

Paweł OCŁOŃ, Marek CZAMARA, Franciszek ŚCISŁOWICZ, Agnieszka DRZYŻGA, Michał FRAN CZAK, Mehmet Ali YILDIRIM, Piotr CISEK, Grzegorz OJCZYK, Marcin PARADYŻ

System RESHeat: integracja odnawialnych źródeł energii dla zrównoważonych rozwiązań energetycznych budynków

Abstrakt: Artykuł przedstawia system RESHeat, który łączy odnawialne źródła energii (OZE) służące do produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu dla budynków wielorodzinnych, z naciskiem na zrównoważone rozwiązania energetyczne. System, opracowany w ramach programu Horyzont 2020, integruje technologie takie jak panele fotowoltaiczne (PV), moduły fotowoltaiczno-termiczne (PV-T), pompy ciepła oraz sezonowe magazynowanie energii cieplnej (STES). Jego głównym zadaniem jest zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych oraz zapewnienie efektywności energetycznej budynków. W artykule omówiono szczegóły instalacji demonstracyjnej w Krakowie, gdzie system osiągnął wysoką wydajność, dostarczając do 70% energii potrzebnej do ogrzewania i chłodzenia budynku. System RESHeat ma duży potencjał komercjalizacji i skalowania, a także jest obiecującym rozwiązaniem dla ogrzewania i produkcji energii elektrycznej w budynkach wielorodzinnych.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, efektywność energetyczna, sezonowe magazynowanie energii cieplnej, energetyka solarna

Wprowadzenie

W miarę nasilenia się globalnego nacisku na redukcję emisji gazów cieplarnianych coraz pilniejsza staje się potrzeba innowacyjnych rozwiązań energetycznych w sektorze mieszkaniowym i komercyjnym. Projekt RESHeat, będący wspólnym przedsięwzięciem partnerów z Polski (Politechnika Krakowska, Czamara Energia Odnawialna, ELFRAN, Zarząd Budynków Komunalnych w Krakowie), Włoch (Uniwersytet Rzymski „La Sapienza”, ATER Provincia di Roma), Finlandii (OILON) i Czech (Politechnika Brneńska) w ramach programu Komisji Europejskiej Horyzont 2020, odpowiada na to wyzwanie przez opracowanie autonomicznego systemu energetycznego, który wykorzystuje OZE do produkcji energii elektrycznej, ogrzewania i chłodzenia budynków (Ocłóń et al. 2024). Niniejszy artykuł przedstawia szczegółowe omówienie systemu RESHeat.

Coraz mocniejsze akcentowanie zrównoważonego rozwoju i łagodzenia zmian klimatycznych doprowadziło do badań i rozwoju w dziedzinie systemów energii odnawialnej dla budynków. Systemy te są kluczowe dla zmniejszenia śladu węglowego budownictwa i zwiększenia efektywności energetycznej w budynkach mieszkalnych, publicznych i komercyjnych (European Commission 2018).

Odnawialne źródła energii mają fundamentalne znaczenie dla redukcji emisji gazów cieplarnianych i wspierania działań na rzecz ochrony środowiska. Należy podkreślić znaczenie OZE w łagodzeniu wpływu na środowisko oraz ich potencjał do zastępowania konwencjonalnych paliw kopalnych w różnych funkcjach, w tym w systemach energetycznych dla budynków (Panwar et al. 2011). Integracja OZE w budynkach nie tylko pomaga w działaniach na rzecz zrównoważonej efektywności energetycznej, ale także jest zgodna z globalnymi celami klimatycznymi.

Systemy trigeneracyjne, znane również jako systemy połączonego chłodzenia, ogrzewania i energii elektrycznej (CCHP – *Combined Cooling, Heat and Power*), umożliwiają znaczące zwiększenie efektywności energetycznej budynków. Systemy te są zaprojektowane do odzyskiwania ciepła odpadowego z procesów produkcji energii w celu wykorzystania go do zapewnienia ogrzewania i chłodzenia, co maksymalizuje całkowitą efektywność energetyczną. Yang ze współpracownikami (2022) omówili rozwój i analizę hybrydowych systemów trigeneracyjnych zintegrowanych z technologiami odnawialnymi, które mogą przyczynić się do znaczącej redukcji emisji gazów cieplarnianych (GHG).

Badania koncentrują się na systemach, które łączą technologię fotowoltaiczno-termalną (PV-T), gruntową pompę ciepła (GSHP) oraz inteligentne systemy sterowania w celu zaspokojenia potrzeb energetycznych małego budynku komercyjnego, w tym ogrzewania, chłodzenia oraz wykorzystania energii elektrycznej dla systemów HVAC. Artykuł przedstawia ocenę wydajności energetycznej i kosztowej tych systemów, a także ich wpływ na emisje GHG.

Energia słoneczna jest jednym z najczęściej wykorzystywanych odnawialnych źródeł energii w systemach energetycznych budynków (Lund 2014). Zastosowanie paneli fotowoltaicznych (PV) i modułów fotowoltaiczno-termicznych (PV-T) w budynkach zyskało znaczną popularność ze względu na ich zdolność do wytwarzania zarówno energii elektrycznej, jak i ciepłej. Ocłoń ze współautorami (2023) omówili zasady projektowania systemów energii słonecznej pod kątem inżynierskim, podkreślając ich użyteczność w budynkach mieszkalnych i komercyjnych. Połączenie systemów PV i PV-T z technologią śledzenia słońca może znacznie zwiększyć uzysk energii słonecznej, ponieważ przez zastosowanie trackingu systemy te mogą uchwycić więcej energii słonecznej w ciągu dnia.

Integracja systemów PV-T w budynkach daje podwójną korzyść – takie instalacje dostarczają zarówno energii elektrycznej, jak i ciepłej, którą można wykorzystać do ogrzewania, chłodzenia i produkcji energii elektrycznej. Hussain i Kim (2020) dokonali oceny wydajności systemów PV-T, podkreślając ich efektywność i skuteczność w różnych warunkach klimatycznych. Systemy te są szczególnie cenne w regionach o wysokim nasłonecznieniu, gdzie mogą znacząco przyczynić się do zmniejszenia zużycia energii z nieodnawialnych źródeł.

