

Raport otwarcia dla Demonstratora technologii

Podsumowanie funkcjonowania w okresie : 01.12.2023. – 30.06.2024.

Raport wykonany w ramach Przedsięwzięcia Magazynowanie Ciepła i Chłodu

Umowa nr 105/21/PU/P40-06

Zamawiający: **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju**

Wykonawca: **ConnectPoint Sp. z o.o. w Warszawie**

Partner Strategiczny: **Uniwersytet Rolniczy w Krakowie**



Opracował ze strony ConnectPoint

Kierownik Projektu B+R

Paweł Uznański



1. Założenia projektu badawczego

ThermOS – Optymalny System Termiczny (*Thermal Optimal System*), powstał w ramach Projektu badawczo-rozwojowego „Magazynowanie Ciepła i Chłodu”. W trakcie prac koncepcyjnych i projektowych opracowano założenia oraz pełne dokumentacje wykonawcze, dla kompleksowego układu technologicznego dostarczania i magazynowania ciepła oraz chłodu. Zgodnie z intencją przewodnią przedsięwzięcia, koncepcja budowy Systemu ma zapewnić maksymalne wykorzystanie energii produkowanej indywidualnie (OZE) i minimalizować koszty eksploatacji, czyli zakupu energii elektrycznej z sieci zewnętrznej. System ma w sposób stabilny zapewniać komfort termiczny budynku oraz bezpieczeństwo użytkowania.

Najważniejszym elementem Projektu, jest system magazynowania ciepła i chłodu, w postaci dwustopniowego układu: bufor wewnętrzny ciepła/chłodu + zewnętrzny magazyn ciepła/chłodu. Taki układ jest rozwinięciem często występujących na rynku technologii buforowania pracy pomp ciepła, przy wykorzystaniu wewnętrznych zbiorników stabilizujących pracę instalacji. Produkcja ciepła lub chłodu, w zależności od potrzeb sezonowych, oparta w niemalże 100% na pracy pompy ciepła, jest powszechnym obecnie i efektywnym sposobem na zapewnienie komfortu termicznego w budynkach. Jednak dopiero połączenie technologii pomp ciepła, fotowoltaiki i optymalnego magazynowania energii nadmiarowej, daje oczekiwane efekty w zakresie ekonomiki i zwiększenia niezależności cieplnej. Pozwala jednocześnie na częściowe kompensowanie niestabilności i zależności pogodowej odnawialnych źródeł energii.

2. Lokalizacja Demonstratora Technologii

Podmiot	Pełna nazwa	Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
	Adres z kodem pocztowym	31-120 Kraków, Aleja Mickiewicza 21
	Adres budynku (lokalizacja Demonstratora)	30-149 Kraków, ul. Balicka 120, Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
	E-mail	kimia@urk.edu.pl

3. Technologia

3.1. Opis opracowanej Technologii

ThermOS – *Thermal Optimal System*, jest w sensie technologicznym kompletnym systemem wytwarzania i dostarczania do instalacji wewnętrznych budynku, strumieni energii dla funkcji ogrzewania (CO) i chłodzenia (CH). Podstawowymi elementami i urządzeniami są:

- Powietrzna pompa ciepła (lub układ kaskadowy przy większej mocy)
- Bufor wewnętrzny CO/CH
- Zewnętrzny magazyn ciepła i chłodu (ZMC)
- Maszynownia, tj. zestaw urządzeń i instalacji hydraulicznych zapewniających poprawne działanie Systemu, w tym m.in. płytowy wymiennik ciepła, pompy obiegowe, zawory przełączające, armatura, zabezpieczenie ciśnieniowe
- Układ automatyki,
- Instalacja fotowoltaiczna

W przypadku opracowanego projektu Systemu dla biurowca, zgodnie z wytycznymi Regulaminu Przedsięwzięcia NCBR, nie została uwzględniona produkcja ciepłej wody użytkowej, jednak System może o taką funkcję zostać uzupełniony w przyszłości. W budynku URK przy ul. Balickiej 120, ciepła woda użytkowa przygotowywana jest obecnie miejscowo, węzeł cieplny jest jednofunkcyjny (CO).

3.2. Demonstrator ThermOS dla budynku URK

UKŁAD TECHNOLOGICZNY, ZMIANY W INSTALACJI BUDYNKU

Realizacja Projektu na terenie kampusu Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, jest kontynuacją Projektu badawczo-rozwojowego (II Etap). Układ magazynowania ciepła oraz chłodu dla Systemu 3, który w postaci Demonstratora technologii został zabudowany na terenie URK w Krakowie, składa się z następujących elementów podstawowych:

- Bufor wewnętrzny CO/CH – pierwszy poziom magazynowania energii (ciepła w okresie grzewczym, chłodu w okresie letnim). Bufor zapewnia oczekiwaną elastyczność Systemu i współpracuje bezpośrednio z pompami ciepła, instalacją wewnętrzną budynku oraz ZMC. Zaprojektowano bufor SG(B) w izolacji dla CO/CH o pojemności 1000 dm³. W okresie letnim dla potrzeb chłodzenia budynku, zostanie zweryfikowana opcja pracy układu bez udziału magazynu zewnętrznego. Jeżeli wydajność pracy jedynie z buforem wewnętrznym okaże się wystarczająca, obieg hydrauliczny ZMC będzie wyłączony, co może ograniczyć straty spoczynkowe ciepła i zużycie energii elektrycznej na pracę pomp obiegowych.
- Zewnętrzny magazyn ciepła i chłodu (ZMC) – drugi poziom magazynowania energii (ciepła w okresie grzewczym, chłodu w okresie letnim). Magazyn o dużo większej pojemności od Bufora – dla Demonstratora Systemu 3 pojemność robocza to 9500 dm³. ZMC w znaczący sposób zwiększa

potencjał magazynowania energii dla Systemu, współpracując wprost z Buforem wewnętrznym CO/CH. Nie można jednak w tym przypadku mówić o akumulatorze sezonowym, gdyż pojemność takiego zbiornika, niewykorzystującego przemian fazowych, musiałaby być wielokrotnie większa.

- Wymiennik w obiegu ZMC – Bufor CO/CH, ma za zadanie odebrać ciepło/chłód z bufora w trakcie ładowania magazynu i odwrotnie – z magazynu - w trakcie poboru ciepła/chłodu do instalacji. Rozdziela obieg bezciśnieniowy ZMC-wymiennik i ciśnieniowy *wymiennik-bufor-instalacja wewnętrzna*. Zastosowano wymiennik płytowy wysokowydajny, który będzie zlokalizowany w pomieszczeniu technicznym w budynku.
- Zawory przełączające – zachodzi potrzeba przełączania króćców obiegu przy realizacji produkcji ciepła, bądź chłodu bufor–ZMC; zastosowanie dwóch zaworów trójdrogowych przełączających pozwala na zmianę kierunku przepływu (góra-dół / dół-góra), umożliwiając maksymalne wykorzystanie ZMC, w którym wystąpi warstwowy rozkład temperatur czynnika, szczególnie dla większych pojemności.
- Sposób wykorzystania ZMC będzie się zmieniał w ciągu roku. Wiosną i latem większość jego pojemności zajmie woda o temperaturze równej lub niższej od wymaganej do zasilania instalacji klimatyzacyjnej. Jesienią i zimą większość objętości ZMC zostanie wykorzystana do magazynowania wody gorącej na potrzeby obiegu CO. Rozładowywanie magazynu ciepła będzie odbywało się poprzez odbiór wody gorącej przez wymiennik ciepła obiegu ZMC-bufor. Podczas rozładowywania średnia temperatura wody w akumulatorze będzie stopniowo spadała. W typowych warunkach pracy w sezonie grzewczym, w ciągu dnia pompa ciepła wykorzystując energię z instalacji PV, będzie zasilala instalację CO oraz uzupełniała pojemność cieplną bufora/ZMC, w celu wykorzystania ciepła w godzinach nocnych. Analogicznie, chociaż w układzie odwróconym, będzie przebiegał proces realizacji funkcji chłodzenia.
- Wszystkie funkcje Systemu oraz jego praca w każdych warunkach jest nadzorowana przez inteligentne oprogramowanie wraz z dedykowaną aplikacją mobilną.
- W systemie technologicznym pracującym w rzeczywistych warunkach, układ sterowania wykorzystuje serwis pogodowy w celu projekcji przyszłych krótkookresowych potrzeb grzewczych i chłodniczych budynku. Uwzględniane będą również dane archiwalne dotyczące charakterystyki termicznej budynku. Pozwoli to zwiększyć efektywność pracy układu magazynowania. Funkcjonalności w tym zakresie są wciąż testowane i rozwijane.
- Ciepło w systemie będzie wytwarzane przez pompy ciepła zasilane energią pochodzącą głównie z paneli PV, a w okresach niedostatecznego nasłonecznienia również energią z sieci.

