Odzysk i zagospodarowanie ciepła odpadowego w instalacji grzewczej z wykorzystaniem systemu solarnego oraz regulatora SolarComp 971SD1 – studium przypadku

Wiktor FILIPEK[1)]

[1)] AGH University of Science and Technology, Kraków, Poland; ORCID: 0000-0001-5472-8214

http://doi.org/10.29227/IM-2025-02-04-001

Submission date: 15-06-2025 | Review date: 31-08-2025

Abstrakt

Celem opracowania była analiza pracy dwóch instalacji solarnych zastosowanych w obiektach o sezonowym charakterze użytkowania, wyposażonych w regulatory SolarComp 971SD1, w kontekście odzysku i zagospodarowania ciepła odpadowego. Instalacje zostały wykonane w ramach projektu „Ekopartnerzy na rzecz Słonecznej Energii Małopolski" i objęte ograniczeniami formalnymi – zarówno co do przeznaczenia (przygotowanie ciepłej wody użytkowej), jak i zakazu modyfikacji przez okres pięciu lat od zakończenia realizacji. W okresie letnim, ze względu na sezonowy charakter użytkowania budynków, szczególną uwagę poświęcono ryzyku przegrzewu instalacji wynikającemu z braku odbioru ciepła. W okresie jesienno-zimowo-wiosennym zrealizowano rozwiązanie umożliwiające częściowy odzysk i zagospodarowanie ciepła odpadowego w sposób zgodny z ograniczeniami technicznymi i formalnymi projektu. Przedstawione doświadczenia i wyniki mogą stanowić podstawę do zastosowania podobnych rozwiązań w innych instalacjach pracujących w obiektach o nieregularnym profilu eksploatacji.

Słowa kluczowe: *instalacja solarna, regulator SolarComp 971SD1, odzysk ciepła odpadowego, przegrzew, OZE*

1. Wstęp

W latach 2020–2021 Gmina Jodłownik uczestniczyła w projekcie „Ekopartnerzy na rzecz Słonecznej Energii Małopolski", realizowanym w ramach RPO Województwa Małopolskiego 2014–2020 [11, 13]. Projekt obejmował 31 gmin i miał na celu zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii poprzez montaż kolektorów słonecznych, instalacji fotowoltaicznych oraz pomp ciepła w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej [2, 3].

Za realizację instalacji solarnych odpowiadała firma EcoTeam Sp. z o.o. Sp.k., działająca w konsorcjum z przedsiębiorstwami Sanito i Ekologika [12]. Zakres prac obejmował wizje lokalne, opracowanie dokumentacji wykonawczej, montaż zestawów kolektorów oraz pełną obsługę serwisową. W Gminie Jodłownik prace zakończono do 30 listopada 2021 r., zgodnie z harmonogramem realizacyjnym projektu [10].

Instalacje solarne zostały wykonane według ujednoliconego standardu technicznego określonego przez projekt i przeznaczone były wyłącznie do przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU) [11]. Dopuszczano możliwość zastosowania grzałki elektrycznej lub podłączenia do istniejącej instalacji centralnego ogrzewania – wyłącznie w celu zabezpieczenia zasobnika przed wychłodzeniem poza sezonem grzewczym. Przez pięć lat od zakończenia projektu (tj. do końca 2026 r.) instalacje te pozostają formalnie własnością gminy, a w tym okresie użytkownicy nie mogą wprowadzać żadnych zmian technicznych ani funkcjonalnych [11].

W ramach studium przypadku przeanalizowano działanie dwóch instalacji solarnych wyposażonych w regulatory SolarComp 971SD1 [8], zainstalowanych w budynkach jednorodzinnych użytkowanych sezonowo. W pierwszej kolejności skupiono się na zagrożeniach związanych z nieregularną eksploatacją, w szczególności ryzykiem przegrzewu instalacji w okresach nieobecności użytkowników [2, 3, 5, 8]. Wdrożono rozwiązanie zgodne z ograniczeniami technicznymi i formalnymi projektu, polegające na wykorzystaniu standardowych funkcji regulatora do priorytetowego rozładunku ciepła i optymalizacji pracy pompy obiegowej [7, 8].

W drugiej części studium praktycznie zrealizowano możliwość zagospodarowania nadwyżek energii cieplnej, bez naruszania struktury instalacji głównej. Zebrane doświadczenia pokazują, że nawet przy obowiązujących ograniczeniach projektowych możliwe jest uzyskanie bezpiecznego, stabilnego i bardziej efektywnego działania instalacji solarnej w budynkach użytkowanych niestandardowo [1, 2, 3, 7].

2. Charakterystyka obiektów w kontekście ich wartości rekreacyjnej i rodzinnej

Analizowane w studium przypadku obiekty znajdują się w malowniczej, spokojnej okolicy o wysokich walorach krajobrazowych, otoczonej lasami, łąkami i terenami górskimi. To przestrzeń, którą właściciele postrzegają jako miejsce odpoczynku od miejskiego środowiska oraz naturalną „przestrzeń wytchnienia", do której chętnie wracają w weekendy, wakacje i ferie. Położenie oraz charakter otoczenia stanowią istotny czynnik determinujący sposób użytkowania budynków oraz ich wartość rekreacyjną i rodzinną [1, 6]. Właściciele deklarują, że to miejsce, gdzie można „naładować energię", spędzić czas z bliskimi i kontynuować rodzinne tradycje związane z pobytami poza miastem (rys.1) .

