10,31	20,33	6,41	51,84%	28,06%
średnia	-0,46	10,33	20,34	6,43	51,89%	28,04%

Tabela 113 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,09	4,32	20,05	-0,75	47,82%	24,39%
2	-10,11	4,31	20,07	-0,78	47,79%	24,41%
3	-10,09	4,32	20,08	-0,75	47,76%	24,33%
4	-10,05	4,35	20,06	-0,76	47,82%	24,53%
5	-10,06	4,35	20,07	-0,74	47,83%	24,45%
6	-10,10	4,31	20,09	-0,77	47,71%	24,34%
7	-10,11	4,30	20,06	-0,76	47,76%	24,31%
8	-10,06	4,32	20,08	-0,76	47,72%	24,38%
9	-10,07	4,30	20,06	-0,75	47,68%	24,26%
10	-10,11	4,31	20,04	-0,77	47,84%	24,43%
średnia	-10,09	4,32	20,07	-0,76	47,77%	24,38%

Tabela 114 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,89	-1,79	19,30	-7,72	46,19%	21,96%
2	-19,90	-1,79	19,25	-7,71	46,25%	21,96%
3	-19,90	-1,79	19,32	-7,74	46,16%	21,98%
4	-19,92	-1,75	19,29	-7,75	46,33%	22,18%
5	-19,93	-1,77	19,31	-7,77	46,28%	22,17%
6	-19,93	-1,79	19,31	-7,79	46,25%	22,16%
7	-19,91	-1,74	19,28	-7,76	46,37%	22,26%
8	-19,89	-1,72	19,28	-7,75	46,39%	22,31%
9	-19,87	-1,69	19,29	-7,75	46,42%	22,40%
10	-19,88	-1,71	19,27	-7,77	46,43%	22,43%
średnia	-19,90	-1,75	19,29	-7,75	46,31%	22,18%

Tabela 115 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,10	9,40	19,97	7,15	46,79%	17,52%
2	0,12	9,39	19,96	7,16	46,72%	17,42%
3	0,11	9,40	19,96	7,16	46,79%	17,46%
4	0,11	9,39	19,97	7,16	46,75%	17,45%
5	0,10	9,38	19,96	7,13	46,74%	17,54%
6	0,10	9,36	19,95	7,14	46,65%	17,32%
7	0,11	9,38	19,96	7,17	46,70%	17,31%
8	0,11	9,41	19,97	7,19	46,83%	17,39%
9	0,09	9,39	19,98	7,17	46,77%	17,38%
10	0,09	9,40	19,98	7,16	46,81%	17,47%
średnia	0,10	9,39	19,97	7,16	46,76%	17,43%

Tabela 116 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,14	2,86	19,81	-0,49	43,42%	16,50%
2	-10,16	2,84	19,81	-0,50	43,38%	16,47%
3	-10,19	2,83	19,82	-0,53	43,39%	16,50%
4	-10,16	2,84	19,82	-0,51	43,37%	16,48%
5	-10,16	2,83	19,82	-0,53	43,33%	16,49%
6	-10,19	2,83	19,82	-0,52	43,41%	16,47%
7	-10,14	2,86	19,82	-0,50	43,38%	16,52%
8	-10,14	2,89	19,82	-0,48	43,51%	16,60%
9	-10,18	2,87	19,83	-0,49	43,47%	16,53%
10	-10,16	2,85	19,83	-0,50	43,40%	16,50%
średnia	-10,16	2,85	19,82	-0,50	43,41%	16,51%

Tabela 117 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,89	-3,11	20,06	-7,70	42,01%	16,54%
2	-19,91	-3,11	20,07	-7,72	42,02%	16,57%
3	-19,90	-3,11	20,07	-7,72	42,01%	16,60%
4	-19,88	-3,09	20,03	-7,71	42,07%	16,64%
5	-19,84	-3,07	20,05	-7,66	42,03%	16,56%
6	-19,82	-3,05	20,04	-7,64	42,07%	16,57%
7	-19,88	-3,08	20,00	-7,68	42,13%	16,61%
8	-19,90	-3,08	20,05	-7,69	42,11%	16,64%
9	-19,88	-3,09	20,05	-7,70	42,04%	16,62%
10	-19,85	-3,08	20,06	-7,67	42,02%	16,56%
średnia	-19,87	-3,09	20,05	-7,69	42,05%	16,59%