Dla budynku URK przy ul. Balickiej 120 konieczne było dokonanie zmian w projekcie technologicznym Systemu 3 z I Etapu Projektu B+R, tak aby skojarzyć pracę układu ThermOS z istniejącym węzłem cieplnym. Przyjęto wstępne założenie uzupełniającej pracy węzła cieplnego MPEC dla budynku Demonstratora, przy zachowaniu normalnej pracy węzła na potrzeby sąsiedniego budynku Balicka 120a (węzeł zasilą 2 budynki). W związku z tym konieczna była modyfikacja i rozbudowa układu sterowania oraz zmiany układu hydraulicznego rozdzielaczy po „niskiej stronie” w pomieszczeniu węzła cieplnego.

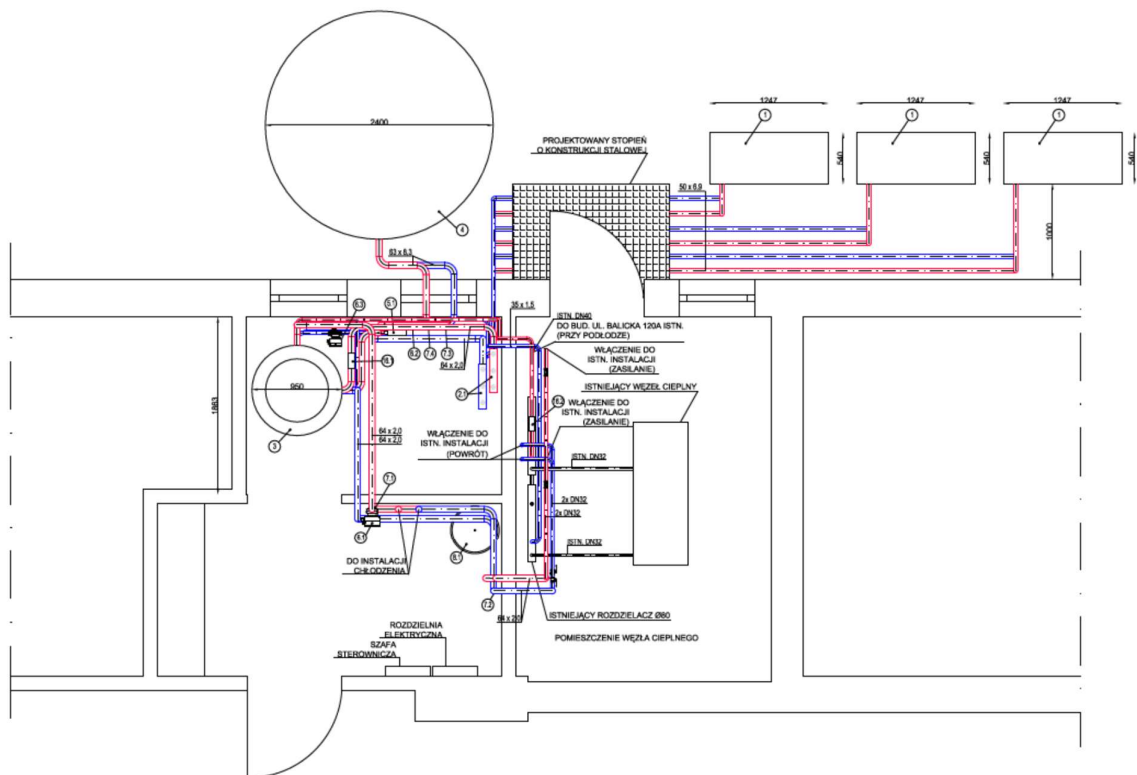
Dla takiej modyfikacji opracowany został projekt adaptacyjny w części instalacyjnej sanitarnej oraz elektrycznej i AKPiA. W niezbędnym zakresie projekt został uzgodniony z MPEC Kraków.

Kolejną modyfikacją oraz dodatkową instalacją do wykonania, był układ chłodzenia budynku, oparty na centralnej instalacji wody lodowej oraz klimakonwektorach wiszących. Wykonano instalację dla pomieszczeń nr 3, 7, 13, 14 i korytarza na parterze oraz pom. nr 1.11 i korytarza na piętrze.

Bez zmian pozostaje istniejąca grzejnikowa instalacja grzewcza, chociaż możliwa jest dodatkowa optymalizacja jej pracy w postaci zainstalowania cyfrowych głowic termostatycznych i autorskiego systemu NEXO ConnectPoint, do zarządzania komfortem cieplnym w poszczególnych pomieszczeniach. Wdrożenie takie po uzgodnieniu obu stron może być zaimplementowane niezależnie od projektu Demonstratora ThermOS. Funkcjonowanie dwóch odrębnych instalacji CO i CH również wymusiło modyfikację układu technologicznego ThermOS z Etapu I.

