

# Analiza koncepcyjna

## rozwiązania systemu ogrzewania w budynku energooszczędnym

*Conceptual analysis of heating systems in an energy-efficient building*

**Budynki energooszczędne o bardzo dobrej izolacji cieplnej oraz niskim współczynniku projektowego obciążenia cieplnego wymagają szczególnego podejścia do kwestii doboru systemu grzewczego. Decydując się na rozwiązania oparte na pompach ciepła, koncepcje grzewcze należy porównać pod kątem efektywności energetycznej oraz nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.**

Unia Europejska na przestrzeni lat uchwaliła szereg regulacji prawnych dążących do ograniczenia zużycia energii w budynkach mieszkalnych. Największe zmiany wprowadziła dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej [1] – zgodnie z jej postanowieniami budowane od 2021 r. budynki muszą charakteryzować się możliwe niskim zapotrzebowaniem na energię.

W Polsce zmiany te są wprowadzane poprzez systematyczne zaostrożenie warunków technicznych [2]. Obniżane są kryteria dotyczące granicznego współczynnika przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych oraz minimalnego wskaźnika energii pierwotnej EP, odnoszącego się do rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną do celów ogrzewania, wentylacji i przygotowania wody użytkowej.

Coraz ostrzejsze przepisy wywołują wzrost zainteresowania budownictwem energooszczędnym. W budynkach takich współczynnik przenikania ciepła U dla ścian zewnętrznych nie powinien przekraczać 0,15 W/(m<sup>2</sup>K). Istotne jest również, aby w budynku nie została przekroczona graniczna wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną 70 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Na uzyskanie standardu energooszczędnego wpływają aspekty architektoniczne (bryła, konstrukcja, szczelność,

usytuowanie pomieszczeń względem stron świata czy odpowiednia izolacja przegród) oraz wyposażenie techniczne. Zastosowanie znajdują tutaj rozwiązania grzewcze o wysokiej sprawności, korzystające w dużym stopniu z energii odnawialnej, z możliwością regulacji centralnej lub miejscowej i systemy wentylacyjne z odzyskiem ciepła.

Z punktu widzenia inwestora do podjęcia decyzji konieczne jest przeprowadzenie analizy kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. W artykule przedstawiono koncepcję rozwiązania systemu ogrzewania i przygotowania c.w.u. dla budynku jednorodzinny w standardzie energooszczędnym.

### Opis analizowanego budynku

Analizie poddano budynek mieszkalny jednorodzinny zlokalizowany w Zakopanem, przeznaczony pod wynajem turystom w okresie całorocznym. Wykonany został w konstrukcji szkieletowej drewnianej. Jest to budynek wolnostojący, niepodpiwniczony, składający się z kondygnacji parteru oraz poddasza w kubaturze dachu. Lokalizacja budynku odpowiada V strefie klimatycznej (-24°C).

Zastosowane rozwiązania izolacyjne pozwoliły spełnić wymagania dla przegród zawarte w WT 2021. Projektowe obciążenie cieplne

budynku wynosi 3,5 kW. Pełne zestawienie współczynników przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych zamieszczono w tabeli 1. W sąsiedztwie budynku nie ma dostępu do gazu ziemnego sieciowego.

### Opis analizowanych rozwiązań technicznych wykorzystujących pompy ciepła

Biorąc pod uwagę energooszczędny charakter budynku, lokalizację i układ pomieszczeń, dla przedmiotowego budynku zaproponowano trzy warianty grzewcze:

- **wariant I** – pompa ciepła typu solanka/woda z wymiennikiem gruntowym pionowym w układzie monowalentnym. Górne źródło

### Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych zastosowania pomp ciepła do zabezpieczenia potrzeb cieplnych budynku mieszkalnego jednorodzinny w Zakopanem. Analiza dotyczy budynku w standardzie energooszczędnym, spełniającego wymagania WT 2021 – przeznaczonego pod wynajem w okresie całorocznym.

