

dr inż. Beata Sadowska^{1*)}

ORCID: 0000-0003-2866-3685

mgr inż. Tomasz Barkanyi²⁾

dr inż. Małgorzata Fedorczyk-Cisak³⁾

ORCID: 0000-0003-1125-4068

mgr Ewa Gobcewicz¹⁾

ORCID: 0000-0003-1364-5556

dr hab. inż. Elżbieta Broniewicz¹⁾

ORCID: 0000-0002-9231-2225

mgr inż. Karolina Dec⁴⁾

ORCID: 0000-0002-5237-654X

Efektywność energetyczna systemu aktywnej izolacji termicznej w budynku jednorodzinnym w warunkach polskich wraz z analizą ekonomiczną i środowiskową

Energy efficiency of the active thermal insulation system in a single-family building in Polish conditions with economic and environmental analysis

DOI: 10.15199/33.2023.06.06

Streszczenie. Celem artykułu jest ocena możliwości poprawy efektywności energetycznej budynków przez zastosowanie systemu aktywnej izolacji termicznej (ATI) w polskich warunkach klimatycznych. Badanie wykonano na przykładzie budynku jednorodzinnego zaprojektowanego w technologii szalunku traconego. Obliczono wysokość niezbędnych nakładów inwestycyjnych na poprawę efektywności energetycznej i cieplnej oraz niezależne źródła energii (kolektory słoneczne, magazyn energii). Przeprowadzono również ocenę środowiskową takiego rozwiązania. Analizy wykazały, że zastosowanie systemu ATI w przedmiotowym budynku powoduje zmniejszenie strat ciepła przez ściany o 52%, redukcję zapotrzebowania ciepła na ogrzewanie o 30% i możliwość obniżenia wskaźnika EP o 20,5% (przy pompie ciepła) oraz 16,9% (przy gazie), przy czasie zwrotu dodatkowych nakładów 6 – 7 lat.

Słowa kluczowe: aktywna izolacja termiczna; technologia szalunku traconego; efektywność energetyczna; efektywność ekonomiczna i środowiskowa.

Abstract. The aim of the article is an attempt to assess the possibility of improving the energy efficiency of buildings with the use of an active thermal insulation (ATI) system in Polish climatic conditions. The study was carried out on the example of a single-family building designed in the permanent formwork technology. The amount of necessary investment outlays for the improvement of energy and thermal efficiency as well as independent generation sources (solar collectors, energy storage) was calculated. An environmental assessment of such a solution was also carried out. Analyses have shown that the use of the ATI system in the building in question reduces heat losses through the walls by 52%, reduces the heat demand for heating by 30% and allows the EP to be reduced by 20.5% (with a heat pump) and 16.9% (with gas), with a payback time of investment costs of 6 – 7 years.

Keywords: active thermal insulation; insulating concrete formwork technology; energy efficiency; economic and environmental efficiency.

Zmiany klimatyczne oraz postępująca degradacja środowiska naturalnego są efektem przede wszystkim zwiększającej się emisji gazów cieplarnianych, szczególnie CO₂. Powoduje to nie tylko problemy związane ze złą jakością powietrza, ale także coraz częściej zauważalne kłeski żywiołowe [1]. Skutki ocieplenia klimatu są już na tyle groźne, że przywódcy państw i organizacje pozarządowe podejmują szybkie i przełomowe decyzje, szczególnie w sektorach gospodarki o najwyższych wskaźnikach ener-

gocłonności, do których należy budownictwo [2]. Biorąc pod uwagę cały cykl życia, budynki zużywają ok. 41% energii pierwotnej w Polsce oraz są odpowiedzialne za emisję 38% dwutlenku węgla [1]. Obecne i planowane standardy dotyczące parametrów budynków są niewystarczające do realizacji celów klimatycznych [3]. W związku z tym trwają intensywne poszukiwania nowych technologii, które mogłyby przyczynić się do poprawy efektywności energetycznej zasobów budowlanych. W artykule przedstawiamy innowacyjny sposób ograniczenia strat ciepła przez przegrody zewnętrzne z zastosowaniem aktywnej izolacji termicznej (ATI). Jest to zintegrowany system technologiczny obejmujący pozyskiwanie ciepła z promieniowania słonecznego, magazyno-

