

Dachy i stropodachy w standardzie niskoenergetycznym – wybrane aspekty projektowe

Roofs and flat roofs in low-energy standard – selected design aspects



dr inż. Krzysztof Pawłowski, prof. PBŚ

Politechnika Bydgoska im. J. i J. Śniadeckich
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
krzypaw@pbs.edu.pl
<https://orcid.org/0000-0002-6738-5764>

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych wybranych dachów drewnianych i stropodachów w aspekcie wymagań cieplnych sformułowanych w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych. Opisano metody ocieplania i wentylowania dachów oraz obliczania współczynnika przenikania ciepła U . Przeprowadzono

analizę parametrów cieplno-wilgotnościowych połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem w budynkach o zróżnicowanych standardach energetycznych. Na podstawie wykonanych obliczeń i analiz sformułowano wnioski praktyczne w zakresie efektywności cieplnej dachów drewnianych i stropodachów współczesnych budynków.

Słowa kluczowe dachy drewniane, stropodachy, współczynnik przenikania ciepła, budynki niskoenergetyczne, ochrona cieplna budynków

Abstract

This article presents an analysis of the structural and material solutions for selected wooden roofs and flat roofs in light of the thermal requirements set forth in the technical regulations for buildings. Methods for roof insulation and ventilation are described, as well as methods for calculating the heat transfer coefficient U . An analysis of the

thermal and moisture parameters of the external wall-to-flat roof connection in buildings with varying energy standards is conducted. Based on the calculations and analyses, practical conclusions are drawn regarding the thermal efficiency of wooden roofs and flat roofs in contemporary buildings.

Keywords timber roofs, flat roofs, heat transfer coefficient, low-energy buildings, thermal protection of buildings

WPROWADZENIE

Od wielu lat przepisy regulujące projektowanie, wznoszenie i eksploatację budynków wymuszają stosowanie rozwiązań technicznych i organizacyjnych, w wyniku których nowe obiekty zużywają w trakcie eksploatacji coraz mniej energii na ogrzewanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Znajduje to wyraz m.in. w zmianach maksymalnej warto-

ści współczynnika przenikania ciepła $U_{\max}$ (dawniej $k_{\max}$).

Budynek o niskim zużyciu energii to taki, który spełnia minimalne wymagania w zakresie oszczędności energii ($EP \leq EP_{\max}$) i ochrony cieplnej ($U \leq U_{\max}$) zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać

budynki i ich usytuowanie [1] (dalej: WT-2021). Aby osiągnąć ten standard, budynki powinny być wyposażone w nowoczesne systemy izolacji termicznej, szczelne okna oraz energooszczędne systemy ogrzewania i przygotowania c.w.u. z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii (OZE).

Budynki niskoenergetyczne charakteryzują się rocznym zapotrzebowaniem



na energię użytkową na cele ogrzewania EUco poniżej 40 kWh/(m²·rok). Osiągnięcie tego standardu wymaga zastosowania wysokiej jakości izolacji termicznej, wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła (rekuperacji), wysokosprawnych systemów ogrzewania i przygotowania c.w.u. z zastosowaniem OZE, a także optymalnego wykorzystania promieniowania słonecznego (przeźroczyste przegrody odpowiednio zorientowane względem stron świata, spełniające wymagania w zakresie współczynnika przenikania ciepła U_w oraz ochrony przed przegrzewaniem w okresie letnim).

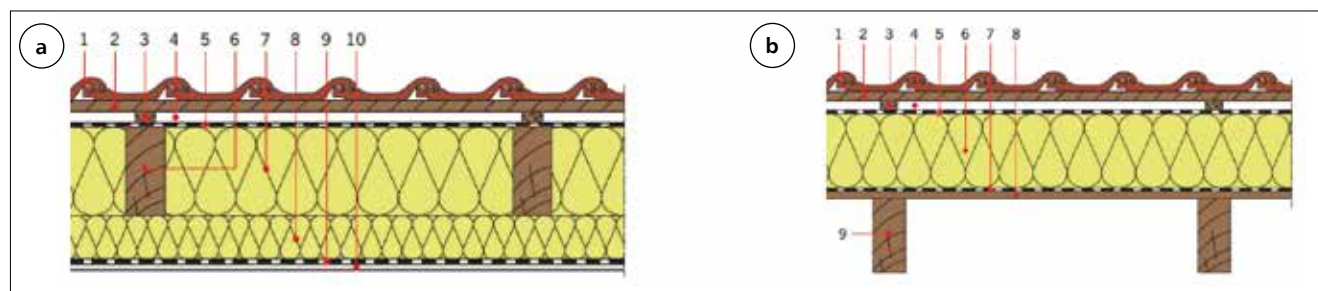
PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE DACHÓW DREWNIANYCH