### Abstract

The article presents an analysis of investment and operating usage of heat pumps to produce the required thermal needs of a single-family residential building in Zakopane. The analysis concerns buildings with an energy-saving standard that meets the requirements of WT 2021 – intended for rent all year long.

Przegroda	Ściany zewnętrzne	Dach	Podłoga na gruncie	Okna	Okna połaciowe	Drzwi zewnętrzne
Współczynnik przenikania ciepła U, W/(m <sup>2</sup> K)	0,12	0,12	0,11	0,9	0,9	1,1

Tabela 1. Zestawienie współczynników przenikania ciepła U dla przegród zewnętrznych

ciepła stanowi ogrzewanie podłogowe o parametrach 35/28°C;

- **wariant II** – pompa ciepła typu powietrze/woda w układzie biwalentnym alternatywnym. Górne źródło ciepła stanowi ogrzewanie podłogowe o parametrach 35/28°C;
- **wariant III** – pompa ciepła powietrze/powietrze, elektryczne grzejniki panelowe i wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła. Na potrzeby ciepłej wody użytkowej przyjęto pompę ciepła powietrze/woda zintegrowaną z zasobnikiem o pojemności 220 dm<sup>3</sup>.

W pierwszych dwóch wariantach założono, że zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową będzie pokrywane przez pompę ciepła, która realizuje priorytetowy podgrzew c.w.u.

### Wariant I: pompa ciepła typu solanka/woda z wymiennikiem gruntowym pionowym

Rozwiązanie techniczne zakłada wykonanie pompy ciepła solanka/woda z gruntowym pionowym wymiennikiem ciepła do pokrycia potrzeb grzewczych na cele c.o. i c.w.u. W wariantcie tym założono system monowalentny, gdzie pompa ciepła w 100% pokrywa zapotrzebowanie na energię cieplną – w całym zakresie temperatur przyjętych do obliczeń. Dobrano pompę ciepła SI 6TU o mocy grzewczej 6,1 kW, która pozyskuje ciepło z gruntu za pomocą pionowych sond zakończonych U-rurką. Obliczenia doboru sondy gruntowej przeprowadzono przy założeniu, że na terenie objętym planowaną inwestycją znajduje się grunt gliniasty, wilgotny. Zgodnie z wytycznymi [3] przyjęto wydajność cieplną 40 W/m długości sondy. W celu zapewnienia wymaganej mocy dolnego źródła ciepła należy wykonać dwa odwerty pionowe o głębokości 50 m. Założono minimalny odstęp między pionowymi sondami 10 m. Wykonanie odwiertów pod sondy pionowe ma na celu wprowadzenie na zadaną głębokość sond w postaci rurki typu U o średnicy  $\varnothing 32 \times 2$  mm, wykonanej z PE 100-RC. Instalacja dolnego źródła będzie wypełniona roztworem glikolu propylenowego o stężeniu odpowiadającym temperaturze krzepnięcia  $-15^\circ\text{C}$ .

Pompa ciepła będzie współpracować z zasobnikiem buforowym o pojemności 200 dm<sup>3</sup>. Pozwoli on przejmować nadwyżki wyprodukowanego ciepła w momentach, gdy jej moc grzewcza nie jest identyczna z chwilowym zapotrzebowaniem. Podgrzew wody użytkowej w zasobniku pojemnościowym będzie realizowany przez pracę zaworu trójdrogowego przełączającego. Gdy temperatura wody użytkowej spadnie poniżej dolnej granicy nastawy, pompa

przejdzie w tryb grzania wody użytkowej przez przełączenie zaworu.