Pierwszy z analizowanych obiektów (rys. 2) należy do 85-letniej mieszkanki Krakowa, która – mimo ograniczonej samodzielności – regularnie spędza w nim weekendy, wakacje i dłuższe okresy wypoczynku. Drugi obiekt (rys. 2) użyt-

Rys. 1. Malownicze otoczenie analizowanych obiektów, podkreślające ich wartość rekreacyjną oraz atrakcyjność lokalizacyjną
Fig. 1. Picturesque surroundings of the analyzed facilities, highlighting their recreational value and locational attractiveness

kowany jest przez emerytowaną nauczycielkę, nadal czynną zawodowo, która mimo utrudnionego dojazdu traktuje to miejsce jako przestrzeń odpoczynku oraz rodzinnych spotkań. W obu przypadkach motywacje użytkowników mają charakter silnie emocjonalny – obiekty są postrzegane nie jako sezonowe domki, lecz jako ważne elementy życia rodzinnego, miejsca pełne osobistych wspomnień i wieloletnich przywiązań.

Jednocześnie oba budynki charakteryzują się niską efektywnością energetyczną – są nieocieplone, z przestarzałą stolarką i bez możliwości zakwalifikowania do programu „Czyste Powietrze". Oznacza to ograniczony komfort cieplny poza sezonem letnim oraz wysoką wrażliwość na zmienne warunki pogodowe [2, 4, 5]. Mimo tych ograniczeń właściciele podejmują decyzje o modernizacji instalacji, w tym inwestycji w system solarny [3, 7], kierując się chęcią podniesienia komfortu pobytu i utrzymania funkcjonalności miejsca, które ma dla nich istotną wartość rekreacyjną i sentymentalną.

Sezonowy charakter użytkowania, łączący długie okresy nieobecności z krótkimi, intensywnymi pobytami, wpływa bezpośrednio na sposób pracy instalacji solarnej. Minimalny odbiór ciepła w czasie przerw w użytkowaniu zwiększa ryzyko stagnacji układu, natomiast okresy wzmożonego poboru wymagają od instalacji elastycznego dostosowania się do nagłych zmian obciążenia. Właśnie ten szczególny profil korzystania z obiektów [2] – wynikający zarówno z ich rekreacyjnej funkcji, jak i rodzinnych przywiązań właścicieli – stanowi kluczowy kontekst dla zrozumienia dalszej analizy technicznej przedstawionej w artykule.

3. Uwarunkowania formalno-techniczne, zasady użytkowania i ograniczenia eksploatacyjne

Instalacje solarne objęte niniejszą analizą zostały wykonane w ramach projektu „Ekopartnerzy na rzecz Słonecznej Energii Małopolski", który przewidywał jednolity standard techniczny dla wszystkich zestawów montowanych w 31 gminach regionu [11, 13]. Zgodnie z założeniami projektowymi systemy te miały służyć wyłącznie do przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU), bez możliwości ich rozbudowy lub adaptacji do innych celów grzewczych. Dopuszczalne warianty obejmowały jedynie instalację grzałki elektrycznej lub podłączenie do istniejącej instalacji centralnego ogrzewania – wyłącznie w celu ochrony zasobnika przed wychłodzeniem poza sezonem grzewczym [11].

Wszystkie instalacje, zgodnie z zasadami obowiązującymi w projekcie, pozostają formalnie własnością gminy przez okres pięciu lat od zakończenia realizacji, tj. do końca 2026 r. W tym czasie użytkownicy nie mają prawa wprowadzać żadnych zmian technicznych, funkcjonalnych ani modernizacyjnych, a wszelka ingerencja w układ – zarówno w warstwie hydraulicznej, jak i sterującej – jest zabroniona [11]. Ograniczenie to obejmuje również brak możliwości instalowania dodatkowych odbiorników ciepła, buforów, wymienników czy rozwiązań modyfikujących logikę pracy regulatora.

Od strony technicznej projekt zakładał montaż instalacji według jednego schematu technologicznego, obejmującego standardowe podłączenie zasobnika CWU, grupy pompowej oraz zespołu kolektorów słonecznych. W analizowanych obiektach zastosowano sterownik SolarComp 971SD1, którego fabryczne funkcje i algorytmy pracy stanowiły jedyny dopuszczalny sposób zarządzania obiegiem solarnym [8]. Choć regulator oferuje szereg ustawień użytkowych – takich jak priorytety ładowania, ochrona przeciwzamrożeniowa czy funkcje antyzastojowe – nie przewidziano możliwości indywidualnej adaptacji logiki działania do nietypowych warunków eksploatacyjnych.

Zasady użytkowania przekazane właścicielom obejmowały typowe wytyczne eksploatacyjne, charakterystyczne dla instalacji solarnych w budynkach mieszkalnych. Zakładano regularny pobór ciepłej wody oraz typowy rytm korzystania z zasobnika [7]. Jednak w przypadku obiektów użytkowanych sezonowo – cechujących się długimi okresami nieobecności i krótkimi pobytami weekendowymi – założenia te nie mogły zostać spełnione w praktyce. Nieregularność odbioru ciepła oraz długotrwałe przestoje instalacji prowadzą do wzrostu temperatur stagnacyjnych, zwiększonego obciążenia cieplnego kolektorów oraz potencjalnego zużycia elementów układu [2, 3].

Dodatkowym ograniczeniem była konieczność zachowania integralności systemu. Wszelkie rozwiązania mające na celu minimalizację ryzyka przegrzewu lub zagospodarowanie ciepła musiały mieścić się w ramach istniejącej struktury instalacji, bez ingerencji w obieg pierwotny i bez instalowania nowych elementów wymiany ciepła. Z tego względu poszukiwane rozwiązania musiały opierać się wyłącznie na możliwościach dopuszczonych przez dokumentację techniczną układu, w tym sterownik SolarComp 971SD1, oraz na zasadach użytkowych przewidzianych przez wykonawcę [7, 8].