Sezonowe magazynowanie energii ciepłej (STES) to innowacyjne podejście, które pozwala budynkom przechowywać nadmiar energii ciepłej w okresach niskiego zapotrzebowania, zazwyczaj latem, i wykorzystywać ją w okresach wysokiego zapotrzebowania, takich jak zima. Yildirim i współautorzy (2023) przeanalizowali zastosowanie systemów pomp ciepła wspomaganych energią słoneczną z STES, udowadniając

potencjał znacznych oszczędności energii i poprawy efektywności w systemach ogrzewania budynków. Systemy STES są kluczowe dla zapewnienia stałego dostępu do energii odnawialnej, nawet w okresach, gdy generacja energii słonecznej jest utrudniona.

Wdrożenie systemów energii odnawialnej w budynkach ma również głęboki wpływ na wydajność energetyczną systemów grzewczych i zrównoważony rozwój środowiskowy. Dyrektywa UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD) określa ambitne cele w zakresie efektywności energetycznej budynków, nakładając obowiązek integracji OZE w nowych i istniejących budynkach (European Commission 2018). Ta dyrektywa pobudza rozwój innowacyjnych systemów energetycznych takich jak RESHeat, które cechują się wysoką efektywnością energetyczną i niskim wpływem na środowisko.

Globalny trend w kierunku adaptowania odnawialnych źródeł energii w budynkach jest wspierany przez raporty, takie jak *Renewable Energy Market Report 2022*, opracowany przez Międzynarodową Agencję Energii (IEA), który akcentuje rosnącą rolę OZE w globalnym miksie energetycznym (IEA 2022). Raport *Renewables 2023 Global Status Report* (REN21) podkreśla dodatkowo znaczenie wsparcia politycznego i innowacji technologicznych w przyspieszaniu wdrażania OZE w budynkach (REN21 2023). Przyszłe badania będą prawdopodobnie koncentrować się na zoptymalizowaniu integracji wielu odnawialnych źródeł energii, a także na poprawie ich wydajności i obniżeniu kosztów systemów, tak aby OZE stały się bardziej dostępne i powszechne.

Koncepcja systemu RESHeat

RESHeat to system trigeneracyjny, co oznacza, że jednocześnie produkuje energię elektryczną, ciepło i chłodzenie z odnawialnych źródeł energii. Zintegrowane podejście jest kluczowe dla maksymalizacji efektywności energetycznej budynków, szczególnie w obszarach miejskich, gdzie zapotrzebowanie na energię jest wysokie, a przestrzeń na instalacje OZE

ograniczona. Koncepcja systemu RESHeat bazuje na kilku kluczowych technologiach, w tym na panelach fotowoltaicznych (PV), modułach fotowoltaiczno-termicznych (PV-T), pompach ciepła i sezonowym magazynowaniu energii cieplnej.

Trigeneracja i efektywność energetyczna

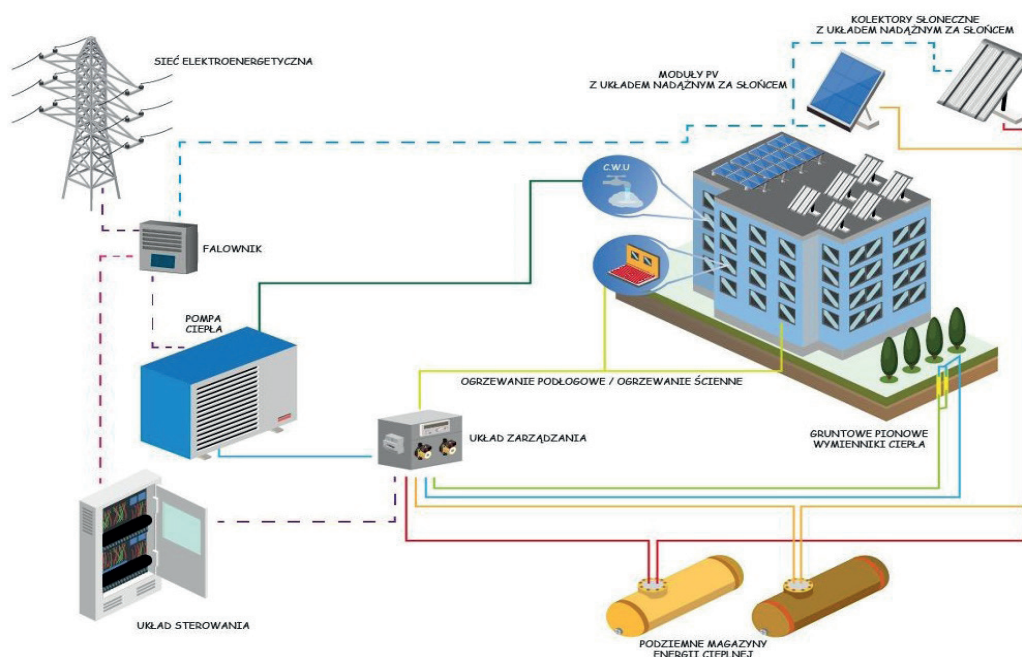
Trigeneracja, zwana też systemem łączonego chłodzenia, ogrzewania i energii (CCHP), jest zaawansowanym układem energetycznym, który zwiększa ogólną efektywność wykorzystania energii przez odzyskiwanie ciepła odpadowego z procesów produkcji energii (Yang et al. 2022). System RESHeat bazuje na tej koncepcji, wykorzystując OZE do produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodzenia. Pozwala to nie tylko zmniejszyć zależność produkcji energii elektrycznej i ciepła od paliw kopalnych, ale także znacznie obniżyć emisję dwutlenku węgla. Integracja paneli PV i modułów PV-T w systemie trigeneracyjnym umożliwia jednoczesną produkcję energii elektrycznej i cieplnej, którą można przechowywać i wykorzystywać w razie potrzeby.