Tabela 118 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-1,53	8,97	19,25	5,50	50,56%	25,29%
2	-1,56	8,94	19,10	5,50	50,80%	25,26%
3	-1,54	8,87	19,12	5,47	50,39%	24,89%
4	-1,60	8,85	19,03	5,47	50,64%	24,90%
5	-1,57	9,05	19,11	5,57	51,39%	25,73%
6	-1,53	8,97	19,25	5,50	50,56%	25,29%
7	-1,56	8,94	19,10	5,50	50,80%	25,26%
8	-1,54	8,87	19,12	5,47	50,39%	24,89%
9	-1,60	8,85	19,03	5,47	50,64%	24,90%
10	-1,57	8,85	19,03	5,47	50,61%	24,96%
średnia	-1,56	8,92	19,11	5,49	50,68%	25,14%

Tabela 119 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-9,94	4,87	20,16	-0,25	49,19%	25,06%
2	-9,93	4,87	20,18	-0,23	49,15%	24,98%
3	-9,91	4,88	20,16	-0,23	49,18%	25,04%
4	-9,97	4,88	20,16	-0,26	49,28%	25,18%
5	-9,95	4,86	20,17	-0,25	49,18%	25,04%
6	-9,97	4,87	20,17	-0,24	49,24%	25,04%
7	-9,98	4,81	20,16	-0,27	49,07%	24,86%
8	-10,01	4,84	20,14	-0,27	49,25%	25,04%
9	-9,96	4,83	20,16	-0,28	49,09%	24,98%
10	-9,98	4,80	20,19	-0,27	48,98%	24,76%
średnia	-9,96	4,85	20,16	-0,25	49,16%	25,00%

Tabela 120 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 2min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,16	-1,18	19,69	-7,80	47,65%	24,10%
2	-20,21	-1,22	19,80	-7,84	47,47%	23,97%
3	-20,22	-1,28	19,73	-7,83	47,41%	23,74%
4	-20,17	-1,26	19,72	-7,86	47,40%	23,91%
5	-20,17	-1,31	19,77	-7,81	47,23%	23,57%
6	-20,13	-1,31	19,75	-7,79	47,17%	23,51%
7	-20,16	-1,31	19,76	-7,80	47,21%	23,54%
8	-20,02	-1,25	19,76	-7,75	47,19%	23,62%
9	-20,22	-1,29	19,81	-7,81	47,28%	23,61%
10	-20,19	-1,30	19,79	-7,84	47,26%	23,67%
średnia	-20,17	-1,27	19,76	-7,81	47,33%	23,72%

Tabela 121 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,08	9,73	20,01	7,30	48,39%	19,10%
2	0,09	9,72	20,01	7,27	48,32%	19,18%
3	0,09	9,73	20,02	7,30	48,37%	19,11%
4	0,09	9,73	20,03	7,28	48,33%	19,19%
5	0,10	9,73	20,03	7,29	48,35%	19,19%
6	0,07	9,71	20,02	7,27	48,31%	19,13%
7	0,09	9,71	20,01	7,29	48,31%	19,07%
8	0,10	9,74	20,02	7,30	48,38%	19,16%
9	0,09	9,74	20,03	7,30	48,37%	19,14%
10	0,10	9,72	20,02	7,30	48,28%	19,00%
średnia	0,09	9,72	20,02	7,29	48,34%	19,13%