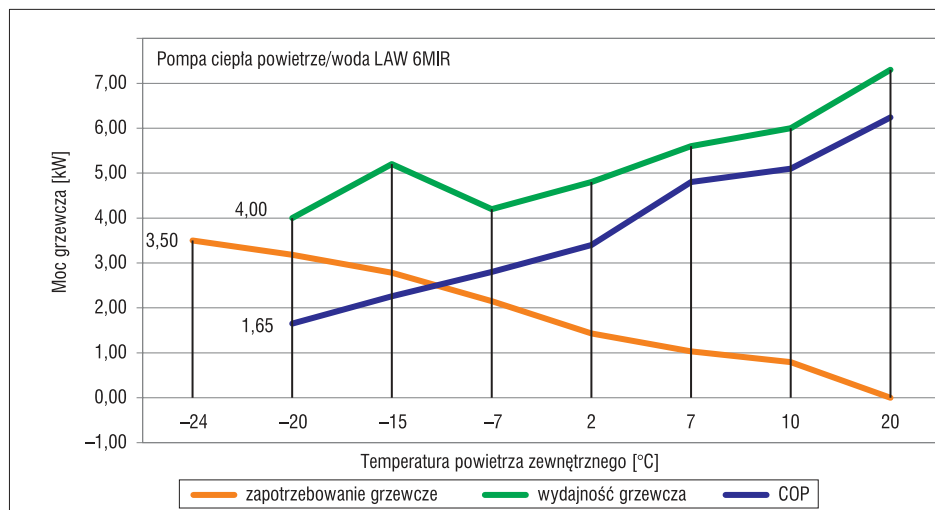
### Wariant II: pompa ciepła typu powietrze/woda w układzie biwalentnym alternatywnym

Drugi wariant grzewczy zakłada wykonanie pompy ciepła powietrze/woda pracującej w układzie biwalentnym alternatywnym z wbudowaną grzałką elektryczną. Dla pokrycia zapotrzebowania na ciepło budynku i potrzeb podgrzewu wody użytkowej przyjęto pompę ciepła LAW 6MIR o mocy grzewczej 5,6 kW. Obliczenie temperatury punktu biwalencyjnego (rys. 1) sporządzono w oparciu o dane zawarte w karcie katalogowej urządzenia – deklarowana przez producenta graniczna temperatura pracy pompy ciepła wynosi  $-20^\circ\text{C}$ . Poniżej tej temperatury pracę urządzenia grzewczego przejmie fabryczna grzałka elektryczna o mocy 4 kW. Ponieważ moc pompy ciepła jest

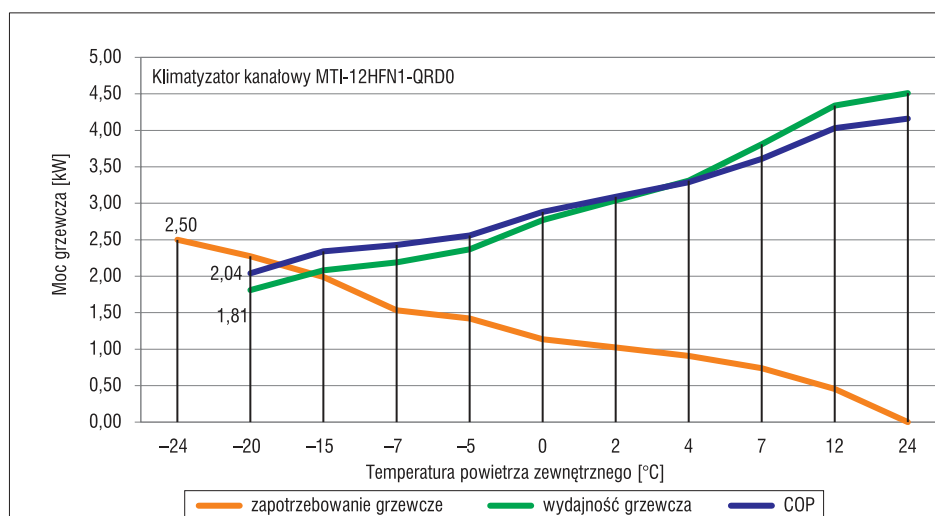
zawyżona w stosunku do potrzeb cieplnych budynku, będzie ona pracować z buforem o pojemności 50 litrów w celu przejmowania wyprodukowanych nadwyżek cieplnych. Pracą c.o. i c.w.u. sterować będzie trójdrogowy zawór przełączający.