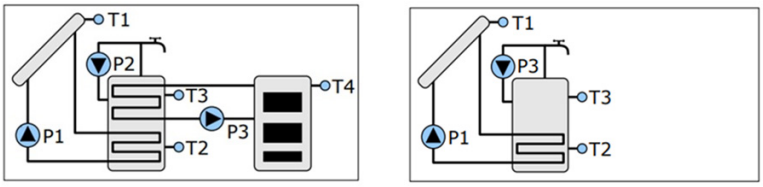
Przedstawione uwarunkowania formalne i techniczne wyznaczają więc ścisłe ramy analizy prowadzonej w niniejszym studium przypadku. Ograniczenia eksploatacyjne – wynikające zarówno z założeń projektu, jak i specyfiki użytkowania budynków – miały bezpośredni wpływ na pracę instalacji solarnych w okresach przegrzewu oraz na zakres

Rys. 2. Analizowane obiekty wyposażone w instalacje solarne: po lewej obiekt nr 1 z kolektorami posadowionymi na konstrukcji wolnostojącej, po prawej obiekt nr 2 z kolektorami zainstalowanymi na połaci dachowej

Fig. 2. Analyzed facilities equipped with solar installations: on the left, facility No. 1 with collectors mounted on a freestanding structure; on the right, facility No. 2 with collectors installed on the roof surface

Rys. 3. Sterownik SolarComp 971SD1 (materiały producenta) [8]

Fig. 3. SolarComp 971SD1 controller (manufacturer's materials) [8]



Rys. 4. Schemat pracy instalacji solarnej z wykorzystaniem regulatora SolarComp 971SD1: po lewej – pierwszy analizowany obiekt; po prawej – drugi analizowany obiekt [8, 11]

Fig. 4. Operating diagram of the solar installation using the SolarComp 971SD1 controller: on the left – the first analyzed facility; on the right – the second analyzed facility [8, 11]

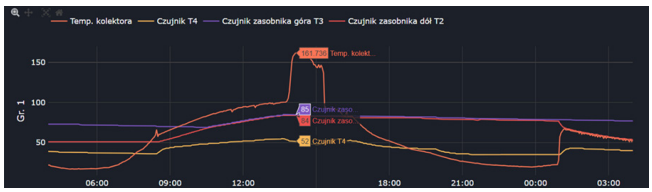
możliwych działań modernizacyjnych. Dopiero w tym kontekście można poprawnie interpretować efekty wdrożonych rozwiązań oraz ocenić ich skuteczność w obiektach o nieregularnym profilu użytkowania [1–3, 7].

4. Instalacja solarna

Instalacje solarne zastosowane w analizowanych obiektach wykonano jako standardowe układy do przygotowania ciepłej wody użytkowej, zgodnie z rozwiązaniami przewidzianymi w projekcie „Ekopartnerzy na rzecz Słonecznej Energii Małopolski" [11, 13]. Każdy zestaw składał się z trzech płaskich kolektorów słonecznych o powierzchni absorbera 2,65 m² każdy (łącznie 7,95 m²), pojedynczej pompy obiegowej z modulacją PWM oraz niezbędnych elementów zabezpieczających, a także zasobnika o pojemności 400 l wyposażonego w jedną lub dwie wężownice – w zależności od wariantu instalacji. Do dolnej wężownicy podłączony jest obieg solarny, który pełni funkcję wymiennika ciepła pomiędzy kolektorami a zasobnikiem, zgodnie ze schematami przedstawionymi na rys. 4. Całością pracy instalacji steruje regulator SolarComp 971SD1.

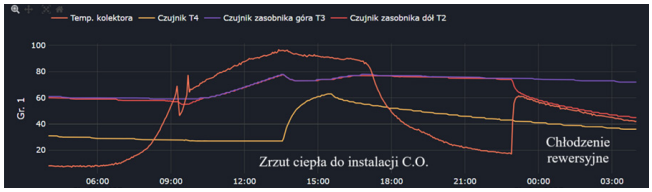
Centralnym elementem sterującym instalacji jest regulator SolarComp 971SD1 (rys. 3), odpowiadający za kontrolę pracy pompy obiegowej na podstawie różnicy temperatur pomiędzy kolektorem a zasobnikiem. Sterownik realizuje podstawowe funkcje niezbędne w układach solarnych: ładowanie zasobnika, ochronę przed przegrzaniem, pracę antyzastojową, ochronę przeciwzamrożeniową oraz diagnostykę podstawowych parametrów układu [8]. Urządzenie oferuje 14 fabrycznych schematów pracy, umożliwiając obsługę zarówno prostych, jak i bardziej rozbudowanych konfiguracji instalacji z jedną lub dwiema wężownicami. Regulator wyposażony jest w graficzny wyświetlacz, funkcje raportowania oraz możliwość sterowania pompą z modulacją PWM, co pozwala optymalizować przepływ w zależności od warunków pracy kolektorów [8]. SolarComp 971SD1 zapewnia również realizację cyklu antylegionellowego, zgodnego z wymaganiami higienicznymi dla instalacji ciepłej wody użytkowej. Pomimo szerokiego zakresu funkcji, urządzenie pracuje wyłącznie w ramach fabrycznych algorytmów, co ogranicza możliwość dostosowania strategii działania do nietypowych warunków eksploatacyjnych, typowych dla obiektów użytkowanych sezonowo [2, 3, 7].

Schematy przedstawione na rys. 4 ilustrują konfiguracje instalacji solarnych w dwóch analizowanych obiektach, które różnią się liczbą obiegów hydraulicznych oraz liczbą



Rys. 5. Przykład stagnacji w instalacji solarnej – temperatura kolektora osiąga 162°C

Fig. 5. Example of stagnation in the solar installation – the collector temperature reaches 162°C



Rys. 6. Dwie metody zabezpieczenia kolektora przed przegrzaniem przy użyciu regulatora SolarComp 971SD1