Tabela 122 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-9,98	3,70	19,88	0,10	45,84%	18,23%
2	-9,99	3,69	19,87	0,10	45,81%	18,17%
3	-10,00	3,71	19,88	0,11	45,89%	18,21%
4	-10,02	3,71	19,87	0,09	45,94%	18,30%
5	-9,96	3,72	19,86	0,10	45,84%	18,30%
6	-9,95	3,70	19,87	0,11	45,80%	18,19%
7	-10,00	3,69	19,86	0,09	45,84%	18,17%
8	-10,00	3,71	19,85	0,11	45,93%	18,25%
9	-10,00	3,70	19,86	0,10	45,87%	18,21%
10	-9,95	3,72	19,87	0,11	45,86%	18,27%
średnia	-9,98	3,71	19,87	0,10	45,86%	18,23%

Tabela 123 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,01	-2,08	19,76	-7,48	45,08%	19,81%
2	-20,02	-2,07	19,75	-7,47	45,12%	19,83%
3	-20,03	-2,10	19,76	-7,51	45,06%	19,82%
4	-20,00	-2,09	19,74	-7,48	45,06%	19,79%
5	-19,95	-2,06	19,75	-7,46	45,07%	19,85%
6	-20,02	-2,09	19,75	-7,48	45,07%	19,80%
7	-20,03	-2,09	19,74	-7,51	45,12%	19,89%
8	-20,03	-2,11	19,72	-7,50	45,07%	19,79%
9	-20,02	-2,10	19,73	-7,50	45,10%	19,85%
10	-20,03	-2,09	19,73	-7,51	45,13%	19,91%
średnia	-20,01	-2,09	19,74	-7,49	45,09%	19,83%

Tabela 124 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,47	9,83	20,07	6,46	50,12%	24,74%
2	-0,48	9,81	20,07	6,44	50,08%	24,77%
3	-0,48	9,81	20,07	6,43	50,09%	24,83%
4	-0,48	9,80	20,08	6,42	50,00%	24,73%
5	-0,49	9,78	20,07	6,42	49,98%	24,67%
6	-0,48	9,78	20,06	6,41	49,96%	24,72%
7	-0,49	9,77	20,05	6,41	49,94%	24,63%
8	-0,47	9,76	20,06	6,42	49,84%	24,50%
9	-0,51	9,78	20,06	6,40	49,99%	24,73%
10	-0,49	9,78	20,09	6,39	49,90%	24,73%
średnia	-0,48	9,79	20,07	6,42	49,99%	24,71%

Tabela 125 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,15	3,69	20,07	-1,24	45,80%	23,13%
2	-10,06	3,69	20,07	-1,21	45,63%	23,01%
3	-10,05	3,69	20,06	-1,21	45,62%	23,03%
4	-10,08	3,67	20,07	-1,24	45,59%	23,01%
5	-10,08	3,69	20,07	-1,22	45,66%	23,04%
6	-10,02	3,68	20,05	-1,18	45,57%	22,90%
7	-10,06	3,68	20,08	-1,22	45,60%	23,00%
8	-9,99	3,70	20,08	-1,18	45,54%	22,96%
9	-10,08	3,67	20,03	-1,22	45,68%	23,02%
10	-10,10	3,69	20,09	-1,22	45,67%	23,05%
średnia	-10,07	3,69	20,07	-1,21	45,63%	23,02%

Tabela 126 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,89	-2,56	19,22	-8,34	44,32%	20,99%
2	-19,90	-2,56	19,25	-8,31	44,28%	20,86%
3	-19,91	-2,58	19,19	-8,34	44,33%	20,94%
4	-19,87	-2,55	19,18	-8,32	44,33%	20,95%
5	-19,85	-2,55	19,19	-8,32	44,31%	20,95%
6	-19,88	-2,46	19,21	-8,32	44,56%	21,28%
7	-19,83	-2,47	19,20	-8,29	44,48%	21,15%
8	-19,83	-2,55	19,19	-8,30	44,29%	20,93%
9	-19,80	-2,53	19,21	-8,28	44,28%	20,92%
10	-19,84	-2,46	19,19	-8,26	44,53%	21,14%
średnia	-19,86	-2,53	19,20	-8,31	44,37%	21,01%