### Wariant III: pompa ciepła typu powietrze/powietrze, elektryczne grzejniki panelowe i wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła

Głównym źródłem ciepła w trzecim wariantcie jest pompa ciepła powietrze/powietrze w postaci klimatyzatora kanałowego, składającego się z jednostki wewnętrznej i zewnętrznej. Przyjęte urządzenie grzewcze będzie pracować na powietrzu recyrkulacyjnym. Praca w układzie biwalentnym alternatywnym – klimatyzator kanałowy pracuje do określonej temperatury zewnętrznej, oznaczonej jako temperatura punktu biwalencyjnego (rys. 2).



Rys. 1. Wykres punktu biwalencyjnego dla pompy ciepła powietrze/woda



Rys. 2. Wykres punktu biwalencyjnego dla klimatyzatora kanałowego

Obliczenie temperatury punktu biwalencyjnego sporządzono w oparciu o dane zawarte w karcie katalogowej urządzenia. Deklarowana przez producenta graniczna temperatura pracy urządzenia wynosi  $-20^{\circ}\text{C}$ . Poniżej tej temperatury ogrzewanie w budynku przejmą elektryczne grzejniki panelowe.

Na potrzeby budynku przyjęto klimatyzator kanałowy MTI-12 o mocy 3,5 kW. Ogrzane powietrze z klimatyzatora za pomocą skrzynki rozdzielczej rozprowadzone zostanie do pomieszczeń izolowanymi przewodami elastycznymi z powłoką antybakteryjną  $\varnothing 125\text{ mm}$  – króćce przewodów będą zakończone anemostatami  $\varnothing 125\text{ mm}$ . Do ogrzewania elektrycznego przyjęto grzejniki panelowe VP10 z wbudowanymi termostatami. Uzupełnieniem zaprojektowanego systemu grzewczego będzie wentylacja mechaniczna z wymiennikiem przeciwprądowym Airpack 170. Rozprawa powietrza do pomieszczeń odbywa się za pomocą rur elastycznych typu PE-FLEX. Przewody te zostały zastosowane na odcinkach między rozdzielaczami a skrzynkami rozprężnymi. Dzięki zastosowaniu wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła projektowe obciążenie cieplne budynku w wyniku ograniczenia wentylacyjnych strat ciepła obniża się do 2,5 kW.

## Analiza nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych

### Koszty inwestycyjne

Nakłady inwestycyjne obejmują koszt wykonania dolnego i górnego źródła ciepła wraz z dodatkowym osprzętem hydraulicznym i elektrycznym w budynku na cele ogrzewania i przygotowania wody użytkowej. Nakłady zestawiono w oparciu o aktualne cenniki producentów urządzeń (I kwartał 2018). W tabeli 2 zestawiono nakłady dla wariantu I, w tabeli 3 – wariantu II, a w tabeli 4 – wariantu III. Porównanie całkowitych nakładów inwestycyjnych w analizowanych wariantach przedstawiono w postaci graficznej na rys. 3.

Najmniejsze nakłady inwestycyjne zostaną poniesione przy zastosowaniu pompy ciepła powietrze/powietrze, elektrycznych grzejników panelowych i wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Natomiast najwyższe – przy wyborze systemu grzewczego opartego na pompie ciepła z wymiennikiem gruntowym pionowym.

### Koszty eksploatacyjne

Koszty eksploatacyjne w poszczególnych wariantach stanowią:

■ w wariantach I i II – koszty zużycia energii elektrycznej na cele c.o. i c.w.u. pobieranej przez pompę ciepła,

■ w wariantach III – koszty zużycia energii elektrycznej na cele grzewcze pobieranej przez klimatyzator kanałowy, wentylatory w centrali wentylacyjnej, elektryczne grzejniki panelowe, pompę ciepła do c.w.u.

