

Maximilian PAWLACZYK, Krzysztof PAWŁOWSKIUniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

ANALIZA PARAMETRÓW FIZYKALNYCH DACHÓW ZIELONYCH I ICH ZŁĄCZY W ŚWIEŁLE NOWYCH WYMAGAŃ CIEPLNYCH

W pracy poruszono tematykę dachów zielonych z wykorzystaniem różnych materiałów termoizolacyjnych. Określono minimalne grubości materiałów termoizolacyjnych konieczne dla spełnienia nowych wymagań cieplnych i zaproponowano prawidłową konstrukcję wybranego złącza. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń parametrów fizykalnych można stwierdzić, że zaprojektowanie przegrody dachowej z użyciem nowoczesnych materiałów spełniające wymagania prawne w zakresie budownictwa niskoenergetycznego po 2021 roku jest możliwe.

Słowa kluczowe: dachy zielone, budownictwo energooszczędne, nowoczesne materiały termoizolacyjne

WPROWADZENIE

Silnie zurbanizowane miasta w Polsce i na świecie powodują, że pozostaje coraz mniej terenów zielonych w centrach miast. Działki często są całkowicie zabudowywane ze względu na potrzebę większych powierzchni mieszkalnych i biurowych, czego skutkiem jest niszczenie ekosystemu, powstają miejskie wyspy ciepła oraz zmniejsza się wymianę dwutlenku węgla poprzez brak roślinności. Jednym z rozwiązań powyższych problemów jest projektowanie dachów zielonych na budynkach, aby odtworzyć część terenów biologicznych. Zalety dachów zielonych występują w aspektach ekologicznych, estetycznych, jak również ekonomicznych [1]. Dodatkowo w przypadku pełnych ogrodów nad ostatnim stropem podnosi się atrakcyjność budynków. Przykładem najlepiej posłużyć może konstrukcja ogrodu na dachu budynku biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego.

1. ANALIZA WYMAGAŃ PRAWNYCH W ZAKRESIE OCHRONY CIEPLNEJ

Obowiązujące od 1 stycznia 2014 roku nowe wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych budynku, wprowadzone Rozporządzeniem (W.T.- 2014) [2], są konsekwencją wdrożenia dyrektywy Parlamentu i Rady Europejskiej. Budynki projektowane według nowych wymagań będzie charakteryzować większa izolacyjność cieplna przegród zewnętrznych (niska wartość współczynnika

U_c [$W/(m^2 \cdot K)$]) oraz mniejsze roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną (wskaźnik EP [$kWh/(m^2 \cdot rok)$])). Najbardziej zaostrzone wymagania zaczną obowiązywać z początkiem 2021 roku. Stopniowe zaostrzenie przepisów ma prowadzić do projektowania i wykonywania budynków niskoenergetycznych. Dodatkowo NFOSiGW określił dwa standardy budynków [3]: NF40 (budynek energooszczędny) oraz NF15 (budynek pasywny). Standardem energetycznym NF15 charakteryzują się budynki, których wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową (EUco) nie przekracza $15 kWh/(m^2 \cdot rok)$, natomiast w przypadku standardu NF40 ten wskaźnik nie może przekraczać $40 kWh/(m^2 \cdot rok)$. Budynki projektowane w tych standardach mogły ubiegać się o dofinansowanie ze strony NFOSiGW, jednakże od połowy 2016 roku ten program dopłat został wstrzymany. W tabeli 1 zestawiono wymagania cieplne w odniesieniu do stropodachów i ich złączy.

Tabela 1. Zestawienie wymagań prawnych w zakresie ochrony cieplnej [2, 3]

