



Streszczenie - Projekt badawczy „Budownictwo IR”

Potencjał systemów grzewczych na podczerwień dla budynków mieszkalnych o wysokiej efektywności energetycznej

Dnia 1 kwietnia 2017 roku rozpoczął się projekt szkoły wyższej HTWG w Konstancji, wydział efektywności energetycznej budynków, który trwał 30 miesięcy.

Podstawowym pytaniem było, czy system grzewczy na podczerwień może być ekologiczną i ekonomiczną alternatywą dla pomp ciepła w dobrze izolowanych budynkach mieszkalnych.

W badaniach wykorzystano trzy metody naukowe:

1. monitoring naukowy pilotażowego projektu budownictwa mieszkaniowego K76 w miejscowości Darmstadt;
2. przeprowadzanie pomiarów w pomieszczeniach laboratoryjnych;
3. stworzenie modeli symulacji pomieszczeń laboratoryjnych.

W toku projektu udało się odpowiedzieć na kluczowe pytania w temacie ogrzewania na podczerwień.

Poniższe opracowanie zawiera krótki przegląd metod badawczych oraz najważniejszych uzyskanych wyników.

Aby ułatwić zrozumienie treści, na wstępie opisano podstawy termodynamiczne promieniowania podczerwonego i inne ważne parametry.

Każde ciało w temperaturze powyżej zera absolutnego ($-273,15^{\circ}\text{C}$) jest źródłem fal elektromagnetycznych.

Nasze ciało odczuwa przez skórę pewną część tych fal elektromagnetycznych, tak zwane promieniowanie podczerwone, jako ciepło.

Pomiędzy dwoma ciałami zawsze odbywa się wymiana promieniowania. Jeśli jedno z ciał jest cieplejsze, oddaje ono tę energię w formie promieniowania innemu ciału = moc wypromieniowana.

Moc wypromieniowana (tj. w jakim stopniu dane ciało może oddawać ciepło w formie promieniowania cieplnego) zależy od różnych czynników: powierzchni ciała promieniującego i napromieniowanego, temperatury zarówno ciała promieniującego, jak i napromieniowanego oraz stopnia emisji ciała promieniującego i napromieniowanego.

W przypadku ogrzewania na podczerwień temperatura powierzchni emitującej ciepło odgrywa decydującą rolę. Im wyższa temperatura powierzchni, tym wyższa moc wypromieniowana na metr kwadratowy. Przy niskiej temperaturze powierzchni ogrzewanie na podczerwień może generować tę samą moc wypromieniowania, jednak powierzchnia oddająca ciepło musi być wtedy proporcjonalnie większa.

Projekt wspierany przez:





Mocy wypromieniowania nie można mylić z efektywnością emisyjną ogrzewania na podczerwień.

Efektywność emisyjna to wielkość określająca właściwości promieniowania ogrzewania na podczerwień i opisuje, ile procent doprowadzonej mocy elektrycznej oddawane jest w formie promieniowania.

Każde ogrzewanie na podczerwień oddaje ciepło w formie promieniowania i konwekcji. Udział promieniowania należy maksymalizować, by uzyskać wysoką efektywność emisyjną. Zasadniczo można to osiągnąć poprzez konstrukcję i rozmieszczenie ogrzewania.

Aktualnie nie ma żadnych norm, ale przyjmuje się, że ogrzewanie na podczerwień powinno mieć efektywność emisyjną na poziomie co najmniej 51%.

Panele grzewcze na podczerwień emitują promieniowanie dyfuzyjnie przy kącie rozprzestrzeniania ciepła 120° , a intensywność promieniowania zależy od odległości ciała wypromieniowującego od napromieniowanego. Intensywność promieniowania maleje wraz z rosnącą odległością.

1. Monitoring naukowy pilotażowego projektu budownictwa mieszkaniowego K76 w miejscowości Darmstadt

W przypadku domu wielorodzinnego K76 w Darmstadt, który oddano latem 2017 roku, chodzi o budownictwo mieszkaniowe, w którym system techniczny budynku powstaje przy niewielkim nakładzie materiałowym i zapotrzebowaniu przestrzennym. Powinien on być zdecentralizowany, niewymagający konserwacji, elastyczny i żywotny.