Źródła energii odnawialnej i integracja energii słonecznej

Podstawowym źródłem systemu RESHeat jest energia słoneczna. Wykorzystywana jest ona za pomocą połączenia stacjonarnych i nadążnych za słońcem paneli PV oraz modułów PV-T. Moduły PV-T są szczególnie innowacyjne, ponieważ łączą funkcje konwencjonalnych paneli PV z kolektorami termicznymi, umożliwiając produkcję zarówno energii elektrycznej, jak i cieplnej (Yang et al. 2022). Efektywność systemu jest dodatkowo zwiększana dzięki zastosowaniu technologii śledzenia słońca, która optymalizuje kąt paneli PV, aby uchwycić maksymalną ilość promieniowania słonecznego w ciągu dnia.

Projekt i układ systemu RESHeat

System RESHeat jest modułowy, co pozwala dostosować go do specyficznych potrzeb różnych typów budynków i warunków klimatycznych (Rys. 1). Ta elastyczność jest kluczową cechą układu, ponieważ umożliwia jego wdrożenie w różnych lokalizacjach geograficznych, o różnym zapotrzebowaniu na energię.



Rys. 1. Schemat ideowy systemu RESHeat

Moduły fotowoltaiczne i fotowoltaiczno-termiczne

System RESHeat obejmuje zarówno stacjonarne panele PV, jak i nadążne za słońcem moduły PV-T. Stacjonarne panele PV są zazwyczaj montowane na dachach lub w otwartych przestrzeniach, gdzie mogą wychwytywać energię słoneczną przez cały rok. Z kolei moduły PV-T są wyposażone w systemy śledzenia słońca, które dostosowują kąt paneli do ścieżki słońca. To dynamiczne śledzenie znacznie zwiększa wydajność energetyczną w porównaniu ze stacjonarnymi panelami, co zostało wykazane w instalacjach pilotażowych (Yang et al. 2022).

Oprócz produkcji energii elektrycznej moduły PV-T wytwarzają energię ciepłą, która jest wykorzystywana do celów grzewczych (Oćłoń 2021). Energia ciepła może bezpośrednio służyć do ogrzewania wody użytkowej lub może być gromadzona w podziemnych systemach magazynowania energii cieplnej do późniejszego wykorzystania.

Integracja pomp ciepła

Pompa ciepła jest centralnym elementem systemu RESHeat, odpowiedzialnym zarówno za ogrzewanie, jak i chłodzenie budynku. System wykorzystuje pompę ciepła typu woda-woda, która jest wysoce efektywna i zdolna do pracy w szerokim zakresie temperatur. Pompa ciepła jest zintegrowana z modułami PV-T oraz obrotowymi kolektorami słonecznymi i systemem magazynowania energii termicznej, co pozwala na utrzymanie wysokiego współczynnika wydajności (COP) nawet w okresach niskiego promieniowania słonecznego (Oćłoń et al. 2024).

Jedną z kluczowych innowacji w omawianym systemie RESHeat jest wykorzystanie podziemnego magazynowania energii cieplnej (Oćłoń et al. 2024). System ten pozwala na magazynowanie nadmiaru energii cieplnej wytworzonej latem w dużych podziemnych zbiornikach, zazwyczaj wypełnionych wodą. Zimą energia ta jest wykorzystywana do wstępnego

podgrzewania wody zasilającej pompę ciepła, co zmniejsza ilość energii potrzebnej do ogrzewania budynku. Takie podejście nie tylko zwiększa ogólną efektywność systemu, ale także zapewnia optymalną pracę pompy ciepła przez cały rok (Yang et al. 2022).

Sezonowe magazynowanie energii cieplnej

Sezonowe magazynowanie energii cieplnej jest kluczową funkcjonalnością systemu RESHeat, umożliwiającą równoważenie produkcji i zużycia energii w ciągu roku. System magazynowania składa się z dużych podziemnych zbiorników, w których gromadzony jest nadmiar ciepła wytworzonego latem. Zbiorniki te są izolowane, aby zminimalizować straty ciepła i zimą zapewnić dostęp do zmagazynowanej energii (Yang et al. 2022).

Wykorzystanie magazynowania sezonowego pozwala systemowi RESHeat oddzielić produkcję energii od jej zużycia. Jest to szczególnie ważne w regionach o znaczących sezonowych wahaniami nasłonecznienia. Dzięki magazynowaniu nadmiaru ciepła latem system może zapewnić stałe ogrzewanie zimą, a tym samym zmniejszyć potrzebę korzystania z dodatkowych źródeł energii i zminimalizować wpływ na środowisko (Yang et al. 2022).