Tabela 127 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,11	8,89	19,95	6,85	44,29%	15,62%
2	0,12	8,92	19,93	6,87	44,38%	15,64%
3	0,11	8,92	19,94	6,88	44,43%	15,66%
4	0,10	8,90	19,97	6,85	44,31%	15,64%
5	0,11	8,91	19,95	6,87	44,38%	15,63%
6	0,10	8,91	19,96	6,86	44,37%	15,68%
7	0,10	8,91	19,95	6,86	44,38%	15,63%
8	0,11	8,90	19,94	6,85	44,31%	15,65%
9	0,11	8,88	19,93	6,84	44,25%	15,60%
10	0,10	8,89	19,96	6,82	44,26%	15,75%
średnia	0,11	8,90	19,95	6,85	44,34%	15,65%

Tabela 128 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,15	2,05	19,80	-1,05	40,75%	14,87%
2	-10,18	2,06	19,79	-1,07	40,83%	15,00%
3	-10,13	2,10	19,80	-1,01	40,85%	14,94%
4	-10,15	2,11	19,81	-1,01	40,93%	14,97%
5	-10,16	2,08	19,79	-1,04	40,88%	14,99%
6	-10,16	2,10	19,81	-1,03	40,90%	15,02%
7	-10,12	2,10	19,80	-1,01	40,85%	14,95%
8	-10,12	2,11	19,82	-1,00	40,87%	14,98%
9	-10,16	2,08	19,78	-1,05	40,89%	15,03%
10	-10,14	2,08	19,80	-1,04	40,80%	14,96%
średnia	-10,15	2,09	19,80	-1,03	40,85%	14,97%

Tabela 129 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,85	-4,24	20,00	-8,44	39,16%	14,74%
2	-19,87	-4,24	20,02	-8,41	39,18%	14,67%
3	-19,90	-4,27	19,99	-8,45	39,19%	14,71%
4	-19,82	-4,26	19,99	-8,43	39,10%	14,68%
5	-19,84	-4,25	19,99	-8,43	39,15%	14,72%
6	-19,85	-4,24	20,00	-8,43	39,17%	14,71%
7	-19,83	-4,24	19,98	-8,43	39,16%	14,76%
8	-19,90	-4,29	20,01	-8,49	39,12%	14,73%
9	-19,89	-4,29	19,99	-8,46	39,11%	14,67%
10	-19,81	-4,25	19,99	-8,41	39,10%	14,67%
średnia	-19,86	-4,26	20,00	-8,44	39,14%	14,70%

Tabela 130 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,15	9,81	19,93	5,96	48,84%	27,59%
2	0,20	9,82	19,96	5,97	48,71%	27,56%
3	0,17	9,83	19,96	5,98	48,81%	27,55%
4	0,20	9,84	19,98	5,99	48,73%	27,52%
5	0,21	9,85	19,96	6,00	48,80%	27,58%
6	0,23	9,86	19,96	6,04	48,81%	27,48%
7	0,19	9,86	19,97	6,02	48,87%	27,50%
8	0,20	9,86	19,95	6,02	48,91%	27,60%
9	0,18	9,85	19,97	5,99	48,88%	27,65%
10	0,22	9,87	19,95	6,02	48,89%	27,64%
średnia	0,20	9,85	19,96	6,00	48,82%	27,57%

Tabela 131 - Dane dla - woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-9,89	4,51	20,19	-0,51	47,86%	24,22%
2	-9,88	4,46	20,14	-0,51	47,76%	24,06%
3	-9,92	4,42	20,15	-0,52	47,70%	23,91%
4	-9,88	4,46	20,18	-0,50	47,70%	23,97%
5	-9,92	4,49	20,14	-0,52	47,92%	24,24%
6	-9,89	4,44	20,17	-0,51	47,67%	23,94%
7	-9,94	4,48	20,17	-0,52	47,89%	24,18%
8	-9,99	4,46	20,15	-0,55	47,95%	24,21%
9	-9,96	4,47	20,14	-0,55	47,93%	24,25%
10	-9,93	4,45	20,14	-0,54	47,82%	24,11%
średnia	-9,92	4,46	20,16	-0,52	47,82%	24,11%