Lokalizacja poszczególnych elementów Demonstratora ThermOS

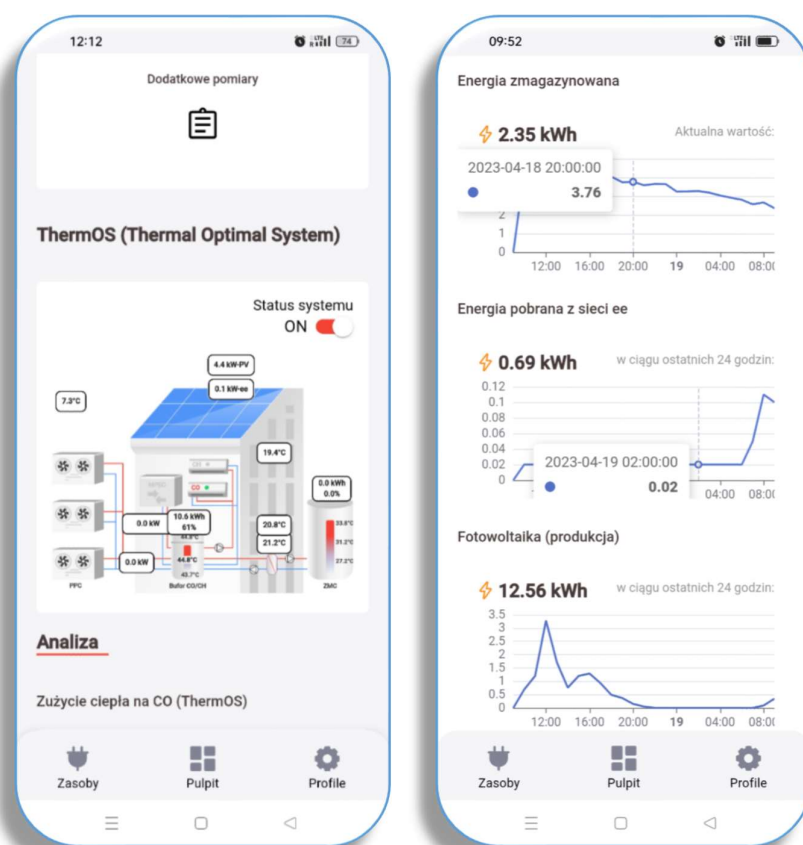




STEROWANIE I APLIKACJA IT

Ważnym aspektem Projektu i działania układu **ThermOS**, jest aplikacja IT, która ma zapewnić sprawną i optymalną pracę układu technologicznego oraz interakcję użytkownika z układem technologicznym. Aplikacja bezpośrednio współpracuje ze sterownikiem nadrzędnym oraz bezpośrednio lub pośrednio z wszystkimi istotnymi urządzeniami Systemu. Aplikacja wykorzystuje zaawansowane technologie komunikacyjne, takie jak MODBUS TCP, MQTT oraz algorytmy optymalizujące przepływy energii w projektowanym systemie. Podstawą działania aplikacji jest zestaw usług IoT opartych na autorskiej technologii **NEXO** umożliwiającej komunikację pomiędzy węzłami lokalnymi i chmurą obliczeniową w celu pozyskiwania, przetwarzania i archiwizacji danych pomiarowych. Implementacja reguł sterowania nadrzędnego z wykorzystaniem platformy **NEXO Energy** pozwala na optymalizację przepływów energii do/z układu magazynowania i właściwe zasilanie budynku, również z czasowym, zamiennym użytkowaniem węzła ciepłego MPEC.

Widok aplikacji mobilnej ThermOS dla Etapu I Projektu (do modyfikacji na potrzeby Demonstratora)



ZASTRZEŻENIA WNIESIONE W RAMACH BUDOWY DEMONSTRATORA

Należy mieć na uwadze, że budowa Demonstratora na terenie URK jest częścią projektu badawczego. Odmienność w stosunku do przetestowanego w Etapie I prototypu, stanowi połączenie układu ThermOS z istniejącym węzłem cieplnym oraz naprzemienna praca dwóch odrębnych instalacji CO i CH.

Uwzględnienie wpływu algorytmów sterowania pracą poszczególnych elementów systemu oraz określonej bezwładności pracy zarówno układu hydraulicznego, jak i automatyki, a także stabilności i częstotliwości

przesyłu danych w realnie działającym Systemie, może w pewnym stopniu wpływać na osiągnięty wynik energetyczny. Jednakże miarodajne wnioski z pracy takiego Systemu, można będzie uzyskać po dłuższym okresie testowania w warunkach rzeczywistego budynku. Szczególnie istotne będzie uzyskanie informacji zwrotnej z pracy instalacji wewnętrznej budynku, odczucia komfortu użytkowników, czy zdarzeń dotyczących nieprawidłowej pracy lub przypadków awarii. Budowa Demonstratora i obserwacja jego pracy, pozwoli na wyciągnięcie odpowiednich wniosków i wprowadzenie koniecznych korekt projektowych lub wykonawczych. W związku z badawczym charakterem Projektu Wykonawca nie może zagwarantować bezproblemowej i stabilnej pracy natychmiast po uruchomieniu Demonstratora. Stąd dla pewności uzyskania komfortu termicznego w każdych warunkach sezonu grzewczego, wykonany układ technologiczny umożliwi współpracę z węzłem cieplnym i czasowe przełączenie na zasilanie budynku ciepłem systemowym.

3.3. Odbiór i uruchomienie Demonstratora

W dniach 28/29.11.2023 r. zakończono podstawowy instruktaż dla Użytkowników i dokonano formalnego odbioru prac oraz uruchomienia Demonstratora ThermOS.

W pierwszej fazie eksploatacji wprowadzano korekty ustawień poszczególnych parametrów podstawowych oraz zmiennych dla algorytmów sterowania. Był to proces konieczny dla ustabilizowania pracy systemu oraz wskazania optymalnej konfiguracji pracy Demonstratora.

Pełen rozruch instalacji chłodzenia przeprowadzony zostanie po zakończeniu sezonu grzewczego i wtedy rozpocznie się okres testowy oraz kalibracji dla funkcji CH.

3.4. Uzyskane efekty w pierwszym okresie pracy ThermOS

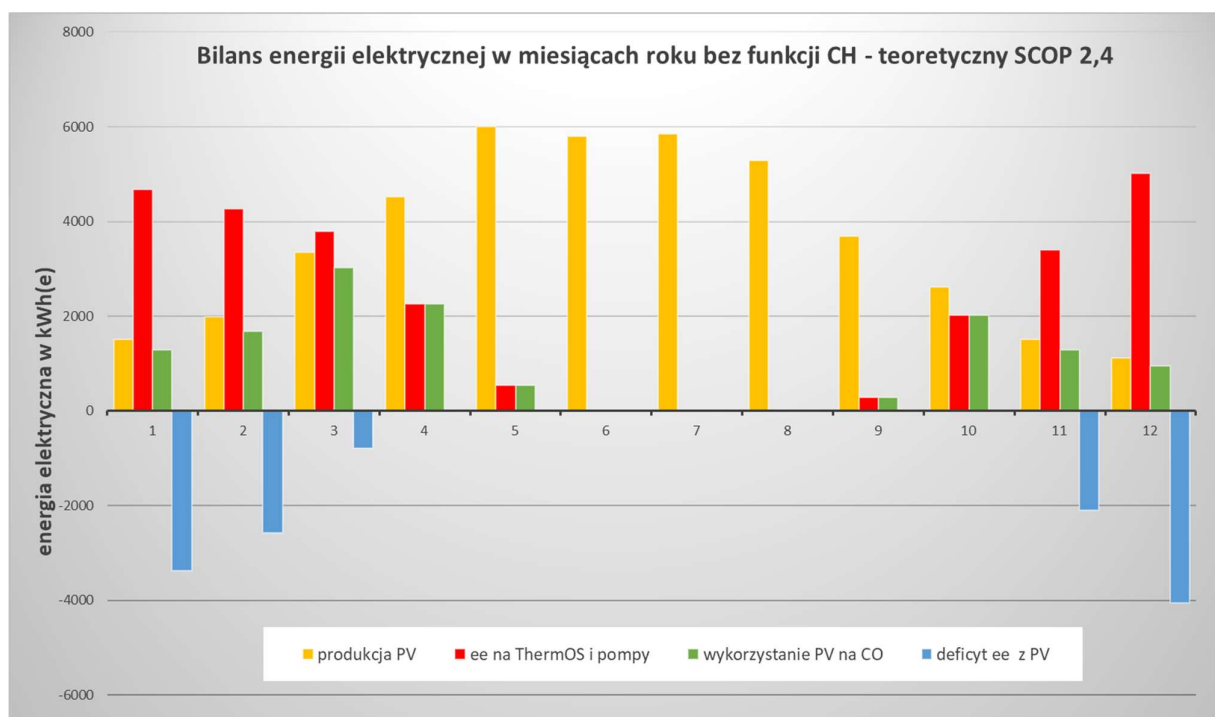
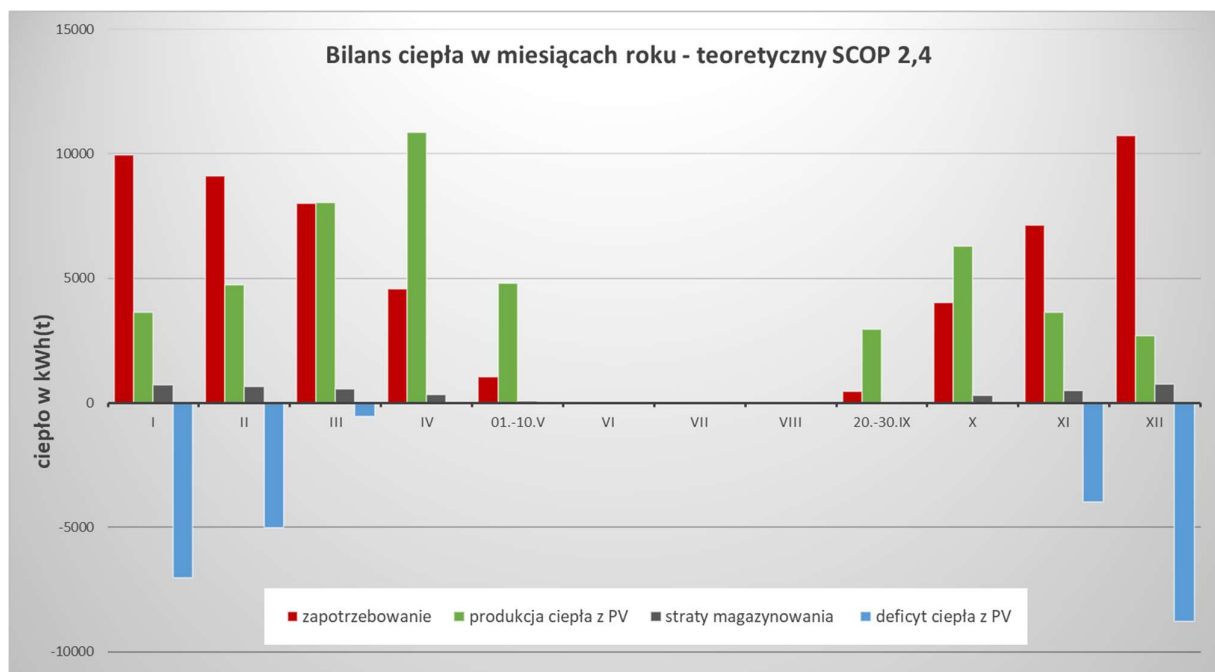
ANALIZA BAZOWA DLA BUDYNKU BEZ FUNKCJI CHŁODZENIA