wanie go (sezonowo) w akumulatorze gruntowym oraz wykorzystanie do ograniczenia strat ciepłych przez przegrody zewnętrzne. W pracach [4, 5] autorzy oszacowali na podstawie badań, że zastosowanie systemu ATI pozwala na zmniejszenie strat ciepła przez zewnętrzne przegrody pełne w sezonie grzewczym nawet o 57 – 60%. Kolejnym, analizowanym w artykule aspektem, jest efektywność energetyczna takiego systemu w skali całego budynku, a także efektywność ekonomiczna, która w sposób bezpośredni wpływa na podejmowanie decyzji inwestycyjnych przez firmy budowlano-deweloperskie oraz potencjalnych klientów indywidualnych. Wykonano również ocenę środowiskową systemu ATI w warunkach polskich.

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

²⁾ BT & SONS Kft, Nyiregyhaza, Hungary

³⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴⁾ Szkoła Doktorska Politechniki Białostockiej

^{*}

Główne założenia i przykład wykorzystania ATI w warunkach rzeczywistych

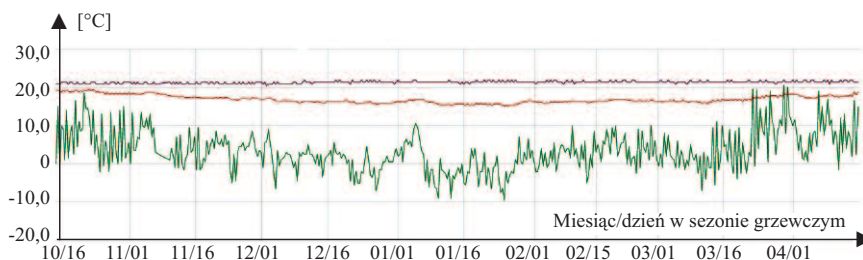
Technologia aktywnej izolacji termicznej, znana również pod nazwą bariery termicznej, jest przedmiotem wielu prac badawczych, ale najczęściej są to prace teoretyczno-symulacyjne. Przeglądu artykułów naukowych indeksowanych w bazach danych Web of Science i Scopus, dotyczących takiego rozwiązania, dokonano w [6]. Powstało też kilka budynków eksperymentalnych, w których skuteczność bariery termicznej była określana na drodze pomiarowej w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych [4, 5, 7, 8]. Znacznie mniej uwagi w literaturze naukowej poświęcono ekonomicznym i środowiskowym aspektom stosowania takiego rozwiązania.

System ATI to system rurek umieszczonych wewnątrz struktury przegrody zewnętrznej budynku, przez które przepływa płyn transportujący energię z gruntowego magazynu energii, zasilanego z zewnętrznych przegród budynku oraz z dachowych kolektorów słonecznych. Działanie aktywnej bariery termicznej polega na podwyższeniu temperatury wewnątrz przegrody zewnętrznej, zmniejszając tym samym strumień ciepły tracony z wnętrza budynku, co zostało omówione w publikacjach, m.in. [4, 9, 10].

Rozwiązanie aktywnej izolacji zostało zrealizowane m.in. w eksperymentalnym trzykondygnacyjnym budynku jednorodzinny, o powierzchni użytkowej 357 m², zlokalizowanym w Nyiregyhaza na Węgrzech [4, 5], którego właścicielem i użytkownikiem jest jeden ze współautorów. W budynku tym powstało laboratorium pomiarowe, gdzie od kilkunastu lat gromadzone są dane dotyczące warunków zewnętrznych i wewnętrznych oraz temperatury w magazynie ciepła i w warstwie aktywnej izolacji. Wieloletnie pomiary potwierdzają powtarzalność wyników i możliwość sezonowego nadmiaru magazynowania okresowego nadmiaru energii słonecznej w trakcie lata i jej wykorzystanie w czasie zimy. Na rysunku 1 przedstawiono wyniki pomiarów w sezonie grzewczym 2021 – 2022.

Średnia temperatura zewnętrzna w sezonie 2021 – 2022 (trwającym od 15 października do 15 kwietnia) wyniosła

3,4°C, zaś średnia temperatura czynnika grzewczego w warstwie aktywnej izolacji w tym okresie 16,8°C (rysunek 1). W kolejnym sezonie (od 15 października 2022 do kwietnia 2023) temperatura wyniosła odpowiednio 5,0°C oraz 17,2°C (rysunek 2). I choć nie tylko zmienność temperatury zewnętrznej wpływa na poziom temperatury medium krążącego w węzownicy systemu, to zwraca uwagę powtarzalność tej zależności.