Tabela 132 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 3min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,29	-2,00	19,62	-8,29	45,84%	22,55%
2	-20,25	-2,00	19,55	-8,27	45,86%	22,52%
3	-20,28	-2,02	19,58	-8,26	45,81%	22,42%
4	-20,38	-2,02	19,61	-8,30	45,91%	22,50%
5	-20,36	-1,99	19,64	-8,27	45,92%	22,49%
6	-20,37	-2,00	19,59	-8,27	45,96%	22,51%
7	-20,25	-1,97	19,62	-8,21	45,85%	22,44%
8	-20,34	-1,95	19,57	-8,20	46,07%	22,50%
9	-20,29	-2,00	19,62	-8,29	45,84%	22,55%
10	-20,25	-2,00	19,55	-8,27	45,86%	22,52%
średnia	-20,31	-2,00	19,59	-8,26	45,89%	22,50%

Tabela 133 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,09	9,03	19,98	6,87	44,98%	16,49%
2	0,12	9,05	19,99	6,88	44,93%	16,51%
3	0,10	8,96	19,98	6,89	44,53%	15,78%
4	0,08	8,88	19,98	6,87	44,22%	15,31%
5	0,08	8,89	19,99	6,89	44,26%	15,31%
6	0,08	8,94	19,97	6,89	44,53%	15,63%
7	0,09	8,92	19,98	6,89	44,38%	15,45%
8	0,10	8,93	19,97	6,87	44,42%	15,71%
9	0,09	8,91	19,97	6,87	44,33%	15,54%
10	0,09	8,92	19,97	6,88	44,41%	15,61%
średnia	0,09	8,94	19,98	6,88	44,50%	15,73%

Tabela 134 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-9,99	2,83	19,79	-0,66	43,06%	17,10%
2	-9,98	2,85	19,82	-0,66	43,06%	17,14%
3	-9,99	2,85	19,82	-0,65	43,08%	17,09%
4	-9,98	2,86	19,80	-0,65	43,12%	17,17%
5	-9,94	2,87	19,82	-0,63	43,06%	17,12%
6	-9,97	2,88	19,82	-0,65	43,13%	17,23%
7	-10,01	2,86	19,81	-0,65	43,15%	17,13%
8	-9,99	2,87	19,80	-0,61	43,16%	17,05%
9	-9,96	2,89	19,79	-0,60	43,19%	17,13%
10	-10,02	2,89	19,82	-0,61	43,25%	17,13%
średnia	-9,98	2,86	19,81	-0,64	43,13%	17,13%

Tabela 135 - Zestawienie danych- olej jojoba, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp. zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,96	-3,14	19,65	-8,43	42,48%	18,84%
2	-19,97	-3,15	19,66	-8,43	42,43%	18,80%
3	-19,97	-3,16	19,66	-8,45	42,40%	18,80%
4	-19,98	-3,16	19,66	-8,46	42,42%	18,84%
5	-20,01	-3,15	19,70	-8,45	42,46%	18,83%
6	-19,99	-3,15	19,70	-8,41	42,45%	18,73%
7	-19,96	-3,10	19,69	-8,36	42,53%	18,77%
8	-19,94	-3,09	19,69	-8,34	42,52%	18,73%
9	-19,97	-3,09	19,66	-8,35	42,59%	18,78%
10	-19,96	-3,09	19,66	-8,35	42,57%	18,78%
średnia	-19,97	-3,13	19,67	-8,40	42,48%	18,79%