Z tego powodu przy doborze ogrzewania wybór padł na system grzewczy na podczerwień, przy czym w zależności od wielkości mieszkania zamontowano pod sufitem różnej wielkości panele, które można elastycznie regulować za pośrednictwem zainstalowanych w pomieszczeniach termostatów.

Podgrzewanie wody odbywa się w poszczególnych mieszkaniach w podgrzewaczu przepływowym, a instalacja fotowoltaiczna 36 kWh zapewnia część zapotrzebowania własnego (13% na ogrzewanie podczerwiecią pochodzi z instalacji fotowoltaicznej). Aby zminimalizować zużycie energii, zamontowano instalację wentylacyjną z odzyskiwaniem ciepła.

1.360 m² powierzchni mieszkalnej zapewnia miejsce dla 40 mieszkańców, w 15 mieszkaniach o powierzchni od 50 do 120 m².

Badanie monitorujące opiera się z jednej strony na danych z pomiarów zużycia w poszczególnych mieszkaniach w dwóch okresach grzewczych (2017/18 i 2018/19), a z drugiej strony na ankiecie dotyczącej komfortu, przeprowadzonej wśród mieszkańców.

Przegląd najważniejszych wyników pomiarów:

	Zgodnie z oblicze-	Dane OG 2017/18	Dane OG
Zapotrzebowanie na energię	36,9kWh/m ² a	32,3kWh/m ² a	28,6kWh/m ² a

(z dopasowaniem do warunków pogodowych)

Projekt wspierany przez:





Całkowite zapotrzebowanie na energię dla ogrzewania podczerwień, wentylacji i wody ciepłej wyniosło wyraźnie mniej niż wartość obliczona w rozporządzeniu EnEV.

Redukcja zapotrzebowania na energię z pierwszego okresu grzewczego na drugi mogła mieć związek z osuszaniem masy budynku. Zoptymalizowano również błędy użytkowników w obsłudze instalacji wentylacji czy ustawieniach termostatów w drugim roku użytkowania, co skutkowało dalszą redukcją zużycia prądu na ogrzewanie.

W toku projektu pomyślano o innych możliwościach obniżenia zapotrzebowania na energię, jak na przykład zwiększenie udziału zużycia prądu z własnej instalacji fotowoltaicznej.

Przestawienie się z podgrzewania wody w podgrzewaczach przepływowych na zdecentralizowane kotły z zasobnikiem czy pompy ciepła wody użytkowej z zasobnikiem wody ciepłej także mają potencjał redukcji, ponieważ zastosowane podgrzewacze przepływowe często powodują wzrosty szczytowego zapotrzebowania przy braku promieniowania słonecznego.

Również zastosowanie zasobnika energii mogłoby się przyczynić do zwiększenia stopnia zasilania własnego z instalacji fotowoltaicznej.

Komfort systemu grzewczego na podczerwień dla użytkownika zbadano w anonimowej ankiecie online w różnych momentach w trzech okresach grzewczych. Potwierdzono przy tym najważniejsze hipotezy:

- Przy ogrzewaniu podczerwień można uzyskać komfortowy klimat w pomieszczeniach.
- Zastosowana technika sterowania jest łatwa w obsłudze dla użytkownika.
- Nieco niższą temperaturę powietrza w pomieszczeniu, niż w inaczej ogrzewanym mieszkaniu sklasyfikowano jako komfortową.

W oparciu o badania naukowe realnego obiektu K76 można podsumowując stwierdzić, że koncepcja „bezpośredniego ogrzewania elektrycznego” w ocieplonych nowych budynkach funkcjonuje bardzo dobrze.

2. Pomiar laboratoryjne

Na byłym terenie koszar z lat 60tych w budynku mieszkalnym wydzielono 4 identyczne pomieszczenia do przeprowadzenia pomiarów laboratoryjnych o powierzchni 32,8m² każde. Pomieszczenia wyposażono w różne źródła ciepła.