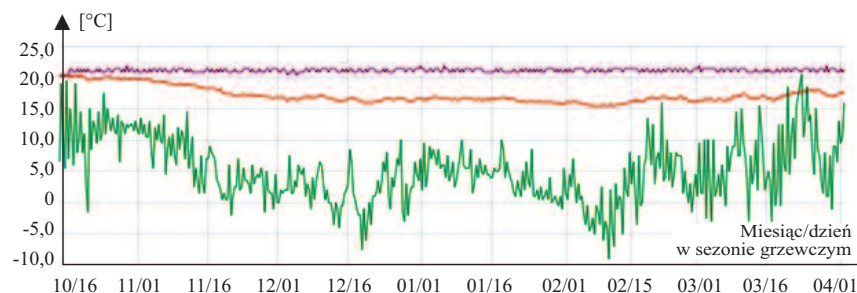


Rys. 1. Temperatura zewnętrzna (t_e – linia zielona), temperatura wewnętrzna (t_i – linia fioletowa) oraz temperatura czynnika grzewczego w warstwie ATI (t_f – linia czerwona) w sezonie grzewczym 2021 – 2022 w eksperymentalnym budynku w Nyiregyhaza na Węgrzech

Rys. archiwum Autorów

Fig. 1. External temperature (t_e – green line), internal temperature (t_i – purple line) and temperature of the medium in ATI (t_f – red line) in the heating season 2021 – 2022 in an experimental building in Nyiregyhaza, Hungary

Fig. Authors' archive



Rys. 2. Temperatura zewnętrzna (t_e – linia zielona), temperatura wewnętrzna (t_i – linia fioletowa) oraz temperatura czynnika grzewczego w warstwie ATI (t_f – linia czerwona) w sezonie grzewczym 2022 – 2023 w eksperymentalnym budynku w Nyiregyhaza na Węgrzech

Rys. archiwum Autorów

Fig. 2. External temperature (t_e – green line), internal temperature (t_i – purple line) and temperature of the medium in ATI (t_f – red line) in the heating season 2022 – 2023 in an experimental building in Nyiregyhaza, Hungary

Fig. Authors' archive

Obiekt i metoda badań

Analizy przeprowadzono na przykładzie parterowego domu jednorodzinny z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczonego, o powierzchni zabudowy 77,44 m², zaprojektowanego w technologii szalunku traconego, którego wizualizację przedstawiono na fotografii. Jego dokumentację pozyskano w ramach projektu pt. *Aktywna izolacja termiczna jako element zmniejszający straty ciepła przez ściany zewnętrzne oraz poprawiający efektywność energetyczną domów prefabrykowanych*, realizowanego w ramach projektu pt. *Inkuba-*

tor Innowacyjności 4.0 przez konsorcjum: Instytut Innowacji i Technologii Politechniki Białostockiej, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku oraz Uniwersytet w Białymstoku. Głównym celem prac w ramach tego projektu było dostosowanie systemu aktywnej izolacji nietypowej przegrody budowlanej (chronionego patentem PL 226 897 B1 jednego ze współautorów) do potrzeb wybranych technologii domów gotowych do

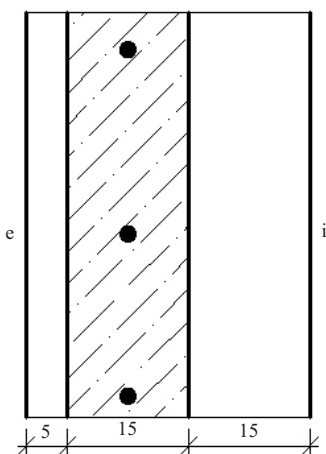


Wizualizacja analizowanego budynku jednorodzinny
Rys. archiwum Autorów
Visualization of the analyzed single-family building
Fig. Authors' archive

stepnych na polskim rynku, wykazanie skuteczności energetycznej i efektywności ekonomicznej zastosowania takiego rozwiązania w polskich warunkach klimatycznych, a także oddziaływania na środowisko.