Budynek URK przy ul. Balickiej 120 przed budową Demonstratora ThermOS zasilany był w całości dla potrzeb CO z węzła cieplnego. Węzeł, będący własnością MPEC Kraków ma charakter grupowy, tj. ogrzewa również budynek sąsiadujący 120a. Węzeł wyposażony jest w standardową automatykę pogodową, a zużycie ciepła opomiarowane jest jednym licznikiem głównym, stąd brak dokładnych danych historycznych z podziałem na dwa obiekty.

Według danych przedstawionych przez URK przed przystąpieniem do budowy Demonstratora, budynek nr 120 zużywał następujące ilości ciepła:

Zużycie ciepła Balicka 120		kWh(t)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	suma
2020	9977	7559	8270	2276	1321	0	0	0	142	4694	6746	10383	51366
2021	10505	11175	8534	6705	1829	0	0	0	0	3657	7721	11500	61627
2022	9408	8615	7234	4734	0	0	0	0	1219	3698	6908	10302	52118
średnia	9963	9116	8012	4572	1050	0	0	0	454	4016	7125	10728	55037

Oszacowanie proporcji zużycia obu budynków dokonane zostało na podstawie opinii audytora. Nieznane jest zapotrzebowanie na chłodzenie. Budynek do chwili obecnej wykorzystywał dwa miejscowe klimatyzatory elektryczne, które obsługiwały budynek w zakresie chłodzenia w niewielkiej części. Analiza dla chłodzenia będzie przedstawiona po zakończeniu sezonu letniego i przetestowaniu pracy układu ThermOS w tym zakresie.



Przedstawione powyżej wykresy są wynikiem analizy przedwykonawczej dla 3-letniej średniej zapotrzebowania na ciepło oraz średniej sezonowej wartości COP układu pomp ciepła na poziomie 2,4. Wartość ta będzie podlegała analizie i weryfikacji nadążnej, na podstawie danych z pracy Demonstratora w kolejnych miesiącach roku.

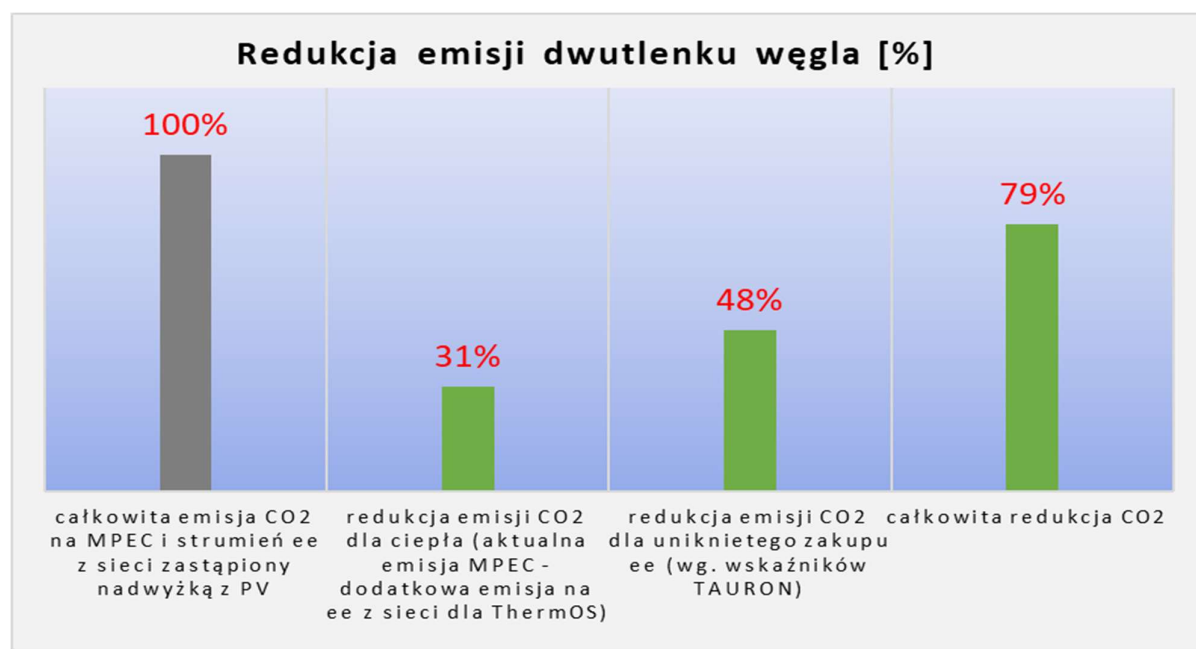
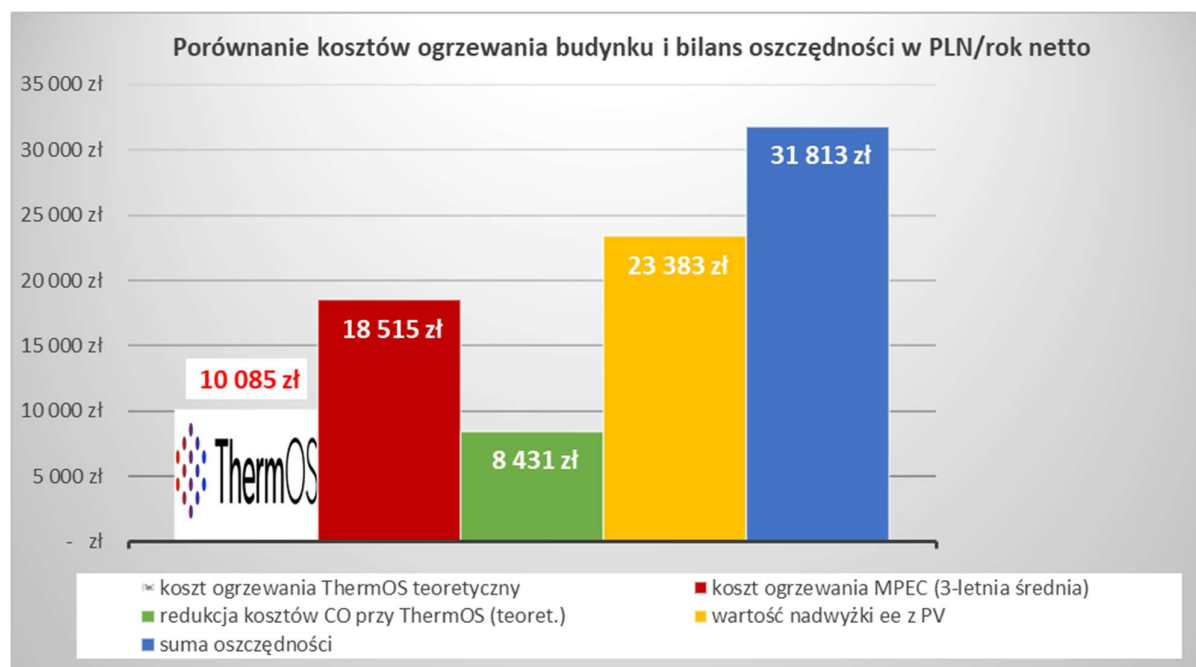
Przyjęto wskaźnik sprawności wykorzystania produkcji PV dla pracy pomp ciepła (pokrycia produkcji ciepła z produkcją z PV w danych przedziałach czasowych) w zależności od miesiąca 85-95%. Uzyskanie takich