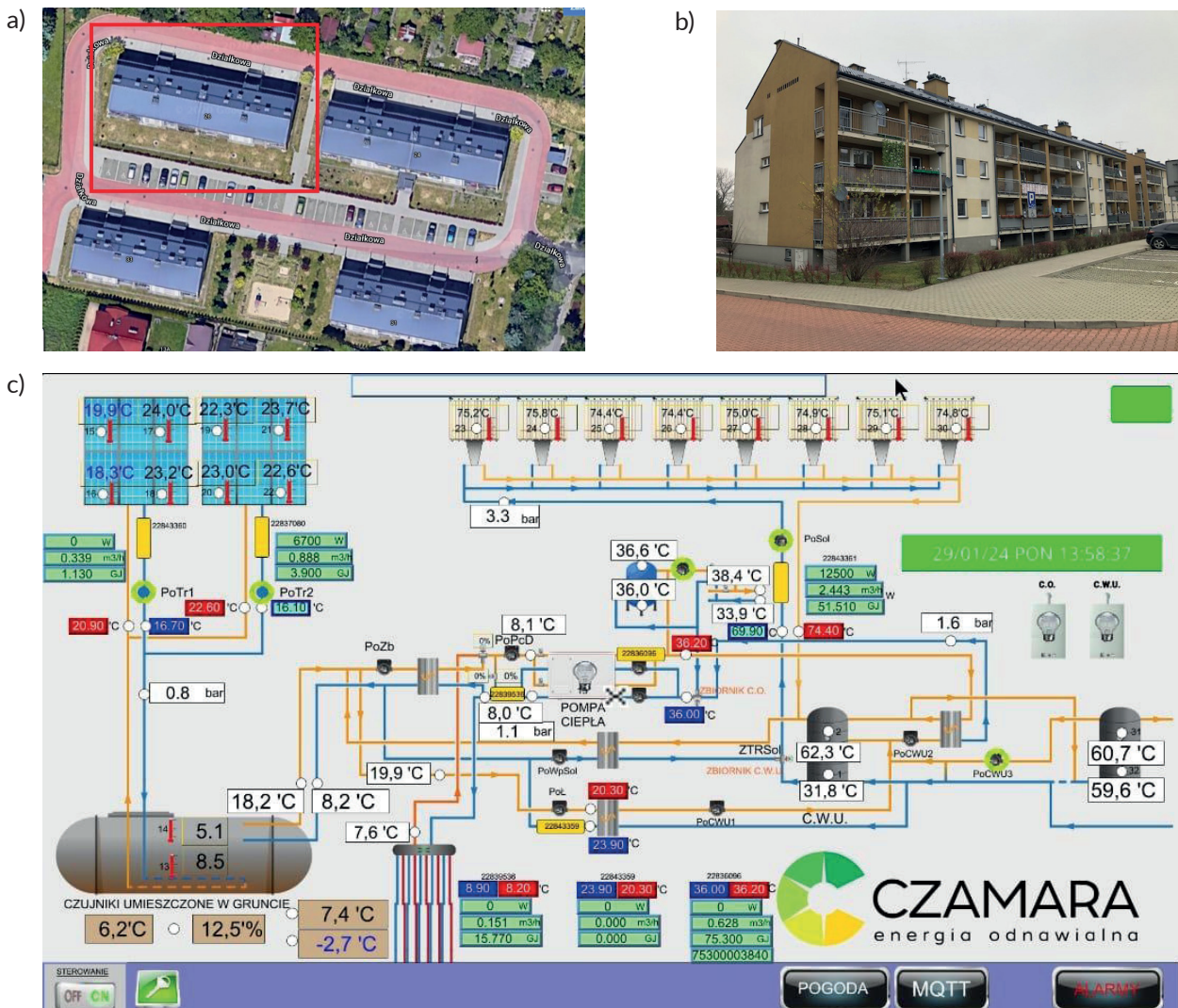
Cele projektu i metodologia

Projekt RESHeat ma kilka podstawowych celów, które kierują jego rozwojem i wdrażaniem. Jednym z nich jest **opracowanie wydajnego systemu grzewczego i systemu zasilania w ciepłą wodę użytkową**. Miałby on umożliwić pokrycie co najmniej 70% rocznego zapotrzebowania na energię budynków wielorodzinnych za pomocą odnawialnych źródeł energii. To ambitne przedsięwzięcie wymaga integracji wielu technologii OZE oraz optymalizacji wydajności systemu w różnych porach roku. Kolejnym celem jest **demonstracja skalowalności i efektywności ekonomicznej systemu**. Projekt obejmuje budowę instalacji demonstracyjnych

w Krakowie, Limanowej i na przedmieściach Rzymu. Miejsca te zostały wybrane tak, aby reprezentowały różne warunki klimatyczne i różne typy budynków, co pozwala zespołowi projektowemu na przetestowanie skalowalności i efektywności ekonomicznej systemu. Aby zapewnić zrównoważoną efektywność energetyczną systemu RESHeat, przeprowadzane są kompleksowe **analizy jego cyklu życia oraz oceny wpływu na środowisko**. Badania te określają wydajność systemu w całym jego cyklu życia, od instalacji po eksploatację i końcową likwidację. Ostatecznym celem projektu RESHeat jest przygotowanie systemu do **komercjalizacji i replikacji**. Zespół projektowy pracuje nad modelem biznesowym, który umożliwi szerokie wdrożenie systemu w całej Europie i poza nią.

Instalacja demonstracyjna na budynku ZBK w Krakowie

Instalacja w Krakowie znajduje się w budynku wielorodzinnym z 24 mieszkaniami (Rys. 2) stanowiącym własność Gminy Miejskiej Kraków i zarządzanym przez Zarząd Budynków Komunalnych w Krakowie (ZBK). Projekt instalacji został wykonany przez Politechnikę Krakowską jako zmodyfikowana koncepcja systemu SOPSAR firmy FHU Urządzenia Chłodnicze Czamara (system jest zainstalowany w siedzibie firmy Czamara Energia Odnawialna w Limanowej i został wykonany w ramach projektu NCBiR szybka ścieżka SOPSAR, którego beneficjentem jest firma FHU Urządzenia Chłodnicze Czamara).



Rys. 2. Budynek przy ul. Działkowej 26 w Krakowie, gdzie zainstalowany jest system RESHeat (a, b); panel sterujący systemem wykonany przez firmę Czamara Energia Odnawialna (c)

Instalację hydrauliczną (pompa ciepła, magazyn, odwierty) i elektryczną oraz automatykę systemu RESHeat, jak również integrację systemu RESHeat z aktualnym systemem grzewczym budynku wykonała firma Czamara Energia Odnawialna z Limanowej. Za wykonanie i instalację obrotowych kolektorów słonecznych oraz instalację trackerów PV-T odpowiadała firma ELFRAN. System zainstalowany w Krakowie obejmuje kombinację paneli PV (30 kW) i modułów PV-T (8 kW) z systemem nadążnym, który pozwala fotowoltaice śledzić ruch słońca i ustawiać się do niego w idealnym położeniu (Rys. 3), ośmiu obrotowych kolektorów słonecznych Solar 8 firmy ELFRAN (Rys. 4) oraz podziemnego systemu magazynowania energii cieplnej opracowanego przez firmę Czamara Energia Odnawialna (Rys. 5). Panele PV są zamontowane na dachu budynku, podczas gdy moduły PV-T są umieszczone na trackerach solarnych w sąsiadującej z budynkiem otwartej przestrzeni (Oćłoń et al. 2024).