Fig. 6. Two methods of protecting the collector from overheating using the SolarComp 971SD1 controller

czujników temperatury, przy zastosowaniu tego samego typu zasobnika. Schemat po lewej stronie przedstawia układ pracy pierwszego analizowanego obiektu, w którym do zasobnika dwuwężownicowego podłączone są dwa obiegi hydrauliczne. Obieg P1 stanowi podstawowy obieg solarny, wyposażony w pompę z modulacją PWM. Sterownik przewiduje dodatkowo obieg P2, przeznaczony do pracy jako cyrkulacja ciepłej wody użytkowej, jednak – zgodnie z ograniczeniami projektowymi – pompa ta nie została zamontowana i obieg ten nie funkcjonuje fizycznie, co zapobiega nadmiernemu wychładzaniu zasobnika w warunkach niskiego nasłonecznienia [11]. Obieg P3 odpowiada za doprowadzanie energii z kotła centralnego ogrzewania do górnej wężownicy zasobnika, umożliwiając utrzymanie wymaganej temperatury wody użytkowej w sezonie grzewczym. Układ wyposażony jest w cztery czujniki temperatury: T1 (kolektor), T2 (dolna część zasobnika), T3 (górna część zasobnika) oraz T4 (temperatura kotła CO), co umożliwia precyzyjną kontrolę pracy instalacji i przełączanie źródeł ciepła [8, 11].

Drugi analizowany układ, przedstawiony po prawej stronie rys. 4, wykorzystuje ten sam typ zasobnika dwuwężownicowego co w pierwszym obiekcie, jednak w konfiguracji ograniczonej do jednego fizycznego obiegu hydraulicznego. W tym wariancie wykorzystywana jest jedynie dolna wężownica zasobnika, do której podłączony jest podstawowy obieg solarny P1 z pompą PWM. Sterownik przewiduje dodatkowo możliwość obsługi obiegu P3, który w standardowych układach pełni funkcję obiegu cyrkulacji ciepłej wody użytkowej, lecz – podobnie jak w przypadku obiegu P2 w pierwszym obiekcie – pompa nie została zamontowana, a obieg nie funkcjonuje fizycznie, zgodnie z ograniczeniami projektu mającymi na celu zapobieganie wychładzaniu zasobnika [8, 11]. Układ monitorowany jest przez trzy czujniki temperatury: T1 (kolektor), T2 (dolna część zasobnika) oraz T3 (górna część zasobnika). Brak drugiego obiegu hydraulicznego oraz niewykorzystanie górnej wężownicy powodują, że energia z kolektorów może być kierowana wyłącznie do zasobnika CWU, co zwiększa ryzyko przegrzewu instalacji przy nieregularnym poborze wody [2, 3].

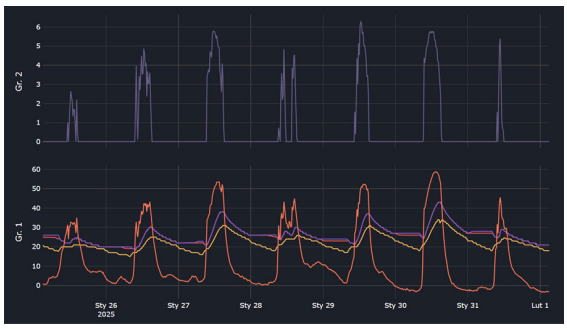
W analizowanych obiektach instalacje zostały wykonane zgodnie ze schematami podstawowymi, bez dodatkowych odbiorników ciepła i bez możliwości wykorzystania nadwyżek energii poza magazynowaniem jej w zasobniku. Jest to układ poprawnie działający w budynkach mieszkalnych użytkowanych całorocznie, jednak w obiektach sezonowych – przy nieregularnym poborze ciepłej wody – konfiguracja ta prowadzi do znacznego obciążenia układu nadmiarem energii generowanej w okresie letnim [2, 3]. Instalacja solarna w takich warunkach pracuje przy częstym osiąganiu temperatur granicznych, co zwiększa ryzyko stagnacji kolektorów i intensywnego zużycia glikolu [5, 7].

W celu poprawy funkcjonalności instalacji oraz ograniczenia ryzyka przegrzewu dokonano modyfikacji sposobu jej sterowania. W pierwszym obiekcie (schemat po lewej stronie rys. 4) dodatkowe sterowanie pompą obiegu P3 zrealizowano poprzez wykorzystanie niewykorzystanego w projekcie wyjścia sterującego P2. Pozwoliło to na dodatkowe załączanie pompy P3 poprzez sygnał z wyjścia P2, co umożliwiło pracę instalacji centralnego ogrzewania jako odbiornika nadmiaru energii cieplnej z instalacji solarnej. Dzięki tej modyfikacji możliwy stał się dwukierunkowy przepływ energii między instalacją C.O. a zasobnikiem, podczas gdy w standardowej konfiguracji regulator SolarComp 971SD1 przewiduje wyłącznie zasilanie zasobnika energią z kotła C.O. [8].

W drugim obiekcie (schemat po prawej stronie rys. 4) problemem był fizyczny brak podłączenia instalacji centralnego ogrzewania do zasobnika, co uniemożliwiało wykorzystanie układu C.O. jako odbiornika nadmiaru energii z instalacji solarnej. Z tego powodu nie było możliwe zastosowanie rozwiązania analogicznego do pierwszego obiektu. Właściciel zwrócił się do Wójta Gminy Jodłownik z wnioskiem o zgodę na rozbudowę instalacji na własny koszt, obejmującą doprowadzenie obiegu C.O. do zasobnika [10, 11]. Po uzyskaniu zgody wykonano wymagane prace, a sterowanie zrzutem energii zrealizowano za pomocą dodatkowego regulatora, niezależnego od SolarComp 971SD1. W przeciwieństwie do pierwszego obiektu, zastosowane rozwiązanie umożliwia jedynie zrzut nadmiaru ciepła do instalacji C.O., co oznacza jednostronny przepływ energii, bez możliwości przekazywania energii z kotła do zasobnika.