System ATI w budynku składać się będzie z następujących elementów:

- **wężownic** w nieprzezroczystych częściach obudowy zewnętrznej budynku (ścianach w centralnej części rdzenia betonowego – rysunek 3, skośnych połaciach dachu i stropie nad ogrzewanym poddaszem), w których krąży płyn (glikol) o niższej temperaturze niż temperatura wewnętrzna w budynku, ale wyższej niż temperatura zewnętrzna, tworząc przez to warstwę aktywnej izolacji termicznej (8 obwodów po ok. 110 m długości) z klipsami do mocowania w styropianie (dzięki zastosowaniu ATI w ścianach możliwe jest zmniejszenie ich grubości);



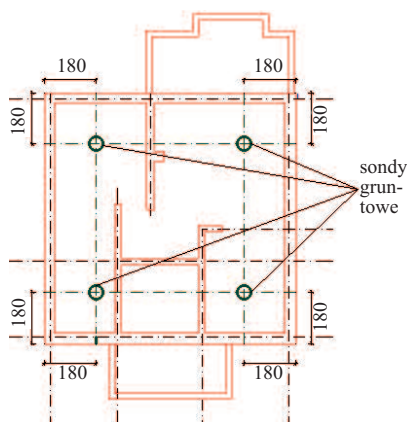
Rys. 3. Przekrój ściany z ATI w warstwie konstrukcyjnej (e – środowisko zewnętrzne, i – środowisko wewnętrzne)

Rys. archiwum Autorów

Fig. 3. Cross section of the wall with ATI in the structural layer (e-external environment, i – internal environment) Fig. Authors' archive

- **sond gruntowych** (rysunek 4), połączonych z wężownicami w obudowie zewnętrznej budynku, które tworzą jeden zamknięty obwód hydrauliczny (4 szt. o długości 62 m);

- **kolektorów słonecznych**, mogących zwiększyć temperaturę w magazynie gruntowym (do 35°C i po nagrzaniu ciepłej wody użytkowej do 50 – 60°C), podnosząc przez to temperaturę rur w sondach, zmniejszając straty ciepła z przestrzeni wewnętrznej budynku i zwiększając energoefek-



Rys. 4. Lokalizacja sond gruntowych

Rys. archiwum Autorów

Fig. 4. Location of spiral ground heat exchanger Fig. Authors' archive

tywność kolektorów słonecznych (o ok. 25%);

- **pozostałych elementów** w obwodzie hydraulicznym, takich jak pompa obiegowa do zapewnienia cyrkulacji płynu (glikolu) w wężownicach, rozdzielacze oraz zbiornik wyrównawczy i system sterowania;

- **izolacji termicznej** gruntowego magazynu ciepła od spodu (XPS grubości 10 cm).

Warto zaznaczyć, że wszystkie elementy proponowanego systemu są łatwo dostępne na polskim rynku (bez importu) i mogą pracować w jednym obiegu hydraulicznym bez dodatkowych wymienników ciepła, z zastosowaniem systemu sterowania. Pomiary eksperymetalne [4, 5] pokazują, że taki układ sam reguluje się dynamicznie i harmonijnie współpracuje ze zmianami atmosferycznymi. Ilość energii cieplnej, jaka musi zostać zmagazynowana (i dostarczona do warstwy ATI z magazynu), została obliczona w drodze symulacji numerycznych wykonanych na cele projektu i określona na 7465 kWh. Pochodzić ona będzie z energii cieplnej zakumulo-

wanej w przegrodach zewnętrznych w okresie letnim, z kolektorów słonecznych i z energii przechodzącej przez podłogę budynku do magazynu. Część energii cieplnej będzie tracona z magazynu gruntowego do gruntu.

Dzięki zmniejszeniu grubości ścian (z 45 do 35 cm) powierzchnia użytkowa budynku, z zachowaniem stałych wymiarów zewnętrznych, zwiększy się o 4,76 m². Podobną możliwość zwiększenia powierzchni użytkowej (ok. 5 m²) małego budynku jednorodzinnego można uzyskać dzięki zastosowaniu innych alternatywnych rozwiązań, np. wielowarstwowej refleksyjnej maty termoizolacyjnej [11].