Do analizy przyjęto cenę energii elektrycznej zgodnie z grupą taryfową G11. Średnie sprawności eksploatacyjne: pompa ciepła solanka/woda SCOP = 4,9; pompa ciepła

powietrze/woda SCOP = 3,5; pompa ciepła powietrze/powietrze SCOP = 3,8. Całkowite zużycie energii cieplnej na ogrzanie budynku w obliczeniowym sezonie grzewczym i na cele c.w.u. w wariantach I i II wynosi ok. 6500 kWh, natomiast w wariantach III ok. 5000 kWh.

Na podstawie obliczeń na rys. 4 zestawiono koszty eksploatacyjne w poszczególnych wariantach grzewczych. Uzyskano informację, że koszty eksploatacyjne zaproponowanych systemów grzewczych są we wszystkich wariantach zbliżone. Najniższe koszty ogrzewania

Lp.	Pozycja kosztu	Liczba	Koszt całkowity
1	Pompa ciepła solanka/woda SI 6TU z wolnostojącym zasobnikiem buforowym o poj. 100 l, podgrzewaczem c.w.u. o poj. 300 l wraz z osprzętem hydraulicznym po stronie pompy ciepła.	1 kpl.	35 500 zł
2	Sondy pionowe o długości L = 220	2 szt.	4 830 zł
3	Wykonanie odwiertu wraz z ułożeniem sondy i wypełnieniem odwiertu materiałem (2 odwierty po 100 m)	200 m	20 000 zł
4	Rozdzielacz dolnego źródła	1 szt.	2 500 zł
5	Glikol	260 m <sup>3</sup>	1 600 zł
6	Materiał wypełniający odwiert	2,4 t	5 800 zł
7	Ogrzewanie podłogowe (konstrukcja podłogowa)	70 m	5 500 zł
8	Osprzęt elektrohydrauliczny do ogrzewania podłogowego	1 kpl.	1 500 zł
9	Wyposażenie i automatyka kotłowni wodnej	1 kpl.	800 zł
Razem			77 230 zł

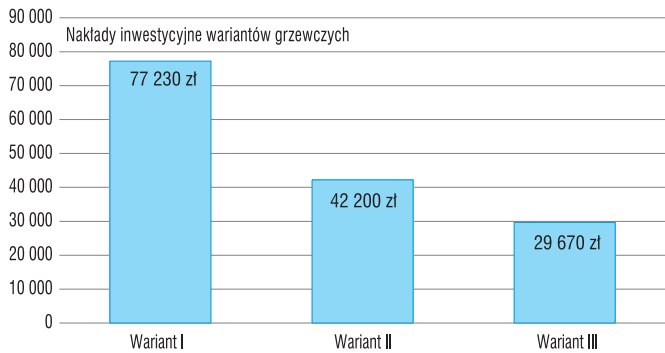
Tabela 2. Nakłady inwestycyjne wariantu I – pompa ciepła typu solanka/woda z wymiennikiem gruntowym pionowym w układzie monowalentnym

Lp.	Pozycja kosztu	Liczba	Koszt całkowity
1	Pompa ciepła powietrze/woda LAW 6IMR split z jednostką wewnętrzną – wieża hydrauliczna (bufor 100 l i zbiornik c.w.u. 300 l) oraz jednostką zewnętrzną	1 kpl.	34 400 zł
2	Ogrzewanie podłogowe (konstrukcja podłogowa)	70 m	5 500 zł
3	Osprzęt elektrohydrauliczny do ogrzewania podłogowego	1 kpl.	1 500 zł
4	Wyposażenie i automatyka kotłowni wodnej	1 kpl.	800 zł
Razem			42 200 zł