5. Przegrzewanie instalacji solarnej

Przegrzewanie instalacji solarnej, określane jako stagnacja (rys. 5), występuje w sytuacji, gdy zasobnik osiąga tem-



Rys. 7. Praca instalacji solarnej w okresie zimowym (26.01–01.02.2025 r.) – warunki w budynku nieogrzewanym

Fig. 7. Operation of the solar installation during the winter period (26 January–1 February 2025) – conditions in an unheated building

peraturę maksymalną, a instalacja nie jest w stanie odebrać nadmiaru energii. Zjawisko to szczególnie często pojawia się w obiektach o nieregularnym użytkowaniu, gdzie pobór ciepłej wody jest ograniczony. W warunkach stagnacji temperatura czynnika solarnego może przekraczać 150–180°C, co prowadzi do szeregu negatywnych skutków technicznych, dobrze opisanych w literaturze specjalistycznej [5, 13, 14, 15].

Najpoważniejszym konsekwencją stagnacji jest degradacja glikolu, który w wysokiej temperaturze ulega rozkładowi, traci inhibitory korozji i tworzy osady oraz frakcje polimeryzujące. Zjawisko to, określane jako koksowanie glikolu, zwiększa opory przepływu oraz obniża efektywność wymiany ciepła [5, 13, 15]. Produkty degradacji zakwaszają czynnik roboczy, prowadząc do przyspieszonej korozji absorberów, elementów miedzianych oraz uszczelek elastomerowych [5, 14].

Wysoka temperatura czynnika powoduje również znaczący wzrost ciśnienia w instalacji, co skutkuje częstym otwieraniem zaworu bezpieczeństwa i obciążeniem naczynia przeponowego, a w długotrwałych przypadkach może prowadzić do rozszczelnienia obiegu [3]. Ponadto stagnacja wpływa na trwałość kolektorów, przyspieszając starzenie absorberów, degradację warstw selektywnych i – w kolektorach próżniowych – utratę próżni roboczej [3, 14].

W okresach stagnacji instalacja przestaje pełnić funkcję użytkową, a kolektory pozostają przez dłuższy czas w stanie znacznego obciążenia termicznego, co zwiększa ryzyko dalszych uszkodzeń i skraca żywotność całego układu [3, 14]. Problemy te są szczególnie istotne w instalacjach pozbawionych dodatkowych odbiorników ciepła, np. możliwości zrzutu energii do instalacji C.O., przez co ochrona przed przegrzewaniem zależy wyłącznie od algorytmów regulatora [8].

Regulator SolarComp 971SD1 wyposażony jest w fabryczny algorytm ochrony przed przegrzaniem, zgodnie z którym awaryjny zrzut ciepła do zasobnika uruchamiany jest dopiero po przekroczeniu 140°C na kolektorze i tylko wtedy, gdy temperatura zasobnika pozostaje niższa niż 85°C. Powyżej tej wartości regulator nie może już zrzucać energii, a kolektory ulegają dalszemu nagrzewaniu [8]. W instalacjach bez możliwości odprowadzenia ciepła ryzyko przegrzewu znacząco wzrasta [2, 3, 7]

Regulator SolarComp 971SD1, zgodnie z dokumentacją producenta oraz analizą danych eksploatacyjnych zawartych w materiałach technicznych, oferuje tylko jedną fabryczną metodę ochrony przed przegrzewaniem kolektorów, którą jest tzw. chłodzenie rewersyjne [8]. Polega ono na nocnym odprowadzaniu nadmiaru ciepła z zasobnika z powrotem do kolektorów, pod warunkiem że kolektory są dostatecznie wychłodzone. Wadą tej metody jest jednak to, że proces chłodzenia obejmuje głównie dolną strefę zasobnika, podczas gdy jego górna część — odpowiedzialna za dostarczanie ciepłej wody użytkowej — utrzymuje temperaturę bliską wartości zadanej. W efekcie realna skuteczność obniżania temperatury całego zasobnika jest ograniczona, co zmniejsza zdolność układu do przyjmowania energii w kolejnym dniu. Dodatkowym ograniczeniem jest konieczność instalacji modułu zapewniającego zdalny dostęp do sterownika, ponieważ SolarComp 971SD1 nie posiada natywnej komunikacji sieciowej, a wykonywanie ręcznych procedur serwisowych wymaga fizycznej obecności użytkownika [8].

Znacznie skuteczniejszą metodą ograniczania przegrzewania jest kierowanie nadmiaru energii cieplnej do instalacji centralnego ogrzewania, jednak rozwiązanie to nie wynika z funkcji regulatora, lecz z konfiguracji samej instalacji. Wymaga ono fizycznego podłączenia obiegu C.O. do zasobnika oraz możliwości sterowania odpowiednią pompą – czy to przez regulator (po modyfikacji), czy przez dodatkowy, zewnętrzny układ sterujący. W analizowanych obiektach metoda ta została wykorzystana na dwa sposoby: w pierwszym obiekcie odpowiednia konfiguracja sterownika SolarComp 971SD1 umożliwiła automatyczne kierowanie nadmiaru energii z zasobnika do instalacji centralnego ogrzewania. Funkcja ta, standardowo wykorzystywana głównie do dogrzewania pomieszczeń w sezonie grzewczym, została zastosowana również jako skuteczny sposób redukcji przegrzewania instalacji solarnej. W drugim obiekcie zrzut nadmiaru energii zrealizowano poprzez rozbudowę instalacji i zastosowanie dodatkowego regulatora, umożliwiającego sterowanie przepływem ciepła między zasobnikiem a instalacją C.O.

Wadą metody polegającej na kierowaniu nadmiaru energii do instalacji centralnego ogrzewania jest ograniczona temperatura, jaką może osiągnąć obieg C.O. W praktyce układ grzewczy musi utrzymywać parametry zapewniające komfort użytkowy oraz bezpieczeństwo pracy, co wymusza utrzymywanie temperatur znacznie niższych od tych, które mogą występować w obiegu solarnym podczas intensywnego nasłonecznienia. Oznacza to, że zdolność odbioru ciepła przez instalację C.O. jest ograniczona, zwłaszcza poza sezonem grzewczym, kiedy straty cieplne budynku są minimalne. W takich warunkach obieg C.O. może przejąć jedynie część nadwyżki energii, a pozostała jej część nadal może prowadzić do wzrostu temperatury kolektorów.