W analizach zastosowano również alternatywne źródło ciepła, do przewidzianego w projekcie kotła gazowego (w wariantach W1 i W2 – wg tabeli 1), w postaci powietrznej pompy ciepła (w wariantach W3 i W4), gdyż wg danych PORT PC [12], w Polsce w 2022 r. **niemal co trzecie sprzedane urządzenie do ogrzewania pomieszczeń to pompa ciepła**. Zaproponowano pompę powietrzną, pomimo jej mniejszej wydajności w zimnym klimacie, niż pompy gruntowej, gdyż z ekonomicznego punktu widzenia jest to bardziej efektywne [13]. **We wszystkich rozpatrywanych wariantach uwzględniono kolektory słoneczne (płaskie)** do wspomaganie podgrzewania c.w.u.

Obliczenia energetyczne przeprowadzono zgodnie z polską metodologią [14] bilansów miesięcznych, w przypadku warunków klimatycznych Białegostoku (tabela 2). Wartości współczynnika przenikania ciepła przegród obliczono wg PN-EN ISO 6946. Współczynnik U ścian grubości 45 cm (w wariantach W1 i W3) wyniósł 0,10 W/(m²K), a w wa-

Tabela 1. Zestawienie rozwiązań technicznych w poszczególnych analizowanych wariantach budynku

Opracowanie własne

Table 1. List of technical solutions in the individual analyzed variants of the building Own study

Rozwiązania techniczne	Analizowane warianty			
	W1	W2	W3	W4
System ATI	nie	tak	nie	tak
Grubość ścian zewnętrznych [cm]	45	35	45	35
Budowa rdzenia ścian zewnętrznych grubości [cm]	żelbet: 15	żelbet: 15 z ATI	żelbet: 15	żelbet: 15 z ATI
Izolacja termiczna ścian zewnętrznych [cm]	neopor 25 i 5	styropian 15 i 5	neopor 25 i 5	styropian 15 i 5
Powierzchnia użytkowa budynku [m ²]	92,80	97,56	92,80	97,56
Kolektory słoneczne dodatkowe (płaskie)	–	2 szt.	–	2 szt.
Gruntowy magazyn ciepła	nie	tak	nie	tak

Tabela 2. Dane wejściowe do kalkulacji energetycznych

Opracowanie własne

Table 2. Input data for energy calculations

Own study

Miesiące	te [°C]	U _{eq} [W/m ² K]
Styczeń	-4,9	0,036
Luty	-2,0	0,040
Marzec	1,70	0,046
Kwiecień	7,30	0,064
Maj	13,2	0,113
Wrzesień	10,8	0,085
Październik	7,10	0,063
Listopad	1,6	0,046
Grudzień	-1,3	0,041

riantach W2 i W4, w przypadku prze-
gród z barierą termiczną, ekwiwalentny
współczynnik przenikania w poszcze-
gólnych miesiącach przyjęto na podsta-
wie symulacji numerycznych wykona-
nych na cele projektu (tabela 2). W ce-
lu zwiększenia efektywności wykorzy-
stania ATI w ścianie systemu „odwróco-
no” układ warstw przegrody. Przy okre-
śleniu średniej temperatury **medium**
w ATI ($t_{\text{str}} = 17^{\circ}\text{C}$) wykorzystano dane po-
miarowe (rysunki 1 i 2). Założona tempera-
tura wewnętrzna w budynku wynosi 20°C.

Wielkość śladu węglowego określono
w całym cyklu życia (uwzględniając
wbudowany oraz operacyjny ślad wę-
glowy), przyjmując jako granicę analizy
zestaw elementów związanych z zas-
tosowaniem systemu ATI w budynku.
Do analiz wykorzystano oprogramowa-
nie Gabi Sphera. W przypadku każdego
z analizowanych wariantów budynku
(wg tabeli 1) przeprowadzono inwentar-
yzację cyklu życia, identyfikując pro-
cesy oraz przepływ masy i energii, wraz
z ich wielkościami. Określono zużycie
nieodnawialnej energii pierwotnej
i emisję gazów cieplarnianych w cią-
gu 30-letniego cyklu życia systemu.
Oceniono oddziaływanie środowiskowe
fazy produkcji wyrobów (A1-A3) oraz
użytkowania (B1, B6), zgodnie z etapami
cyklu życia budynku, wg normy
PN-EN 15804. Faza konstrukcyjna (A5)
została pominięta ze względu na brak
krajowych wskaźników emisyjności
dwutlenku węgla z procesów budowlanych
oraz kluczowych danych inwentar-
yzacyjnych potrzebnych do analizy.
Pominięto również oddziaływanie fazy
transportu, uznając je za nieistotne dla
przeprowadzanego badania. Rezultaty
LCA określono metodą CML 2001, po-