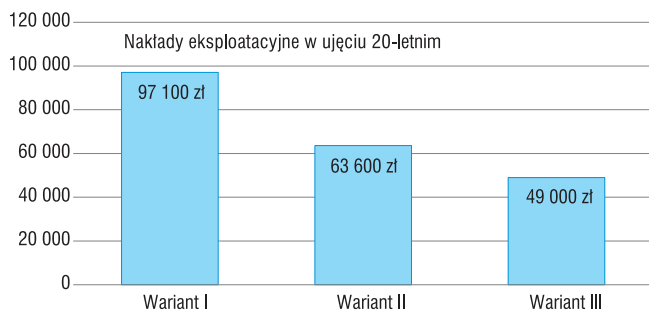
Tabela 3. Nakłady inwestycyjne wariantu II – pompa ciepła typu powietrze/woda w układzie biwalentnym alternatywnym

Lp.	Pozycja kosztu	Liczba	Koszt całkowity
1	Klimatyzator kanałowy MTI-18HWFN1-QRD0 z jednostką zewnętrzną MOB30U-18HFN1-QRD0	1 kpl.	8 000 zł
2	Elektryczne grzejniki panelowe VP10 z termostatami ściennymi	6 szt.	3 500 zł
3	Centrala wentylacyjna Airpack 170	1 kpl.	7 000 zł
4	Skrzynki rozprężne	6 szt.	390 zł
5	Skrzynki rozdzielcze	2 szt.	700 zł
6	Wentylacyjny izolowany przewód elastyczny z powłoką antybakteryjną ALID-HY-L 125 mm	40 m	360 zł
7	Przewód wentylacyjny PE-FLEX	100 m	720 zł
8	Kompaktowa pompa ciepła do c.w.u. DHW300+	1 kpl.	9 000 zł
Razem			29 670 zł

Tabela 4. Nakłady inwestycyjne wariantu III – pompa ciepła powietrze/powietrze, elektryczne grzejniki panelowe, wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła i kompaktowa pompa ciepła do c.w.u.



Rys. 3. Zestawienie kosztów inwestycyjnych wariantów grzewczych

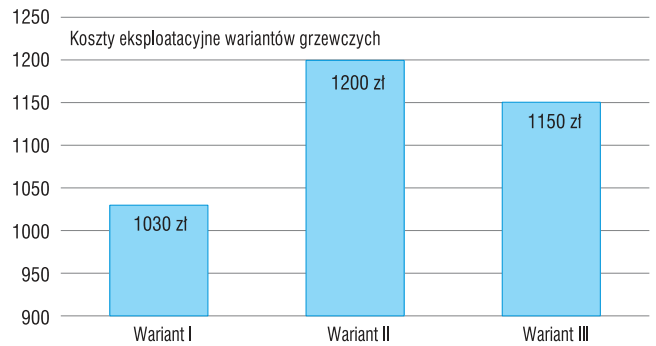


Rys. 5. Zestawienie kosztów eksploatacyjnych w ujęciu dwudziestoletnim

budynku i przygotowania wody użytkowej uzyskano w wariantcie I, w którym zastosowano pompę ciepła solanka/woda – 1030 zł. Najwyższymi kosztami wyróżnia się wariant II, w którym zastosowano pompę ciepła powietrze/woda – 1200 zł.

Żeby podjąć decyzję o wyborze najlepszego rozwiązania grzewczego, należy wziąć pod uwagę kryterium inwestycyjne. Inwestycja w pierwszy wariant grzewczy wykorzystujący gruntową pompę ciepła solanka/woda wypada najbardziej niekorzystnie: przy inwestycji 78 tys. zł koszty eksploatacyjne wynoszą 1030 zł rocznie, natomiast w wariantcie III przy inwestycji ok. 30 tys. zł koszty eksploatacyjne to 1150 zł. Zatem przy różnicy inwestycyjnej 48 tys. zł uzyskujemy oszczędność w kosztach eksploatacji rzędu 120 zł. Tak niewielka kwota nie uzasadnia opłacalności inwestycji w wariant I.