Pompa ciepła została wykonana przez firmę OILON (model OILON RE 76, Rys. 6) i posiada moc 95 kW, a podziemny zbiornik magazynowania energii cieplnej opracowany przez firmę Czamara Energia Odnawialna ma objętość 50 m³. System jest zaprojektowany zarówno do zapewniania ogrzewania, jak i do przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budynku, a nadmiar ciepła jest magazynowany w podziemnym

zbiorniku (Oćłoń et al. 2024). Oprogramowanie do sterowania systemem zostało opracowane przez firmę Czamara Energia Odnawialna (Rys. 2c) w taki sposób, aby możliwie efektywnie zintegrować aktualny system grzewczy budynku (dwa kotły gazowe, jeden dla c.o. i drugi dla c.w.u) z systemem RESHeat. Pompa ciepła wykorzystuje jako dolne źródło ciepła zarówno podziemny magazyn energii, jak i pionowe odwierty (15 odwiertów o głębokości 100 m każdy).

Wyniki pracy systemu przedstawiono na wykresach w dalszej części artykułu. Rysunek 7 przedstawia łączne wyniki miesięczne z produkcji energii cieplnej z paneli PV-T (Rys. 3) oraz kolektorów słonecznych (Rys. 4). Należy podkreślić wysoką wydajność kolektorów obrotowych, które dostarczają znaczne ilości ciepła nawet w okresie zimowym.

Rysunek 8 przedstawia miesięczną produkcję energii elektrycznej generowaną przez ogniwa PV i trakery PV-T. W okresie od września 2023 r. do lipca 2024 r. wygenerowano 32 MWh energii elektrycznej. W miesiącach wrzesień–styczeń układ trackerów PV-T nie pracował w sposób ciągły i dlatego też jego osiągi są niższe. W sierpniu 2024 r. spodziewano się uzyskania z instalacji dodatkowych 5 MWh energii elektrycznej. Można więc założyć, że roczny uzysk energii elektrycznej (od września 2023 r. do sierpnia 2024 r.) z instalacji PV i PV-T powinien przekroczyć 37 MWh.



Rys. 3. Trakery PV-T firmy ELFRAN zainstalowane w Krakowie



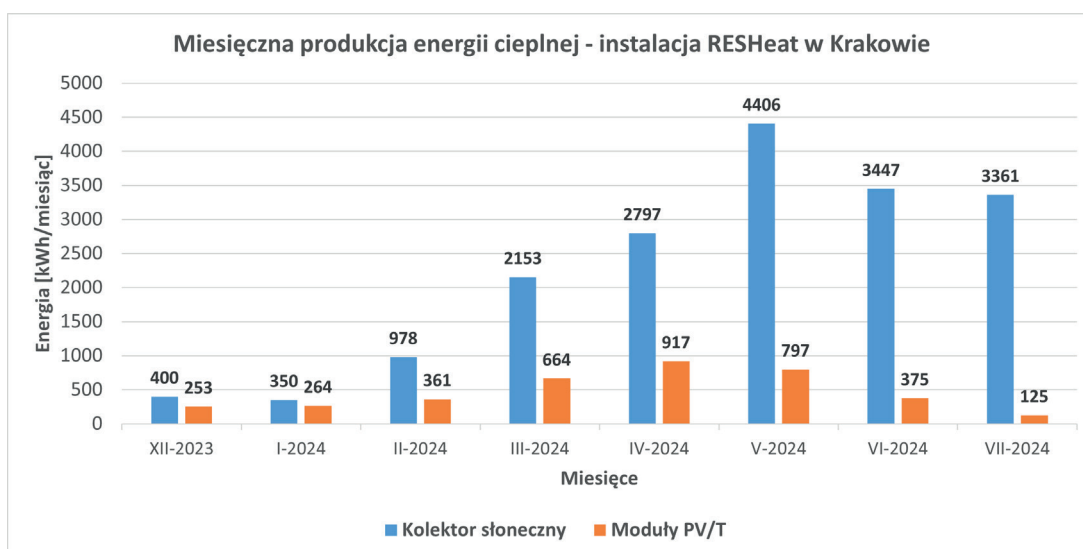
Rys. 4. Obrotowe kolektory słoneczne firmy ELFRAN umieszczone na instalacji demonstracyjnej w Krakowie



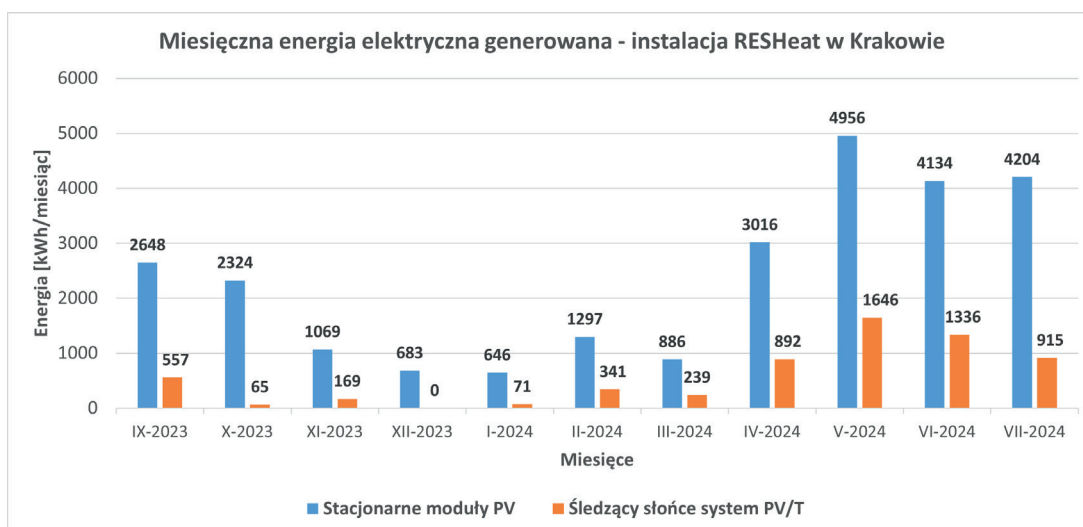
Rys. 5. Podziemny magazyn energii cieplnej o objętości 50 m³ opracowany przez firmę Czamara Energia Odnawialna