wskaźników będzie uzależnione od precyzji sterowania i zastosowanych algorytmów oraz ewentualnej aktywności operatora systemu.

Przyjęto aktualną cenę energii elektrycznej z umów URK z TAURON na poziomie 0,7811 zł/kWh netto.

Przyjęto cenę ciepła z Taryfy MPEC Kraków 93,45 zł/GJ netto (dla części zmiennej, bez czasowego zamrożenia cen dla odbiorców uprawnionych).

Wartości szacunkowej redukcji emisji CO₂ wyliczono na podstawie danych publikowanych na stronach MPEC Kraków i TAURON.



UWAGI DOTYCZĄCE PIERWSZEGO OKRESU PRACY DEMONSTRATORA

W trakcie pracy systemu we wskazanym okresie, uzyskano szereg danych dotyczących realnych potrzeb cieplnych budynku, jego bezwładności cieplnej, sposobu użytkowania. Było to niezbędne dla optymalizacji algorytmów sterowania, ale również do wprowadzenia niezbędnych modyfikacji technologicznych. Najważniejsze uwagi:

- Próby funkcjonalne ogrzewania budynku z węzła cieplnego w trybie MPEC, po jego połączeniu z instalacją ThermOS, wskazały na konieczność montażu dodatkowego bypassu i zaworów przełączających, tak aby uzyskać właściwą moc i deltę temperatur. Prace zostały zrealizowane na przełomie grudnia i stycznia. W związku z testami w dniach 12-15.grudnia, zarejestrowano pobór 997 kWh ciepła systemowego z MPEC. Od 15 grudnia oprócz chwilowych przełączeń testowych i uzupełniania instalacji budynku, węzeł cieplny nie ogrzewał budynku. Cały strumień ciepła generowany był przez pompy ciepła.
- Wskutek długiego procedowania wniosku o przyłączenie instalacji PV, produkcja energii elektrycznej rozpoczęła się dopiero pod koniec grudnia
- W pierwszej połowie stycznia produkcja energii z instalacji PV była znikoma z uwagi na zalegający na dachu budynku i panelach śnieg
- Okres bardzo niskich temperatur zewnętrznych w pierwszej połowie stycznia, pozwolił na przeprowadzenie testów wydajności pomp ciepła, ale jednocześnie uzyskiwane w pomiarach wskaźniki COP i duży deficyt nasłonecznienia wymusiły utrzymanie magazynu zewnętrznego jedynie w trybie antyzamarzania
- Sytuacja ograniczonej produkcji energii z PV w miesiącach grudzień-styczeń oraz niskie temperatury zewnętrzne w styczniu, przesunęły możliwość właściwego rozpoczęcia testowania kompletnego układu magazynowania na drugą połowę stycznia i luty. W tym okresie dopracowano algorytmy sterowania i zebrano niezbędne informacje o dynamice pracy układu ThermOS dla funkcji CO oraz reakcji budynku na zmiany krzywej grzania w różnych warunkach zewnętrznych.
- Z uwagi na okres przerwy w zajęciach dydaktycznych w 2 połowie lutego, właściwy okres 30-dniowego testu Demonstratora, przy normalnej pracy obiektu, ustalono na dni 26.02.2024.-26.03.2024.

TEST WYDAJNOŚCI DEMONSTRATORA – okres 08.01.2024-10.01.2024.

Okres bardzo niskich temperatur zewnętrznych w pierwszej połowie stycznia, pozwolił na przeprowadzenie testów wydajności pomp ciepła przy założeniu pracy ciągłej, bez uruchamiania węzła cieplnego MPEC w funkcji szczytowej. Należy zaznaczyć, że budynek jest wyposażony w tradycyjną instalację grzejnikową o parametrach roboczych zasilania po stronie niskiej węzła cieplnego 80-75 °C. Test źródła niskotemperaturowego w temperaturach zewnętrznych nawet -22 °C, udowodnił możliwość nieprzerwanego utrzymania komfortu cieplnego w budynku przy pracy powietrznych pomp ciepła. Jednocześnie istotna jest różnica w parametrach zasilania instalacji CO, która nie przekroczyła w żadnym momencie 50 °C. Przeprowadzony test potwierdził właściwą wydajność pomp ciepła, jednak uzyskany wskaźnik okresowego COP około 1,68 z 3 kolejnych dni najniższych temperatur, wskazuje, że ekonomicznie w tym okresie bardziej uzasadnione byłoby korzystanie z ciepła z MPEC. W takich warunkach nieekonomiczne jest również aktywne korzystanie z zewnętrznego

magazynu ciepła, z uwagi na deficyt produkcji energii z PV oraz właśnie niski współczynnik COP powietrznych pomp ciepła.