Tabela 136 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,47	8,78	20,04	5,90	45,11%	20,38%
2	-0,46	8,79	20,03	5,91	45,15%	20,42%
3	-0,47	9,07	20,03	5,90	46,53%	22,44%
4	-0,47	9,03	20,03	5,89	46,37%	22,22%
5	-0,47	8,75	20,02	5,91	45,00%	20,13%
6	-0,47	8,24	20,04	5,90	42,44%	16,54%
7	-0,45	8,13	20,03	5,90	41,93%	15,82%
8	-0,46	8,31	20,04	5,90	42,80%	17,06%
9	-0,46	8,21	20,05	5,91	42,26%	16,26%
10	-0,46	8,20	20,04	5,91	42,23%	16,19%
średnia	-0,46	8,55	20,03	5,90	43,98%	18,75%

Tabela 137 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,03	2,76	20,01	-1,91	42,58%	21,32%
2	-10,00	2,76	20,00	-1,91	42,53%	21,31%
3	-10,06	2,75	19,99	-1,93	42,63%	21,35%
4	-10,03	2,75	20,01	-1,93	42,53%	21,33%
5	-10,03	2,76	20,01	-1,94	42,59%	21,44%
6	-9,99	2,75	19,99	-1,92	42,49%	21,31%
7	-10,02	2,76	20,02	-1,91	42,53%	21,30%
8	-10,01	2,77	20,01	-1,89	42,55%	21,27%
9	-10,00	2,75	19,99	-1,93	42,52%	21,35%
10	-10,02	2,76	20,01	-1,93	42,56%	21,37%
średnia	-10,02	2,76	20,00	-1,92	42,55%	21,33%

Tabela 138 - Zestawienie danych- olej kokosowy, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,84	-3,96	19,10	-9,46	40,78%	19,25%
2	-19,83	-3,86	19,10	-9,44	41,03%	19,57%
3	-19,83	-3,80	19,06	-9,45	41,22%	19,82%
4	-19,79	-3,77	19,08	-9,42	41,22%	19,83%
5	-19,78	-3,81	19,10	-9,41	41,09%	19,65%
6	-19,78	-3,77	19,09	-9,41	41,20%	19,81%
7	-19,81	-3,74	19,06	-9,43	41,34%	19,97%
8	-19,85	-3,70	19,07	-9,43	41,50%	20,12%
9	-19,85	-3,76	19,11	-9,45	41,30%	19,91%
10	-19,83	-3,71	19,10	-9,44	41,40%	20,06%
średnia	-19,82	-3,79	19,09	-9,43	41,21%	19,80%

Tabela 139 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	0,12	8,00	19,90	6,31	39,84%	12,46%
2	0,10	8,00	19,92	6,29	39,85%	12,52%
3	0,10	8,00	19,91	6,29	39,86%	12,55%
4	0,12	8,01	19,90	6,30	39,86%	12,56%
5	0,10	8,00	19,91	6,30	39,89%	12,49%
6	0,12	8,01	19,90	6,31	39,88%	12,46%
7	0,11	8,01	19,92	6,31	39,88%	12,49%
8	0,13	8,00	19,90	6,31	39,81%	12,45%
9	0,12	8,00	19,91	6,30	39,83%	12,49%
10	0,11	8,01	19,91	6,32	39,91%	12,43%
średnia	0,11	8,00	19,91	6,30	39,86%	12,49%

Tabela 140 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-10,13	0,76	19,76	-1,84	36,41%	12,04%
2	-10,10	0,75	19,76	-1,84	36,34%	12,02%
3	-10,17	0,72	19,74	-1,89	36,40%	12,06%
4	-10,13	0,74	19,74	-1,86	36,38%	12,05%
5	-10,14	0,75	19,75	-1,86	36,44%	12,08%
6	-10,14	0,76	19,76	-1,85	36,44%	12,08%
7	-10,15	0,73	19,74	-1,87	36,40%	12,04%
8	-10,11	0,74	19,74	-1,88	36,33%	12,08%
9	-10,15	0,72	19,74	-1,89	36,34%	12,06%
10	-10,13	0,74	19,75	-1,86	36,36%	12,03%
średnia	-10,13	0,74	19,75	-1,87	36,39%	12,05%