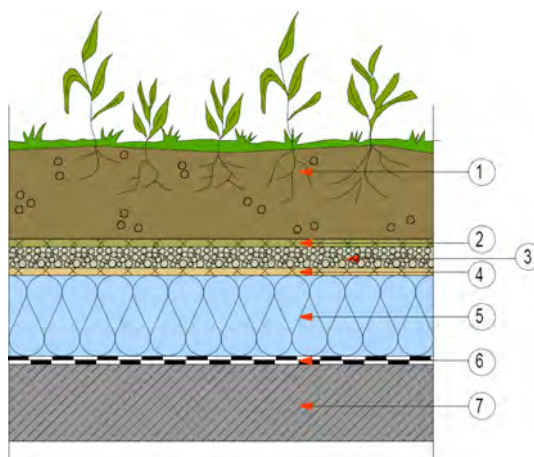
Przegroda	Wymagania wg Rozporządzeń		Standardy budynków	
	WT 2008	WT 2014	NF40	NF15
Graniczne wartości współczynników przenikania ciepła przegród $U_{\max}$ [W/(m ² ·K)] dla $t_i > 16^{\circ}\text{C}$				
Dachy, stropodachy i stropy nad nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami	0,25	0,20 ¹⁾ 0,18 ²⁾ 0,15 ³⁾	≤ 0,12	≤ 0,10
Graniczne wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła (mostków cieplnych) Ψ [W/(m·K)]				
Płyta balkonowa	Brak wymagań		0,30	0,01
Pozostałe mostki cieplne			0,10	0,01
¹⁾ Od 1.01.2014 r.; ²⁾ Od 1.01.2017 r.; ³⁾ Od 1.01.2021 r.				

2. CHARAKTERYSTYKA ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWYCH DACHÓW ZIELONYCH

Dachy zielone (rys. 1) są rodzajem stropodachu o odwróconym układzie warstw, dzięki czemu jest możliwość uprawy różnego rodzaju roślinności. Na konstrukcję stropodachu składa się wiele uporządkowanych warstw, z których każda musi spełniać szereg wymagań i kryteriów.

Na podstawie przeprowadzonych analiz poniżej zestawiono podstawowe elementy dachu zielonego [4]:

- Warstwa roślinna (wegetacyjna) - występuje w postaci substratu bądź humusu przemieszanego z keramzytem czy żwirem rzeczny. Jej grubości przyjmowane są w zależności od systemu korzeniowego roślin.
- Warstwa filtracyjna - najczęściej stosowana w niej jest geowłóknina polipropylenowa, która daje możliwość przenikania korzeni roślin. Zapobiega przedostaniu się jakichkolwiek zanieczyszczeń do warstwy drenażowej, a jednocześnie w dużym stopniu przepuszcza wodę.



Rys. 1. Układ warstw dla stropodachu zielonego: 1 - warstwa roślinna, 2 - warstwa filtrująca, 3 - warstwa drenująca, 4 - warstwa ochronna, 5 - warstwa termoizolacji, 6 - warstwa hydroizolacyjna, 7 - warstwa nośna

- Warstwa drenująca - służąca do maksymalnego magazynowania wody opadowej, wykorzystywanej w późniejszym czasie przez roślinność. Zbyt duża ilość nadmiaru wody zostaje dalej odprowadzona do odpływów.
- Warstwa ochronna - stanowi dodatkową ochronę przed przerastaniem korzeni roślin oraz przed uszkodzeniami mechanicznymi.
- Warstwa termoizolacji - w przypadku stropodachu o odwróconym układzie warstw znajdują zastosowanie płyty z polistyrenu ekstrudowanego lub płyty z pianki poliuretanowej PIR i płyty rezolowe.
- Warstwa hydroizolacji - przy jej wykonywaniu w przypadku odwróconego układu najczęściej stosowana jest papa termozgrzewalna lub folia EPDM. Warstwa hydroizolacji powinna posiadać właściwości przeciwkorzenne oraz odpowiednią odporność na ściskanie. Dodatkowo musi zapewniać odporność na wszelkie środki chemiczne oraz na grzyby czy pleśnie.
- Warstwa spadkowa - nadaje całej konstrukcji spadek.
- Warstwa nośna (strop) - obciążenia w przypadku dachów zielonych mogą dochodzić od 100 do nawet 1000 kg na 1 m² powierzchni.

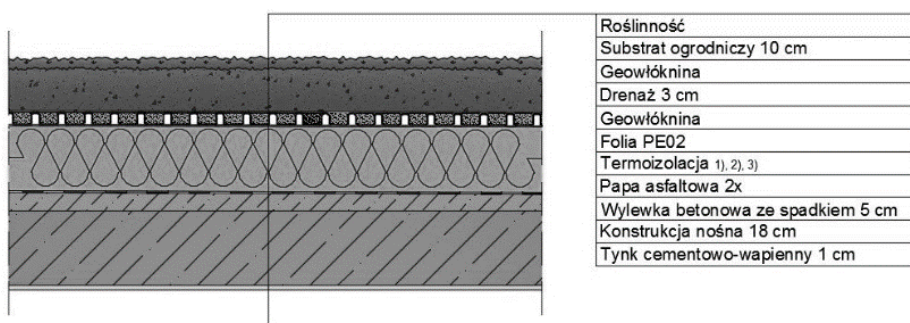
3. OBLICZENIA PARAMETRÓW FIZYKALNYCH WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWYCH

W ramach pracy wykonano obliczenia trzech wariantów materiałowych dachu zielonego o różnych grubościach (rys. 2). Obliczenia przeprowadzono zgodnie z procedurą przedstawioną w PN-EN ISO 6946:2008 [5]. Założono temperaturę wewnętrzną $t_i > 16^{\circ}\text{C}$ oraz uwzględniono poprawkę do współczynnika przenikania

ciepła z uwagi na przepływ między izolacją a membraną wodochronną ΔU_r wg [5]. W każdym z analizowanych rozwiązań przyjęto identyczny układ dachu zielonego, różniący się wyłącznie materiałem termoizolacyjnym (o grubości 14, 16 i 18 cm) w postaci płyty z pianki poliuretanowej PIR $\lambda = 0,023 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, płyty o rdzeniu ze sztywnej pianki rezolowej $\lambda = 0,020 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, płyty z polistyrenu ekstrudowanego ($\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$). Wartości przewodzenia ciepła λ w pozostałych warstwach zestawiono w tabeli 2, a wyniki obliczeń w tabeli 3.

Tabela 2. Współczynniki przewodzenia ciepła λ materiałów [4]

Materiał	Współczynnik λ [W/(m·K)]
Substrat ogrodniczy	0,20
Beton lekki	0,54
Żelbet	1,70
Tynk cementowo-wapienny	0,82



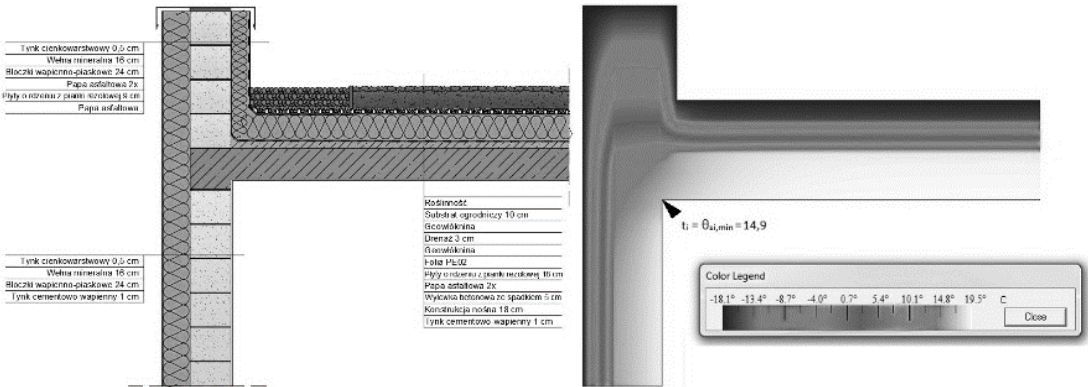
Rys. 2. Układ warstw dla stropodachu zielonego

Aby spełnić wymaganie w zakresie ochrony cieplnej $U_c \leq U_{Cmax} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, należy zastosować minimum 18 cm izolacji cieplnej w postaci płyt PIR lub 14 cm z płyt rezolowych. Najniższą wartością $U_c = 0,149 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ charakteryzuje się dach zielony z zastosowaniem płyt rezolowych gr. 18 cm, co pozwala spełnić kryterium dla $U_{Cmax} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

W celu prawidłowego oszacowania przepływu ciepła przez złącze budowlane przeprowadzono analizę dwuwymiarowego przepływu ciepła w miejscu połączenia dachu zielonego ze ścianą zewnętrzną (rys. 3) przy zastosowaniu programu komputerowego Therm. Określono liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] (po wymiarach wewnętrznych i zewnętrznych) oraz temperaturę minimalną na wewnętrznej powierzchni przegrody $\Theta_{si,min}$ [°C] oraz czynnik temperaturowy f_{Rsi} [–] według [6]. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4.