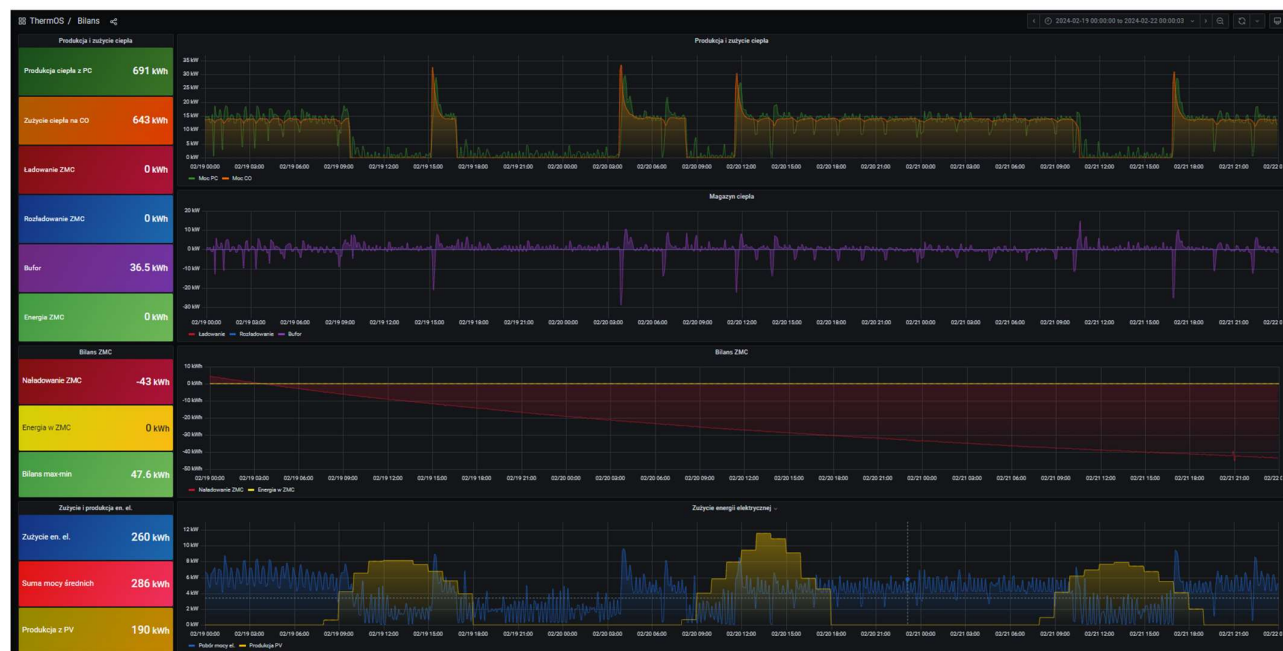
Magazyn musi być utrzymywany w okresowej cyrkulacji czynnika w obiegu wodnym, aby nie dopuścić do zamarznięcia przyłączy. Należy również przygotowując się do takich okresów intensywnych mrozów, maksymalnie wykorzystać zgromadzoną energię i utrzymywać w magazynie dość niskie temperatury rzędu 25-30 stopni, aby ograniczyć postojowe straty ciepła.



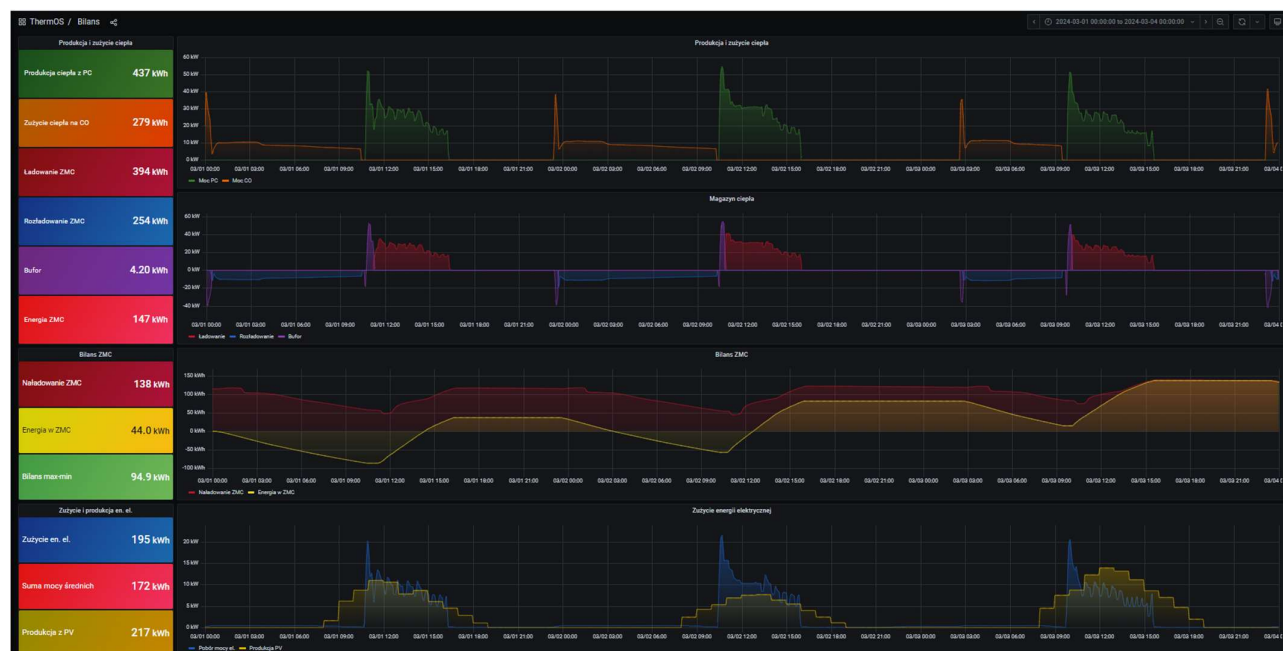
RÓŻNICA PRACY UKŁADU Z AKTYWNYM I NIEAKTYWNYM MAGAZYNEM ZEWNĘTRZNYM

Testy porównawcze pracy układu ThermOS w 3 kolejnych dobach bez magazynu zewnętrznego oraz 3 kolejnych dobach współpracy z magazynem zewnętrznym, zobrazowano na poniższych wykresach. Potwierdzono założenie skuteczności wykorzystania okresów nasłonecznienia przy właściwej współpracy bufora wewnętrznego i dużo większego zewnętrznego magazynu ciepła.

Praca pomp ciepła na bufor wewnętrzny i instalację CO, układ tradycyjny OZE, bez magazynu ciepła



Praca pełnego układu ThermOS. Pompy ciepła pracują w okresach nasłonecznienia ładując magazyn i ewentualnie równoległe zasilając instalację CO. Magazyn oddaje ciepło do budynku w nocy.



7-DNIOWY TEST CIĄGŁEJ PRACY DEMONSTRATORA Z MAGAZYNEM ZEWNĘTRZNYM w warunkach zmiennego nasłonecznienia – okres 18.03.2024.-24.03.2024

Test potwierdził właściwy kierunek modyfikacji algorytmów sterowania, w celu właściwego wykorzystania zmiennej mocy układu kaskadowego pomp ciepła i dostosowania poboru energii elektrycznej do warunków słonecznych. Niestety duża, skokowa zmienność nasłonecznienia w niektórych dobach, wyklucza również dynamiczne zmiany obciążenia układu pomp ciepła. Wynika to z bezwładności samego układu oraz procedur bezpieczeństwa automatyki pomp ciepła w zakresie łagodnego rozruchu i wyłączenia. Trzeci od góry wykres obrazuje krzywe poboru mocy przez pompy ciepła (niebieska) i moc PV (żółta).

- *Produkcja energii z PV w okresie: 733 kWh*
- *Zużycie energii elektrycznej przez układ ThermOS: 393 kWh*
- *Produkcja ciepła: 1193 kWh*
- *Ładowanie magazynu ciepła: 610 kWh (reszta ciepła bezpośrednio na bufor i instalację CO)*
- *Okresowe COP: 3.03*
- *Sprawność wykorzystania nasłonecznienia – praca pomp ciepła w okresach produkcji PV – około 85%*



30-DNIOWA ANALIZA CIĄGŁEJ PRACY DEMONSTRATORA – okres 26.02.2024.-26.03.2024

W całym okresie Demonstrator pracował w sposób nieprzerwany, budynek był zasilany w ciepło jedynie z pomp ciepła, instalacja fotowoltaiczna generowała energię elektryczną bez zakłóceń, w okresie od 10.03. do 14.03. doszło do usterki jednego zaworu przełączającego, co wykluczyło możliwość poprawnego sterowania pracą zewnętrznego magazynu ciepła, jednak nie ograniczyło pracy układu pomp ciepła z buforem wewnętrznym. Znaczne oszczędności zużycia ciepła wynikają również z optymalizacji obiektowej komfortu cieplnego, tzn. z zaniżeń weekendowych do temp. 19,5 °C, co wcześniej nie miało miejsca przy zasilaniu przez węzeł ciepły