dając wartości wskaźników dwóch kate-
gorii oddziaływań na środowisko: po-
tencjału tworzenia efektu cieplarnianego
GWP [kg CO₂ eq.] oraz zużycia nieod-
nawialnej energii pierwotnej EP [kWh].

Obliczenia i analiza wyników

W tabeli 3 zestawiono wyniki obli-
czeń energetycznych przedmiotowego
budynku. **Dzięki zastosowaniu syste-
mu ATI możliwe jest zmniejszenie
strat ciepła przez ściany o 52%**, co da-
je wynik porównywalny z wynikami ba-

Tabela 3. Wyniki obliczeń energetycznych w poszczególnych wariantach

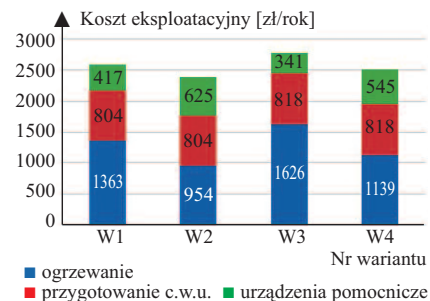
Opracowanie własne

Own study

Wyniki obliczeń	Analizowane warianty			
	W1	W2	W3	W4
Straty ciepła przez ściany zewnętrzne [kWh/rok]	1501	785	1501	785
Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową				
Ogrzewanie i wentylacja [kWh/rok]	4025	2819	4025	2819
Przygotowanie c.w.u. (wg MŚ [14]) [kWh/rok]	3011 (2235)			
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową				
Na ogrzewanie [kWh/rok]	4806	3366	1907	1336
Przygotowanie c.w.u. [kWh/rok]:				
– podstawowe źródło ciepła (wg MŚ [14])	2836 (1107)		960 (375)	
– kolektory słoneczne	3408	3408	3408	3408
Urządzenia pomocnicze	489	514	400	420
Pompa obiegowa w systemie ATI	–	219	–	219
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną				
EP (wg MŚ [14]) przy w_1 dla energii el. = 2,5 [kWh/(m ² ·rok)]	83,26	69,22	37,83	30,05

dań eksperymentalnych, prezentowa-
nymi w pracach [4, 5]. Redukcja zapo-
trzebowania na energię końcową na
ogrzewanie, dzięki zastosowaniu syste-
mu ATI w budynku, wyniesie 30%. Bio-
rąc pod uwagę wskaźnik EP, budynek
bez ATI, z kotłem gazowym jako źródłem
ciepła (W1), nie spełnia obecnego wyma-
gania stawianego budynkom w Polsce,
tj. $EP_{\text{max}} \leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{·rok})$ wg WT2021
[15]. Natomiast dzięki zastosowaniu
ATI (W2) wskaźnik EP zmniejsza się
o 16,9%, dzięki czemu wymaganie
WT2021 jest spełnione. Budynek z pom-
pą ciepła również spełnia to wymaganie
w obu wariantach (W3 i W4), a zas-
tosowanie systemu ATI pozwala (W4)
na obniżenie EP o 20,5% w porównaniu
z budynkiem bez ATI (W3).

Koszty eksploatacyjne w podziale
na poszczególne składowe przedstawio-
no na rysunku 5. Jednostkowy koszt ga-



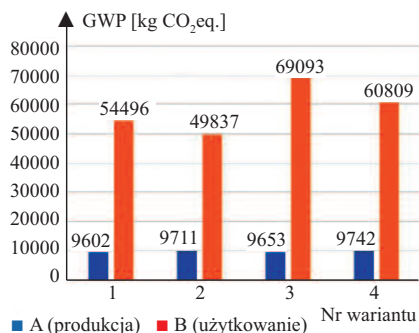
Rys. 5. Koszty eksploatacyjne budynku w poszczególnych wariantach