Zabudowano je w następujący sposób:

- Pomieszczenie 1: wodne ogrzewanie podłogowe (pompa ciepła powietrze-woda o mocy 7,6 kW firmy Buderus)
- Pomieszczenie 2: elektryczne ogrzewanie podłogowe Devi/Danfoss (moc 2,8 kW)
- Pomieszczenie 3: ogrzewanie na podczerwień firmy Redwell (2 panele o mocy 1,3 kW każdy) - montaż podsufitowy
- Pomieszczenie 4: ogrzewanie na podczerwień firmy Redwell (2 panele o mocy 1,3 kW każdy) - montaż ścienny (strona wewnętrzna ściany zewnętrznej)

Projekt wspierany przez:



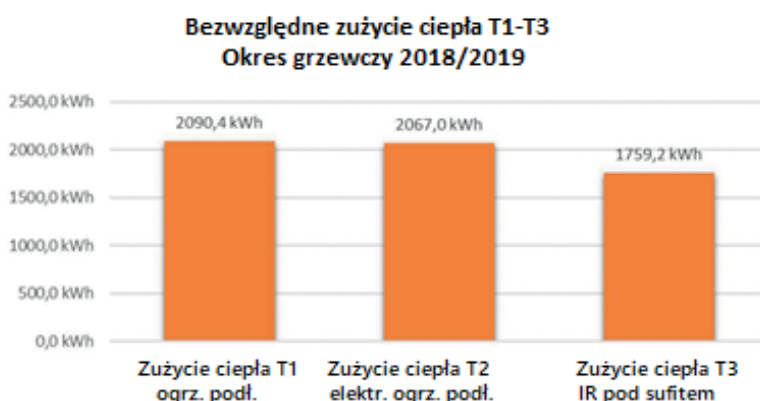


Wszystkie pomieszczenia wyposażono w zdecentralizowane wentylatory pojedyncze, żeby uzyskać wymianę powietrza, ponieważ pomieszczenia nie były zamieszkałe.

W pomieszczeniach laboratoryjnych i wokół nich zastosowano system pomiarów i regulacji o szerokim spektrum, żeby móc zbadać różne systemy ogrzewania i ich sposób działania w czterech fazach pomiarów.

Dzięki temu udało się uzyskać wnioski, dotyczące zapotrzebowania na prąd różnych źródeł ciepła w warunkach normalnej eksploatacji.

Zużycie ciepła zamontowanych pod sufitem paneli firmy Redwell wynosiło we wszystkich fazach pomiarów mniej niż zapotrzebowanie pomp ciepła/ogrzewania podłogowego, co przedstawiono na wykresie 68.



Wykres 68: Zużycie ciepła pomieszczenia T1-T3, etapy pomiarów 1-4, okres grzewczy 2018/2019

Rozmieszczenie i histereza regulacji mają znaczący wpływ na zużycie prądu i ciepła ogrzewania na podczerwień.

Na podstawie pomiarów ustalono, że dla ogrzewania na podczerwień korzystny jest montaż pod sufitem (niższy udział konwekcji), histereza wynosi 0,5 K a wentylacja pomieszczenia odbywa się za pośrednictwem instalacji wentylacyjnej z odzyskiwaniem ciepła.

Temperatura powierzchni we wnętrzu pomieszczenia przy ogrzewaniu na podczerwień.

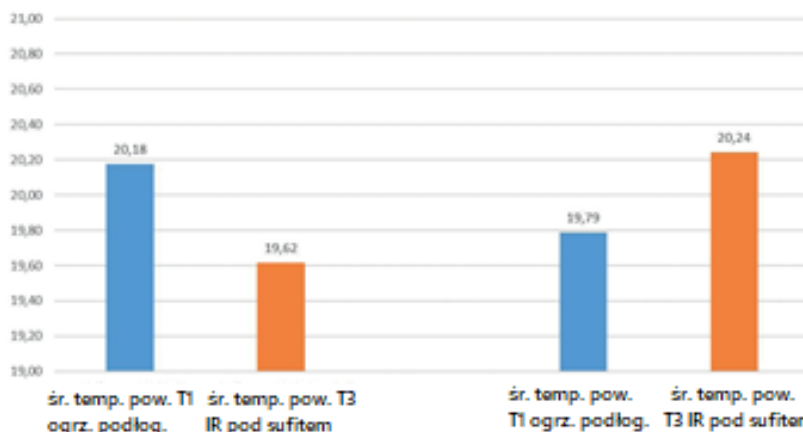
Pomiary pomieszczeń laboratoryjnych wykazały, że średnia temperatura powierzchni przegród w pomieszczeniu z dwoma panelami firmy Redwell wraz z powierzchniami paneli jest średnio o 0,6 K wyższa niż w pomieszczeniu z ogrzewaniem podłogowym. Wyniki te potwierdziły się również w pomiarach temperatury powierzchni wewnętrznych w obiekcie K76.