Parametr analizowany	Wartość osiągnięta	jednostka	uwagi
Produkcja energii z PV	2348	kWh(e)	
Zużycie energii elektrycznej	2112	kWh(e)	Całkowite zużycie układu ThermOS - pompy ciepła, pompy obiegowe, automatyka, komunikacja)
Zużycie energii elektrycznej	1980	kWh(e)	Zużycie pomp ciepła
Produkcja ciepła	4832	kWh(t)	Ciepło z pomp ciepła – pomiar licznika ciepła
Produkcja ciepła	17,4	GJ	Ciepło z pomp ciepła – pomiar licznika ciepła
Okresowe COP	2,44		Dla energii pobranej przez pompy ciepła
Sprawność wykorzystania nasłonecznienia	85	%	praca pomp ciepła w okresach produkcji PV (z wyłączeniem okresu usterki zaworu 10.03.-14.03.)
Parametry pracy instalacji CO	53 - 57	°C	Praca pomp ciepła z równoległym ładowaniem magazynu ciepła
	46 - 48	°C	Praca pomp ciepła bez ładowania magazynu ciepła
	38 - 48	°C	Praca magazynu ciepła na instalację CO (bez pomp ciepła)
Średnia temp. wewnętrzna	19,5 – 20,5	°C	Utrzymanie komfortu cieplnego w sposób ciągły (w trakcie użytkowania budynku)
koszt wytworzenia ciepła netto	247	zł	Koszt zakupu energii dla układu ThermOS dla ceny energii z TAURON (stawka dla URK) 0,7811 zł/kWh netto
Cena wynikowa ciepła z ThermOS	14,20	zł/GJ	
Uniknięty koszt zakupu ciepła netto	1378	zł	Koszt ciepła w części zmiennej dla ceny MPEC Kraków 79,22 zł/GJ netto (cena zamrożona)
	1626	zł	Koszt ciepła w części zmiennej dla ceny MPEC Kraków 93,45 zł/GJ netto (cena taryfowa)
Nadwyżka produkcji PV	533	kWh	Cześć produkcji niewykorzystana przez ThermOS

Uniknięty koszt zakupu energii elektrycznej netto	416	zł	oszczędność zakupu energii dla ceny energii z TAURON 0,7811 zł/kWh netto (przy założeniu wykorzystania w 100% na potrzeby własne URK)
Szacunkowa oszczędność dla cen taryfowych ciepła i z umowy na dostawę energii elektrycznej	1626+416-247 = 1795	zł	Uniknięty zakup ciepła z MPEC Kraków, uniknięty zakup ee z TAURON, pomniejszono o konieczny zakup ee z TAURON w okresach braku nasłonecznienia

ANALIZA WYNIKOWA DLA BUDYNKU za miesiąc marzec 2024

Parametr analizowany	Wartość osiągnięta	jednostka	uwagi
Produkcja energii z PV	3105	kWh(e)	
Zużycie energii elektrycznej	1858	kWh(e)	Całkowite zużycie układu ThermOS - pompy ciepła, pompy obiegowe, automatyka, komunikacja)
Zużycie energii elektrycznej	1709	kWh(e)	Zużycie pomp ciepła
Produkcja ciepła	4535	kWh(t)	Ciepło z pomp ciepła – pomiar licznika ciepła
Produkcja ciepła	16,3	GJ	Ciepło z pomp ciepła – pomiar licznika ciepła
Okresowe COP	2,65		Dla energii pobranej przez pompy ciepła
koszt wytworzenia ciepła netto	218	zł	Koszt zakupu energii dla układu ThermOS dla ceny energii z TAURON (stawka dla URK) 0,7811 zł/kWh netto
Cena wynikowa ciepła z ThermOS	13,37	zł/GJ	
Uniknięty koszt zakupu ciepła netto	1293	zł	Koszt ciepła w części zmiennej dla ceny MPEC Kraków 79,22 zł/GJ netto (cena zamrożona)
Uniknięty koszt zakupu ciepła netto	1526	zł	Koszt ciepła w części zmiennej dla ceny MPEC Kraków 93,45 zł/GJ netto (cena taryfowa)
Nadwyżka produkcji PV	1526	kWh	Cześć produkcji niewykorzystana przez ThermOS
Uniknięty koszt zakupu energii elektrycznej netto	1192	zł	oszczędność zakupu energii dla ceny energii z TAURON 0,7811 zł/kWh netto (przy założeniu wykorzystania w 100% na potrzeby własne URK)
Szacunkowa oszczędność dla cen taryfowych ciepła i z umowy na dostawę energii elektrycznej	1526+1192-218 = 2500	zł	Uniknięty zakup ciepła z MPEC Kraków, uniknięty zakup ee z TAURON, pomniejszono o konieczny zakup ee z TAURON w okresach braku nasłonecznienia

Dane zestawione w tabeli dotyczą rzeczywistych danych z pomiarów dla układu ThermOS.

Dodatkowo można je odnieść do szacunkowego zużycia ciepła dla 3-letniej średniej z okresu przed instalacją demonstratora układu magazynowania ciepła.

Parametr analizowany	Wartość osiągnięta	jednostka	uwagi
Zużycie ciepła w miesiącu marcu (bazowe)	8012	kWh(t)	wg. danych z URK (średnia 3-letnia)
Korekta pogodowa dla 2024	-25	%	Miesiąc cieplejszy niż średnia 3-letnia
Zużycie ciepła w miesiącu marcu (bazowe z korektą)	5609	kWh(t)	wg. danych z URK (średnia 3-letnia) z korektą
Produkcja ciepła ThermOS	4535	kWh(t)	Rzeczywista produkcja ciepła z pomp ciepła – pomiar licznika ciepła
Oszczędność ciepła wynikająca z optymalizacji	1074	kWh(t)	Zastosowana optymalizacja pracy instalacji CO (regulacja centralna, zaniżenia weekendowe, nocne)
Szacunkowa oszczędność dla cen taryfowych ciepła i z umowy na dostawę energii elektrycznej	1887+1192-218 = 2861	zł	Uniknięty zakup ciepła z MPEC Kraków, uniknięty zakup ee z TAURON, pomniejszono o konieczny zakup ee z TAURON w okresach braku nasłonecznienia w odniesieniu do okresu porównawczego 3-letniego z korektą warunków pogodowych

Osiągnięte oszczędności zużycia ciepła i redukcja kosztów ogrzewania budynku oraz dodatkowa oszczędność zakupu energii elektrycznej, wynikająca z wykorzystania nadwyżki produkcji PV, jest wynikiem wielu czynników, w tym zalet układu magazynowania ciepła. Należy podkreślić, że układ ThermOS po zakończeniu modyfikacji technologicznych i rozwinięciu algorytmów sterowania, już obecnie przynosi znaczące oszczędności, chociaż analiza i potwierdzenie walorów użytkowych wymaga dłuższego okresu stabilnej pracy w różnych warunkach zewnętrznych.