Rys. archiwum Autorów

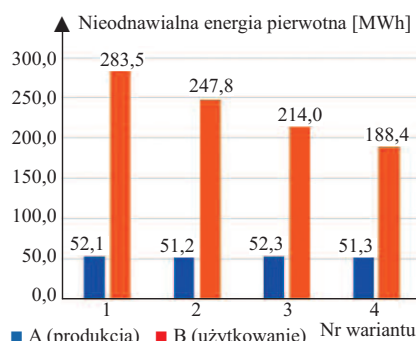
Fig. 5. Operating costs of the building in individual variants Fig. Authors' archive

zu sieciowego przyjęto na poziomie
0,2835 zł/kWh, a energii elektrycznej
0,8524 zł/kWh. Po oszacowaniu kosz-
tów inwestycyjnych na poszczególne
elementy systemu ATI i niezbędne zmia-
ny w budynku, określono czas ich zwro-
tu, który wyniósł w przypadku zas-
tosowania w budynku kotła gazowego 7,19,
a w przypadku powietrznej pompy ciepła
6,03 lat. Czas zwrotu koniecznych do po-
niesienia nakładów byłby krótszy dzięki
uwzględnieniu dofinansowania do tego
typu rozwiązania, wpływającego na
zwiększenie energoefektywności budyn-
ku i możliwość sezonowego magazynowa-
nia energii pochodzącej z OZE. Wy-
niki obliczeń środowiskowych przedsta-
wiono na rysunkach 6 i 7.

Oddziaływanie na środowisko systemu
ATI występuje głównie w fazie 30-let-
niego użytkowania budynku. **W fazie
produkcji** zarówno wskaźnik GWP, jak



Rys. 6. Wpływ zastosowania w budynku systemu ATI na GWP Rys. opracowanie własne
 Fig. 6. The impact of the use of the ATI system in the building on GWP Fig. own study



Rys. 7. Wpływ zastosowania w budynku systemu ATI na wielkość nieodnawialnej energii pierwotnej w ciągu 30-letniego cyklu życia Rys. opracowanie własne
 Fig. 7. The impact of using the ATI system in a building on the value of non-renewable primary energy over a 30-year life cycle Fig. own study

i zużycie nieodnawialnej energii pierwotnej stanowi 12 – 21% oddziaływania w całym cyklu życia. W tej fazie występują również minimalne różnice w oddziaływaniu na środowisko w poszczególnych wariantach. **W fazie użytkowania** różnice we wskaźnikach środowiskowych w poszczególnych wariantach są wyraźne. Wskaźnik potencjału tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) przyjmuje najniższe wartości w wariantcie 2, czyli z użyciem systemu ATI w ścianach o grubości 35 cm, z magazynem ciepła i użyciem kotła gazowego jako źródła ciepła. Wariantem najmniej korzystnym jest wariant 3 – bez systemu aktywnej termoizolacji i z użyciem pompy ciepła. Wynika to przede wszystkim z dużego zapotrzebowania na energię elektryczną, która w warunkach polskich jest w dalszym ciągu w ponad 70% produkowana z węgla, co skutkuje intensywnością emisji związanej z wytwarzaniem energii elektrycznej wynoszącą aż ponad 700 g CO₂eq./kWh. Podkreślić na-

leży, że zastosowanie w budynku systemu ATI zarówno w przypadku kotła gazowego, jak i powietrznej pompy ciepła powoduje obniżenie wartości wskaźnika GWP. Najbardziej korzystne wartości w fazie użytkowania zaobserwowano w wariantcie 4, czyli z zastosowaniem systemu ATI oraz użyciem pompy ciepła wraz z magazynowaniem energii. W porównaniu z wariantem 1, zużycie energii jest mniejsze o 40%, z wariantem 2 – o 25%, a z wariantem 3 – o 11%.