Tabela 141 - Zestawienie danych- pusty, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-19,94	-6,22	19,92	-9,67	34,44%	11,68%
2	-19,82	-6,14	19,91	-9,59	34,43%	11,68%
3	-19,79	-6,12	19,92	-9,56	34,44%	11,68%
4	-19,80	-6,11	19,92	-9,55	34,47%	11,70%
5	-19,78	-6,12	19,92	-9,56	34,43%	11,70%
6	-19,77	-6,09	19,90	-9,53	34,48%	11,69%
7	-19,82	-6,13	19,92	-9,57	34,45%	11,68%
8	-19,80	-6,13	19,91	-9,57	34,44%	11,69%
9	-19,77	-6,09	19,92	-9,54	34,46%	11,69%
10	-19,78	-6,11	19,91	-9,55	34,45%	11,69%
średnia	-19,81	-6,12	19,91	-9,57	34,45%	11,69%

Tabela 142 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. 0°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-0,20	9,68	20,13	6,95	48,58%	20,70%
2	-0,22	9,68	20,12	6,94	48,68%	20,80%
3	-0,22	9,67	20,12	6,94	48,61%	20,70%
4	-0,23	9,66	20,12	6,92	48,63%	20,81%
5	-0,23	9,65	20,12	6,89	48,55%	20,89%
6	-0,23	9,68	20,11	6,89	48,72%	21,08%
7	-0,25	9,68	20,12	6,89	48,73%	21,09%
8	-0,24	9,67	20,10	6,87	48,73%	21,15%
9	-0,24	9,66	20,13	6,89	48,63%	20,95%
10	-0,26	9,66	20,13	6,86	48,67%	21,14%
średnia	-0,23	9,67	20,12	6,90	48,65%	20,93%

Tabela 143 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -10°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-9,91	3,77	20,07	-1,17	45,64%	23,26%
2	-9,93	3,68	20,06	-1,19	45,38%	22,91%
3	-9,94	3,75	20,05	-1,19	45,65%	23,26%
4	-9,87	3,77	20,06	-1,15	45,57%	23,20%
5	-10,00	3,67	20,05	-1,21	45,49%	22,96%
6	-9,86	3,77	20,05	-1,16	45,57%	23,25%
7	-9,93	3,76	20,08	-1,19	45,60%	23,25%
8	-9,86	3,72	20,06	-1,16	45,41%	23,02%
9	-9,94	3,74	20,06	-1,19	45,60%	23,19%
10	-9,88	3,78	20,06	-1,16	45,62%	23,27%
średnia	-9,91	3,74	20,06	-1,18	45,55%	23,16%

Tabela 144 - Zestawienie danych- woda, wymiennik 40mm x 1mm, cykl 5min, temp.zew. -20°C, temp. wew. 20°C.

L.p.	t ₁ [°C]	t ₂ [°C]	t ₃ [°C]	t ₄ [°C]	η _t urządzenia	η _t wymiennika
1	-20,37	-2,64	19,35	-8,75	44,64%	21,76%
2	-20,32	-2,72	19,29	-8,70	44,44%	21,38%
3	-20,34	-2,60	19,33	-8,73	44,73%	21,86%
4	-20,32	-2,59	19,34	-8,71	44,70%	21,82%
5	-20,35	-2,60	19,34	-8,72	44,71%	21,81%
6	-20,33	-2,60	19,25	-8,71	44,80%	21,85%
7	-20,28	-2,59	19,30	-8,70	44,70%	21,81%
8	-20,34	-2,61	19,32	-8,71	44,69%	21,76%
9	-20,33	-2,62	19,31	-8,70	44,68%	21,71%
10	-20,32	-2,61	19,30	-8,70	44,70%	21,77%
średnia	-20,33	-2,62	19,31	-8,71	44,68%	21,75%