Dach to element zwieńczający budynek z przekryciem osłaniającym przed wpływami zjawisk atmosferycznych oraz przenoszącym obciążenie od śniegu i wiatru. Do podstawowych elementów dachu można zaliczyć:

- konstrukcję nośną (drewno, stal, żelbet lub połączenie drewna i żelbetu);
- warstwę izolacji cieplnej, paroszczelnej;
- warstwę podkładu (deskowanie, łączenie);
- pokrycie dachowe (dachówka ceramiczna, dachówka cementowa, gont bitumiczny, blacha trapezowa itp.).

Rodzaje i kształty dachów zależą od stylu architektonicznego, rodzaju konstrukcji, przeznaczenia budynku oraz sposobu odprowadzenia wód opadowych i rodzaju pokrycia dachowego.

Dachy o konstrukcji drewnianej zwykle projektuje się i wykonuje z drewna sosnowego, jodłowego lub świerkowego o wilgotności poniżej 20%, zabezpieczonego przed korozją biologiczną. Konstrukcje nośne dachów drewnianych, czyli więźby dachowe, mogą się różnić układem elementów. Przykładowe konstrukcje dachowe to: krokwiowa, jętkowa, płatwiowo-kleszczowa lub zastrzałowa. Dobór pokrycia zależy od kąta



Rys. 1. Przykładowe rozwiązania materiałowe dachów drewnianych: a) izolacja podkrokwiowa (oznaczenia: 1 – pokrycie dachowe, 2 –łaty, 3 – kontrłaty, 4 – pustka powietrzna dobrze wentylowana, 5 – membrana dachowa, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna między krokwiami, 8 – izolacja cieplna podkrokwiowa, 9 – folia budowlana, 10 – płyta gipsowo-kartonowa), b) izolacja nadkrokwiowa (oznaczenia: 1 – pokrycie dachowe, 2 –łaty, 3 – kontrłaty, 4 – pustka powietrzna dobrze wentylowana, 5 – membrana dachowa, 6 – izolacja cieplna nadkrokwiowa, 7 – folia budowlana, 8 – deskowanie, 9 – krokiew)

nachylenia połaci dachowej, stylu architektonicznego oraz upodobań użytkowników. Do ocieplania dachów drewnianych według [2, 3] stosuje się najczęściej następujące materiały termoizolacyjne: płyty drzewne, z wełny owczej oraz mineralnej, piankę poliuretanową (PUR/PIR) i płyty korkowe.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

Przeprowadzono analizę rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych dachów drewnianych w aspekcie ochrony cieplnej budynków zgodnie z rozporządzeniem [1]. Rozwiązania te różnią się od siebie ułożeniem warstwy izolacji termicznej oraz sposobem wentylowania. Jest kilka możliwości mocowania termoizolacji (rys. 1): między krokiewiami, między krokiewiami i nad lub pod nimi,

na krokwiach. Jej usytuowanie zależy od wielu czynników oraz zjawisk cieplno-wilgotnościowych.

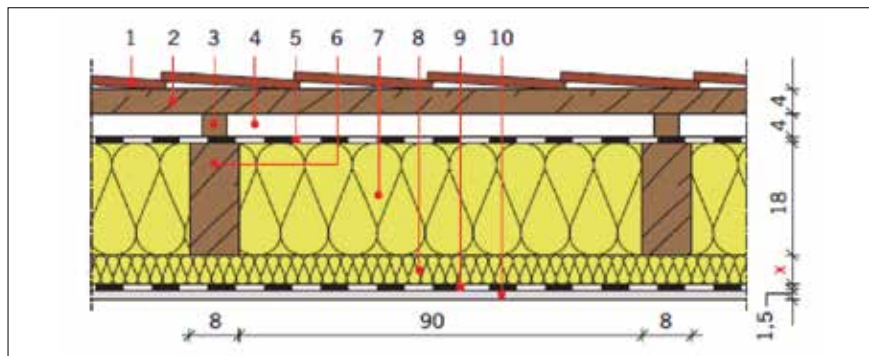
W dachach z poddaszem ogrzewanym ocieplenie umieszcza się najczęściej między i pod krokiewiami. Jego grubość zależy od wysokości krokwi. Wykonywane jest z płyt, mat lub w postaci luźnego materiału wdmuchiwanego, na którym układana jest warstwa wiatroizolacji. Jej zadaniem jest ochrona przed powietrzem przepływającym z zewnątrz oraz przepuszczanie pary wodnej. Pod warstwą izolacji stosuje się paroizolację, którą układa się na warstwie wykończeniowej.