Rys. 6. Pompa ciepła OILON RE 76 umieszczona na instalacji demonstracyjnej w Krakowie



Rys. 7. Miesięczna produkcja energii cieplnej z paneli PV-T i kolektorów słonecznych



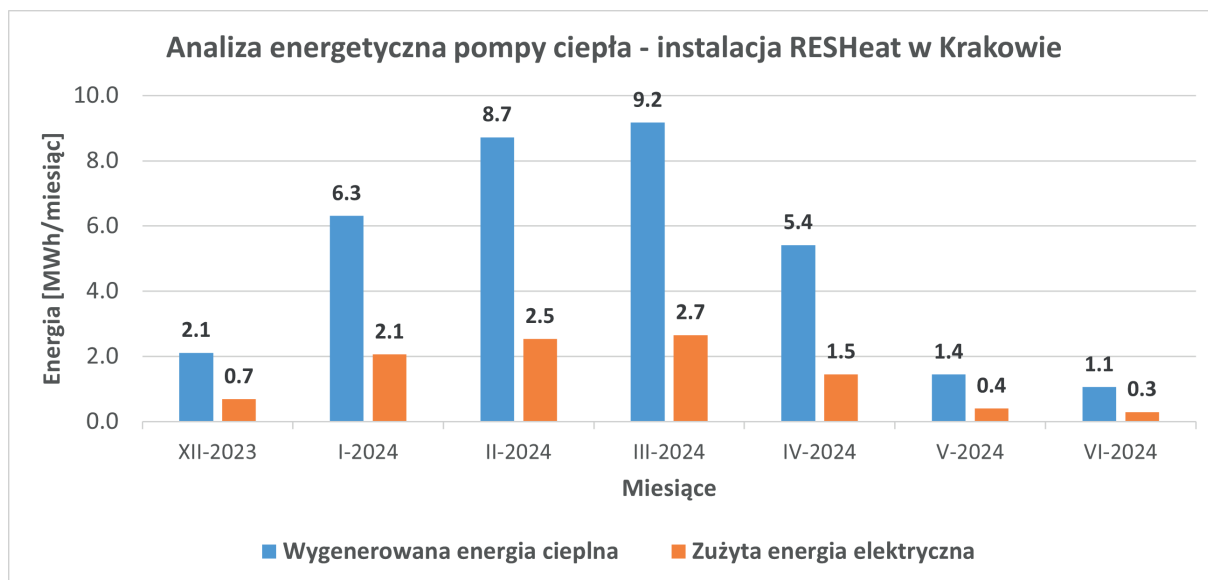
Rys. 8. Miesięczna produkcja energii elektrycznej z paneli PV-T i PV

Rysunek 9 przedstawia miesięczne zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła w porównaniu z ilością dostarczonej przez nią energii cieplnej do budynku.

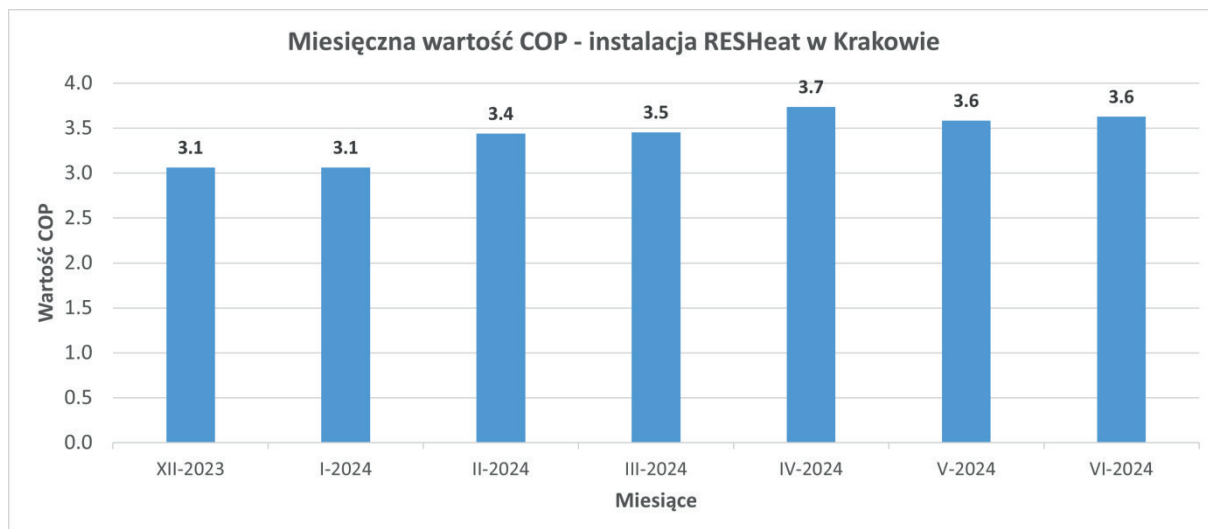
Jedną z kluczowych cech instalacji systemu RESHeat w Krakowie jest wykorzystanie pionowego wymiennika ciepła jako głównego dolnego źródła ciepła dla pompy. Wymiennik ten składa się z 15 odwiertów, każdy o głębokości 100 metrów, które zapewniają stabilne źródło energii cieplnej przez cały rok (Ocłóń et al. 2024). Wartość współczynnika COP pompy ciepła w poszczególnych miesiącach pracy

systemu RESHeat (w okresie od grudnia do czerwca) prezentuje Rys. 10.