Projekt wspierany przez:





Porównanie temperatur powietrza/powierzchni T1 (ogrzewanie podłogowe) / T3 (IR pod sufitem) - 08.03.19 - 14.03.19 (w nocy)

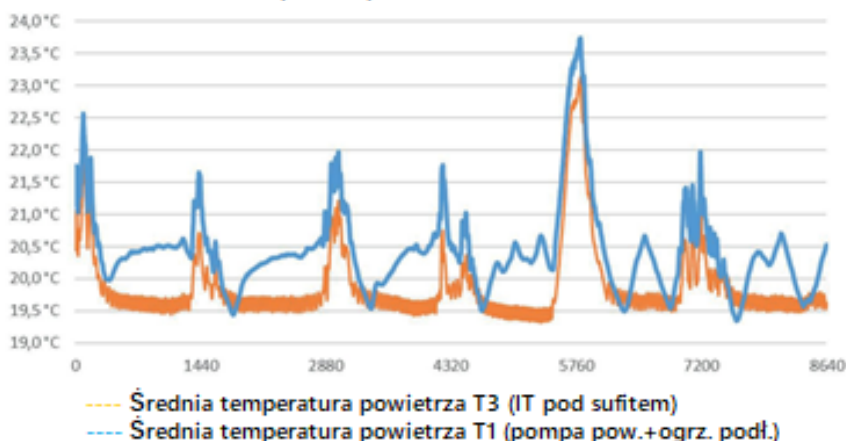


Wykres 74: Porównanie temperatur powietrza i powierzchni nocą pomiędzy pomieszczeniem T1 (pompa wody/ogrzewanie podłogowe) a pomieszczeniem T3 (IR pod sufitem) w etapie pomiarów 3, okres grzewczy 2018/2019

Temperatura powietrza przy ogrzewaniu na podczerwień.

W przeciwieństwie do temperatury powierzchni przegród, temperatura powietrza w pomieszczeniu ogrzewanym panelami firmy Redwell wynosiła średnio o ok. 0,6 K mniej niż temperatura powietrza w pomieszczeniu z ogrzewaniem podłogowym. Przy ogrzewaniu na podczerwień można było obniżyć temperaturę pomieszczenia przy zachowaniu takiego samego komfortu, a także zmniejszyć straty ciepła wentylacji, co z kolei pozwala zaoszczędzić na kosztach energii.

Porównanie temperatur powietrza T1/T3 08.03.19 - 14.03.19



Wykres 85: Przebieg temperatury powietrza w pomieszczeniu T1 (pompa ciepła/ogrz. podł.) / T3 (IR pod sufitem) przy regulacji wg temperatury operacyjnej, okres pomiarów 08.03.19 - 14.03.19

Projekt wspierany przez:





Oszczędności dzięki elastycznej regulacji ogrzewania na podczerwień.

Panele firmy Redwell umożliwiały szybką regulację temperatury w pomieszczeniu, w przeciwieństwie do powolnego ogrzewania podłogowego.

Podczas przeprowadzanych pomiarów, różnica w zużyciu energii pomiędzy ogrzewaniem podłogowym, a ogrzewaniem na podczerwień firmy Redwell wyniosła ponad 15% (patrz tabela 21).