Przykład modelu obliczeniowego zawierającego układy warstw materiałowych analizowanych dachów w dwóch powszechnie stosowanych rozwiąza-

niach (izolacja pod krokiewiami i między nimi – wariant I i II) przedstawiono na rys. 2.

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] dla wybranych rozwiązań materiałowych dachów drewnianych, metodą kresów według normy PN-EN ISO 6946:2017 [6], zestawiono w tab. 1.

Wartości współczynnika przenikania ciepła U analizowanych dachów drewnianych zależą od rodzaju materiału termoizolacyjnego (jego współczynnika przewodzenia ciepła λ) oraz grubości warstwy izolacji podkrokwiowej. Zasadne jest przeprowadzenie dla analizowanych dachów drewnianych obliczeń numerycznych z zastosowaniem profesjonalnego programu komputerowego w celu określenia rozkładu temperatury i gęstości strumienia ciepłego.



Rys. 2. Model obliczeniowy dachu drewnianego (oznaczenia: 1 – dachówka karpiówka, 2 – łata 4 × 5 cm, 3 – kontrłata, 4 – szczelina wentylacyjna 4 cm, 5 – folia paroprzepuszczalna, 6 – krokiew 8 × 18 cm, 7 – termoizolacja gr. 18 cm, 8 – termoizolacja gr. x cm, 9 – folia paroizolacyjna, 10 – płyta gipsowo-kartonowa gr. 1,5 cm) – źródło [4, 5]

Tab. 1. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] dachów drewnianych z izolacją cieplną między i pod krokiewiami; oprac. autora na podstawie [4, 5]

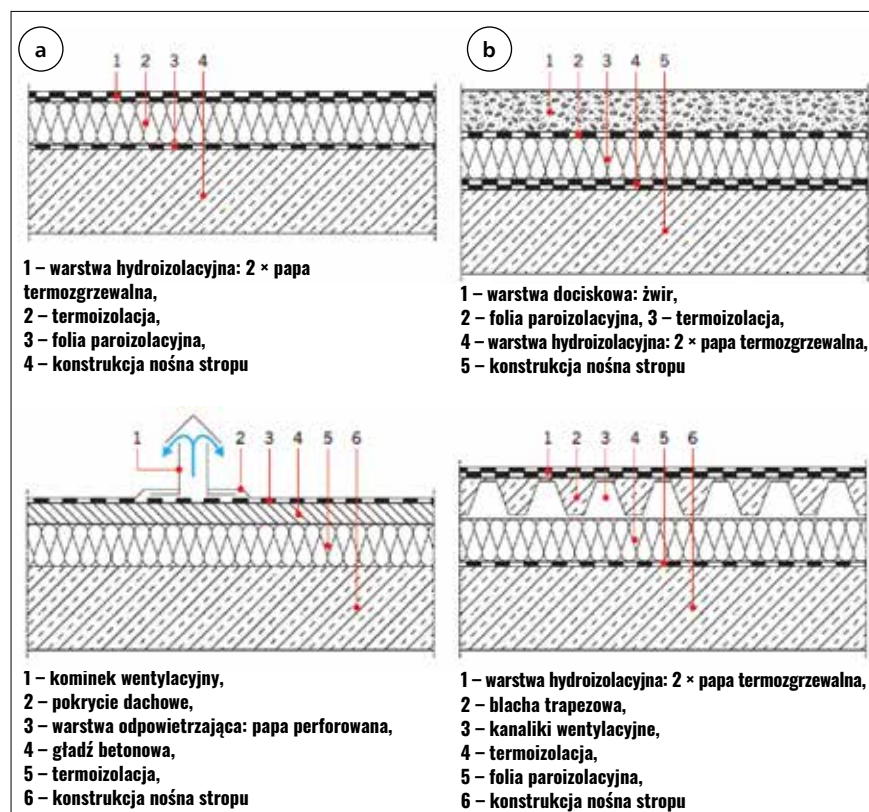
Przypadek obliczeniowy	Grubość izolacji pod krokiewiami x [m]	Opór cieplny przegrody R_{tot} [$(m^2 \cdot K)/W$]	Współczynnik przenikania ciepła przegrody U [$W/(m^2 \cdot K)$]
wariant I – ocieplenie z wełny mineralnej [$\lambda = 0,035 W/(m \cdot K)$] między krokiewiami gr. 18 cm i pod krokiewiami gr. 5, 10, 12 cm			
Ia	0,05	5,82	0,17
Ib	0,10	7,33	0,14
Ic	0,12	7,91	0,13
wariant II – ocieplenie styropianem grafitowym [$\lambda = 0,031 W/(m \cdot K)$] między krokiewiami gr. 18 cm i pod krokiewiami gr. 5, 10, 12 cm			
IIa	0,05	6,45	0,16
IIb	0,10	7,70	0,12
IIc	0,12	8,35	0,11

PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE STROPODACHÓW

Stropodach to element budynku stanowiący przekrycie ostatniej kondygnacji. Pełni dwie główne funkcje: stropu i dachu. Podstawowe elementy stropodachu to: konstrukcja nośna, paroizolacja, izolacja termiczna, warstwa nadająca spadek, pokrycie dachowe. Ponadto stropodachy przenoszą obciążenia od śniegu i wiatru oraz zabezpieczają wnętrze budynku przed opadami atmosferycznymi i wahaniami temperatury. Ze względu na układ warstw materiałowych można wyróżnić: stropodachy pełne, odpowiedziane i wentylowane. Na rys. 3 przedstawiono przykładowe rozwiązania materiałowe.

W zależności od sposobu użytkowania stropodachy dzieli się na: nieużytkowe (dostęp ogranicza się do prac konserwacyjnych i kontrolnych), użytkowe (dostępne dla ludzi i ruchu kołowego) oraz zielone (użytkowane w sposób ekstensywny i intensywny). Do ocieplania stropodachów pełnych oraz dachów zielonych stosuje się najczęściej takie materiały termoizolacyjne jak: płyty styropianowe EPS, płyty styropianowe grafitowe, polistyren

Rys. autora



Rys. 3. Przykładowe rozwiązania materiałowe stropodachów: pełnych (a), o odwróconym układzie warstw materiałowych (b), odpowietrzanych (c) i wentylowanych (d) – źródło [7]

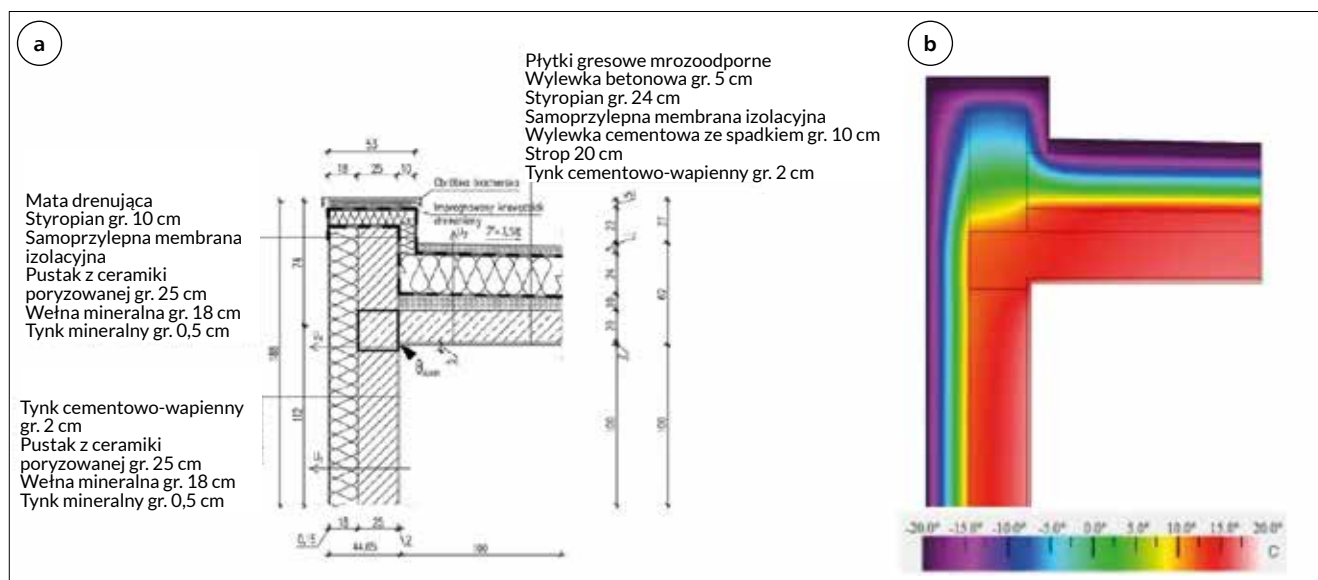
ekstrudowany (XPS), płyty z pianek poliuretanowych PIR i PUR, styropapa. Natomiast do ocieplenia stropodachów wentylowanych wykorzystuje się: wełnę mineralną i celulozową oraz piankę po-

liuretanową. Wybór układu warstw materiałowych stropodachów i ich złączy powinien się opierać na analizie wyników obliczeń parametrów cieplno-wilgotnościowych (fizykalnych).

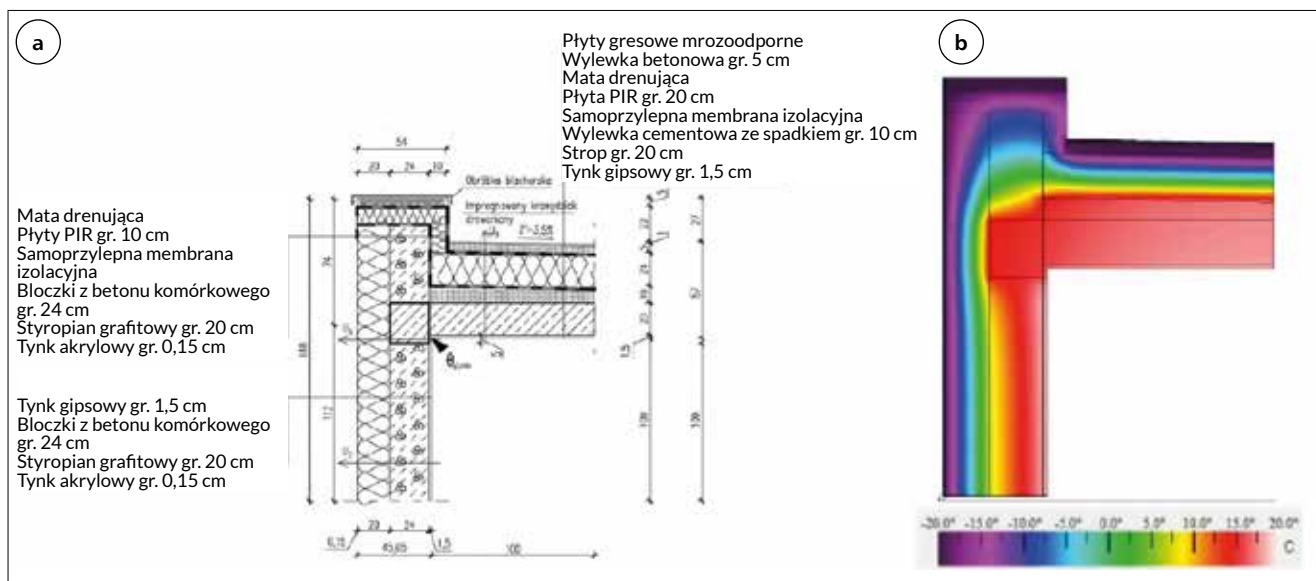
PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

Przeanalizowano parametry cieplno-wilgotnościowe (fizykalne) połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem pełnym w różnych standardach energetycznych (tj. budynek o niskim zużyciu energii według WT-2021, budynek niskoenergetyczny i pasywny) – rys. 4–6. Do obliczeń z zastosowaniem programu komputerowego Therm przyjęto następujące założenia:

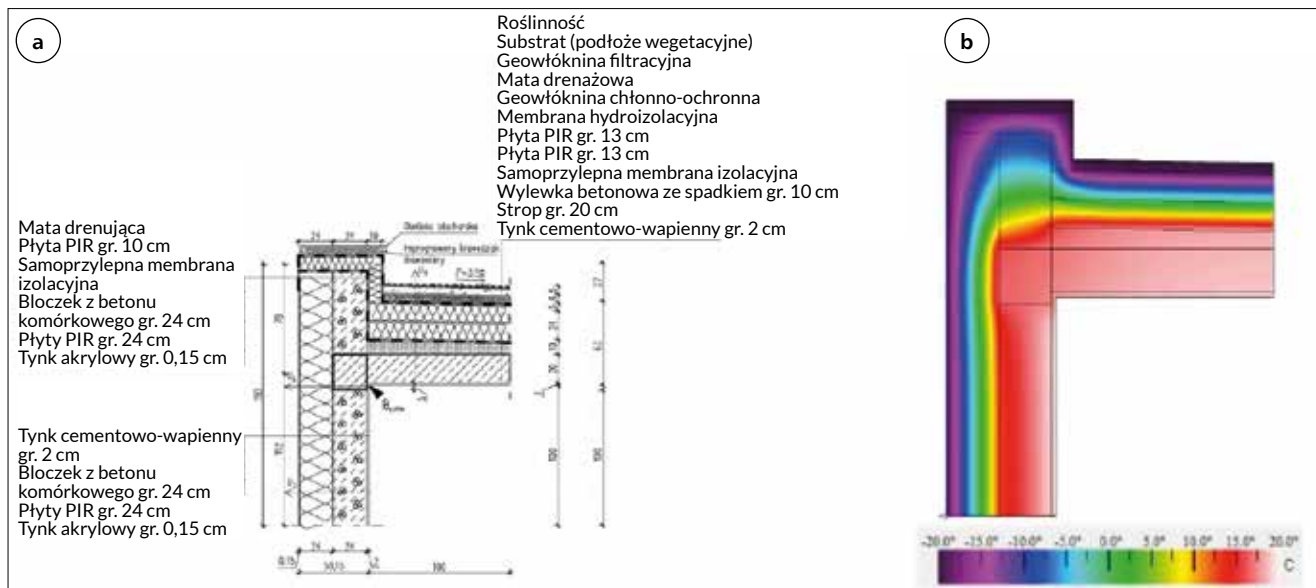
- modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami opisanymi w PN-EN ISO 10211:2017 [8];
- opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2017 [6] przy obliczeniach strumieni ciepłych [$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – w przypadku poziomego przepływu ciepła, $R_{si} = 0,10 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – przepływ ciepła w górę; $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$] oraz PN-EN ISO 13788:2003 [9] przy obliczeniach rozkładu temperatury i czynnika temperaturowego [$R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$; $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$];
- temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^\circ\text{C}$ (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$ (III strefa);
- wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych λ [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$] przyjęto na podstawie danych producentów.



Rys. 4. Układ warstw materiałowych i rozkład izoterm dla połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem budynku o niskim zużyciu energii: a) układ warstw materiałowych, b) rozkład izoterm – źródło [10]



Rys. 5. Układ warstw materiałowych i rozkład izoterm dla połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem budynku niskoenergetycznego: a) układ warstw materiałowych, b) rozkład izoterm – źródło [10]



Rys. 6. Układ warstw materiałowych i rozkład izoterm dla połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem budynku pasywnego: a) układ warstw materiałowych, b) rozkład izoterm – źródło [10]

Tab. 2. Wyniki parametrów cieplno-wilgotnościowych (fizycznych) połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem – oprac. autora na podst. [10]

Wariant obliczeniowy	U [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	Ψ_i [W/(m·K)]	$\theta_{si,min.}$ [°C]	f_{Rsi} [-]
I	0,172/0,189/0,141	17,95	0,135	15,80	0,895
II	0,117/0,159/0,105	12,78	0,097	16,60	0,915
III	0,075/0,089/0,082	9,33	0,076	17,50	0,938

U – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej/przez wieniec/stropodachu, Φ – strumień przepływający przez złącze, Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła (po wymiarach wewnętrznych), $\theta_{si,min.}$ – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni (na styku ściana zewnętrzna–stropodach), f_{Rsi} – czynnik temperaturowy

Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 2. Należy zauważyć, że złącze dwóch przegród zewnętrznych (ściana zewnętrzna

i stropodach pełny), spełniających standardy budynku o niskim zużyciu energii, niskoenergetycznego i pasywnego,

generuje dodatkowe straty ciepła w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ oraz obniżenia temperatury

minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si, min}$ – tab. 2. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że w przypadku wariantów obliczeniowych złączy budowlanych nie występuje ryzyko kondensacji powierzchniowej (rozwoju pleśni), ponieważ została spełniona nierówność: $f_{Rsi} \geq f_{Rsi(kryt.)}$. Wartość krytyczna czynnika temperaturowego $f_{Rsi(kryt.)}$ dla trzeciej klasy wilgotności w pomieszczeniu przy $t_i = 20^\circ\text{C}$ wynosi odpowiednio: dla lokalizacji Bydgoszcz – $f_{Rsi(kryt.)} = 0,785$, dla lokalizacji Warszawa – $f_{Rsi(kryt.)} = 0,789$.

PODSUMOWANIE

Projektowanie dachów i stropodachów powinno się opierać na obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych oraz cieplno-wilgotnościowych. Poprawne ukształtowanie warstw materiałowych gwarantuje uzyskanie wysokiej jakości cieplnej elementów obudowy budynków, a więc

osiągnięcie niskich wartości wskaźników charakterystyki energetycznej:

- EU – wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię użytkową,
- EK – wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową,
- EP – wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. ■

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. Dz.U. 2022 r. poz. 1225 ze zm.).
- [2] Wesołowska M., Pawłowski K., *Aspekty związane z dostosowaniem obiektów istniejących do standardów budownictwa energooszczędnego*, Włocławek: Agencja Reklamowa TOP, 2016.
- [3] Pawłowski K., „Innowacyjne rozwiązania materiałów termoizolacyjnych w aspekcie modernizacji budynków w Polsce” w *Isolacje*, nr 3, 2018, s. 48–64.
- [4] Wojtalewicz A., *Studium projektowe przegród zewnętrznych niskoenergetycznego budynku jednorodzinnego*, praca dyplomowa inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego. Bydgoszcz: UTP, 2016.
- [5] Mrzygłód M., Wojtalewicz A., „Analiza rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych budynku w standardzie niskoenergetycznym” w: Kijania-Kontak M.A. (red.), Rewers I.M. (red.), *Nowoczesne projektowanie i realizacja konstrukcji budowlanych*. Kraków: Politechnika Krakowska, 2016.
- [6] PN-EN ISO 6946:2017 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania.
- [7] Ciuba J., *Studium projektowe złączy stropodachów pełnych w świetle nowych wymagań cieplnych*, praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego. Bydgoszcz: UTP, 2016.
- [8] PN-EN ISO 10211:2017 Mostki cieplne w budynkach – Strumienie ciepła i temperatury powierzchni – Obliczenia szczegółowe.
- [9] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji – Metody obliczania.
- [10] Zielińska K., *Analiza porównawcza parametrów fizycznych złączy przegród zewnętrznych budynków niskoenergetycznych i pasywnych*, praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, Bydgoszcz: Politechnika Bydgoska, 2024.

MATERIAŁY PROMOCYJNE



Crystarid®-IK Aktywator – zabezpieczenie murów przed wilgocią

Crystarid®-IK Aktywator jest certyfikowanym wyrobem budowlanym przeznaczonym do zabezpieczania przed wilgocią murów z cegły, kamienia, ceglano-kamiennych oraz z bloków betonowych. Jest preparatem iniekcyjnym dedykowanym technologii Iniekcji Krystalicznej®, służącej do wytwarzania poziomej i pionowej izolacji przeciwwilgociowej w zawilgoconych murach. Skuteczność oraz trwałość technologii są potwierdzone w warunkach wysokiego stopnia zawilgocenia i zasolenia przegrody budowlanej. Więcej: www.i-k.pl.



Walraven VibraTek® – kompletna oferta rozwiązań wibroizolacyjnych

Rozwiązania wibroakustyczne pomagają zredukować wibracje pochodzące od urządzeń i maszyn. To gwarancja komfortu dla użytkowników budynków, zgodności z przepisami i normami, wydłużonej żywotności urządzeń i maszyn. Jako producent kompleksowych rozwiązań wibroakustycznych: od elementów z tworzyw po stalowe podkładki, maty i sprężyny Walraven pomaga skutecznie ograniczać drgania przenoszone w budynkach. Elementy można w prosty sposób integrować z systemami montażu rur, szynami montażowymi i konstrukcjami dachowymi z oferty firmy. Więcej: www.walraven.com/pl.