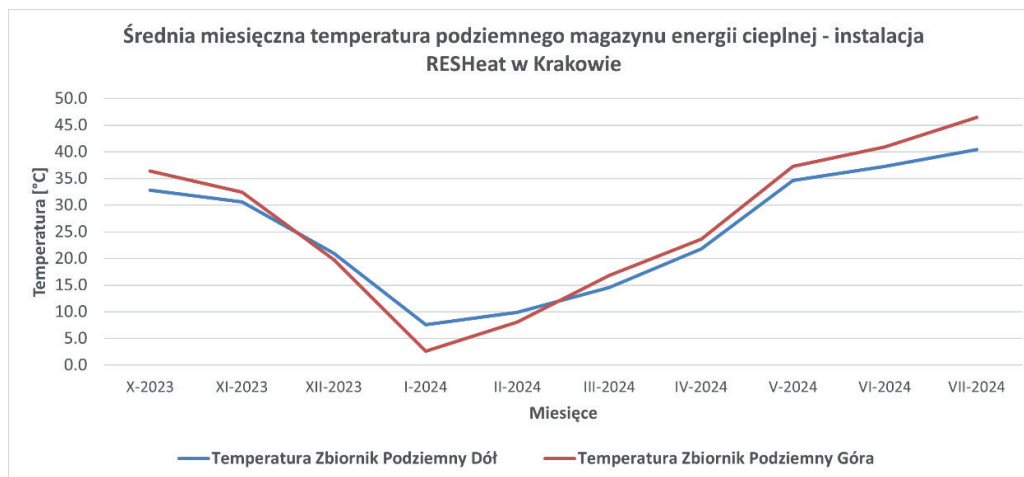
Współczynnik COP pompy ciepła uzyskuje wartości z zakresu od 3,1 do 3,7. Zwiększenie powierzchni grzewczej grzejników mogłoby poprawić uzyskane wartości. Dodatkowo, instalację systemu zakończono w listopadzie, dlatego magazyn ciepła nie został wystarczająco nagrany w okresie letnim (Rys. 11). W kolejnym sezonie grzewczym spodziewane są wyższe wartości współczynnika COP, gdyż magazyn ciepła zostanie nagrany do temperatury powyżej 50°C.



Rys. 9. Miesięczne zużycie energii elektrycznej przez pompę ciepła oraz energia cieplna dostarczona przez pompę ciepła do budynku



Rys. 10. Miesięczna wartość COP pompy ciepła



Rys. 11. Temperatura magazynu ciepła dla instalacji w Krakowie

Efektywność systemu

Z uwagi na zastosowanie odwiertów pionowych wspartych magazynem ciepła możliwe jest uzyskanie wysokich wartości współczynnika COP pompy ciepła. Obrótowe kolektory słoneczne firmy ELFRAN pracują efektywnie również w słoneczne dni okresu zimowego, przez co system RESHeat pokrywa do 70% zapotrzebowania budynku na energię cieplną. Wysoka efektywność wynika w dużej mierze z integracji pompy ciepła z modułami PV-T i systemem magazynowania energii cieplnej, przez co ilość energii elektrycznej produkowanej przez panele PV i PV-T jest wystarczająca do pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną pompy ciepła.

Wykorzystanie magazynowania sezonowego również okazało się wysoce efektywne. Gromadzenie nadmiaru ciepła latem i jego wykorzystanie zimą sprawia, że system działa z wyższą efektywnością niż konwencjonalne systemy grzewcze. Podejście to nie tylko zmniejsza zużycie energii, ale także obniża całkowity koszt ogrzewania i chłodzenia.

Wpływ na środowisko

System bazujący na odnawialnych źródłach energii emituje minimalną ilość gazów cieplarnianych. Wstępne analizy pokazują, że system RESHeat, w stosunku do konwencjonalnych systemów grzewczych, może

zredukować emisję dwutlenku węgla nawet o 70%. Integracja wielu technologii OZE pozwala maksymalnie wykorzystać dostępną energię i ograniczyć konieczność posiłkowania się jej dodatkowymi źródłami.

Dalsze implementacje systemu

Udana demonstracja systemu RESHeat w Krakowie potwierdza jego potencjał do dalszej implementacji. Modułowy projekt systemu i jego skalowalność sprawiają, że jest to wszechstronne rozwiązanie dla różnego typu budynków – od małych jednostek mieszkalnych, po duże obiekty wielorodzinne.

Komercjalizacja systemu RESHeat będzie wymagać opracowania specjalnego modelu biznesowego. Zespół projektowy bada obecnie różne opcje wprowadzenia systemu na rynek, w tym partnerstwa z firmami energetycznymi, zachęty rządowe i sprzedaż bezpośrednią do właścicieli budynków i deweloperów. Jednym z kluczowych atutów systemu RESHeat jest jego zdolność do redukcji kosztów energii w długim okresie. Dzięki pokryciu do 70% zapotrzebowania energetycznego budynku za pomocą źródeł odnawialnych system może znacząco obniżyć rachunki za energię i zmniejszyć zależność od paliw kopalnych. Czyni go to atrakcyjną opcją dla właścicieli budynków i deweloperów, którzy chcą poprawić efektywność energetyczną swoich nieruchomości i obniżyć koszty operacyjne.

Komercjalizacja systemu RESHeat będzie również zależna od regulacji i kwestii politycznych. W wielu regionach rządy wprowadzają surowsze przepisy dotyczące efektywności energetycznej budynków i oferują zachęty do wdrażania technologii OZE. Te trendy prawdopodobnie stworzą sprzyjające środowisko dla komercjalizacji systemu RESHeat. Na przykład Dyrektywa 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD) ustala ambitne cele dotyczące redukcji zużycia energii w budynkach i zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii (European Commission 2018). System RESHeat dobrze wpisuje się w te założenia, co czyni go atrakcyjnym narzędziem do zastosowania w nowych i istniejących budynkach w całej UE (Oćłóń et al. 2024).