Jednak w sytuacjach skrajnych to właśnie możliwość awaryjnego skierowania nadmiaru ciepła do obiegu C.O. sta-

nowi kluczowe zabezpieczenie przed pełnym przegrzaniem instalacji. Zrzut energii, nawet kosztem chwilowego wzrostu temperatury w instalacji grzewczej, pozwala zatrzymać dalszy wzrost temperatury kolektora i zapobiec wejściu układu w stan stagnacji, który mógłby doprowadzić do degradacji glikolu oraz uszkodzeń elementów instalacji. Dzięki temu metoda ta, mimo swoich ograniczeń, pozostaje najskuteczniejszym sposobem ochrony instalacji solarnych użytkowanych sezonowo przed przegrzewaniem.

6. Warunki w budynku nieogrzewanym w okresie zimowym

Budynek użytkowany sezonowo, pozostający przez dłuższy czas bez ogrzewania, podlega znacznemu wychłodzeniu, co wpływa zarówno na jego stan techniczny, jak i komfort późniejszego użytkowania. W okresie zimowym temperatura wewnętrzna zbliża się do temperatury otoczenia, a brak zysków ciepła prowadzi do szeregu niekorzystnych zjawisk obserwowanych w analizowanych obiektach.

Wychłodzenie przegród powoduje, że ich temperatura spada do poziomu sprzyjającego kondensacji wilgoci, zgodnie z opisanymi mechanizmami transportu ciepła i wilgoci w budynkach [17]. W praktyce prowadzi to do wykraplania pary wodnej, oszronień, a nawet powstawania sopli na powierzchniach sufitów i ścian. Długotrwała kondensacja sprzyja rozwojowi pleśni i grzybów, co potwierdzają liczne badania mikroklimatu w budynkach o niskiej temperaturze eksploatacyjnej [18].

Istotnym zagrożeniem jest również zamarzanie instalacji wodnych. Przy temperaturach poniżej 0°C woda w przewodach rozszerza się i może uszkodzić rury, zawory oraz armaturę. Mechanizm ten jest dobrze opisany w normach dotyczących ochrony instalacji wodociągowych przed zamarzaniem [19].

Po okresie zimowym wychłodzony budynek wymaga znacznej ilości energii do ponownego nagrzania. Czas podniesienia temperatury pomieszczeń nawet o kilkanaście stopni może wynosić kilkadziesiąt godzin, szczególnie jeśli przegrody mają dużą pojemność cieplną — co jest typowe dla budynków murowanych [20]. W analizowanych obiektach pełne nagrzanie zajmowało około dwóch dób ciągłej pracy kotła C.O.

W budynkach nieogrzewanych zimą pojawia się również problem niewłaściwej pracy urządzeń chłodniczych. Producenci chłodziarko-zamrażarek (np. Whirlpool, Electrolux, Bosch) wyraźnie podają w instrukcjach, że minimalna temperatura otoczenia dla poprawnej pracy większości modeli wynosi ok. +10°C [21]. Przy niższych temperaturach sprężarka wyłącza się, a urządzenie przestaje działać prawidłowo.

7. Odzysk ciepła z instalacji solarnej w okresie grzewczym

W instalacjach solarnych pracujących w budynkach użytkowanych sezonowo jednym z najważniejszych problemów eksploatacyjnych jest brak odbioru ciepła poza sezonem letnim, co prowadzi do przegrzewania kolektorów i degradacji czynnika roboczego [5, 13, 14]. Jednocześnie w okresie jesienno-zimowo-wiosennym, kiedy warunki nasłonecznienia są umiarkowane, instalacja solarna może – przy odpowiedniej konfiguracji – wspierać system centralnego ogrzewania, dostarczając część energii cieplnej potrzebnej do utrzymania minimalnej temperatury w budynku. Funkcja ta nie wynika z założeń projektowych instalacji, jednak w analizowanych obiektach została wykorzystana jako sposób zarówno na ograniczenie zjawiska stagnacji, jak i poprawę warunków temperaturowych w nieogrzewanych pomieszczeniach.

W pierwszym obiekcie, dzięki modyfikacji sterowania z wykorzystaniem niewykorzystanego wyjścia P2, możliwe było dwukierunkowe sterowanie pracą pompy P3 i kierowanie nadmiaru energii z zasobnika CWU do instalacji centralnego ogrzewania. Rozwiązanie to pozwoliło na częściowe ogrzewanie budynku poza sezonem letnim oraz na stabilizację pracy instalacji solarnej w okresie niskiego poboru ciepłej wody.

Z analizy danych eksploatacyjnych wynika, że:

- w okresie grzewczym (X–IV) instalacja przekazała do układu C.O. 3214,9 kWh,
- w okresie letnim (V–IX) instalacja dostarczyła do zasobnika 3621,4 kWh energii.

W drugim obiekcie, z uwagi na początkowy brak fizycznego podłączenia obiegu C.O. do zasobnika CWU, wykorzystanie energii solarnej w okresie grzewczym nie było możliwe. Dopiero uzyskanie zgody na wykonanie rozbudowy instalacji umożliwiło wprowadzenie dodatkowego regulatora oraz stworzenie jednokierunkowego obiegu przekazującego nadmiar ciepła z zasobnika do centralnego ogrzewania.

Po wykonaniu rozbudowy instalacja osiągnęła następujące wyniki energetyczne:

- w okresie grzewczym (X–IV) do instalacji C.O. przekazano 3338,4 kWh,
- w okresie letnim (V–IX) instalacja dostarczyła do zasobnika 3750,4 kWh.