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń i wymagań prawnych [2, 3]

Materiał termoizolacyjny	d	U	ΔU_g	ΔU_f	ΔU_r	U_c	Maksymalny współczynnik przenikania ciepła U_{Cmax} [W/(m ² ·K)]				
	[cm]	[W/(m·K)]									
Płyty PIR	14	0,153	0	0	0,041	0,194	(2014-2016) 0,20	(2017-2020) 0,18	(po 2021) 0,15	(standard NF40) 0,12	(standard NF40) 0,10
	16	0,135	0	0	0,042	0,177					
	18	0,121	0	0	0,042	0,163					
Płyty z pianki rezolowej	14	0,134	0	0	0,042	0,176					
	16	0,118	0	0	0,043	0,161					
	18	0,106	0	0	0,043	0,149					
Płyty XPS	14	0,230	0	0	0,038	0,268					
	16	0,204	0	0	0,039	0,243					
	18	0,183	0	0	0,040	0,223					
d [cm] - grubość izolacji cieplnej											



Rys. 3. Model obliczeniowy i rozkład temperatur w złączy

Tabela 4. Zestawienie wyników obliczeń

Φ [W]	Ψ_i [W/(m ² ·K)]	Ψ_e [W/(m ² ·K)]	$\Theta_{si,min}$ [°C]	f_{Rsi} [-]
24,536	0,122	-0,044	14,9	0,873

Wyniki wykazały, że w zakresie liniowego współczynnika przenikania Ψ warunek ($\Psi \leq \Psi_{max}$) sformułowany w [3] nie został spełniony dla standardu NF15 i NF40. W analizowanym złączy (rys. 3) nie wystąpi ryzyko rozwoju kondensacji powierzchniowej, ponieważ został spełniony warunek $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,kryt}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, przy uwzględnieniu parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych, wynosi $f_{Rsi,(kryt.)} = 0,778$.

PODSUMOWANIE

Poprawne zaprojektowanie dachu zielonego z zastosowaniem nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych wymaga przeprowadzenia szczegółowych obliczeń i analiz parametrów fizykalnych. Spełnienie kryterium cieplnego dla przegród zewnętrznych ($U_c \leq U_{cmax}$) oraz dla złączy budowlanych ($\Psi \leq \Psi_{max}$ i $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,kryt}$) można osiągnąć przez poprawne kształtowanie układu materiałowego analizowanej przegrody i złącza (odpowiednia minimalna grubość materiału termoizolacyjnego - tabele 3 i 4).

Zasadne staje się propagowanie rozwiązań materiałowych dachów zielonych jako rozwiązanie energooszczędne w budynkach istniejących oraz nowo projektowanych. Przyczynia się to do poprawy wartości architektoniczno-urbanistycznych, a także ekologicznych. Ponadto wpływa na poprawę parametrów technicznych i funkcjonalnych, np. poprawa parametrów fizykalnych (współczynnik przenikania ciepła U_c , liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ , czynnik temperaturowy f_{Rsi}) oraz mniejsze nagrzewanie ostatniej kondygnacji budynku. Należy jednak pamiętać, że w budynkach z dachem zielonym istnieje potrzeba systematycznej pracy w zakresie utrzymania zieleni, co wiąże się z dodatkowymi kosztami.

LITERATURA

- [1] Lewandowski L., Pawłowski K., Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe dachów zielonych w aspekcie architektoniczno-technicznym, *Izolacje* 2010, 5, 70-72.
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, DzU z 2013 r., poz. 926 z późniejszymi zmianami.
- [3] Wytyczne projektowe dla budynków niskoenergetycznych wg standardu NF15 i NF40, www.nfosigw.gov.pl.
- [4] Pawlaczyk M., Cichewicz N., Analiza rozwiązań materiałowych dachów zielonych w budynkach niskoenergetycznych, VI Ogólnopolska Konferencja Budowlana Studentów i Doktorantów Euro-inżynier, Kraków 2016.
- [5] PN-EN ISO 6946:2008, Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [6] PN-EN ISO 13788:2003, Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku.

ANALYSIS OF PHYSICAL PARAMETERS OF GREEN ROOFS AND THEIR PARTITION IN LIGHT OF CURRENT THERMAL REQUIREMENTS

In this paper was raised up the subject of green roofs using different insulating materials. It was specified the minimum thickness of the insulating materials necessary to fulfillment the new thermal requirements and proposed some correct joints structure. On the basis of physical parameters calculations can be determined, that it is possible, to design a roof barrier with modern materials which meet legal requirements in the construction of low energy after 2021.

Keywords: green roof, low energy building, modern thermal insulation materials