Obliczona różnica w zużyciu ciepła pomiędzy pomieszczeniem T1 (pompa ciepła/ogrzewanie podłogowe) a pomieszczeniem T3 (IR pod sufitem)			
	Pomieszczenie T1	Pomieszczenie T3	Różnica
Różnica z powodu niższej temperatury powietrza w nocy w pomieszczeniu T3	10,17 kWh	9,82 kWh	0,36 kWh
Różnica z powodu niższych strat transmisji ciepła w pomieszczeniu T3	85,18 kWh	68,49 kWh	16,69 kWh
Różnica z powodu wyższej nadmiernej temperatury w ciągu dnia T1	25,86 kWh	22,49 kWh	3,38 kWh
Suma obliczonych różnic w zużyciu ciepła			20,42 kWh
Zmierzona różnica w zużyciu ciepła			21,90

Tabela 21: Obliczone różnice w zużyciu ciepła pomiędzy pomieszczeniem T1 (pompa ciepła/odgrzewanie podłogowe) a pomieszczeniem T3 (IR pod sufitem)

Projekt wspierany przez:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Efektywność emisyjna paneli na podczerwień.

Ponieważ efektywność emisyjna ogrzewania na podczerwień określa, ile procent doprowadzanej energii elektrycznej oddawanych jest w formie wypromieniowanego do pomieszczenia ciepła, stanowi ona decydującą wielkość dla wydajności systemu ogrzewania podczerwienią.

Pomiary różnych dostępnych na rynku paneli, dały duże różnice w efektywności emisyjnej, wynoszące od 40 do 70%. Brakuje jednak jeszcze norm w tym zakresie, zatem jakość ogrzewania podczerwienią określa ogólna definicja.

3. Symulacje pomieszczeń laboratoryjnych

Ponieważ pomieszczenia laboratoryjne miały kilka szczególnych cech (np. były skierowane na południe), wykonano cyfrowy model pomieszczeń w modelu symulacyjnym budynku, aby móc przezniesić zmierzone wartości na budynek standardowy.

Model symulacyjny przetestowano w trzech różnych etapach walidacji pod kątem tego, czy prawidłowo oddają rzeczywistość.

W modelu symulacyjnym zbadano następujące zagadnienia:

Straty na wymianie ciepła przy ogrzewaniu na podczerwień.

Pomiary w pomieszczeniach laboratoryjnych, jak również symulacje, pokazują, że straty wodnego ogrzewania podłogowego są o ok. 50% wyższe w porównaniu do zastosowanego systemu grzewczego Redwell. Zdolność ogrzewania podczerwienią do szybkiej reakcji i niewielka bezwładność cieplna przemawiają tu zdecydowanie na korzyść ogrzewania podczerwienią.

Life Cycle Assessment (LCA) i Life Cycle Costing (LCC) w okresie ponad 50 lat - Porównanie ogrzewania na podczerwień i pomp ciepła.

Również w całościowej ocenie cyklu życia, ponad 50 lat, z ekologicznego punktu widzenia, włączając w to produkcję, utrzymanie i utylizację, system grzewczy na podczerwień, przede wszystkim w kombinacji z instalacją fotowoltaiczną, daje wyraźnie lepsze wskaźniki niż konwencjonalny system pomp ciepła (patrz wykres 155).

Projekt wspierany przez:



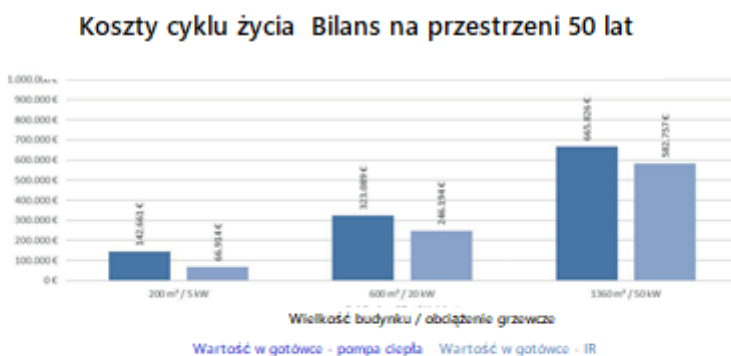


Wykres 155: Zmiany bilansu CO2 przy zmniejszeniu wielkości budynku

	200 m ² / 5 kW	600 m ² / 20 kW	1360 m ² / 50 kW
Pompa ciepła	21,3 kg CO2/m ² a	21,3 kg CO2/m ² a	21,3 kg CO2/m ² a
Ogrzewanie IR + FW	-18,6 kg CO2/m ² a	1,5 kg CO2/m ² a	6,8 kg CO2/m ² a
Odchylenie IR+FW	-4088%	-1413%	-313%