Analiza pracy obu instalacji solarnych wykazała, że mimo odmiennej konfiguracji technicznej i sposobu integracji z instalacją centralnego ogrzewania, zarówno pierwszy, jak i drugi obiekt uzyskały porównywalne efekty energetyczne w okresie grzewczym. W obu przypadkach energia odzyskiwana zimą została skutecznie wykorzystana do ograniczenia wychładzania budynku (rys. 7) oraz zmniejszyła konieczność używania kotła C.O. w sytuacjach skrajnych, gdy obiekt byłby narażony na głębokie wychłodzenie przy temperaturach zewnętrznych spadających poniżej 0°C, co wprost przekłada się na niższą emisję dwutlenku węgla.

Górny wykres (Gr. 2, rys. 7) przedstawia dobowe ilości energii dostarczanej do zasobnika CWU przez instalację solarną w kW. Charakterystyczne, wąskie piki świadczą o krótkotrwałych okresach nasłonecznienia typowych dla zimy – instalacja pracuje tylko przez kilka godzin dziennie.

Dolny wykres (Gr. 1, rys. 7) przedstawia przebiegi temperatur: kolektora słonecznego (T1) – krzywa o największej dynamice zmian, górnej części zasobnika CWU (T3) oraz dolnej części zasobnika (T2), które w warunkach zimowych niemal się pokrywają, wskazując na brak istotnego ładowania zasobnika z kotła C.O. Dodatkowo widoczna jest krzywa temperatury instalacji centralnego ogrzewania (T4), przebiegająca poniżej temperatur T2 i T3.

Temperatura w obiegu C.O. (T4) utrzymuje się w pobliżu średniego poziomu około 17–19°C, co należy uznać za zjawisko korzystne – zwłaszcza w budynku nieogrzewanym i narażonym na nocne przymrozki. Stabilność T4 wskazuje, że instalacja C.O. zachowuje dobre właściwości termiczne,

a temperatura w obiegu pozostaje dodatnia mimo spadków temperatury zewnętrznej. Oznacza to, że układ nie ulega nadmiernemu wychłodzeniu, a budynek zachowuje istotną część energii cieplnej, co dodatkowo zmniejsza ryzyko zamarzania instalacji oraz ogranicza konieczność interwencji grzewczej poprzez uruchomienie kotła C.O.

W analizowanych obiektach odnotowano, że wykorzystanie części nadwyżek energii solarnej do dogrzania instalacji C.O. zimą pozwala utrzymać temperaturę pomieszczeń nie niższą niż około 10°C. Choć wartość ta nie zapewnia pełnego komfortu, znacząco zmniejsza ryzyko kondensacji wilgoci oraz umożliwia poprawną pracę urządzeń AGD. Wnioski te potwierdzono na podstawie trzech sezonów obserwacji.

8. Wnioski

Analiza pracy dwóch instalacji solarnych wyposażonych w regulatory SolarComp 971SD1, zainstalowanych w budynkach użytkowanych sezonowo, pozwala sformułować kilka kluczowych wniosków dotyczących zarówno ich efektywności energetycznej, jak i możliwości zagospodarowania ciepła odpadowego.

1. Odzysk energii solarnej w okresie grzewczym znacząco poprawia warunki termiczne budynku.

W obu obiektach energia przekazywana zimą do instalacji C.O. – odpowiednio 3214,9 kWh oraz 3338,4 kWh – pozwoliła utrzymać temperaturę pomieszczeń na poziomie około 10°C, co ma istotne znaczenie praktyczne. Minimalna temperatura wnętrza zmniejsza ryzyko kondensacji wilgoci, ogranicza możliwość zamarzania instalacji wodnych oraz zapewnia poprawną pracę urządzeń AGD wymagających temperatury otoczenia powyżej 10°C [17–21]. Jednocześnie ogranicza to konieczność awaryjnego uruchamiania kotła C.O. podczas okresów silnych mrozów, zmniejszając zużycie paliwa i obniżając emisję CO_2.

2. Przegrzewanie instalacji solarnej nadal stanowi istotne wyzwanie eksploatacyjne.

Regulator SolarComp 971SD1 oferuje wyłącznie jedną natywną metodę ochrony – chłodzenie rewersyjne – której skuteczność jest ograniczona, zwłaszcza w obiektach o długich okresach nieużytkowania [8]. Brak odbioru ciepła latem powoduje częste wejścia kolektorów w stan stagnacji, prowadząc do degradacji glikolu, wzrostu ciśnienia w obiegu oraz obniżenia trwałości kolektorów [5, 13–15]. W obu obiektach zastosowano odmienne rozwiązania niwelujące to zjawisko: w pierwszym – poprzez modyfikację sterowania z wykorzystaniem wyjścia P2, w drugim – poprzez rozbudowę instalacji i zastosowanie zewnętrznego regulatora.

3. Układ C.O. okazał się najskuteczniejszym odbiornikiem nadmiarowej energii solarnej.

Zarówno w obiekcie 1, jak i 2, kierowanie nadmiaru ciepła z zasobnika do instalacji centralnego ogrzewania pozwoliło znacząco ograniczyć liczbę dni stagnacji oraz utrzymać stabilną pracę układu w okresie letnim, gdy pobór CWU był znikomy. Choć metoda ta ma ograniczenia wynikające z dopuszczalnej temperatury w obiegu C.O., pozostaje najskuteczniejszą formą zabezpieczenia kolektorów przed przegrzaniem w instalacjach sezonowych [2, 3, 7].

4. Energia letnia tylko w niewielkiej części jest energią użytkową CWU.

W okresie letnim instalacje dostarczyły do zasobnika odpowiednio 3621,4 kWh oraz 3750,4 kWh, przy czym jedynie część tej energii została wykorzystana do przygotowania CWU. Większość stanowiła energię nadmiarową, którą należało rozproszyć w celu uniknięcia stagnacji. Zjawisko to wskazuje na potencjał dalszego zagospodarowania energii solarnej – np. poprzez jej wykorzystanie do celów użytkowych, takich jak suszenie czy procesy niskotemperaturowe.