Do dalszej analizy przyjęto 20-letni okres obliczeniowy, przy założeniu jednorazowo poniesionych kosztów inwestycyjnych i corocznych kosztów eksploatacyjnych z przeglądami serwisowymi oraz 4-proc. rocznej stopy dyskontowej. Na podstawie obliczeń uzyskano informację, że łączny koszt całkowity wariantu I (pompa ciepła solanka/woda) wynosi ponad 97 tys. zł, wariantu II (pompa ciepła powietrze/woda) ponad 63 tys. zł, wariantu III (pompa ciepła powietrze/powietrze,



Rys. 4. Zestawienie kosztów eksploatacyjnych wariantów grzewczych

wentylacja mechaniczna i elektryczne grzejniki panelowe) ok. 49 tys. zł (rys. 5).

### Podsumowanie

Dla proponowanych koncepcji grzewczych przeprowadzono obliczenia rocznego współczynnika efektywności SCOP oraz wykonano analizę nakładów inwe-

stycyjnych i eksploatacyjnych. Pod względem inwestycyjnym najbardziej niekorzystnie wypada I wariant grzewczy (ok. 77 tys. zł). Koszt odwiertu w celu wykonania ujęcia dolnego źródła ciepła jest najdroższą pozycją w bilansie inwestycyjnym, porównywalną z zakupem gruntowej pompy ciepła SI 6TU. Dla przyjętych założeń eksploatacyjnych roczne koszty ogrzewania domu i przygotowania c.w.u. wynoszą w tym wariantcie 1030 zł. Zaletą tego rozwiązania jest stabilna temperatura dolnego źródła – nie ulega ono wahaniom pod wpływem zmiennej temperatury zewnętrznej, pompa pracuje bez wspomagania w całym okresie grzewczym.

Mniejszych kosztów inwestycyjnych wymaga wariant II (ok. 42 tys. zł). Założono, że pompa ciepła LAW 6IMR będzie pracować w trybie biwalentnym alternatywnym. Poniżej granicznej temperatury  $-20^{\circ}\text{C}$  pracę urządzenia przejmują grzałka elektryczna o mocy 4 kW. Koszty eksploatacyjne w tym wariantcie oszacowano na poziomie ok. 1200 zł rocznie. Rzeczywiste koszty ogrzewania w wariantcie II są uzależnione od zmiennej temperatury powietrza zewnętrznego.

W wariantcie III założono, że klimatyzator kanałowy działający na powietrzu obiegowym będzie źródłem ciepła do granicznej temperatury  $-16^{\circ}\text{C}$ . Poniżej tej temperatury ogrzewanie w budynku przejmą elektryczne grzejniki panelowe umieszczone w każdym pomieszczeniu. W oparciu o uporządkowany wykres temperatury dla miasta Zakopane oszacowano, że procentowy udział grzejników elektrycznych wynosi tylko 1%. Dzięki zastosowaniu wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej obniżono projektowe obciążenie cieplne budynku do poziomu 2,5 kW. Do przygotowania c.w.u. przyjęto zasobnik wody



Rys. 6. Wizualizacja budynku – strona południowa [4]

Lp.	Nazwa	Symbol	Wartość
1	Współczynnik strat ciepła przez przenikanie	$H_{tr}$	34,9 W/K
2	Współczynnik strat ciepła przez wentylację	$H_{ve}$	20,2 W/K
3	Sezonowa sprawność rekuperacji	$\eta_{H,E,recup}$	60%
4	Sprawność instalacji kanałowej klimatyzatora kanałowego	$\eta_{H,e}$	97%
5	Sprawność instalacji ciepłej wody użytkowej	$\eta_{W,d}$	95%
6	Sprawność zasobnika ciepłej wody użytkowej	$\eta_{W,s}$	86%

Tabela 5. Wybrane wartości sprawności uwzględnione przy sporządzaniu charakterystyki energetycznej dla wariantu III

użytkowej zintegrowany z powietrzną pompą ciepła DHW300+. Koszty inwestycyjne wykonania tego wariantu wyniosły ok. 29 tys. zł. Natomiast oszacowane koszty eksploatacyjne wyniosły 1150 zł, czyli podobnie jak w wariantcie I. Różnica w kosztach inwestycyjnych to 47,5 tys. zł. W perspektywie 20-letniej (przy uwzględnieniu kosztów serwisowych i inflacji) różnica w kosztach inwestycyjnych wyniesie 48 tys. zł.

Wariant grzewczy III wypada najkorzystniej pod względem inwestycyjnym, zapewnia również niskie koszty eksploatacyjne, zbliżone do kosztów pracy gruntowej pompy ciepła. Jest to przyszłościowe rozwiązanie, które wpisuje

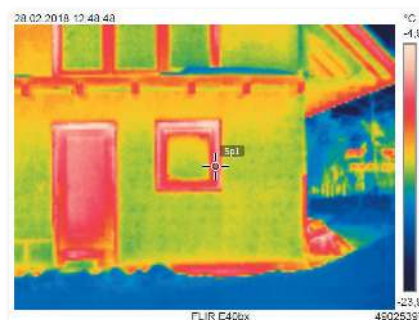
się w trend zarówno budownictwa energooszczędnego, jak i pasywnego. Jest to też najprostszy w wykonaniu wariant grzewczy – nie stwarza problemów z ujęciem dolnego źródła ciepła, wykonaniem górnego źródła, podłączeniem okablowania itd. Na etapie projektowania domu architekt powinien wygospodarować odpowiednią przestrzeń pod stropem w celu rozprowadzenia kanałów wentylacji mechanicznej i ogrzewania kanałowego. W tym wariantcie nie występują straty związane z transportem i przekazywaniem ciepła do otoczenia, tak jak w przypadku tradycyjnej instalacji hydraulicznej. Przy instalacji z gruntową pompą ciepła lub powietrze/woda popelnione



Fot. 1. Elewacja południowa – na etapie prac budowlanych i po ich zakończeniu



Fot. 2. Montaż przewodów wentylacji mechanicznej i ogrzewania kanałowego



Fot. 3. W trakcie badania termowizyjnego potwierdzono bardzo dobrą ochronę cieplną ścian zewnętrznych. Niewielki udział strat ciepła odnotowano w miejscach połączenia profili stolarki okiennej i drzwiowej ze ścianami

błędy montażowe mogą znacząco obniżyć sprawność cieplną urządzeń grzewczych. W przypadku pompy gruntowej ryzyko wystąpienia błędów montażowych istnieje po stronie pionowego odwiertu, a w przypadku pompy powietrznej np. po stronie lokalizacji jednostki powietrznej. Zastosowanie ww. rozwiązania grzewczego pozwoliło zakwalifikować budynek do standardu energooszczędnego (patrz tabela 5) – wskaźnik energii końcowej wyniósł 36,8 kWh/(m<sup>2</sup>rok), a wskaźnik wykorzystania energii pierwotnej 32,6 kWh/(m<sup>2</sup>rok).

Budowa i oddanie do użytku budynku mieszkalnego jednorodzinnego wyposażonego w trzeci wariant grzewczy ma nastąpić w IV kwartale 2018 roku.

#### Literatura

1. Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz.Urz. L 1 z 4.01.2003).
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U nr 75/2002, poz. 690, z późn. zm.).
3. Wytoczne projektowania, wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła, część 1: dolne źródła ciepła, wydanie 1/2013, PORT PC.
4. Pracownia Projektowa „Słowik”, Zakopane.

Zdjęcie termowizyjne wykonał  
mgr inż. Krzysztof Topór-Huciański, ekodoradca,  
Urząd Miasta Zakopane