Wnioski

Analizy budynku jednorodzinnego zaprojektowanego w technologii izolacyjnego szalunku traconego, w warunkach polskich pokazują, że:

- zmniejszenie strat ciepła przez ściany zewnętrzne z zastosowaniem ATI wynosi 52%;
- budynek, w którym zastosowano takie rozwiązanie, potrzebuje o 30% mniej energii końcowej do ogrzewania, a tym samym niższe są koszty jego ogrzewania;
- czas zwrotu dodatkowych nakładów inwestycyjnych to 6 – 7 lat w zależności od źródła ciepła;
- możliwe jest zmniejszenie wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej (EP) budynku od kilkunastu do ponad 20% (EP to podstawowy wskaźnik świadectwa charakterystyki energetycznej w Polsce, który jest trudny do osiągnięcia w budynkach nowych bez zastosowania OZE);
- zastosowanie w budynku systemu ATI zarówno dla kotła gazowego, jak i powietrznej pompy ciepła powoduje zmniejszenie wartości wskaźnika GWP.

Dodatkowe zalety proponowanego rozwiązania to:

- możliwe wykorzystanie nadmiaru energii słonecznej produkowanej latem w okresie zimowym (przez jej sezonowe zmagazynowanie);
- proponowane rozwiązanie powoduje zmniejszenie grubości ściany, wynikającej z obecnych wymagań ochrony cieplnej stawianych przegrodom; uzyskujemy większą powierzchnię użytkową w ramach tej samej powierzchni zabudowy.

Literatura

[1] WWF, ZEROEMISYJNA POLSKA 2050 Raport WWF. Warszawa, 2020.
 [2] Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE) – World Energy Model – Analysis – IEA. [Onli-

ne]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario-nze>. [Dostęp: 27-March-2023].

[3] Komunikat KE. Czysta planeta dla wszystkich. Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki. Bruksela, 2018.

[4] Kisilewicz T, Fedorczyk-Cisak M, Barkanyi T. 2020. Aktywna izolacja termiczna. Materiały Budowlane. 2020; 569: 28 – 32.

[5] Barkanyi T. Innowacyjne wykorzystanie energii słonecznej w celu zmniejszenia strat ciepła w budynkach. Rynek Instalacyjny. 2022; 3: 40–42.

[6] Krajčik M, Araci M, Šikula O, Šimko M. Review of water-based wall systems: Heating, cooling, and thermal barriers. Energy and Buildings. 2021; <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111476>.

[7] Krzaczek M, Florczuk J, Tejchman J. J. A. E. Improved energy management technique in pipe-embedded wall heating/cooling system in residential buildings. Applied Energy. 2019; <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113711>.

[8] Kalús D, Koudelková D, Mučková V, Sokol M, Kurčová M, Janík P. Practical Experience in the Application of Energy Roofs, Ground Heat Storages, and Active Thermal Protection on Experimental Buildings. Applied Sciences. 2022; <https://doi.org/10.3390/app12189313>.

[9] Ulbrich R, Radlak G, Miłaszewicz B, Rachel M. Badania symulacyjne stosowania bariery temperaturowej w ścianach zewnętrznych budynku. Energia i Budynek. 2007:10.

[10] Garbalińska H. Nowatorskie technologie umożliwiające poprawę energetycznych walorów ścian zewnętrznych. Materiały Budowlane. 2014; 6: 120 – 122.

[11] Sadowska B, Markiewicz-Zahorski P, Fedorczyk-Cisak M, Nowak-Ocłoń M, Radziszewska-Zielina E. 2023. Zalety zastosowania wielowarstwowej refleksyjnej maty termoizolacyjnej w budynku jednorodzinny. Materiały Budowlane 606 (2): 1 – 4. DOI: 10.15199/33.2023.02.01.

[12] <https://portpc.pl/port-pc-2022-rok-pomp-cieppla-w-polsce/> [Dostęp: 27-March-2023].

[13] Firląg S. Cost-Optimal Plus Energy Building in a Cold Climate. Energies. 2019; <https://doi.org/10.3390/en12203841>

[14] Rozporządzenie MiR z 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. 2015 poz. 376), z późn. zm.

[15] Rozporządzenie MRiT z 31 stycznia 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz.U. 2022 poz. 248).

Badania zrealizowano i sfinansowano w ramach projektu pt. „Aktywna izolacja termiczna jako element zmniejszający straty ciepła przez ściany zewnętrzne oraz poprawiający efektywność energetyczną domów prefabrykowanych”, realizowanego w ramach „Inkubatora Innowacyjności 4.0” przez Instytut Innowacji i Technologii PB, UM w Białymstoku oraz UwB

Przyjęto do druku: 08.05.2023 r.