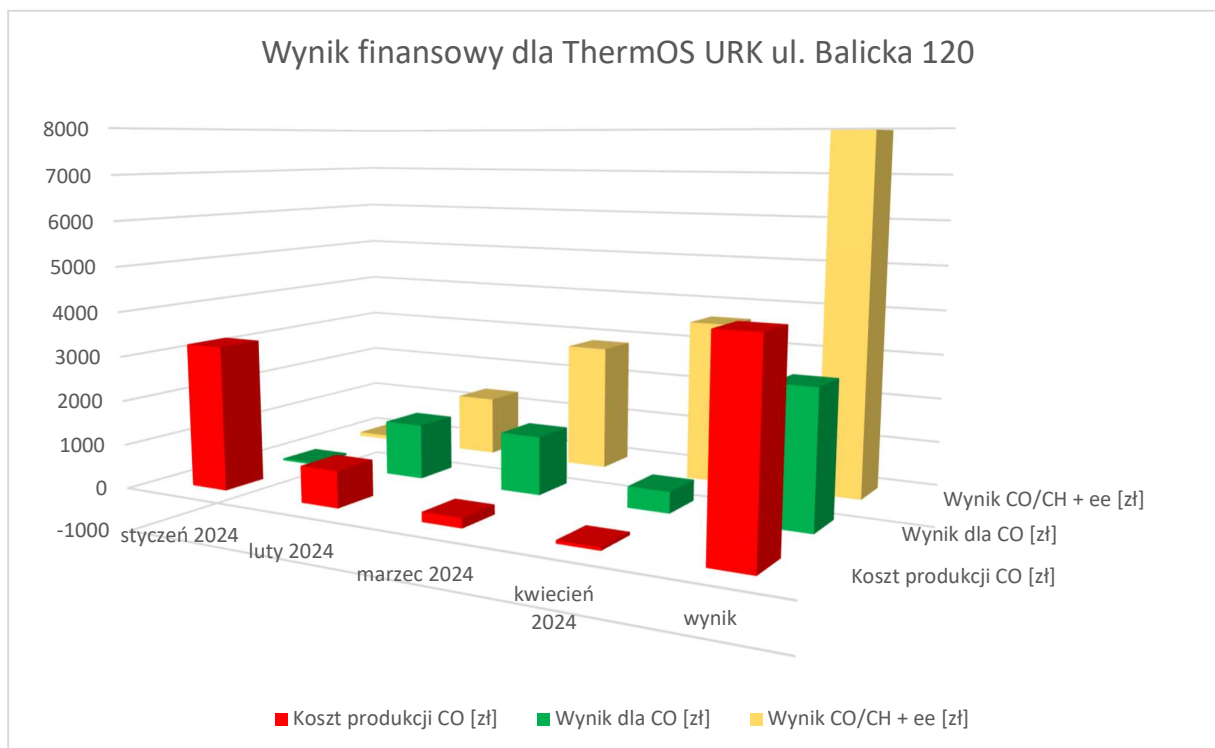
Możliwe są większe oszczędności w przypadku zastosowania optymalizacji komfortu cieplnego na poziomie każdego pomieszczenia (sterowanie cyfrowymi głowicami termostatycznymi, referencyjne czujniki temperatury, harmonogramy dobowo-tygodniowe).

ANALIZA WYNIKOWA DLA BUDYNKU w sezonie grzewczym

Parametr analizowany	Wartość osiągnięta				Jedn.	uwagi
	styczeń	luty	marzec	kwiecień		
Produkcja energii z PV	594	1453	3105	4574	kWh(e)	11 dni pokrywy śnieżnej (prognoza 1120 kWh)
Zużycie energii elektrycznej	4684	2358	1858	601	kWh(e)	Całkowite zużycie układu ThermOS - pompy ciepła, pompy obiegowe, automatyka, komunikacja)
Zużycie energii elektrycznej	4461	2156	1709	510	kWh(e)	Zużycie pomp ciepła
Produkcja ciepła	9780	6143	4535	1612	kWh(t)	Ciepło z pomp ciepła – pomiar licznika ciepła
Produkcja ciepła	35,2	22,1	16,3	5,8	GJ	Ciepło z pomp ciepła – pomiar licznika ciepła
Okresowe COP	2,19	2,85	2,65	3,16		Dla energii pobranej przez pompy ciepła
Wskaźnik szacunkowy wykorzystania PV	0,9	0,9	0,85	0,85		Skuteczność autokonsumpcji energii PV do bieżących potrzeb pracy ThermOS
Zakup energii z sieci ee	4150	1050	279	90	kWh(e)	4684-594*0,9
koszt wytworzenia ciepła netto	3242	820	218	70	zł	Koszt zakupu energii dla układu ThermOS dla ceny energii z TAURON 0,7811 zł/kWh netto
Cena wynikowa ciepła z ThermOS	92,10	37,10	13,37	12,07	zł/GJ	
Uniknięty koszt zakupu ciepła netto	2789	1751	1293	459	zł	Koszt ciepła w części zmiennej dla ceny MPEC Kraków 79,22 zł/GJ netto (cena zamrożona)
Uniknięty koszt zakupu ciepła netto	3289	2065	1526	542	zł	Koszt ciepła w części zmiennej dla ceny MPEC Kraków 93,45 zł/GJ netto (cena taryfowa)
Nadwyżka produkcji PV	59,4	145	1526	4063	kWh	Cześć produkcji niewykorzystana przez ThermOS
Uniknięty koszt zakupu energii elektrycznej netto	46	113	1192	3174	zł	oszczędność zakupu energii dla ceny energii z 0,7811 zł/kWh netto (przy założeniu wykorzystania nadwyżki PV w 100% przez URK)
Szacunkowa oszczędność dla cen taryfowych ciepła i z umowy na dostawę energii elektrycznej	3289+46-3242 = 93	2065+113-820 = 1358	1526+1192-218 = 2500	542+3174-70 = 3646	zł	Uniknięty zakup ciepła systemowego, uniknięty zakup ee, pomniejszono o konieczny zakup ee z w okresach braku nasłonecznienia

Dla okresu ogrzewania styczeń-kwiecień

miesiąc	Redukcja kosztów ogrzewania [zł]	Wynik ciepło + ee [zł]	SCOP pomp ciepła	Produkcja ciepła z PC [GJ]	Koszt produkcji ciepła CO/CH [zł]	Cena ciepła z ThermOS [zł/GJ]
Styczeń 2024	-47	93	2,19	35,2	3 242	92,10
Luty 2024	1 245	1 358	2,85	22,1	820	37,10
Marzec 2024	1 308	2 861	2,65	16,3	218	13,37
Kwiecień 2024	472	3 646	3,16	5,8	70	12,07
suma	2 978 zł	7 958 zł	2,54	79,4	4 350 zł	54,79 zł/GJ



W dniu 28.04.2024 r. zakończono sezon grzewczy. W dniu 21.05.2024 r. uruchomiono instalację CH i rozpoczęto chłodzenie budynku

Maj 2024: produkcja PV – 6737 kWh, nadwyżka produkcji PV – 6571 kWh
zużycie energii elektrycznej ThermOS – 207 kWh (w tym zakup z sieci ee – 41 kWh)

Czerwiec 2024: produkcja PV – 5954 kWh, nadwyżka produkcji PV – 5688 kWh
zużycie energii elektrycznej ThermOS – 332 kWh (w tym zakup z sieci ee – 66 kWh)

BILANS – wynik liczony jako uniknięty zakup ciepła z MPEC Kraków, uniknięty zakup ee z TAURON (nadwyżka z PV), pomniejszono o konieczny zakup ee z TAURON:

miesiąc	Redukcja kosztów ogrzewania [zł]	Wynik ciepło + ee [zł]	SCOP pomp ciepła	Produkcja ciepła z PC [GJ]	Koszt produkcji ciepła CO/CH [zł]	Cena ciepła z ThermOS [zł/GJ]
Styczeń 2024	-47	93	2,19	35,2	3 242	92,10
Luty 2024	1 245	1 358	2,85	22,1	820	37,10
Marzec 2024	1 308	2 861	2,65	16,3	218	13,37
Kwiecień 2024	472	3 646	3,16	5,8	70	12,07
suma	2 978 zł	7 958 zł	2,54	79,4	4 350 zł	54,79 zł/GJ
Maj 2024	chłodzenie od 21.05.2024	5 100 zł			32 zł	Większość potrzeb CH pokrywa PV
Czerwiec 2024	chłodzenie od 21.05.2024	4 391 zł			52 zł	Większość potrzeb CH pokrywa PV
wynik		17 449 zł			4 434 zł	