5. Instalacja solarna osiąga wyższą efektywność, im większy jest odbiór energii.

W analizowanych przypadkach potwierdzono, że większe zapotrzebowanie na ciepło w instalacji C.O. powoduje zwiększenie ilości energii przekazywanej przez kolektory. Instalacja solarna pracuje stabilniej i efektywniej wtedy, gdy zasobnik jest regularnie rozładowywany – co jest trudne do osiągnięcia w obiektach sezonowych, ale możliwe dzięki mechanizmom odbioru ciepła w okresie grzewczym.

6. Oba obiekty, pomimo ograniczeń formalnych projektu, odnotowały znaczące korzyści energetyczne.

Zastosowane rozwiązania – jedno wykorzystujące możliwości sterownika, drugie realizujące dodatkowy układ hydrauliczny – pokazały, że instalacje solarne mogą wspierać ogrzewanie nawet w budynkach o niskiej izolacyjności termicznej. Wnioski te są szczególnie istotne dla obiektów o dużej bezwładności cieplnej, w których utrzymanie minimalnej temperatury znacząco poprawia warunki eksploatacyjne i zabezpiecza budynek na czas nieobecności użytkowników [17–20].

Przeprowadzone analizy dowodzą, że instalacje solarne wyposażone w regulator SolarComp 971SD1 – mimo formalnych ograniczeń projektowych i sezonowego charakteru użytkowania – mogą odgrywać istotną rolę w bilansie energetycznym budynku. Odpowiednie zagospodarowanie nadmiaru energii nie tylko ogranicza ryzyko przegrzewania i wydłuża żywotność instalacji, lecz także poprawia bezpieczeństwo i funkcjonalność budynku w okresie zimowym.

Zaobserwowane efekty energetyczne i eksploatacyjne wskazują na potrzebę rozwijania rozwiązań umożliwiających lepsze wykorzystanie energii odpadowej z instalacji solarnych oraz potwierdzają zasadność dalszych badań w obiektach o nieregularnym profilu użytkowania.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane z dotacji na utrzymanie i rozwój potencjału badawczego AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Polska.

Literatura – References

1. Burchard-Dziubińska, M. (2020). Zrównoważony rozwój energetyczny w Polsce – uwarunkowania, szanse, bariery. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
2. Lewandowski, W. M. (2017). Proekologiczne źródła energii. Wydawnictwo Naukowe PWN.
3. Paska, J. (2021). Odnawialne źródła energii – technologie, ekonomika, środowisko. Oficyna Wydawnicza PW.
4. Lewandowski P. (2018). Termomodernizacja budynków mieszkalnych – potencjał tworzenia miejsc pracy. Warszawa: Instytut Badań Strukturalnych;
5. „Efektywność energetyczna w Polsce. Przegląd 2017" – raport. Warszawa: Instytut Ekonomii Środowiska;
6. Burchard-Dziubińska M. (2014). Wdrażanie zielonej gospodarki jako odpowiedź Unii Europejskiej na trudności rozwojowe. Acta Universitatis Lodziensis. Folia Oeconomica, 2014, nr 3(303). Czasopisma Uni Łódź.
7. Gołąbeska E. (2023) Wybrane problemy związane z realizacją systemów wykorzystujących zieloną energię. Warszawa: Wydawnictwo Politechniki Białostockiej;
8. Dokumentacja techniczna regulatora SolarComp 971SD1, https://compit.pl/produkty/regulatory-solarne/23-sterownik-ukladu-solarnego-z-pwm-solarcomp-971.html
9. Regulamin projektu „Ekopartnerzy na rzecz Słonecznej Energii Małopolski", https://www.jodlownik.pl/files/regulamin.pdf
10. Strona internetowa Gminy Jodłownik: https://jodlownik.pl
11. Strona Eco-Team Sp. z o.o. Sp.k. (wykonawca instalacji): https://eco-team.pl
12. Regionalny Program Operacyjny Województwa Małopolskiego 2014–2020: https://www.rpo.malopolska.pl
13. Duffie, J. A., Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley.
14. Vajen, K., Jordan, U. (2001). Stagnation behaviour of solar thermal systems, Universität Kassel.
15. H. Haller, M. Yazdani, (2020). Degradation of glycol-based solar thermal heat transfer fluids, Journal of Solar Energy Engineering (ASME).
16. Mousa, M. (2015). Thermal degradation of solar heat transfer fluids, Energy Procedia.
17. Hens, H. (2012). Building Physics: Heat, Air and Moisture, Wiley.
18. Sedlbauer, K. (2001). Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Components, Fraunhofer IRB Verlag.
19. PN-EN 806-2:2005. Wewnętrzne systemy wodociągowe – Ochrona przed zamarzaniem.
20. ASHRAE Handbook – Fundamentals (2021), Rozdział: Thermal Properties of Building Assemblies, (ASHRAE Digital Library) https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook
21. Bosch Home Appliances – instrukcje użytkownika (np. model KGN36). https://media3.bosch-home.com/Documents/9001360703_A.pdf

Recovery and Utilization of Waste Heat in a Heating System Using a Solar Installation and the SolarComp 971SD1 Controller – A Case Study

The aim of this study was to analyze the operation of two solar installations used in seasonally occupied buildings, equipped with SolarComp 971SD1 controllers, with a focus on the recovery and utilization of waste heat. The systems were implemented under the "Ekopartnerzy na rzecz Słonecznej Energii Małopolski" project and were subject to formal constraints regarding both their intended purpose (domestic hot water preparation) and a five-year prohibition on modifications following project completion. During the summer period, particular attention was given to the risk of system overheating resulting from limited heat demand. In the autumn, winter, and spring seasons, a solution enabling partial recovery and utilization of waste heat was implemented, in full compliance with the technical and formal restrictions of the project. The findings and practical experience presented in this study may serve as a basis for applying similar solutions in other installations operating in buildings with irregular usage patterns.

Keywords: *solar installation, SolarComp 971SD1 controller, waste heat recovery, overheating, renewable energy*