Szerszy wpływ na sektor energetyczny

System RESHeat ma potencjał, aby odegrać znaczącą rolę w globalnym przejściu na „czystą” energię. Dostarczając skalowalne, efektywne i odnawialne rozwiązania dla ogrzewania, chłodzenia i produkcji energii elektrycznej, może pomóc zmniejszyć ślad węglowy środowiska budowanego i przyczynić się do osiągnięcia międzynarodowych celów klimatycznych. Adaptacja systemu RESHeat może również mieć szersze skutki gospodarcze i społeczne. Dzięki redukcji kosztów energii i poprawie bezpieczeństwa energetycznego system może wspierać rozwój zrównoważonych społeczności i przyczyniać się do wzrostu gospodarczego. Ponadto szerokie wdrożenie technologii OZE, takich jak system RESHeat, może stworzyć nowe miejsca pracy w sektorze zielonej energii, wspierając dalsze przejście na gospodarkę niskoemisyjną.

Wnioski

Projekt RESHeat stanowi znaczący krok w kierunku integracji technologii OZE dla systemów energetycznych

budynków. Łącząc energię słoneczną, pompy ciepła i sezonowe magazynowanie energii cieplnej, system RESHeat umożliwia zaspokojenie potrzeb energetycznych budynków mieszkalnych, publicznych oraz komercyjnych.

Udana demonstracja systemu w Krakowie podkreśliła jego potencjał do szerszego wdrożenia w budynkach wielorodzinnych. W czasie gdy instytucje rządowe i przedsiębiorstwa nadal priorytetowo traktują zrównoważony rozwój i redukcję śladu węglowego, system RESHeat jest dobrze przygotowany, aby stać się narzędziem pomocnym w globalnym przechodzeniu na czystą energię.

Podziękowania

Badania przedstawione w artykule są elementem realizacji projektu RESHeat, który otrzymał finansowanie z programu badań i innowacji Unii Europejskiej HORIZONT 2020 w ramach umowy o dotację nr 956255.

Bibliografia:

- European Commission (2018), *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en [dostęp: 28.08.2024].
- Hussain M.I., Kim J.-T. (2020), *Performance Evaluation of Photovoltaic/Thermal (PV/T) System Using Different Design Configurations*, "Sustainability" 12 (22): 9520.
- International Energy Agency (IEA) (2022), *Renewable Energy Market Report*, <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022> [dostęp: 28.08.2024].
- Lund H. (2014), *Renewable Energy Systems: A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions*, Elsevier.
- Oćłóń P. (2021), *Renewable Energy Utilization Using Underground Energy Systems*, Lecture Notes in Energy, Springer Nature, Cham.
- Oćłóń P., Chin H.H., Kozak-Jagieta E., Taler J., Ścisłowicz F., Czamara M. (2023), Photovoltaic-Thermal Waste Heat Integration with Underground Thermal Energy Storage and Heat Pump Systems, [w:] J.J. Klemeš (ed.), *Handbook of Process Integration (PI). Minimisation of Energy and Water Use, Waste and Emissions*, Second Edition, Woodhead Publishing Series in Energy, Woodhead Publisher: 1017–1042.
- Oćłóń P., Ojczyk G., Czamara M., Franczak M., Drzyżga A., Yildirim A. M., Vallati A., Di Mateo M. (2024), *RESHeat: Renewable Energy Trigeneration System for Residential and Commercial Buildings*, SpliTech 2024 Conference Presentation.
- Panwar N.L., Kaushik S.C., Kothari S. (2011), *Role of Renewable Energy Sources in Environmental Protection: A Review*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 15 (3): 1513–1524.

REN21 (2023), *Renewables 2023 Global Status Report. A Comprehensive Annual Overview of the State of Renewable Energy*, <https://www.ren21.net/gsr-2023/> [dostęp: 28.08.2024].

Yang L., Entchev E., Ghorab M., Lee E.-J., Kang E.-C., Kim Y.-J., Nam Y., Bae S., Kim K. (2022), *Advanced Smart Trigeneration Energy System Design for Commercial Building Applications – Energy and Cost Performance Analyses*, "Energy" 259: 124890.

Yildirim M.A., Bartyzel F., Vallati A., Woźniak M.K., Octoń P. (2023), *Efficient Energy Storage in Residential Buildings Integrated with RESHeat System*, "Applied Energy" 335: 120752.

RESHeat system: integration of renewable energy sources for sustainable building energy solutions

Abstract: The paper presents the RESHeat system, which combines renewable energy sources (RES) for the production of electricity, heat, and cooling for multifamily buildings, with a focus on sustainable energy solutions. The system, developed under the Horizon 2020 program, integrates technologies such as photovoltaic (PV) panels, photovoltaic-thermal (PV-T) modules, heat pumps, and seasonal thermal energy storage (STES). Its main goal is to reduce greenhouse gas emissions and ensure energy efficiency in buildings. The article discusses details of a demonstration installation in Kraków, where the system achieved high efficiency, providing up to 70% of the energy required for heating and cooling the building. The RESHeat system has significant potential for commercialization and scaling, making it a promising solution for heating and electricity production in multifamily buildings.

Keywords: renewable energy sources, energy efficiency, seasonal storage of thermal energy, solar energy

Prof. dr hab. inż. Paweł Octoń

Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Energetyki
pawel.octon@pk.edu.pl



Marek Czamara

Czamara Energia Odnawialna



Franciszek Ścisłowicz

ELFRAN Franciszek Ścisłowicz



Agnieszka Drzyzga

Czamara Energia Odnawialna



Michał Franczak

Czamara Energia Odnawialna



Mehmet Ali Yildirim

Czamara Energia Odnawialna



Dr inż. Piotr Cisek

Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Energetyki



Dr inż. Grzegorz Ojczyk

Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Energetyki



Marcin Paradyż

Zarząd Budynków Komunalnych w Krakowie