Przy ocenie ekonomiczności, wariant z pompą ciepła generuje wyższe koszty inwestycji, eksploatacji i naprawy, ale za to niższe koszty zużycia. W przypadku systemu na podczerwień w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną (przykład K76) odpowiednio wyraźnie zmniejszają się koszty eksploatacji przy takich samych lub niższych kosztach inwestycji. Tym samym wariant ten jest w okresie obliczeniowym 50 lat korzystniejszy kosztowo niż koncepcja samej pompy ciepła.

Symulacje pozwalają wnioskować, że koncepcja z systemem grzewczym na podczerwień firmy Redwell z instalacją fotowoltaiczną jest wyraźnie bardziej ekonomiczna i ekologiczna. Im mniejszy i lepiej ocieplony jest budynek, tym te zalety są większe (patrz wykres 154).



Wykres 154: Zmiany gospodarności przy zmniejszeniu wielkości budynku

	200 m ² / 5 kW	600 m ² / 20 kW	1360 m ² / 50 kW
Wartość pompa ciepła	142.661 €	323.089 €	665.826 €
Wartość ogrzewanie IR	66.914 €	246.194 €	582.757 €
Odchylenie IR	-53%	-24%	-12%

Projekt wspierany przez:





Czy ogrzewanie podczerwienią może być alternatywą dla systemów pomp ciepła?

Korzyści płynące z ogrzewania na podczerwień firmy Redwell (instalacja, konserwacja, obsługa, elastyczność, koszty inwestycji itd.) powodują, że ogrzewanie oparte na prądzie - dzięki lokalnej produkcji odnawialnej - doskonale wpisuje się w przełom energetyczny. Nowe domy jedno- i wielorodzinne czy przestawienie istniejących budynków na system grzewczy na podczerwień firmy Redwell w kombinacji z systemem fotowoltaicznym mogą przyspieszyć rozwój energii odnawialnej. Ponadto kombinacja ta wiąże się z mniejszym obciążeniem finansowym właścicieli niż zastosowanie systemu pomp ciepła. Badania pokazują również, że system grzewczy na podczerwień wraz z systemem fotowoltaicznym, ze zoptymalizowaną na zużycie energii regulacją, może w okresie grzewczym osiągnąć taki sam albo niższy pobór prądu z sieci niż w przypadku systemu pomp ciepła.

4. Podsumowanie

Projekt „Budownictwo IR”, w którym firma Redwell Manufaktur GmbH brała udział jako partner, wykazał we wszechstronnych badaniach kilka korzyści ogrzewania podczerwienią w porównaniu do ogrzewania podłogowego.

Pompa ciepła jest wprawdzie wydajniejszym systemem do generowania ciepła i ma niższe zapotrzebowanie na prąd, ale ogrzewanie na podczerwień cechuje się wyraźnie niższymi kosztami inwestycji. System grzewczy na podczerwień firmy Redwell w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną pozwala na osiągnięcie zysków dzięki równomiernemu pokryciu zapotrzebowania własnego w zimie i nadmiarom prądu w lecie.

Kombinacja ogrzewania podczerwienią jako źródła ciepła z instalacją fotowoltaiczną jako odnawialnym źródłem energii powinna stać się standardem, aby jak najlepiej wykorzystać ekologiczne i ekonomiczne zalety obu systemów. Malejące ceny instalacji fotowoltaicznych mogą jeszcze zwiększyć te korzyści w przyszłości. Jeśli dodatkowo ogrzewanie wody odbywa się za pośrednictwem kotła elektrycznego lub zdecentralizowanych pomp ciepła wody użytkowej w kombinacji z zasobnikiem energii, system na podczerwień wraz ze swoją elastyczną regulacją niesie ze sobą duży potencjał.

Projekt wspierany przez:

