

e-book

NOWE WARUNKI TECHNICZNE 2021

DACHY, ŚCIANY, STROPY, FUNDAMENTY



Partnerzy publikacji



stahlton

HurtowniaStyropianu.pl

Opracowanie
Anna Białorucka

Wydawca
GRUPA MEDIUM
Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością S.K.
ul. Karczeńska 18, 04-112 Warszawa
tel.: 22 810 21 24, faks: 22 810 27 42

© Copyright by GRUPA MEDIUM

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów bez pisemnej zgody wydawcy.

ISBN 978-83-64094-08-8

Redakcja techniczna
GRUPA MEDIUM

Projekt okładki
Łukasz Gawroński

Skład i łamanie
GRUPA MEDIUM

Warszawa 2023

Publikacja wydana pod patronatem miesięcznika IZOLACJE

 **IZOLACJE**
budownictwo | przemysł | ekologia

SPIS TREŚCI

Wstęp	4
Warunki Techniczne 2021 dla przegród i złączy budowlanych	6
Materiały termoizolacyjne według nowych wymagań	22
Ocieplenia ścian zewnętrznych »PREZENTACJA«	38
Ekologiczne rozwiązania materiałowe przegród budynku w świetle wymagań obowiązujących od 1 stycznia 2021 r.	48
Projektowanie ścian zewnętrznych a Warunki Techniczne 2021	58
Jak skutecznie wyeliminować liniowe i punktowe mostki cieplne »PREZENTACJA«	82
Projektowanie podłóg i stropów według aktualnych przepisów	88
Stropy i ich złącza w budynkach z uwzględnieniem wymagań obowiązujących od 1 stycznia 2021 r.	112
Projektowanie balkonów w budynkach energooszczędnych	120
Ocieplanie od wewnątrz zgodne z WT 2021	132
Przegrody stykające się z gruntem – wymagania ciepłno-wilgotnościowe.	148
Termomodernizacja budynków – jak spełnić wymagania WT 2021?	166
Akustyka w budownictwie mieszkaniowym według WT 2021	180
Katalog firm	184

WSTĘP

Od 1 stycznia 2021 r. wszystkie nowo wznoszone obiekty, a także budynki zaprojektowane i wybudowane według wcześniej obowiązujących standardów muszą spełniać zaostrome warunki techniczne. Proces wdrażania bardziej rygorystycznych wytycznych w kontekście izolacyjności i efektywności energetycznej budynków rozpoczął się już w 2012 r., a następnie stopniowo w 2014 i 2017 r. zwiększano te wymagania.

Nowoczesne rozwiązania muszą sprostać wyzwaniom współczesnego budownictwa, a dobór warstw konstrukcyjno-materiałowych ścian, stropów, podłóg, dachów i balkonów w budynkach o niskim zużyciu energii nie powinien być przypadkowy, lecz opierać się na szczegółowych analizach i obliczeniach, aby prawidłowo projektować i wykonywać przegrody budowlane zgodnie z aktualnymi wymaganiami cieplno-wilgotnościowymi.

W naszym e-booku zebraliśmy informacje dotyczące projektowania i termomodernizacji niemal wszystkich przegród – ścian, dachów, podłóg, części budynków stykających się z gruntem oraz balkonów w energooszczędnych budynkach – jakie powinny mieć właściwości i parametry, aby spełniać aktualne wymagania cieplno-wilgotnościowe?

IZOLACJE

budownictwo | przemysł | ekologia



CZASOPISMO

Czasopismo dla inżynierów, architektów, inwestorów, a także osób pracujących w szeroko rozumianej branży budowlanej, oferujące aktualną, rzetelną i fachową wiedzę.

Dostępne również w wersji elektronicznej!



SOCIAL MEDIA

Dynamicznie rozwijające się konta w popularnych mediach społecznościowych. Znajdą tam Państwo aktualności, artykuły merytoryczne, patronaty medialne, konferencje oraz najważniejsze wydarzenia branżowe.



KSIĄŻKI

Literatura fachowa, autorstwa wykwalifikowanych i uznanych specjalistów, publikujących na łamach „IZOLACJI”.



E-BOOKI

Praktyczne poradniki dotyczące renowacji, dachów, zielonego budownictwa, termomodernizacji, hydroizolacji i innych istotnych zagadnień budowlanych.



WYDANIA SPECJALNE

- Wydania tematyczne.
- Kompendium Architekta.
- Kalendarze.



NEWSLETTER

Raz w tygodniu dostarczamy subskrybentom artykuły merytoryczne, aktualności branżowe, wywiady, przeglądy produktowe, informacje o konferencjach i targach.



IZOLACJE.COM.PL

Jeden z najpopularniejszych portali branżowych, prezentujący najnowsze i najbardziej przydatne treści.



DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

WARUNKI TECHNICZNE 2021

DLA PRZEGRÓD I ZŁĄCZY BUDOWLANYCH

Budynek składa się z wielu przegród budowlanych i ich złączy o indywidualnym charakterze fizycznym i poddany jest oddziaływaniu zmiennego środowiska zewnętrznego i wewnętrznego.

W wielu przypadkach analiza przegród i złączy budowlanych pod kątem zagadnień konstrukcyjno-materiałowym i technologii wykonania nie budzi zastrzeżeń na etapie projektowania. Natomiast znajomość parametrów cieplno-wilgotnościowych (fizycznych), związanych z wymianą ciepła i wilgoci, pozwala na uniknięcie wielu wad projektowych i wykonawczych oraz zapewnienie odpowiednich parametrów mikroklimatu wnętrza podczas użytkowania (odpowiednia temperatura, wilgotność i czystość powietrza wewnętrznego).

PRZEPISY PRAWNE W ZAKRESIE JAKOŚCI CIEPLNEJ ELEMENTÓW OBUDOWY BUDYNKÓW

Zasadniczą zmianą rozporządzenia w zakresie ochrony cieplnej budynków [1] jest zmiana wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła $U_{c(max)}$. Zaostrzeniu uległy wymagania częściowe w zakresie izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych, dachów, podłóg oraz okien i drzwi. Ponadto nie ma już znaczenia typ przegrody (wielo- czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenie obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.). Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła ścian, podłóg na gruncie, stropów, dachów i stropodachów, zgodnie z załącznikiem 2 do rozporządzenia [1], zestawiono w **TABELI 1**.

W **TABELI 2** zestawiono wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych, zgodnie z załącznikiem 2 do rozporządzenia [1].

Według rozporządzenia [1] dopuszcza się dla budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego większe wartości współczynnika U niż $U_{c(max)}$ oraz $U_{(max)}$ określone w **TABELACH 1** i **2**, jeśli uzasadnia to rachunek efektywności ekonomicznej inwestycji obejmujący koszt budowy i eksploatacji budynku. Ponadto w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

Lp.	Rodzaj przegrody	Temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{e(max)}$ [W/(m ² ·K)]			
			do 31.12.2013 r. ²⁾	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 01.01.2021 r. ¹⁾
1	Ściany zewnętrzne	$t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,28	0,25	0,23	0,20
		$8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,65	0,45	0,45	0,45
		$t_i < 8^\circ\text{C}$	0,90	0,90	0,90	0,90
2	Ściany wewnętrzne	$\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy	1,00	1,00	1,00	1,00
		$\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
		oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00	0,30	0,30	0,30
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości	5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm	1,00	1,00	1,00	1,00
		powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	0,70	0,70	0,70	0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych		bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami	$\Delta t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25	0,20	0,18	0,15
		$8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,50	0,30	0,30	0,30
		$t_i < 8^\circ\text{C}$	0,70	0,70	0,70	0,70
6	Podłogi na gruncie	$\Delta t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,45	0,30	0,30	0,30
		$8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	1,20	1,20	1,20	1,20
		$t_i < 8^\circ\text{C}$	1,50	1,50	1,50	1,50
7	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podłogowymi	$t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,45	0,25	0,25	0,25
		$8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	1,20	0,30	0,30	0,30
		$t_i < 8^\circ\text{C}$	1,50	1,00	1,00	1,00

TABELA 1. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła U_e [W/(m²·K)] dla ścian, podłóg na gruncie, stropów, dachów i stropodachów [1]

»

Lp.	Rodzaj przegrody	Temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m ² ·K)]			
			do 31.12.2013 r. ²⁾	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 01.01.2021 r. ¹⁾
8	Stropy nad ogrzewanymi kondygnacjami podziemnymi i międzykondygnacyjnymi	$\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
		$\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
		oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,45	0,25	0,25	0,25

» TABELA 1. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] dla ścian, podłóg na gruncie, stropów, dachów i stropodachów [1]

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura wewnętrzna, której wartość określona w §134 ust. 2 rozporządzenia [1]

t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia zgodnie z §134 ust. 2 rozporządzenia [1]

¹⁾ od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

²⁾ według rozporządzenia WT 2008

Lp.	Rodzaj przegrody	Temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m ² ·K)]			
			do 31.12.2013 r. ²⁾	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 01.01.2021 r. ¹⁾
1	Okna (z wyjątkiem okien połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przeszklone nieotwieralne	$t_i \geq 16^\circ\text{C}$	1,8	1,3	1,1	0,9
		$t_i < 16^\circ\text{C}$	2,6	1,8	1,6	1,4
2	Okna połaciowe	$t_i \geq 16^\circ\text{C}$	1,8	1,5	1,3	1,1
		$t_i < 16^\circ\text{C}$	2,6	1,8	1,6	1,4
3	Okna w ścianach wewnętrznych	$\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$	2,6	1,5	1,3	1,1
		$\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
		oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	2,6	1,5	1,3	1,1

TABELA 2. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła U [W/(m²·K)] dla okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych [1]

»

Lp.	Rodzaj przegrody	Temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m ² ·K)]			
			do 31.12.2013 r. ²⁾	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 01.01.2021 r. ¹⁾
4	Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi		2,6	1,7	1,5	1,3
5	Okna i drzwi zewnętrzne w przegrodach zewnętrznych pomieszczeń nieogrzewanych		bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań

» TABELA 2. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła U [W/(m²·K)] dla okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych [1]

t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia zgodnie z §134 ust. 2 rozporządzenia [1]

¹⁾ od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

²⁾ według rozporządzenia WT 2008

publicznej, produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej 2,0 (m²·K)/W, przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [2] oraz PN-EN ISO 13370:2008 [3].

W dalszej części artykułu przedstawiono ocenę jakości cieplnej wybranych przegród i złączy budowlanych budynków z uwzględnieniem wymagań obowiązujących od 1.01.2021 r.

JAKOŚĆ CIEPLNA ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

Ściana zewnętrzna stanowi sztuczną przegrodę pomiędzy otoczeniem zewnętrznym (o zmiennej temperaturze i wilgotności) a wnętrzem (o określonej temperaturze i wilgotności). Zmieniające się wymagania powodują, że na etapie projektowania i wykonywania pojawiają się nowe rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe ścian zewnętrznych. Najczęściej stosowanymi technologiami wznoszenia ścian zewnętrznych budynków w Polsce są technologie murowana, prefabrykowana lub drewniana.

Ściany zewnętrzne murowane występują jako jednowarstwowe, dwuwarstwowe, trójwarstwowe i szczelinowe. W przypadku ścian warstwowych, aby uzyskać odpowiednią izolacyjność cieplną w postaci współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)], należy dobrać odpowiednią grubość izolacji cieplnej w postaci:

- » płyt styropianowych EPS,
- » płyt ze styropianu grafitowego (szarego),
- » płyt z wełny mineralnej (skalnej),
- » płyt z pianki poliuretanowej PIR lub PUR,
- » płyt z pianki fenolowej (rezolowej),
- » innych innowacyjnych materiałów termoizolacyjnych: aerozele, izolacje próżniowe VIP, izolacje transparentne.

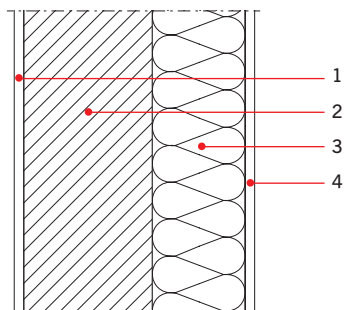
Warstwy materiałowe	d [m]	λ [W/(m·K)]	x [m]	Współczynnik przewodzenia ciepła materiałów izolacji cieplnej λ ^y [W/(m·K)]								
				I	III	III	IV	V	VI	VII	VIII	
				0,040	0,038	0,036	0,035	0,031	0,021	0,015	0,007	
I	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,26	0,25	0,24	0,24	0,22	0,16	0,12	0,06
	Bloczek z betonu komórkowego	0,24	0,21	0,12	0,23	0,22	0,21	0,21	0,19	0,14	0,11	0,05
	Izolacja cieplna	x	y	0,15	0,20	0,19	0,18	0,18	0,16	0,12	0,09	–
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,09	0,07	–
II	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,32	0,31	0,29	0,29	0,26	0,19	0,14	0,07
	Bloczek wapienno-piaskowy	0,24	0,56	0,12	0,28	0,26	0,25	0,25	0,22	0,16	0,12	0,06
	Izolacja cieplna	x	y	0,15	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18	0,13	0,09	–
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,18	0,17	0,16	0,16	0,14	0,10	0,07	–
III	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,33	0,32	0,30	0,30	0,27	0,19	0,14	0,07
	Cegła pełna	0,25	0,77	0,12	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,16	0,12	0,06
	Izolacja cieplna	x	y	0,15	0,23	0,22	0,21	0,21	0,19	0,13	0,10	–
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,18	0,17	0,16	0,16	0,14	0,10	0,07	–

TABELA 3. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_c według PN-EN ISO 6946:2008 [2] w odniesieniu do ściany zewnętrznej dwuwarstwowej

Objaśnienia:

Warianty izolacji cieplnej: I – płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ W/(m·K), II – płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K), III – płyty celulozowe $\lambda = 0,036$ W/(m·K), IV – płyty ekstrudowane $\lambda = 0,035$ W/(m·K), V – płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ W/(m·K), VI – płyty rezolowe $\lambda = 0,021$ W/(m·K), VII – płyty aerożelowe $\lambda = 0,015$ W/(m·K), VIII – płyty z paneli próżniowych VIP $\lambda = 0,007$ W/(m·K) (dla paneli próżniowych VIP wykonano obliczenia tylko dla grubości 10 i 12 cm wg wytycznych producentów); do obliczeń U_c przyjęto $\Delta U = 0$

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymagania: $U_c \leq U_{c,dopusz} = 0,20$ W/(m²·K)



RYS. 1. Układ warstw materiałowych ściany zewnętrznej dwuwarstwowej; rys.: autor

1 – tynk gipsowy, 2 – warstwa konstrukcyjna, 3 – izolacja cieplna, 4 – tynk cienkowarstwowy

Aby określić minimalną grubość materiału termoizolacyjnego, należy spełnić podstawowe kryterium cieplne: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych dwuwarstwowych (RYS. 1), wg PN-EN ISO 6946:2008 [2], przy zastosowaniu zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych (TABELA 3).

Istotny wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] ma wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] materiału termoizolacyjnego, a także materiału konstrukcyjnego (bloczek z betonu komórkowego, bloczekwapienno-piaskowy, cegła pełna). W odniesieniu do jednego rodzaju izolacji może się ona wahać w znacznym przedziale w zależności od produktu, co wynika z szybkiego rozwoju rynku materiałów termoizolacyjnych oraz coraz bardziej zaawansowanych technologii produkcyjnych.

Współczesne konstrukcje ścian zewnętrznych mogą być projektowane jako fasady wentylowane, wewnątrz których występują szczeliny powietrzne odprowadzające nadmierną wilgoć poza przegrodę. Fasady wentylowane mogą być wykonane w dwóch technologiach:

- » technologia lekka sucha (montaż elewacji z sidingu, płyt włóknocementowych, płyt cementowych, laminatów, elementów drewnianych, blachy aluminiowej itp.),
- » technologia ciężka sucha (ciężkie płyty kamienne lub płyty z kruszywa kamiennego spójonego żywicą).

Obie technologie mogą spełniać kryterium rozwiązania energooszczędnego ($U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), zarówno przy realizacji nowych budynków, jak i przy termorenowacji budynków już istniejących. Stosowanie tych technologii nie ma praktycznie ograniczeń temperaturowych dotyczących procesu technologicznego ponieważ nie wykonuje się prac mokrych na budowie.

Szczegółowe obliczenia i analizy w zakresie jakości cieplnej ścian zewnętrznych i ich złączy przedstawiono m.in. w pracach [4–5].

JAKOŚĆ CIEPLNA PRZEGRÓD STYKAJĄCYCH SIĘ Z GRUNTEM

W przypadku połączenia budynku z gruntem należy poprawnie zaprojektować i wykonać nie tylko posadzkę na gruncie, lecz także ścianę fundamentową, izolację cieplną i przeciwwilgociową. Dobór materiałów dla tych przegród nie może być przypadkowy i należy uwzględniać przy nim zagadnienia konstrukcyjne oraz cieplno-wilgotnościowe. Szczególnie ważne jest prawidłowe konstruowanie złącza na styku podłoga na gruncie–ściana fundamentowa–ściana parteru budynku. Bardzo istotny jest odpowiedni wybór i kształtowanie następujących elementów przegród stykających się z gruntem:

- » ściany fundamentowe (monolityczne, murowane z różnych materiałów),
- » izolacje przeciwwilgociowe i przeciwwodne (izolacje przeciwwilgociowe typu lekkiego, średniego i ciężkiego),
- » izolacje cieplne ścian fundamentowych, części nadziemnej budynku oraz posadzki na gruncie.

Ściana fundamentowa, jako ściana zewnętrzna ograniczająca podłogę na gruncie, uczestniczy w przekazywaniu strumienia ciepłego między pomieszczeniem a atmosferą lub pomieszczeniem, gruntem i atmosferą. Jako bariera dla przenikania ciepła powinna zapewniać wystarczający opór cieplny, np. przez zastosowanie materiału termoizolacyjnego do wykonania izolacji krawędziowej (obwodowej) [6].

W rozdziale 4 rozporządzenia [1] sformułowano szczegółowe wytyczne w zakresie ochrony przed zawilgoceniem i korozją biologiczną rozpatrywanych przegród:

§ 315. Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby opady atmosferyczne, woda w gruncie i na jego powierzchni, woda użytkowa w budynkach oraz para wodna w powietrzu w tym budynku nie powodowały zagrożenia zdrowia i higieny użytkowania.

§ 316.1. Budynek posadowiony na gruncie, na którym poziom wód gruntowych może spowodować przenikanie wody do pomieszczeń, należy zabezpieczyć za pomocą drenażu zewnętrznego lub w inny sposób przed infiltracją wody do wnętrza oraz zawilgoceniem.

2. Ukształtowanie terenu wokół powinno zapewniać swobodny spływ wody opadowej od budynku.

§ 317.1. Ściany piwnic budynku oraz stykające się z gruntem inne elementy budynku, wykonane z materiałów podciągających wodę kapilarnie, powinny być zabezpieczone odpowiednią izolacją przeciwwilgociową.

2. Części ścian zewnętrznych, bezpośrednio nad otaczającym terenem, tarasami, balkonami i dachami, powinny być zabezpieczone przed przenikaniem wody opadowej i z topniejącego śniegu.

§ 318. Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród zewnętrznych i ich uszczelnienie powinny uniemożliwiać przenikanie wody opadowej do wnętrza budynków.

Do ocieplania przegród stykających się z gruntem (izolacja obwodowa), cokołów i podłóg najczęściej stosowane są następujące materiały termoizolacyjne: polistyren ekstrudowany (XPS), płyty z pianek poliuretanowych, szkło piankowe.

Wartości współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] oraz współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_g [W/K] zależą od przyjętego układu warstw materiałowych przegród stykających się z gruntem oraz wymiarów rzutu analizowanego budynku (wymiar charakterystyczny budynku B'). W związku z powyższym w przypadku projektowania lub oceny stanu cieplnego przegród stykających się z gruntem powinno się podchodzić indywidualnie. Przy zastosowaniu izolacji podłogi na gruncie w postaci płyty z polistyrenu ekstrudowanego XPS grubości 10 cm o współczynniku $\lambda = 0,035 W/(m \cdot K)$ i izolacji pionowej krawędziowej (obwodowej) z płyt z pianki poliuretanowej grubości 5 cm o współczynniku $\lambda = 0,022 W/(m \cdot K)$ uzyskano wartości współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] (dla wymiarów budynku od 6×6 m do 15×15 m) na poziomie $U = 0,20\text{--}0,25 W/(m^2 \cdot K)$. W związku z powyższym analizowane przypadki spełniają wymaganie sformułowane w rozporządzeniu [1] w zakresie współczynnika przenikania ciepła: $U = 0,20\text{--}0,25 < U_{(max)} = 0,30 W/(m^2 \cdot K)$. Warunek został spełniony także w zakresie oceny wartości oporu cieplnego izolacji cieplnej (obwodowej/krawędziowej) $R = d/\lambda = 0,05/0,022 = 2,27 > R_{min.} = 2,0 (m^2 \cdot K)/W$. Szczegółowe obliczenia i analizy na ten temat przedstawiono m.in. w pracach [7–8].

Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe przegród stykających się z gruntem przedstawiono w **TABELI. 4**.

Lp.	Układ warstw węzła	Grubość d [m]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]
1	Tynk gipsowy	0,015	0,400
2	Błoczki z betonu komórkowego	0,240	0,200
3	Płyty z pianki poliuretanowej	0,120	0,022
4	Błoczki z betonu komórkowego	0,120	0,200
5	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,760
6	Grunt rodzimy	–	2,000
7	Płyta betonowa	0,100	1,650
8	Papa termozgrzewalna	–	–
9	Płyty styropianowe XPS	0,100	0,035
10	Folia PF	–	–
11	Gładź cementowa	0,050	1,000
12	Parkiet drewniany	0,020	0,160
13	Izolacja przeciwwilgociowa	–	–
14	Błoczki betonowe	0,240	1,650
15	Izolacja obwodowa (krawędziowa)	0,100	1) ¹⁾ 2) ²⁾
16	Folia kubełkowa	–	–
17	Ława żelbetowa	0,300	2,500
18	Listwa startująca	–	–

100

102

30

117

30

0,5 12 12 24 1,5

18

6

13 14 13 15 16

17

3 10 24 13

50

1) wariant I – płyta z pianki poliuretanowej o $\lambda = 0,022 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, opór cieplny izolacji obwodowej $R = 4,54 \text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W} > R_{\text{min.}} = 2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W}$
2) wariant II – płyty styropianowe XPS o $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, opór cieplny izolacji obwodowej $R = 2,86 \text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W} > R_{\text{min.}} = 2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W}$
Należy pamiętać o zabezpieczeniu części cokołowej budynku przed działaniem czynników atmosferycznych np. w postaci okładziny z płytek ceramicznych

TABELA 4. Układ warstw materiałowych przegród stykających się z gruntem – opracowanie własne na podstawie [9]

JAKOŚĆ CIEPLNA DACHÓW I STROPODACHÓW

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

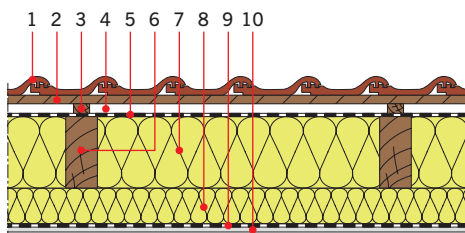
- » konstrukcję nośną (drewno, stal, żelbet lub połączenie drewna i żelbetu),
- » warstwę izolacji cieplnej, paroszczelnej,
- » warstwę podkładu (deskowanie, łacenie),
- » pokrycie dachowe (dachówka ceramiczna, dachówka cementowa, gont bitumiczny, blacha trapezowa itp.).

Do ocieplania dachów drewnianych najczęściej stosowane są następujące materiały termoizolacyjne: płyty drzewne, płyty z wełny owczej, płyty z wełny mineralnej, pianka poliuretanowa (PUR/PIR), płyty korkowe.

Zastosowanie ocieplenia między krokiewmi (grubość 18 cm w postaci wełny mineralnej o $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ lub styropianu grafitowego o $\lambda = 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) oraz pod krokiewmi (grubość 10–12 cm w postaci wełny mineralnej o $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ lub styropianu grafitowego o $\lambda = 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) – **RYS. 2** daje możliwość uzyskania wartości współczynnika przenikania ciepła U na poziomie 0,11–0,14 $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$, spełniając kryterium cieplne: $U_c \leq U_{c(max.)} = 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

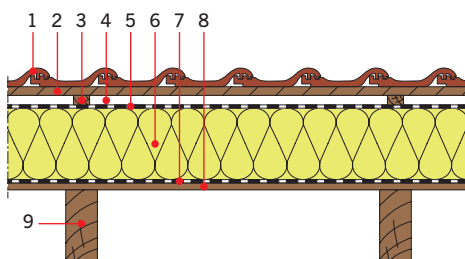
Natomiast zastosowanie ocieplenia nad krokiewmi w postaci płyt z pianki poliuretanowej PIR $\lambda = 0,026 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ grubości 16, 18 i 20 cm – **RYS. 3** daje możliwość uzyskania wartości współczynnika przenikania ciepła U na poziomie 0,12–0,15 $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$, spełniając kryterium cieplne: $U_c \leq U_{c(max.)} = 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Stropodachy to element budynku będący przekryciem ostatniej kondygnacji. Pełnią one jednocześnie dwie podstawowe funkcje: stropu oraz dachu. Podstawowe elementy stropodachu to konstrukcja nośna, paraizolacja, izolacja termiczna, warstwa nadająca spadek i pokrycie dachowe. Stropodachy przenoszą obciążenia od śniegu i wiatru oraz zabezpieczają wnętrze budynku przed opadami atmosferycznymi i wahaniami temperatury.



RYS. 2. Przykładowe zastosowanie pianki poliuretanowej w dachach skośnych drewnianych jako izolacji cieplnej między i pod krokiewmi; rys.: [10]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łań, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna (np. płyty z wełny mineralnej lub styropianu grafitowego), 8 – dodatkowa warstwa izolacji cieplnej (np. płyty z wełny mineralnej lub styropianu grafitowego), 9 – folia paroizolacyjna, 10 – płyta gipsowo-kartonowa



RYS. 3. Przykładowe zastosowanie pianki poliuretanowej w dachach skośnych drewnianych jako izolacji cieplnej nad krokiewmi; rys.: [10]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łań, 3 – kontrłata lub deskowanie, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia, 6 – izolacja cieplna (np. płyty PIR/PUR), 7 – folia paroizolacyjna, 8 – deskowanie, 9 – krokiew

Ze względu na układ warstw materiałowych stropodachu można wyróżnić stropodachy pełne oraz dachy zielone, odpowietrzane i wentylowane.

Do ocieplania stropodachów pełnych i dachów zielonych najczęściej stosowane są takie materiały jak polistyren ekstrudowany (XPS), płyty z pianek poliuretanowych PIR i PUR, styropapa, natomiast do ocieplania stropodachów dwudzielnych i stropów nad poddaszami nieużytkowanymi – wełna celulozowa oraz wełna mineralna.

Aby osiągnąć wartość współczynnika przenikania ciepła stropodachu U_c poniżej wartości maksymalnej $U_{c(max.)} = 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, należy dobrać odpowiednią grubość materiału termoizolacyjnego, która zależy od współczynnika przewodzenia ciepła λ (np. płyty z pianki poliuretanowej $\lambda = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, płyty styropianowe XPS $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) oraz rozwiązania materiałowego stropu.

JAKOŚĆ CIEPLNA PRZEGRÓD PRZEZROCZYSTYCH

Na wartość współczynnika przenikania ciepła okna U_w ma wpływ zastosowany zestaw szybowy (współczynnik przenikania ciepła zestawu szybowego U_g) oraz rama okienna (współczynnik przenikania ciepła ramy U_f). Istotne znaczenie ma także styk (połączenie) zestawu szybowego z ramą okienną (liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ_g).

Przenoszenie ciepła przez okna i drzwi zewnętrzne, a także nieprzeźroczyste panele, jest częścią składową współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_D . Przegroda przeźroczysta (np. stolarka okienna, drzwi balkonowe) jest specyficznym elementem obudowy o zróżnicowanym kształcie, zawierającym liczne mostki płaskie i przestrzenne o nakładających się obszarach oddziaływania. Skrzydła okienne mogą być wielopodziałowe ze słupkami, ślemionami i szczeblinami. Do ich wykonania stosowane są materiały o różnych charakterystykach cieplnych – drewno, tworzywa sztuczne, metale. Oszklenie może być jedno- lub wieloszybowe z wypełnieniem różnymi gazami. Między oszkleniem i skrzydłem okiennym umieszcza się ramki dystansowe, ostatnio o ulepszonych właściwościach. Obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_w przegrody przeźroczystej powinny być przeprowadzane indywidualnie dla każdego pojedynczego rozwiązania.

Istotnym elementem projektowania przegród przeźroczystych jest uwzględnienie wymagania w zakresie ochrony przed przegrzewaniem pomieszczeń w okresie letnim.

W rozporządzeniu [1] zapisano:

§ 57. 1. Pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi powinno mieć zapewnione oświetlenie dzienne, dostosowane do jego przeznaczenia, kształtu i wielkości, z uwzględnieniem warunków określonych w § 13 oraz w ogólnych przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy.

2. W pomieszczeniu przeznaczonym na pobyt ludzi stosunek powierzchni okien, liczonej w świetle ościeżnic do powierzchni podłogi powinien wynosić co najmniej 1:8, natomiast w innym pomieszczeniu, w którym oświetlenie dzienne jest wymagane ze względu na przeznaczenie – co najmniej 1:12.

2.1.3. W budynku produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym łączne pole powierzchni okien i ścian szklanych w stosunku do powierzchni całej elewacji nie może być większe niż:

- 1) w budynku jednokondygnacyjnym (halowym) – 15%;
- 2) w budynku wielokondygnacyjnym – 30%.

Lp.	Typ oszklenia	Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego g_n
1	Pojedynczo szklone	0,85
2	Podwójnie szklone	0,75
3	Podwójnie szklone z powłoką selektywną	0,67
4	Potrójnie szklone	0,70
5	Potrójnie szklone z powłoką selektywną	0,50
6	Okna podwójne	0,75

TABELA 5. Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego g_n [1]

2.1.4. We wszystkich rodzajach budynków współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych g liczony według wzoru:

$$g = f_c \cdot g_n$$

gdzie:

g_n – współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia,

f_c – współczynnik redukcji promieniowania ze względu na zastosowanie urządzenia przeciwsłoneczne,

w okresie letnim nie może być większy niż 0,35.

2.1.5. Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia g_n należy przyjmować na podstawie deklaracji właściwości użytkowej okna. W przypadku braku danych wartość g_n określa się na podstawie TABELI 5.

2.1.6. Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne f_c określa TABELA 6.

2.1.7. Pkt 2.1.4. nie stosuje się w odniesieniu do powierzchni pionowych oraz powierzchni nachylonych więcej niż 60 stopni do poziomu, skierowanych w kierunkach od północno-zachodniego do północno-wschodniego (kierunek północy ± 45 stopni), okien chronionych przed promieniowaniem słonecznym elementem zacieniającym, spełniającym wymagania, o którym mowa w pkt. 2.1.4., oraz do okien o powierzchni mniejszej niż 0,5 m².

Aktualne wymagania dotyczące przegród przezroczystych, wynikające z rozporządzenia [1], mają na celu ochronę przed przegrzewaniem budynku dzięki zastosowaniu urządzeń (osłon) przeciwsłonecznych. Do najpopularniejszych rozwiązań w tym zakresie można zaliczyć okienne drewniane, firany i zasłony, żaluzje i rolety, markizy, skryny, refleksowe, folie naklejane na szyby, łamacze światła. Wymagania określone w §328 ust. 2 uznaje się za spełnione, jeżeli okna oraz inne przegrody przeszklone i przezroczyste odpowiadają przynajmniej wymaganiom określonym w pkt. 2.1.4. załącznika nr 2 do rozporządzenia [1].

Poniżej przedstawiono analizy w zakresie sprawdzenia warunku ochrony przed przegrzewaniem w okresie letnim dla dwóch wariantów:

» wariant I: przegroda przezroczysta potrójnie szklona z osłoną zewnętrzną w postaci zasłony z powłoką aluminiową,

Lp.	Typ zasłon	Wartości optyczne		Współczynnik redukcji promieniowania f_c	
		współczynnik absorpcji	współczynnik przepuszczalności	osłona wewnętrzna	osłona zewnętrzna
1	Białe żaluzje o lamelach nastawnych	0,1	0,05	0,25	0,10
			0,1	0,30	0,15
			0,3	0,45	0,35
2	Zasłony białe	0,1	0,5	0,65	0,55
			0,7	0,80	0,75
			0,9	0,95	0,95
3	Zasłony kolorowe	0,3	0,1	0,42	0,17
			0,3	0,57	0,37
			0,5	0,77	0,57
4	Zasłony z powłoką aluminiową	0,2	0,05	0,20	0,08

TABELA 6. Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne f_c [1]

» wariant II: przegroda przezroczysta podwójnie szklona z osłoną wewnętrzną w postaci białych żaluzji o lamelach nastawnych.

Dla ww. wariantów określono: na podstawie TABELI 2 wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego g_n oraz TABELI 3 wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne f_c .

Dla wariantu I: $g_n = 0,70$ (potrójnie szklona), $f_c = 0,08$ (zasłony z powłoką aluminiową od strony zewnętrznej) – współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych g liczony według wzoru $g = f_c \cdot g_n = 0,70 \cdot 0,08 = 0,056$.

Warunek w zakresie ochrony przed przegrzewaniem w okresie letnim został spełniony ponieważ $g = 0,056 < 0,35$ (wartość graniczna wskaźnika g wg rozporządzenia [1]).

Dla wariantu II: $g_n = 0,75$ (podwójnie szklona), $f_c = 0,45$ (białe żaluzje o lamelach nastawnych od strony wewnętrznej) – współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych g liczony według wzoru $g = f_c \cdot g_n = 0,75 \cdot 0,45 = 0,34$.

Warunek w zakresie ochrony przed przegrzewaniem w okresie letnim został spełniony ponieważ $g = 0,34 < 0,35$ (wartość graniczna wskaźnika g wg rozporządzenia [1]).

JAKOŚĆ CIEPLNA ZŁĄCZY BUDOWLANYCH

Połączenie dwóch przegród (ściany zewnętrznej i stolarki okiennej) o zróżnicowanych współczynnikach przenikania ciepła U_c/U_w generuje dodatkowe straty ciepła (opisane najczęściej w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ) oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $t_{min}/\theta_{si,min}$. Złącze (styk) ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże jest typowym przykładem mostka cieplnego.

Do obliczeń numerycznych (przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO) przyjęto następujące założenia:

» modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [11],

» opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [2] przy obliczeniach strumieni ciepłych oraz wg PN-EN ISO 13788:2003 [14] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$,

» temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^\circ\text{C}$ (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$ (III strefa),

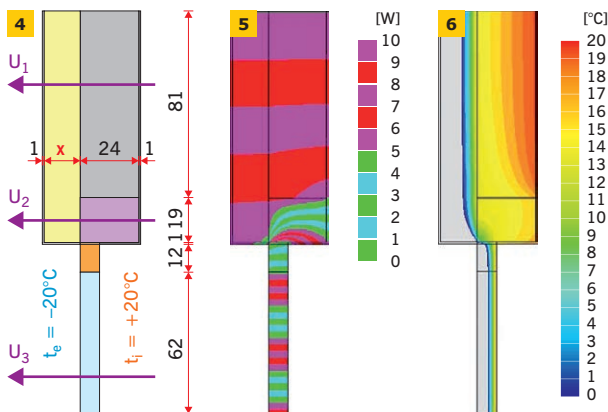
» wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów budowlanych λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie tablic w pracy [12],

» ściana zewnętrzna dwuwarstwowa: bloczek z betonu komórkowego grubości 24 cm – $\lambda = 0,22$ W/(m·K), styropian grafitowy (przypadek B) – $\lambda = 0,031$ W/(m·K), nadproże żelbetowe grubości 24 cm $\lambda = 2,50$ W/(m·K), tynk gipsowy grubości 1 cm – $\lambda = 0,40$ W/(m·K), tynk cienkowarstwowy grubości 1 cm – $\lambda = 1,00$ W/(m·K),

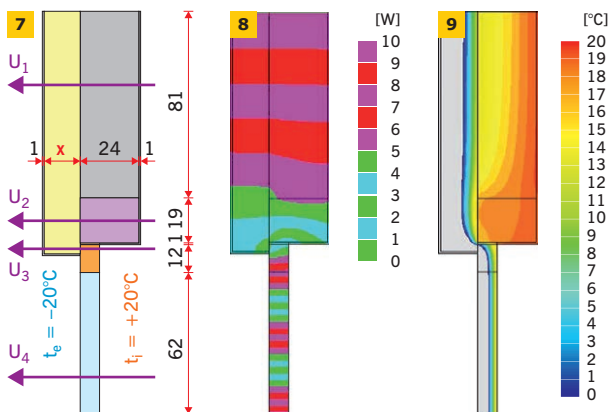
» stolarka okienna o $U_w = 0,89$ W/(m²·K) według PN-EN ISO 10077-1:2007 [13].

Analizowane złącze rozpatrywano w dwóch przypadkach – bez węgarka i z węgarkiem (przełożeniem izolacji cieplnej na ościeżnicę) – RYS. 4–9. Procedury obliczeniowe parametrów fizycznych złączy budowlanych przedstawiono m.in. w pracach [12, 15], a wyniki obliczeń w TABELI 7.

Parametry fizyczne połączenia dwóch przegród zewnętrznych (ściany zewnętrznej i stolarki okiennej) kształtują się w zależności od rodzaju i usytuowania zastosowanego materiału termoizolacyjnego oraz położenia ościeżnicy okiennej. Należy podkreślić, że mimo spełnienia podstawowego kryterium cieplnego dla pojedynczych przegród ($U \leq U_{max}$) w analizowanych złączach



RYS. 4–6. Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże (bez węgarka): model obliczeniowy (4), linie strumieni ciepłych – adiabaty (5), rozkład temperatury – izotermy (6) (opracowanie własne na podstawie [15]); rys.: autor



RYS. 7–9. Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże (z węgarkiem): model obliczeniowy (7), linie strumieni ciepłych – adiabaty (8), rozkład temperatury – izotermy (9) (opracowanie własne na podstawie [15]); rys.: autor

Wariant obliczeniowy	Grubość materiału termoizolacyjnego	Parametry fizyczne połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże					
		Współczynnik przenikania ciepła pojedynczej części złącza U_i [W/(m²·K)]	Strumień ciepła przepływający przez złącze Φ [W]	Współczynnik sprężenia cieplnego L_{2D} [W/(m·K)]	Liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)]	Temperatura minimalna przegrody (na styku ściana zewnętrzna – ościeżnica okienna) $\theta_{s,min}$ [°C]	Czynnik temperaturowy $f_{Rsi(2D)}$ [-]
Bez węgarła							
I	x = 10 cm	$U_1 = 0,22$	45,79	1,14	0,250	13,39	0,848
		$U_2 = 0,28$					
		$U_3 = \mathbf{0,89}$					
II	x = 12 cm	$U_1 = \mathbf{0,19}$	44,68	1,12	0,253	14,02	0,851
		$U_2 = 0,24$					
		$U_3 = 0,89$					
III	x = 15 cm	$U_1 = \mathbf{0,16}$	43,58	1,09	0,259	14,17	0,854
		$U_2 = 0,20$					
		$U_3 = \mathbf{0,89}$					
Z węgarłkiem							
IV	x = 10 cm	$U_1 = 0,22$	36,94	0,92	0,055	15,37	0,884
		$U_2 = 0,28$					
		$U_3 = \mathbf{0,89}$					
V	x = 12 cm	$U_1 = \mathbf{0,19}$	35,72	0,89	0,057	15,37	0,884
		$U_2 = 0,24$					
		$U_3 = \mathbf{0,89}$					
VI	x = 15 cm	$U_1 = \mathbf{0,16}$	34,44	0,86	0,060	15,37	0,884
		$U_2 = 0,20$					
		$U_3 = \mathbf{0,89}$					

TABELA 7. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych analizowanego złącza – opracowanie własne na podstawie [15]

Kolorem zielonym zaznaczono w tablicy wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ oraz $U_{w, stolarki}$ okiennej spełniających wymaganie: $U_{w, stolarki} < U_{(max)} = 0,90 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

występują dodatkowe straty ciepła (wyrażone w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si,min}$ [°C]. Przedłużenie izolacji cieplnej na ościeżnicę okienną (węgarek) powoduje minimalizację dodatkowych strat ciepła oraz ryzyko kondensacji powierzchniowej.

Spełnienie kryterium w zakresie uniknięcia występowania ryzyka kondensacji powierzchniowej (rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych): $f_{Rsi,(2D)} \geq f_{Rsi,(kryt.)}$, wymaga określenia wartości $f_{Rsi,(2D)}$ na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (2D) t_{min} [°C] oraz wartości $f_{Rsi,(kryt.)}$ uwzględniającej parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego (wilgotność i temperatura powietrza). Wartość maksymalna z 12 miesięcy w odniesieniu do lokalizacji (Bydgoszcz) $f_{Rsi,(max)} = f_{Rsi,(kryt.)} = 0,785$ (luty). Oznacza to, że w każdym miesiącu roku i dla każdych innych wartości temperatur brzegowych dla uniknięcia kondensacji powierzchniowej $f_{Rsi,(2D)}$ powinien być większy od 0,785. Należy podkreślić, że na podstawie przeprowadzonych obliczeń (TABELA 7) w analizowanych wariantach połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże nie wystąpi ryzyko kondensacji powierzchniowej (ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Projektowanie, wykonywanie i eksploatacja budynków o niskim zużyciu energii (NZEB), wg przepisów obowiązujących od 1 stycznia 2021 r., jest procesem złożonym i wymaga znajomości wielu zagadnień w zakresie materiałów budowlanych, budownictwa ogólnego, fizyki budowli, instalacji budowlanych, systemów odnawialnych źródeł energii oraz projektowania architektonicznego.

Od kilkunastu lat przepisy prawne związane z procesami projektowania, wznoszenia i eksploatacji budynków wymuszają takie rozwiązania technologiczne i organizacyjne, w wyniku których nowo wznoszone budynki zużywają w trakcie eksploatacji coraz mniej energii na ogrzewanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej (osiągając na etapie projektowania niską wartość wskaźników zapotrzebowania budynku na energię użytkową – EU, na energię końcową – EK oraz na nieodnawialną energię pierwotną – EP, wyrażoną w kWh/(m²·rok)).

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r., poz. 2285).
2. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
3. PN-EN ISO 13370:2008, „Ciepłote właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania”.
4. K. Pawłowski, „Projektowanie ścian w budownictwie energooszczędnym. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe ścian zewnętrznych i ich złączy w świetle obowiązujących przepisów”, Grupa Medium, Warszawa 2017.
5. K. Pawłowski, „Projektowanie ścian zewnętrznych z uwzględnieniem wymagań ciepłno-wilgotnościowych od 1 stycznia 2021 r.”, „IZOLACJE” 7–8/2020, s. 20–34.

6. A. Dylla, „Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych”, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009.
7. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród poziomych w budownictwie energooszczędnym. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe przegród stykających się z gruntem, stropów oraz dachów i stropodachów w świetle obowiązujących przepisów prawnych”, Grupa Medium, Warszawa 2018.
8. K. Pawłowski, „Przegrody stykające się z gruntem z uwzględnieniem wymagań ciepło-wilgotnościowych od 1 stycznia 2021 r.”, „IZOLACJE” 9/2020, s. 22–32.
9. S. Walczak, „Analiza numeryczna złączy ścian zewnętrznych trójwarstwowych w świetle nowych wymagań cieplnych”, Praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2015.
10. M. Maciaszek „Studium projektowe przegród zewnętrznych i ich złączy z zastosowaniem nowoczesnych materiałów izolacyjnych”, Praca dyplomowa inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2016.
11. PN-EN ISO 10211:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe”.
12. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.
13. PN-EN ISO 10077-1:2007, „Ciepłota właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła. Część 1: Postanowienia ogólne”.
14. PN-EN ISO 13788:2003, „Ciepło-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania”.
15. M. Piwowarski, „Analiza porównawcza parametrów fizycznych złączy przegród przezroczystych w świetle nowych wymagań cieplnych”, Praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2019.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepło-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

22

MATERIAŁY TERMOIZOLACYJNE WEDŁUG NOWYCH WYMAGAŃ

W niniejszym artykule podjęto dyskusję dotyczącą analizy parametrów technicznych nowoczesnych rozwiązań materiałów termoizolacyjnych oraz określenia ich wpływu na parametry fizyczne elementów obudowy budynków o niskim zużyciu energii (NZEB).

W rozporządzeniu [1] określono m.in. niższe wartości maksymalne współczynnika przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] dotyczące przegród zewnętrznych budynków oraz niższe wartości graniczne wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną $EP_{(max)}$ [kWh/(m²·rok)], zmieniające się w okresie 2014–2016, 2017–2020 i od 1 stycznia 2021 roku. Wg przepisów prawnych od 1 stycznia 2021 roku będą obowiązywały m.in. nowe (niższe – ostateczne) wartości graniczne $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] dla pojedynczych przegród.

W związku z powyższym istnieje potrzeba zastosowania nowoczesnych i innowacyjnych rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych i złączy budynków o niskim zużyciu energii w zakresie:

- » zastosowania nowoczesnych, innowacyjnych (efektywnych) materiałów termoizolacyjnych o niskiej wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] – osiągając mniejsze ich grubości oraz o odpowiedniej wartości oporu dyfuzyjnego μ [-] – eliminując ryzyko kondensacji międzywarstwowej,
- » poprawnego ukształtowania układów materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy – minimalizując dodatkowe straty ciepła oraz ryzyko występowania kondensacji międzywarstwowej i na wewnętrznej powierzchni przegrody przy zastosowaniu procedur, tzw. „szkoły projektowania złączy budowlanych”.

Projektowanie to opiera się na szczegółowych obliczeniach i analizach w aspekcie cieplno-wilgotnościowym i wytypowaniu poprawnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy.

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH MATERIAŁÓW TERMOIZOLACYJNYCH

Przed wyborem odpowiedniego materiału termoizolacyjnego, w aspekcie projektowania nowych obiektów lub modernizacji budynków istniejących, należy zwrócić uwagę na następujące właściwości: współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)], gęstość objętościowa, izolacyjność akustyczna, przepuszczalność pary wodnej, współczynnik oporu dyfuzyjnego μ [-], wrażliwość na czynniki biologiczne i chemiczne oraz ochronę przeciwpożarową. Na podstawie prowadzonych obliczeń i analiz w tym zakresie zestawiono przykładowy dobór materiałów termoizolacyjnych (RYS. 1).

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl**Przykładowy dobór materiałów termoizolacyjnych**

Ocieplenie **ścian zewnętrznych** (od zewnątrz): styropian (EPS), styropian szary (grafitowy), płyty z piany fenolowej, wełna mineralna, inne innowacyjne materiały: maty aerożelowe, porogel, płytowe elementy próżniowe (VIP)

Ocieplenie **stropodachów dwudzielnych i stropów nad poddaszami nieużytkowanymi**: wełna celulozowa, wełna mineralna

Ocieplenie **dachów drewnianych**: płyty drzewne, płyty z wełny owczej, płyty z wełny mineralnej, pianka poliuretanowa (PUR/PIR), płyty korkowe

Ocieplenie **przegród stykających się z gruntem (izolacja obwodowa), cokołów i podłóg**: polistyren ekstrudowany (XPS), szkło piankowe

Ocieplenie z zastosowaniem **materiałów termoizolacyjnych „nowej generacji”**: aerożel, porogel, izolacje refleksyjne, izolacje próżniowe VIP, izolacje transparentne, pianosilikaty

RYS. 1. Przykładowy dobór materiałów termoizolacyjnych;

rys.: autor

go styropianu jest znacznie mniejszej grubości od popularnych i tradycyjnych płyt styropianowych. Jednak przy ociepleniu ścian zewnętrznych często można zaobserwować wiele dokuczliwych problemów będących skutkiem zjawiska „przegrzewania”, typowego dla szarego styropianu. Podczas wykonywania ocieplenia mogą występować m.in.: efekt odpadania płyt od fasady na skutek przegrzania, efekt skurczu płyt styropianowych (powstawanie szczelin powietrznych w warstwie izolacji termicznej – tj. liniowych mostków cieplnych powodujących występowanie dodatkowych strat ciepła), naruszenie struktury płyt styropianowych (liniowe wytopienia). Szczegółowe analizy w tym zakresie opisano m.in. w pracach [2–4].

Jako odpowiedź na ten problem pojawiły się płyty styropianowe składające się z dwóch różnych rodzajów styropianu zespolonych w jedną płytę (zewnętrznej wykonanej ze styropianu białego i wewnętrznej ze styropianu szarego). Ponadto produkowane są płyty styropianowe perforowane w celu zwiększenia przepuszczalności pary wodnej. Krawędzie płyt styropianowych mogą być proste, do łączenia na zakład, do łączenia na pióro–wpust.

Płyty z wełny mineralnej (skalnej) są produkowane z włókien otrzymywanych w procesie rozwłóknienia stopionych surowców skalnych. Włókna łączy się lepiszczem (np. żywica

OCIEPLANIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

Do ocieplania ścian zewnętrznych (od zewnątrz) stosowane są najczęściej następujące materiały termoizolacyjne: styropian (EPS), styropian szary (grafitowy), płyty z piany fenolowej i wełna mineralna.

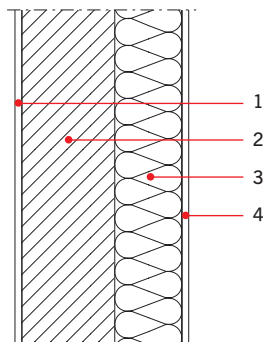
Płyty styropianowe EPS powstają w wyniku spienienia (ekspandowania) granulek polistyrenu metodą dwuetapową: produkcja w dużych blokach, z których (po odpowiednim okresie sezonowania) wycina się płyty o odpowiednim wymiarze. Jednak często stosuje się także metodę polegającą na produkcji pojedynczych płyt w oddzielnych formach za pomocą wtrysku (powierzchnia płyt płaska lub profilowana).

Istnieją także modyfikowane grafitem płyty styropianowe o szarosrebrzystym kolorze, nazywane szarym styropianem, charakteryzujące się lepszą izolacyjnością cieplną. Płyty izolacyjne ze styropianu grafitowego (szarego) mogą być stosowane do ocieplania całej elewacji, jak i tylko w przypadku wybranych elementów (loggi i balkonów). Izolacja wykonana z szarego

RYS. 2. Przykładowe rozwiązanie materiałowe ścian zewnętrznych dwuwarstwowych;

rys.: autor

- 1 – tynk wewnętrzny,
2 – warstwa konstrukcyjna,
3 – izolacja cieplna,
4 – tynk zewnętrzny



Warstwa konstrukcyjna:

- błoczek z betonu komórkowego gr. 24 cm,
- cegła pełna gr. 25 cm,
- błoczek wapienno-piaskowy (silikatowy) gr. 24 cm

Warstwa izolacji cieplnej:

- styropian,
- styropian grafitowy,
- wełna mineralna,
- płyty z poliizocyanuratu (PIR),
- płyty rezolowe,
- płyty ekstrudowane XPS,
- płyty celulozowe,
- płyty z aerożelu,
- płyty VIP (izolacje próżniowe)

Tynk zewnętrzny cienkowarstwowy

fenolowo-formaldehadowa z dodatkiem oleju), prasuje, formuje i przycina do wymaganych wymiarów. Płyty fasadowe z wełny mineralnej najczęściej produkowane są w dwóch odmianach: o zaburzonym (splątany) układzie włókien i o uporządkowanym (prostopadłym do powierzchni płyty) układzie włókien (tzw. płyty lamelowe). Często stosuje się płyty o niejednorodnej strukturze materiałowej – tzw. płyty warstwowe (warstwy o różnej gęstości).

Płyty z poliuretanu (PUR) i poliizocyanuratu (PIR) – twarde płyty piankowe, które są odporne termicznie i niepalne, o niższych wartościach współczynnika przewodzenia ciepła niż np. wełna mineralna i styropian. Występują w postaci pianki o porach otwartych (spieniona na budowie) i o porowatości zamkniętej (płyty z osłoną lub bez osłony). Sztywne płyty stosowane są jako izolacja ścian, dachów drewnianych (system podkrokwiovy i nadkrokwiovy, stropodachów i cokołów budynków o współczynniku $\lambda_D = 0,020\text{--}0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$).

Płyty fenolowe (rezolowe) – sztywne płyty izolacyjne o zamkniętej strukturze komórkowej z rdzeniem uzyskiwanym z żywicy fenolowo-formaldehadowej. Płyty pokryte są po obu stronach welonem szklanym spojonym z rdzeniem w procesie produkcji. Charakteryzują się m.in. niską absorpcją wilgoci, dużą wytrzymałością mechaniczną, o współczynniku $\lambda_D = 0,021\text{--}0,024 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

Obliczono współczynnik przenikania ciepła U_c [$\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$] ścian zewnętrznych dwuwarstwowych (RYS. 2), w zróżnicowanym układzie warstw materiałowych zgodnie z procedurą normy PN-EN ISO 6946:2008 [5].

Do obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_c [$\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$] przyjęto następujące założenia:

» opory przejmowania ciepła dla ściany; wartości oporów przejmowania ciepła zostały przyjęte wg PN-EN ISO 6946:2008 [5] dla poziomego kierunku strumienia ciepła:

- opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,
- opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,

» wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$] przyjęto na podstawie tablic załącznik do pracy [6].

Wyniki obliczeń zestawiono w TABELI 1.

Istotny wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej U_c [$\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$] ma wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$] materiału izolacyjnego. W odniesieniu do jednego rodzaju izolacji może się ona wahać w znacznym przedziale

Warstwy materiałowe	d [m]	λ [W/(m·K)]	x [m]	Wartości współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła materiałów izolacji cieplnej λ [W/(m·K)]						
				I	III	III	IV	V	VI	VII
				0,040	0,038	0,036	0,035	0,031	0,021	0,015
I	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,26	0,25	0,24	0,24	0,22	0,16
	Bloczek z betonu komórkowego	0,24	0,21	0,12	0,23	0,22	0,21	0,21	0,19	0,14
	Izolacja cieplna	x	j ¹⁾	0,15	0,20	0,19	0,18	0,16	0,12	0,09
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,16	0,15	0,14	0,13	0,09	0,07
II	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,32	0,31	0,29	0,29	0,26	0,19
	Bloczek wapienno-piaskowy	0,24	0,56	0,12	0,28	0,26	0,25	0,25	0,22	0,16
	Izolacja cieplna	x	j ¹⁾	0,15	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18	0,13
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14	0,10	0,07
III	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,33	0,32	0,30	0,30	0,27	0,19
	Cegła pełna	0,25	0,77	0,12	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23	0,16
	Izolacja cieplna	x	j ¹⁾	0,15	0,23	0,22	0,21	0,21	0,19	0,13
	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14	0,10	0,07

TABELA 1. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_c według PN-EN ISO 6946:2008 [5] w odniesieniu do ściany zewnętrznej dwuwarstwowej

Objaśnienia:
j¹⁾ warianty izolacji cieplnej: I – płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ W/(m·K), II – płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K), III – płyty celulozowe $\lambda = 0,036$ W/(m·K), IV – płyty ekstrudowane $\lambda = 0,035$ W/(m·K), V – płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ W/(m·K), VI – płyty rezolowe $\lambda = 0,021$ W/(m·K), VII – płyty aerożelowe $\lambda = 0,015$ W/(m·K), VIII – płyty z paneli próżniowych VIP $\lambda = 0,007$ W/(m·K); do obliczeń U_c przyjęto $\Delta U = 0$
2) W przypadku ścian zewnętrznych z ociepleniem w postaci płyt z paneli próżniowych zastosowano tylko grubość płyt 10 i 12 cm – wg zaleceń producenta
Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymagania: $U_c \leq U_{c,domag}$ = 0,20 W/(m²·K)

w zależności od produktu, co wynika z szybkiego rozwoju rynku materiałów termoizolacyjnych oraz coraz bardziej zaawansowanych technologii produkcyjnych. W obliczeniach różnicowano grubość warstwy izolacji cieplnej i wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego λ [W/(m·K)]. Dodatkowo zamieszczono poziomy wymagań co do izolacyjności cieplnej $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] według rozporządzenia [1], obowiązujące od 1.01.2021 r.

Ocieplanie stropodachów dwudzielnych i stropów nad poddaszami nieużytkowanymi

Do ocieplania stropodachów dwudzielnych i stropów nad poddaszami nieużytkowanymi stosowane są m.in. wełna celulozowa oraz wełna mineralna.

Wełna celulozowa jest materiałem występującym w formie sypkiego włóknistego granulatu, która jest wytwarzana z papieru gazetowego (sortowanie, rozdzielanie, rozdrabnianie), aż do uzyskania postaci izolujących płatków celulozy. Charakteryzuje się gęstością objętościową w zakresie 25–65 kg/m³ oraz współczynnikiem przewodzenia ciepła na poziomie $\lambda_D = 0,037$ W/(m·K). Zastosowanie materiału odbywa się metodą zasypu.

Wełna mineralna występuje jako wełna szklana i wełna skalna. Wełna szklana produkowana jest m.in. ze stłuczki szklanej i z piasku kwarcowego. Charakteryzuje się kolorem od jasnokremowego do żółtego, gęstością objętościową $\rho_{ob.} = 40\text{--}80$ kg/m³ oraz współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,032$ W/(m·K) dla płyt i mat i $\lambda_D = 0,038$ W/(m·K) dla granulatu.

Natomiast wełna skalna jest produkowana z różnego rodzaju kruszywa mineralnego (np. bazalt, gablo, kruszywo wapienne, brykiety mineralne) i występuje w kolorze od szarego po oliwkowy, w postaci płyt (w pełnym zakresie gęstości), mat i granulatu. Wyroby z wełny skalnej charakteryzują się współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,035$ W/(m·K) dla płyt i $\lambda_D = 0,038$ W/(m·K) dla granulatu.

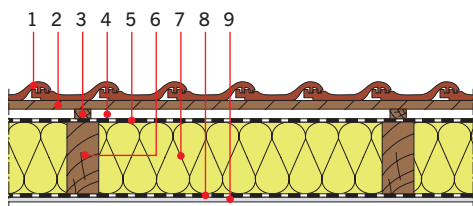
Ocieplanie dachów drewnianych

Do ocieplania dachów drewnianych stosowane są najczęściej m.in. materiały termoizolacyjne: płyty drzewne, płyty z wełny owczej, płyty z wełny mineralnej, pianka poliuretanowa (PUR/PIR), płyty korkowe ekspandowane.

Płyty drzewne to materiały drewnopochodne, które powstają z rozwłóknionego drewna. Charakteryzują się gęstością objętościową $\rho_{ob.} = 50$ kg/m³ i współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,038$ W/(m·K). Występują w postaci płyt miękkich i granulatu.

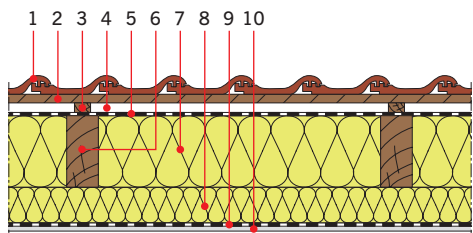
Płyty w wełny owczej są naturalnym materiałem organicznym w postaci płyt. Włókna owczej wełny doskonale oddychają, magazynują, izolują i regulują temperaturę. Testy wykazują, że izolacja z owczej wełny, oprócz powyższych właściwości, neutralizuje szkodliwe substancje i pochłania dźwięk. Występują w asortymencie o gęstość objętościowej $\rho_{ob.} = 14\text{--}100$ kg/m³ i współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,0385$ W/(m·K).

Wełna mineralna stosowana jest także do ocieplenia dachów drewnianych skośnych w postaci mat i płyt o gęstości objętościowej $\rho_{ob.} = 80\text{--}120$ kg/m³ i współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,032\text{--}0,038$ W/(m·K) w układzie między krokiewiami oraz dodatkowo pod krokiewiami (RYS. 3-4).



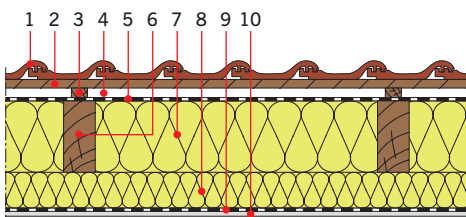
RYS. 3. Przykładowe zastosowania wełny mineralnej w dachach skośnych drewnianych jako izolacja cieplna między krokiewmi; rys.: [7]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łąta, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna, 8 – folia paroizolacyjna, 9 – płyta gipsowo-kartonowa



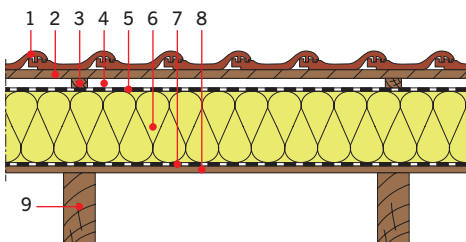
RYS. 4. Przykładowe zastosowania wełny mineralnej w dachach skośnych drewnianych jako izolacja cieplna między i pod krokiewiami; rys.: [7]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łąta, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna, 8 – dodatkowa warstwa izolacji cieplnej, 9 – folia paroizolacyjna, 10 – płyta gipsowo-kartonowa



RYS. 5. Przykładowe zastosowanie pianki poliuretanowej w dachach skośnych drewnianych jako izolacja cieplna pod krokiewiami; rys.: [7]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łąta, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna (np. płyty PIR/PUR), 8 – dodatkowa warstwa izolacji cieplnej (np. płyty PIR/PUR), 9 – folia paroizolacyjna, 10 – płyta gipsowo-kartonowa



RYS. 6. Przykładowe zastosowanie pianki poliuretanowej w dachach skośnych drewnianych jako izolacja cieplna nad krokiewiami; rys.: [7]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łąta, 3 – kontrłata lub deskowanie, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia, 6 – izolacja cieplna (np. płyty PIR/PUR), 7 – folia paroizolacyjna, 8 – deskowanie, 9 – krokiew

Pianka poliuretanowa PIR/PUR – jest materiałem chemoutwardzalnym w postaci sztywnej piany natryskowej. Występuje jako pianka o porach otwartych (spieniona na budowie) i o porowości zamkniętej (płyty z osłoną lub bez osłony). Sztywne płyty stosowane są jako izolacja podkrokwiowa (często z wykończeniem płytą gipsowo-kartonową) lub jako izolacja nadkrokwiowa (RYS. 5–6). Przy gęstości objętościowej $\rho_{ob.} = 35\text{--}60 \text{ kg/m}^3$ charakteryzują się współczynnikiem przewodzenia ciepła na poziomie $\lambda_D = 0,020\text{--}0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Płyty korkowe ekspandowane to naturalne, zrównoważone i bezkonkurencyjne produkty korkowe, które przy tym szczególnym rodzaju aglomeratu korkowego nie zawierają poliuretanu. Dzięki poddaniu ziarna korkowego działaniu wysokiej temperatury powiększa ono swoją objętość (analogicznie jak prażona kukurydza), a jeden z wydzielających się w tym procesie składników – suberyna – stanowi naturalne lepiszcze ekspandujących ziaren. Otrzymujemy w ten sposób wspianały, naturalny i zrównoważony materiał, znakomicie sprawdzający się jako izolacja termiczna, akustyczna oraz wibroizolacja. Płyty do izolacji cieplnej dachów drewnianych skośnych charakteryzują się współczynnikiem przewodzenia ciepła na poziomie $\lambda_D = 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Do grupy materiałów izolacyjnych, do których produkcji zużywane są małe ilości energii i ograniczone jest zużycie surowców nieodnawialnych, zalicza się także płyty pilśniowe.

Analizy w zakresie doboru materiału termoizolacyjnego w przypadkach stropodachów dwudzielnych i stropodachów drewnianych z uwzględnieniem wymagań cieplno-wilgotnościowych opisano m.in. w pracach [8–10].

Ocieplanie stropodachów pełnych

Do ocieplania stropodachów pełnych najczęściej stosowane są takie materiały termoizolacyjne jak polistyren ekstrudowany (XPS), płyty z pianek poliuretanowych PIR i PUR czy styropapa.

Polistyren ekstrudowany (XPS) jest sztywną pianą charakteryzującą się znaczącą wytrzymałością na ściskanie oraz odpornością na wilgoć. Takie właściwości pozwalają na efektywne zastosowanie wyrobu do izolacji poziomej i pionowej przegród stykających się z gruntem, a także izolacji tarasów i stropodachów pełnych, odwróconych i zielonych. Współczynnik przewodzenia ciepła płyt z polistyrenu ekstrudowanego zależy od grubości i wynosi $\lambda_D = 0,035\text{--}0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Styropapa – potoczna nazwa płyt styropianowych podłogowych laminowanych papą podkładową to styropapa. Papa podkładowa zabezpiecza płyty przed stopieniem przez płomień ognia przy zgrzewaniu papy wierzchniego krycia. Ocieplenie dachu za pomocą styropapy można wykończyć, aplikując dodatkową warstwę podkładową, lecz nie jest to konieczne. Warstwa papy wierzchniego krycia z certyfikatem do jednokrotnego krycia to konieczność. Styropapę poleca się do stosowania jako bezpośrednie podłoże pod powłoki papowe w przypadku stropodachów i dachów o niewielkim kącie nachylenia połaci. Współczynnik przewodzenia ciepła styropapy wynosi około $0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Masa 1 m^2 to około 8 kg, wytrzymałość okładziny papowej na odrywanie osiąga wartość $0,1 \text{ MPa}$.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

Analiza parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem pełnym.

W **TABELI 2** zestawiono charakterystykę materiałową analizowanego złącza oraz przyjęte warunki brzegowe do obliczeń numerycznych przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU86 [11]. Szczegółowe procedury obliczeniowe w tym zakresie przedstawiono w pracy [6].

Wyniki obliczeń parametrów fizycznych analizowanego złącza przedstawiono w postaci przykładowej karty katalogowej (**TABELA 3**).

Należy zwrócić uwagę, że mimo stosunkowo niskich wartości współczynnika przenikania ciepła stropodachu ($U_s [\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}]$) i ściany zewnętrznej ($U_{\text{śc.}} [\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}]$), spełniających wymagania sformułowane w rozporządzeniu [1], w analizowanych złączach (**TABELA 3**) występują dodatkowe straty ciepła w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła $\Psi [\text{W/(m}\cdot\text{K)}]$. Wartości parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem pełnym zależą od grubości materiału termoizolacyjnego. Dodatkowo w miejscu połączenia stropodachu ze ścianą zewnętrzną występuje obniżenie temperatury ($t_{\text{min.}} [^\circ\text{C}]$) na wewnętrznej powierzchni przegrody. Tylko poprawne ukształtowanie warstw materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy gwarantuje minimalizację dodatkowych strat ciepła oraz ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych).

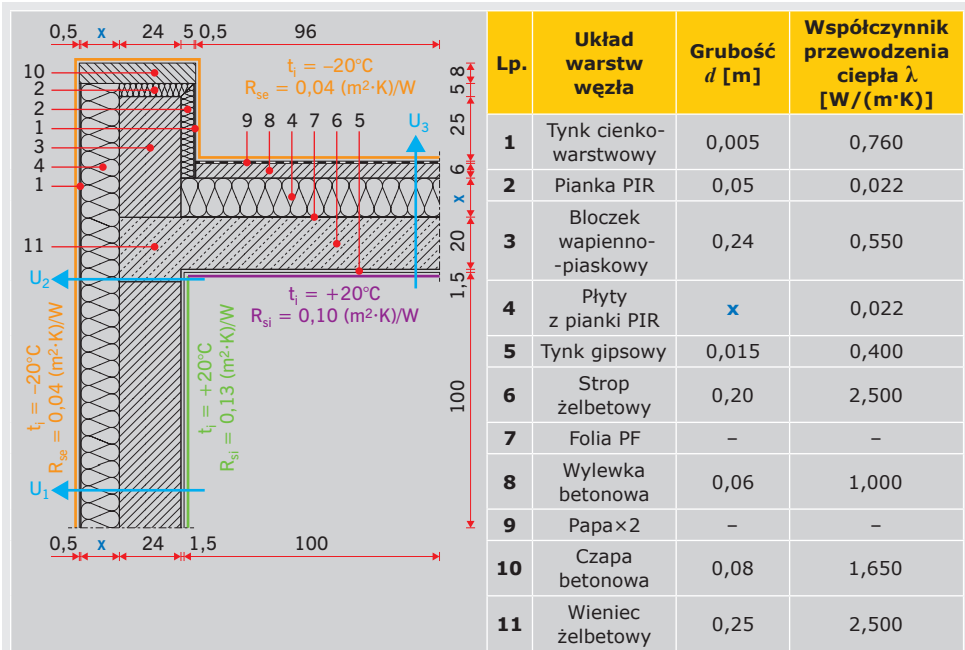


TABELA 2. Charakterystyka materiałowa analizowanego złącza stropodachu pełnego – opracowanie własne na podstawie [12]

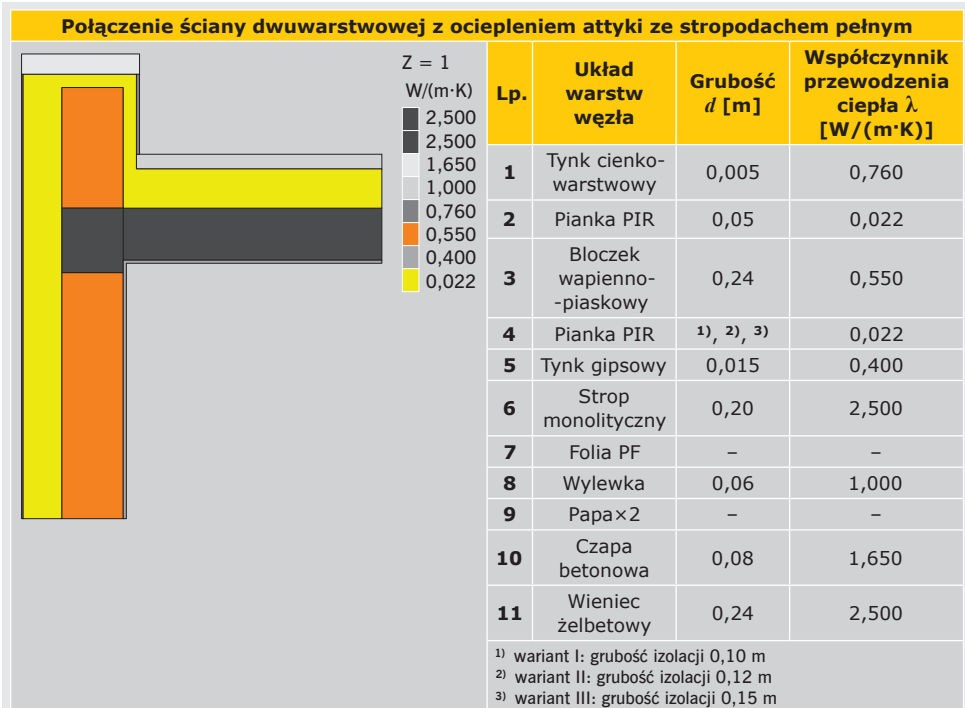


TABELA 3. Przykładowa karta katalogowa złącza stropodachu pełnego – opracowanie własne na podstawie [12]

Parametry fizyczne złącza budowlanego (Z6)	Grubość d [m]		
	0,10	0,12	0,15
Współczynnik przenikania ciepła stropodachu / współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej U_s/U_{sc} [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,19/0,21	0,16/ 0,17	0,13/0,14
Strumień ciepła przepływający przez złącze Φ [W]	24,47	21,60	18,54
Liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego L^{2D} [$W/(m \cdot K)$]	0,612	0,540	0,464
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do górnej części złącza – stropodachu Ψ_{is} [$W/(m \cdot K)$] po wymiarze wewnętrznym	0,060	0,057	0,055
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do dolnej części złącza – ściana zewnętrzna Ψ_{id} [$W/(m \cdot K)$] po wymiarze wewnętrznym	0,153	0,145	0,135
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła określonego po wymiarach wewnętrznych Ψ_i [$W/(m \cdot K)$]	0,213	0,203	0,189
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do górnej części złącza – stropodachu Ψ_{es} [$W/(m \cdot K)$] po wymiarach zewnętrznych	0,036	0,037	0,039
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do dolnej części złącza – ściana zewnętrzna Ψ_{ed} [$W/(m \cdot K)$] po wymiarach zewnętrznych	0,077	0,078	0,076
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła określonego po wymiarach zewnętrznych Ψ_e [$W/(m \cdot K)$]	0,113	0,115	0,114
Temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego t_{min} [$^{\circ}C$]	14,24	14,75	15,31
Czynnik temperaturowy $f_{Rsi(2D)}$ [-]	0,856	0,869	0,883

» TABELA 3. Przykładowa karta katalogowa złącza stropodachu pełnego – opracowanie własne na podstawie [12]

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_e : dla ściany zewnętrznej spełniającej wymaganie: $U_e \leq U_{e(max)} = 0,20 W/(m^2 \cdot K)$, dla stropodachu spełniającego wymaganie: $U_e \leq U_{e(max)} = 0,15 W/(m^2 \cdot K)$,

OCIEPLANIE PRZEGRÓD STYKAJĄCYCH SIĘ Z GRUNTEM, COKOŁÓW I PODŁÓG

Do ocieplania przegród stykających się z gruntem (izolacja obwodowa), cokołów i podłóg stosowane są najczęściej m.in. następujące materiały termoizolacyjne: polistyren ekstrudowany (XPS), szkło piankowe.

Szkło piankowe otrzymywane jest z roztopionego szkła przez dodanie domieszek pianotwórczych (np. węgiel, węglan wapnia). Jest nieprzezroczyste, odporne na korozję biologiczną i chemiczną oraz niepalne (w obecności płomieni nie wydziela gazów toksycznych). Produkowane jest w dwóch odmianach: szkło piankowe białe ($\rho_{ob.} = 240\text{--}300 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_D = 0,038\text{--}0,042 W/(m \cdot K)$) – o otwartej strukturze i podatności na nasiąkliwość, szkło piankowe czarne ($\rho_{ob.} = 100 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_D = 0,038 W/(m \cdot K)$) – o porowatości zamkniętej, co skutkuje wysokim oporem dyfuzyjnym i brakiem nasiąkliwości tej odmiany szkła piankowego. Stosowane jest także do termoizolacji stropodachów.

Analizy w zakresie doboru materiału termoizolacyjnego w przypadku przegród stykających się z gruntów z uwzględnieniem wymagań cieplno-wilgotnościowych opisano m.in. w pracach [10, 13].

MATERIAŁY TERMOIZOLACYJNE NOWEJ GENERACJI

Do grupy materiałów termoizolacyjnych „nowej generacji”: aerożel, porogel, izolacje refleksyjne, izolacje próżniowe VIP, izolacje transparentne, pianosilikaty.

Aerożel to materiał o budowie komórkowej i przypomina sztywną pianę, składającą się w 90–99,8% z powietrza oraz z żelu tworzącego jego strukturę. Specyficzny rozmiar wielkości porów zdecydowanie spowalnia przenoszenie ciepła przez powietrze zawarte w materiale, co obniża wartość współczynnika do $\lambda_D = 0,012\text{--}0,018 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Bardzo dobre właściwości termoizolacyjne oraz elastyczność materiałów aerożelowych kwalifikują je nie tylko do ocieplania elementów płaskich, ale również do ocieplania mostków termicznych (złączy budowlanych: ościeży okiennych i drzwiowych, wnęk podokiennych, płyt balkonowych).

Porogel jest materiałem izolacyjnym wytwarzanym na bazie krzemionki o zawartości powietrza na poziomie 90%, charakteryzującym się współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,014 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Wytwarzany jest w matach i stosowany głównie w pasach podrynnowych lub przy minimalizacji mostków termicznych.

Izolacje refleksyjne są wykorzystywane w przegrodach budowlanych ze względu na zalety związane ze zwiększeniem oporu cieplnego, a tym samym obniżeniem wartości współczynnika przenikania ciepła np. ściany zewnętrznej. Poprawiają także szczelność powietrzną izolowanej przestrzeni. Dzięki małej grubości (10–70 mm) bardzo często znajdują zastosowanie w przegrodach budowlanych, poddaszach, a także coraz częściej w lekkich konstrukcjach szkieletowych i w konstrukcjach modułowych. Można je podzielić na następujące grupy:

- » folie bąbelkowe w obustronnych okładzinach w folii aluminiowej,
- » materiały o małej grubości, z jedną lub dwiema okładzinami z folii aluminiowej,
- » multifolie, tj. kilka folii aluminiowych rozdzielonych cienkimi warstwami wykonanymi z pianki polietylenowej lub polipropylenowej itp.

Materiały te działają na zasadzie odbicia promieniowania cieplnego. Ich cechą charakterystyczną jest to, że składają się ze szczelin powietrznych oraz jednej lub dwu powierzchni odbijających promieniowanie cieplne. Istotą izolacji refleksyjnych jest znaczne ograniczenie wymiany ciepła przez promieniowanie, a także zwiększenie oporu cieplnego przegrody budowlanej. Ze względu na to, że promieniowanie podczerwone stanowi 70–90% całkowitej energii cieplnej budynku, opłacalne jest zatrzymanie tego promieniowania wewnątrz pomieszczeń w okresie grzewczym. Deklarowana wartość oporu cieplnego maty termoizolacyjnej wynosi $R_D = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, natomiast wartość R_D dla układu (mata–szczelina powietrzna) wynosi 1,02–1,16, w zależności od kierunku przepływu ciepła [14]. Współczynnik przewodzenia ciepła mat refleksyjnych zależy od ilości warstw i wynosi $\lambda_D = 0,019\text{--}0,033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Izolacje próżniowe (VIP) są modyfikacją izolacji żelowych. Obniżenie przewodności cieplnej uzyskuje się dzięki podciśnieniu ograniczającemu przenoszenie ciepła przez powietrze. Natomiast redukcję udziału promieniowania uzyskuje się, wprowadzając dodatki obniżające jego przepuszczalność, np. grafit. Zmodyfikowany rdzeń zapakowany jest próżniowo w szczelną membranę (trójwarstwowa powłoka z folii). Szczelna osłona pokrywająca rdzeń zapewnia możliwość

utrzymania wewnątrz panelu znacznego podciśnienia i uzyskania niskiej wartości współczynnika przewodzenia ciepła na poziomie $\lambda_D = 0,006\text{--}0,007 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Pianosilikaty to niepalne materiały ekologiczne cechujące się niską wartością współczynnika przewodzenia ciepła (przy gęstości objętościowej $\rho_{ob.} = 100\text{--}600 \text{ kg/m}^3$; $\lambda_D = 0,03\text{--}0,010 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$). Jako surowce do produkcji stosowane są krzemionka i specyficzna osnowa amorficzna z możliwością zastosowania składników materiałami odpadowymi. Spienienie w formach zachodzi w temperaturze poniżej 500°C (spienienie termiczne) z użyciem promieniowania mikrofalowego (spienienie mikrofalowe) lub prądu elektrycznego (tzw. elektrospienianie). Pozwala to na wiele różnych zastosowań pianosilikatów, w zależności od sposobu wytwarzania można bowiem sterować ich parametrami chemiczno-fizycznymi. Pianosilikaty mogą skutecznie znaleźć zastosowanie w pewnych niszowych segmentach budowlanych, np. do wypełniania pustych przestrzeni w konstrukcjach, w budownictwie szczególnego przeznaczenia, np. szpitalach, obiektach wodnych [15].

W grupie materiałów termoizolacyjnych „nowej generacji” należy także wymienić nanomateriały, które dają nieznane wcześniej możliwości nowych lub ulepszonych właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych znanych już materiałów.

W celu poszukiwania poprawnego rozwiązania układu materiałowego spełniającego obowiązujące wymagania cieplno-wilgotnościowe obowiązujące od 1.01.2021 r. należy wykonać szczegółowe obliczenia następujących parametrów fizycznych elementów obudowy budynków (przegród zewnętrznych i złączy budowlanych):

- » strumień cieplny Φ [W],
- » współczynnik przenikania ciepła pełnej przegrody U (U_{ID}) [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$],
- » liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego L^{2D} [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$],
- » liniowy współczynnik przenikania ciepła (określający dodatkowe straty ciepła wynikające z występowania liniowych mostków cieplnych) Ψ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$],
- » temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego t_{min} [$^\circ\text{C}$],
- » czynnik temperaturowy, określony na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $f_{Rsi(2D)}$ [–].

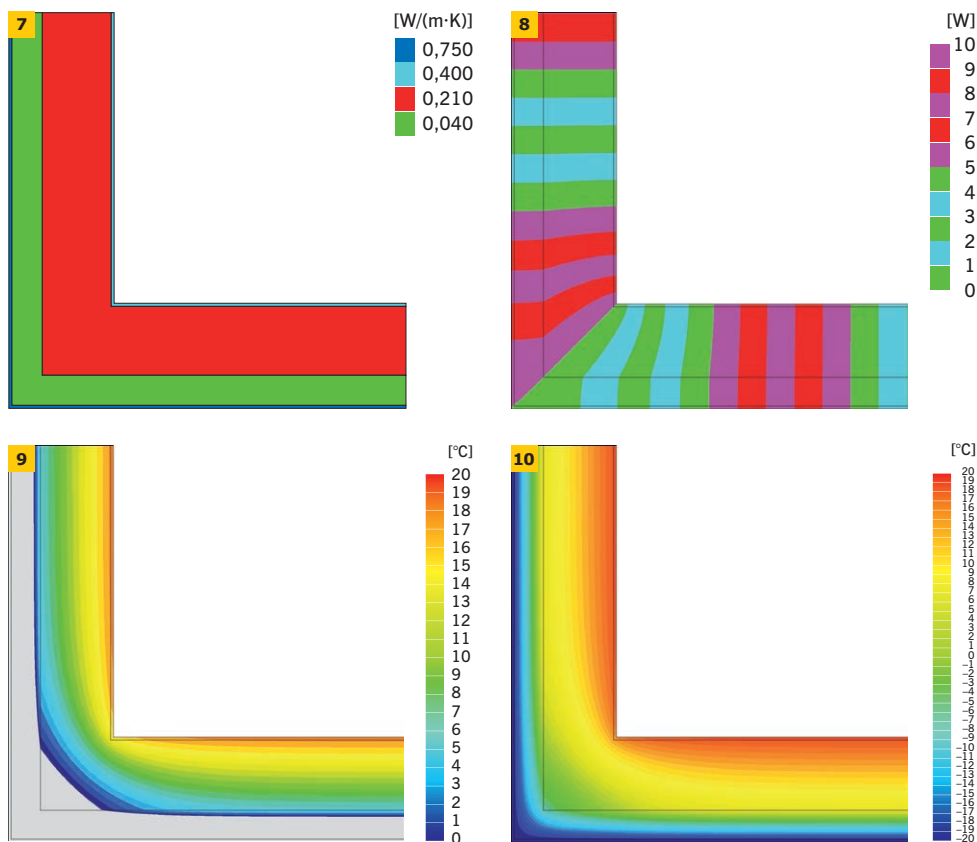
W przykładzie obliczeniowym 3 przedstawiono analizę parametrów fizycznych narożników ściany zewnętrznej dwuwarstwowej, ocieplonych zróżnicowanymi materiałami termoizolacyjnymi.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 3

Określenie parametrów fizycznych narożnika ścian zewnętrznych z zastosowaniem zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych.

Do obliczeń wytypowano połączenie ściany zewnętrznej w narożniku, przy zastosowaniu programu komputerowego TRSCO-KOBRU86 [11], przyjmując następujące założenia:

- » modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [16],
- » opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [5] przy obliczeniach strumieni cieplnych oraz wg PN-EN ISO 13788:2003 [17] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$,



RYS. 7–10. Przykładowe wyniki graficzne symulacji komputerowej narożnika ścian zewnętrznych: model obliczeniowy (7), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (8) i izotermy: 0°C–20°C (9) oraz –20°C–+20°C (10); rys.: autor

- » 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 [W/(m·K)] przyjęto na podstawie tabel w pracach [6],
- » ściana zewnętrzna dwuwarstwowa: bloczek z betonu komórkowego gr. 24 cm – $\lambda = 0,21$ W/(m·K), warianty izolacji cieplnej: I – płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ W/(m·K), II – płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K), III – płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ W/(m·K), IV – płyty rezolowe $\lambda = 0,021$ W/(m·K), V – płyty aerożelowe $\lambda = 0,015$ W/(m·K), VI – płyty z paneli próżniowych VIP $\lambda = 0,007$ W/(m·K).

Szczegółowe procedury obliczeniowe parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy przedstawiono w pracy [6]. Przykładowe wyniki symulacji komputerowej analizowanego złącza przedstawiono na RYS. 7–10. Natomiast wyniki obliczeń parametrów fizykalnych przy zastosowaniu zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych zestawiono w TABELI 4.

Należy podkreślić, że wpływ zastosowanego materiału termoizolacyjnego na parametry fizykalne ściany zewnętrznej oraz narożnika ścian zewnętrznych jest znaczący. Wartość współczynnika

Warianty	x [cm]	Parametry fizyczne						
		Współczynnik przenikania ściany zewnętrznej U_c [W/(m ² ·K)]	Strumień ciepły przepływający przez złącze Φ [W]	Współczynnik sprężenia cieplnego L^{2D} [W/(m·K)]	Linowy współczynnik przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)]	Temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody t_{min} [°C]	Czynnik temperaturowy (dla przepływu ciepła w polu 2D) $f_{Ks(2D)}$ [-]	
I	Płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ W/(m·K)	10	0,26	24,07	0,602	0,082	14,06	0,851
		12	0,23	21,52	0,538	0,078	14,57	0,864
		15	0,20	18,61	0,465	0,073	15,18	0,880
II	Płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K)	10	0,25	23,33	0,583	0,081	14,21	0,855
		12	0,22	20,82	0,521	0,077	14,72	0,868
		15	0,19	17,96	0,449	0,071	15,32	0,883
III	Płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ W/(m·K)	10	0,22	20,50	0,513	0,075	14,80	0,870
		12	0,19	18,15	0,454	0,071	15,30	0,882
		15	0,16	15,52	0,388	0,065	15,88	0,897
IV	Płyty rezolowe $\lambda = 0,021$ W/(m·K)	10	0,16	15,62	0,391	0,063	15,89	0,897
		12	0,14	13,65	0,341	0,058	16,33	0,908
		15	0,12	11,50	0,288	0,052	16,84	0,921
V	Płyty aerożelowe $\lambda = 0,015$ W/(m·K)	10	0,13	12,08	0,302	0,053	16,73	0,918
		12	0,11	10,46	0,262	0,048	17,12	0,928
		15	0,09	8,72	0,218	0,042	17,55	0,939
VI	Płyty z paneli próżniowych VIP $\lambda = 0,007$ W/(m·K)	5	0,12	11,36	0,284	0,049	16,94	0,923
		10	0,06	6,35	0,159	0,031	18,20	0,955

TABELA 4. Wyniki parametrów fizycznych narożników ścian zewnętrznych przy ogrzewaniu w postaci zróżnicowanych materiałów termozolacyjnych – opracowanie własne

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c,max} = 0,20$ W/(m²·K)

przewodzenia ciepła materiału termoizolacyjnego λ [W/(m·K)] znacząco kształtuje wartość współczynnika przenikania ciepła płaskiej przegrody U_c (U_{ID}) [W/(m²·K)], wielkość strumienia ciepła przepływającego przez złącza budowlane Φ [W], wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego t_{min} [°C] i wartość czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$ [–]. Dlatego zasadne staje się prowadzenie indywidualnych symulacji numerycznych, przy zastosowaniu licencjonowanych programów komputerowych, w zakresie kształtowania układów warstw materiałowych (z wykorzystaniem zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych) przegród zewnętrznych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dążenie do spełnienia wymagań cieplno-wilgotnościowych dla elementów obudowy budynku (przegrody zewnętrzne i złącza budowlane) powinno opierać się na jasnych, precyzyjnych procedurach wynikających z podstawowych zasad szeroko rozumianej „fizyki budowli” z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi numerycznych uwzględniających parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego analizowanego budynku.

Dobór układów warstw materiałowych przegród zewnętrznych i złączy budynku o niskim zużyciu energii (z zastosowaniem zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych) nie powinien być przypadkowy, lecz zasadzać się na szczegółowych obliczeniach i analizach. Określenie charakterystyki cieplno-wilgotnościowej obudowy budynku z uwzględnieniem nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych przy zastosowaniu programu komputerowego (np. TRISCO-KOBRU86 [11]) daje możliwość uzyskania miarodajnych wyników, odzwierciedlających rzeczywiste straty ciepła.

Przy doborze materiałów termoizolacyjnych oprócz wymagań cieplno-wilgotnościowych należy uwzględnić wymagania akustyczne i przeciwpożarowe.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
2. P. Krause, „Defekty termiczne ścian pełnych z ociepleniem ETICS”, „Materiały Budowlane” 9/2018, s. 66–68.
3. K. Pawłowski, „Ocieplenie ścian zewnętrznych płytami styropianowymi – wybrane aspekty wykonawcze”, „IZOLACJE” 3/2020, s. 35–40.
4. K. Pawłowski, „Czynniki decydujące o jakości wykonania izolacji z płyt styropianowych”, „IZOLACJE” 9/2019, s. 28–31.
5. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
6. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.

7. M. Maciaszek, „Studium projektowe przegród zewnętrznych i ich złączy z zastosowaniem nowoczesnych materiałów izolacyjnych”, praca dyplomowa inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2016.
8. M. Wesołowska, K. Pawłowski, P. Rożek, „Modernizacja poddaszy użytkowych”, „IZOLACJE” 11–12/2019, s. 34–43.
9. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród poziomych z uwzględnieniem wymagań ciepłno-wilgotnościowych od 1 stycznia 2021 roku”, „IZOLACJE” 3/2020, s. 19–34.
10. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród poziomych w budownictwie energooszczędnych. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród stykających się gruntem, stropów oraz dachów i stropodachów w świetle obowiązujących przepisów prawnych”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2018.
11. Program komputerowy TRISCO-KOBRU86, PHYSIBEL c.v, Belgia.
12. A. Chruścińska, „Analiza porównawcza parametrów fizycznych złączy stropodachów w świetle nowych wymagań cieplnych”, Praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2017.
13. K. Pawłowski, „Przegrody stykające się gruntem z uwzględnieniem wymagań ciepłno-wilgotnościowych od 1 stycznia 2021 roku”, „IZOLACJE” 9/2020, s. 22–32.
14. M. Piasecki, M. Pilarski, „Badania Izolacyjnych wyrobów refleksyjnych oraz ich zastosowanie w przegrodach budowlanych”, „IZOLACJE” 10/2016, s. 56–60.
15. Strona internetowa: www.ipanterm.com
16. PN-EN ISO 10211:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe”.
17. 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”.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowlanej i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

ZOBACZ I ZAINSPIRUJ SIĘ...



**Porady Ekspertów
– inżynierów, architektów,
projektantów wnętrz
i ogrodów**



OCIEPLENIA ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

System ETICS jest sprawdzoną i skuteczną metodą ocieplania ścian zewnętrznych budynków. Polega na przyklejeniu do ściany układu warstw, który składa się z izolacji termicznej, najczęściej w postaci płyt styropianowych (Austrotherm EPS), wykonania warstwy zbrojonej oraz cienkowarstwowej wyprawy tynkarskiej. System ETICS pozwala uzyskać nie tylko komfort cieplny w budynku, ale także trwałą i estetycznie wykończoną elewację. Bardzo ważne jest, aby ocieplenie ścian zewnętrznych przeprowadzić zgodnie z zaleceniami systemodawcy.

Dawniej właściwa izolacyjność cieplna ścian zewnętrznych była uzyskiwana poprzez odpowiednią grubość przegrody, np. minimalna grubość ściany z cegły wynosiła 51 cm. Te czasy bezpowrotnie minęły. Obecnie stosowanie tego typu rozwiązań jest nieekonomiczne, a ponadto nie pozwala na spełnienie aktualnych wymagań ochrony cieplnej, zawartych w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.



**Uwaga!**

Ilość traconego ciepła, a zatem ilość zużywanego do ogrzania budynku paliwa, jest wprost proporcjonalna do całkowitej powierzchni jego przegród zewnętrznych i odwrotnie proporcjonalna do ich właściwości termoizolacyjnych.

39

EKONOMIA I BEZPIECZEŃSTWO

Przy obecnym poziomie cen nośników energii i prognozowanym ich wzroście coraz większego znaczenia nabiera kontrolowanie ilości zużycia energii. Ze względu na to, że 2/3 kosztów utrzymania budynku to koszt ogrzewania, koniecznością staje się minimalizowanie strat ciepła. Straty energii cieplnej w budynkach zdominowane są przez „ucieczkę” ciepła przez przegrody zewnętrzne.

Wszystkie straty ciepła przez pionowe przegrody pełne dochodzić mogą nawet do około 40%. Aby zapewnić w budynkach komfort ciepłno-wilgotnościowy, a jednocześnie osiągnąć wysoką opłacalność eksploatacji, należy projektować i wykonywać przegrody zewnętrzne, biorąc pod uwagę warunki konstrukcyjne oraz energoekonomiczne.

We współczesnym budownictwie dominują wielowarstwowe układy przegród, w których rozdzielona jest funkcja izolacji termicznej i funkcja przenoszenia obciążeń. Podział ten wynika z różnych właściwości stosowanych materiałów:

- » materiały o dobrych właściwościach termoizolacyjnych mają na ogół niewystarczającą wytrzymałość,
- » materiały o wysokich parametrach wytrzymałościowych przeważnie dobrze przewodzą ciepło, przez co nie stanowią skutecznej ochrony cieplnej budynku.

W tej sytuacji optymalnym wydaje się użycie styropianu o gęstości minimalnej $13,5 \text{ kg/m}^3$, i $\lambda_D \leq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, które równocześnie zapewniają doskonałe właściwości termoizolacyjne i odpowiednią wytrzymałość, zarówno w trakcie obróbki styropianu, jak i w okresie użytkowania obiektu.

JAK OCIEPLIĆ BUDYNEK – OD WEWNĄTRZ CZY OD ZEWNĄTRZ?

Przy projektowaniu przegród wielowarstwowych szczególną uwagę należy zwrócić na kolejność poszczególnych warstw. Najkorzystniejszym, z punktu widzenia fizyki budowli, jest układ, w którym materiał termoizolacyjny znajduje się po stronie temperatur niższych.

Uwaga!

Ocieplenie ścian po stronie wewnętrznej jest niekorzystnym rozwiązaniem ze względu na to, że w tym przypadku w warstwie konstrukcyjnej występują duże wahania temperatur, a w razie przerwy w ogrzewaniu pomieszczenia szybko się wychładzają.

W ścianie ocieplonej od zewnątrz materiał termoizolacyjny ogranicza zasięg temperatur ujemnych, dzięki czemu konstrukcja nośna nie jest narażona na ich niszczące działanie. Ponadto układ ten pozwala na zachowanie dużej pojemności cieplnej warstwy konstrukcyjnej, która łagodzi zmiany temperatur w przerwach ogrzewania „oddając” zgromadzone ciepło do wnętrza pomieszczeń.

EFEKTYWNY ETICS, CZYLI BEZSPOINOWY SYSTEM OCIEPLEŃ ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

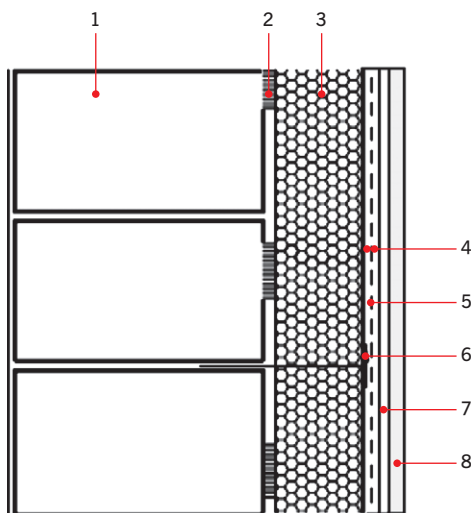
ETICS jest obecnie najbardziej popularną metodą izolowania termicznego i wykańczania ścian zewnętrznych. Wymagania techniczno-technologiczne projektowania oraz warunki techniczne wykonania i odbioru robót ociepleniowych w systemie ETICS ścian zewnętrznych budynków zawiera stosowna instrukcja ITB i instrukcje systemodawców.

System ETICS polega na przymocowaniu do ściany układu warstwowego, składającego się z izolacji termicznej (styropianu), warstwy zbrojonej oraz cienkowarstwowej wyprawy tynkarskiej. Układ ten jest mocowany do ściany za pomocą kleju, a w razie potrzeby łącznikami mechanicznymi.

Obecnie, po około 50 latach stosowania ETICS do ocieplenia ścian z zastosowaniem styropianu, ocenia się trwałość tej metody na co najmniej 30 lat, pod warunkiem okresowych przeglądów i niezbędnych napraw wyprawy tynkarskiej, której minimalną trwałość określa się na 5 lat.

Uwaga!

Styropiany Austrotherm są materiałami, które można wkomponować praktycznie w każdy system ETICS.



RYS. 1. Warstwy ściany ocieplonej w systemie ETICS

- 1 – ściana zewnętrzna,
- 2 – zaprawa klejąca do styropianu,
- 3 – Austrotherm EPS 042 FASSADA, Austrotherm EPS 040 FASSADA, Austrotherm EPS 038 FASSADA SUPER, Austrotherm EPS FASSADA THERMA, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM REFLEX,
- 4 – zaprawa klejąca, 5 – siatka z włókna szklanego, 6 – łącznik mechaniczny, 7 – podkład tynkarski, 8 – wyprawa tynkarska

Główne zalety stosowania ETICS to:

- » zmniejszenie zużycia energii cieplnej i poprawa komfortu cieplnego dzięki bardzo dobrej izolacyjności termicznej
- » ograniczenie występowania mostków termicznych dzięki ciągłości izolacji
- » zahamowanie procesu destrukcji konstrukcji budynku poprzez ograniczenie wpływu czynników zewnętrznych
- » uzyskanie trwałej i estetycznej elewacji
- » możliwość renowacji zniszczonych elewacji, w tym zabytkowych
- » mały ciężar, co jest istotne przy podłożach o niedostatecznej nośności.

PODSTAWOWY ELEMENT SYSTEMU ETICS – PŁYTY STYROPIANOWE

Płyty styropianowe zapewniają wymaganą izolacyjność cieplną. Do robót izolacyjnych elewacji budynku należy stosować płyty styropianowe:

- » **Austrotherm EPS 042 FASSADA,**
- » **Austrotherm EPS 040 FASSADA,**
- » **Austrotherm EPS 038 FASADA SUPER,**
- » **Austrotherm EPS FASSADA THERMA,**
- » **Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM,**
- » **Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM REFLEX.**

Wysoka gęstość oraz spoiistość tych płyt przekłada się na lepsze parametry mechaniczne systemu (np. odporność na uderzenia całego układu ociepleniowego). Ponadto stabilność wymiarów płyt Austrotherm ułatwia montaż i pozwala uniknąć przerwania ciągłości izolacji.

Zgodnie z instrukcjami dotyczącymi ETICS, wymagania dotyczące płyt styropianowych (poza wymaganiami normowymi) są następujące:

- » wymiary powierzchni – maks. 60×120 cm
- » powierzchnia płyt – szorstka po cięciu z bloku
- » krawędzie – ostre, bez wyszczerbków, proste lub profilowane.

Możliwość zastosowania płyt EPS w ETICS jest regulowana w stosownych przepisach, jak rozporządzenie ministra w sprawie warunków technicznych pod kątem bezpieczeństwa pożarowego (par. 216, pkt 8 i 9):

- » okładzina elewacyjna i jej zamocowanie mechaniczne, a także izolacja cieplna ściany zewnętrznej budynku na wysokości powyżej 25 m od poziomu terenu powinny być wykonane z materiałów niepalnych
- » dopuszcza się ocieplenie ściany zewnętrznej budynku mieszkalnego wzniesionego przed dniem 1 kwietnia 1995 r., o wysokości do 11 kondygnacji włącznie, z użyciem samogasnącego polistyrenu spienionego, w sposób zapewniający nierozprzestrzenianie ognia.

Ważne!

Dział doradztwa technicznego firmy Austrotherm oferuje bezpłatną, fachową pomoc także przy doborze styropianu: techniczny@autrotherm.pl

Ważne!

1. Nie istnieją w Polsce żadne formalne wymagania dotyczące stosowania pasów z płyt wełny mineralnej przy ocieplaniu systemem z zastosowaniem styropianu.
2. Masa lub zaprawa klejąca oraz ewentualne łączniki mechaniczne, mocujące płyty do ściany zewnętrznej, zapewniają im wymaganą stateczność i optymalne warunki pracy konstrukcji układu ocieplającego.
3. Warstwa zbrojona zapewnia odporność na działanie sił udarowych oraz przeciwdziała skutkom naprężeń termicznych na styku z wyprawą tynkarską.
4. Wyprawa tynkarska stanowi ochronno-dekoracyjne wykończenie ścian, chroniące warstwę ocieplającą przed starzeniem naturalnym, czynnikami erozyjnymi, opadami atmosferycznymi. Stanowi ona jednocześnie kolorystyczną dekorację ściany zewnętrznej.
5. Niezależnie od wymagań, które powinny spełniać poszczególne elementy systemu ETICS, cały układ ociepleniowy musi spełniać wymagania gwarantujące skuteczność i trwałość ocieplenia.
6. Warto stosować gwarantowane styropiany Austrotherm o wyższej gęstości (np. Austrotherm EPS 038 FASADA SUPER, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM, AUSTROTHERM EPS FASSADA PREMIUM REFLEX), bo łączą one najwyższą wytrzymałość i najlepsze właściwości termoizolacyjne wśród styropianów dostępnych na rynku budowlanym.

WARUNKI PRZYSTĄPIENIA DO PRAC OCIEPLENIOWYCH

Prace związane z ociepleniem budynku mogą być prowadzone po uprzednim spełnieniu wymagań wynikających z Ust. Prawo budowlane.

Prace ociepleniowe należy wykonywać zgodnie z zaleceniami systemodawcy, przestrzegając reżimu aplikacyjnego. Przeważnie wykonuje się je w temperaturze nie niższej niż $+5^{\circ}\text{C}$ i nie wyższej niż 25°C , chyba że zalecenia systemodawcy dla danego systemu ociepleniowego dopuszczają inne warunki aplikacyjne. Niedopuszczalne jest prowadzenie powyższych prac w czasie opadów atmosferycznych, na elewacjach silnie nasłonecznionych, w czasie silnego wiatru oraz jeżeli przewidywany jest spadek temperatury poniżej 0°C w przeciągu 24 godz.

MONTAŻ ETICS

Ocieplenie ścian zewnętrznych budynku w systemie ETICS nie tylko poprawia izolacyjność cieplną budynku, zmniejszając tym samym koszty jego ogrzewania, ale także wygląd i trwałość elewacji. Wszystkie czynności związane z wykonaniem ocieplenia budynku w systemie ETICS należy prowadzić zgodnie z zaleceniami systemodawcy. Przedstawiamy przykładowy zakres prac związany z ociepleniem ścian zewnętrznych.

PRZYGOTOWANIE PODŁOŻA

W przypadku budynków istniejących należy dokładnie sprawdzić jakość podłoża ściennego (wytrzymałość powierzchniową, stopień równości i płaskość powierzchni oraz czystość). Powierzchnię ścian, która stanowić będzie podłoże pod warstwę izolacyjną, należy najpierw oczyścić z resztek zaprawy oraz luźnych kawałków tynku. Kurz, plamy z oleju i inne substancje antyadhezyjne należy zmyć wodą pod ciśnieniem, pamiętając o konieczności całkowitego wyschnięcia podłoża przed rozpoczęciem przyklejania płyt styropianowych. Przy słabo związanych podłożach należy uprzednio sprawdzić ich przyczepność do warstwy konstrukcyjnej i ewentualnie dokonać usunięcia lub wzmocnienia warstwy powierzchniowej.

Wytrzymałość na rozciąganie istniejącego podłoża, oznaczana metodą pull-off, powinna wynosić min. 0,08 MPa. W przypadku trudności z wykonaniem tą metodą oznaczenia na rozciąganie podłoża, można przeprowadzić próbę przyczepności. W tym celu próbki (8–10 sztuk) styropianu o wymiarach 100×100 mm należy przykleić w różnych miejscach elewacji. Klej powinien być przygotowany zgodnie z zaleceniami producenta i rozprowadzany równomiernie na całej powierzchni próbki (grubość warstwy kle-





ju około 10 mm). Próbkę należy docisnąć do podłoża. Przyczepność sprawdza się po 3 dniach poprzez ręczne odrywanie przyklejonej próbki. Można przyjąć, że podłoże ma wystarczającą wytrzymałość, jeżeli podczas próby odrywania próbka styropianu ulegnie rozerwaniu. W przypadku oderwania całej próbki z klejem i warstwą fakturą konieczne jest oczyszczenie elewacji ze słabo związanej z podłożem warstwy. Podłoże należy zagruntować środkiem zwiększającym przyczepność. Jeżeli ponowna próba da wynik negatywny, należy zastosować dodatkowe mocowanie mechaniczne lub odpowiednie przygotowanie podłoża.

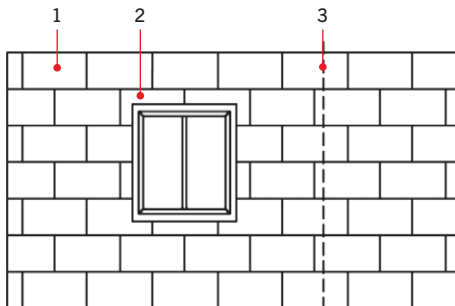
Przy nierównościach podłoża do 10 mm należy zastosować szpachlówkę systemową lub zaprawę cementową. Przy nierównościach od 10 do 20 mm należy

zastosować takie samo rozwiązanie, jak wyżej, ale wykonując je w kilku warstwach. Jeśli nierówności przekraczają 20 mm, wymagane jest skorygowanie powierzchni przez naklejenie materiału termoizolacyjnego odpowiedniej grubości. Zaleca się w tym przypadku dodatkowe mocowanie warstwy zasadniczej układu ociepleniowego za pomocą łączników mechanicznych.

Przed przystąpieniem do termomodernizacji budynku wykonanego w technologii wielkopłytowej niezależnie od podanego wyżej zakresu prac sprawdzających nośność podłoża, należy wykonać pełną diagnostykę żelbetowych ściennych elementów warstwowych wg instrukcji ITB. Kontrola polega na ustaleniu rodzaju konstrukcji ściany oraz sprawdzeniu w kolejnych etapach stanu technicznego części i elementów oraz ustalenia stopnia ich korozji. Niezbędna jest również dokładna ocena stanu wypełnień kitami plastycznymi połączeń między płytowych. W przypadku złego stanu kitów należy je usunąć i pozostawić spoinę niewypełnioną. Jeśli natomiast stan wypełnienia jest prawidłowy, przed dociepleniem płytami styropianowymi należy zabezpieczyć styk zaprawą klejową, aby uniknąć niebezpieczeństwa rozmiękczającego oddziaływania składników kitu na styropian.

MONTAŻ PŁYT STYROPIANOWYCH

Płyty styropianowe nie powinny być wystawione na działanie czynników atmosferycznych przez czas dłuższy niż 7 dni. Do podłoża należy w pierwszej kolejności przymocować listwę startową, która pozwoli na utrzymanie poziomej linii elewacji. Kleje mineralne należy nanosić na płyty styropianowe tzw. metodą obwodowo-punktową tak, aby jej łączna powierzchnia pokrywała nie mniej niż 40% płyty. Po nałożeniu zaprawy klejącej, płytę należy niezwłocznie przyłożyć do ściany w przewidzianym dla niej miejscu i docisnąć, aż do uzyskania równej płaszczyzny z sąsiednimi płytami. Masę klejącą wyciśniętą poza obrys płyt należy usunąć. W przypadku niewłaściwego przyklejenia płyty, należy ją oderwać, oczyścić z masy klejącej, ponownie nałożyć klej na płytę i powtórzyć czynność mocowania. W przypadku zastosowania klejów poliuretanowych piankę niskorozprężną należy nanosić na płytę styropianową zgodnie z zaleceniami producenta kleju lub systemodawcy.



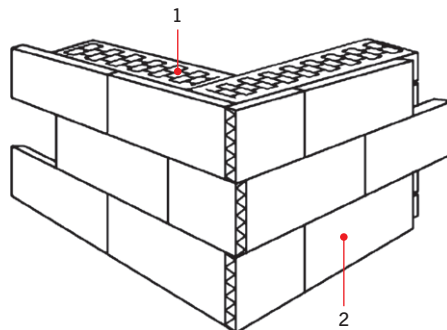
RYS. 2. Układ płyt styropianowych na powierzchni ściany

1 – Austrotherm EPS 042 FASSADA, Austrotherm EPS 040 FASSADA, Austrotherm EPS 038 FASADA SUPER, Austrotherm EPS FASSADA THERMA, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM REFLEX,
2 – rozmieszczenie płyt wokół otworu okiennego,
3 – złącze dwóch fragmentów ścian

Płyty styropianowe należy przyklejać poziomo wzdłuż dłuższych krawędzi, z zachowaniem mijankowego układu spoin pionowych. Na ścianach z prefabrykatów płyty należy tak przyklejać, aby styki między nimi nie pokrywały się ze złączami ścian. Spoiny między płytami nie mogą też przebiegać w narożach otworów (okiennych, drzwiowych itp.).

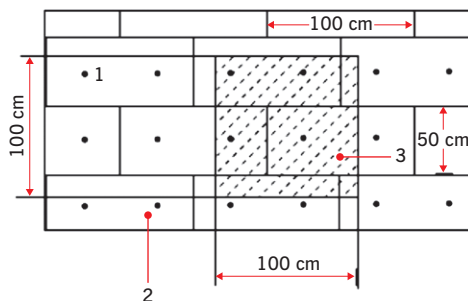
W przypadku dodatkowego mocowania mechanicznego płyt styropianowych liczbę łączników, ich rozmieszczenie z uwzględnieniem wysokości budynku, stref krawędziowych powinna określać dokumentacja projektowa.

Jeśli istnieje potrzeba, zaleca się stosowanie co najmniej 4–5 łączników na 1 m². Przy doborze długości łącznika należy pamiętać, że głębokość zakotwienia w warstwie nośnej



RYS. 3. Układ płyt styropianowych w narożu

1 – ściana zewnętrzna,
2 – Austrotherm EPS 042 FASSADA, Austrotherm EPS 040 FASSADA, Austrotherm EPS 038 FASADA SUPER, Austrotherm EPS FASSADA THERMA, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM REFLEX



RYS. 4. Schemat rozmieszczenia łączników

1 – łącznik mechaniczny,
2 – Austrotherm EPS 042 FASSADA, Austrotherm EPS 040 FASSADA, Austrotherm EPS 038 FASADA SUPER, Austrotherm EPS FASSADA THERMA, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM REFLEX,
3 – rozmieszczenie łączników na 1 m² ocieplanej powierzchni

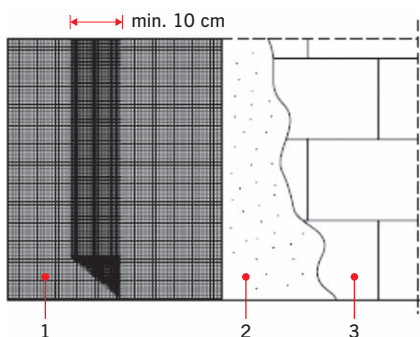
Uwaga!

- » Stosowanie płyt styropianowych o nieodpowiednich parametrach mechanicznych powoduje, że układ ociepleniowy nie ma odpowiedniej wytrzymałości i narażony jest na uszkodzenia mechaniczne.
- » Stosowanie płyt styropianowych, których struktura nie jest zwarta może doprowadzić do rozwarstwienia i odpadania ocieplenia w płaszczyźnie styropian–masa klejąca.
- » Nakładanie niezgodnie z zaleceniami masy klejącej na płytę styropianową lub brak klejenia obwodowego zmniejsza przyczepność docieplenia do ściany, co może powodować jego odpadanie, np. podczas ssania wiatru lub zarysowanie gotowej już elewacji.

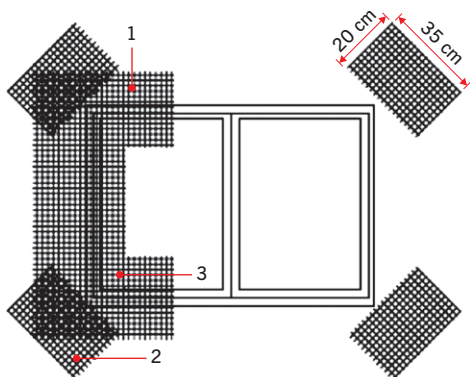
Uwaga!

- » Brak przeszlifowania nierówności na powierzchni płyt i wypełnienie ich masą szpachlowo-klejącą na gotowej wyprawie elewacyjnej tworzy widoczne, zwłaszcza przy bocznym oświetleniu, uskoki i nierówności.
- » Wypełnienie masą klejącą zamiast paskami styropianu lub niskorozprężną pianką uszczelniającą szczelin pomiędzy płytami styropianowymi, powstałych z przyczyn technicznych, powoduje w tych miejscach mostki termiczne widoczne na elewacji w postaci ciemnych linii.
- » Dzięki odpowiednim parametrom wytrzymałościowym styropiany Austrotherm łatwiej dociskać i szlifować, bez uszczerbku dla samego materiału termoizolacyjnego.

45

**RYS. 6. Montaż siatki na powierzchni ściany**

1 – siatka z włókna szklanego, 2 – zaprawa klejąca, 3 – Austrotherm EPS 042 FASSADA, Austrotherm EPS 040 FASSADA, Austrotherm EPS 038 FASADA SUPER, Austrotherm EPS FASSADA THERMA, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM, Austrotherm EPS FASSADA PREMIUM REFLEX

**RYS. 7. Montaż siatki przy otworach okiennych i drzwiowych**

1 – siatka z włókna szklanego, 2 – siatka wzmacniająca naroża otworu, 3 – wywinięcie siatki na ościeża

ściany powinna wynosić co najmniej 6 cm. Nieprawidłowe osadzenie łączników kotwiących przez nadmierne zagłębienie talerzyka w styropianie prowadzi do zerwania jego struktury i osłabienia nośności łącznika.

WYRÓWNYWANIE POWIERZCHNI PŁYT STYROPIANOWYCH

Jeśli na kolejnych arkuszach płyt EPS występują uskoki powodujące nierówności, należy ich powierzchnię w tych miejscach przeszlifować.

WYKONANIE WARSTWY ZBROJĄCEJ

Warstwę zbrojącą z siatki z włókna szklanego należy wykonywać dopiero, gdy klej, którym przyklejono płyty styropianowe, zapewnia ich stabilne przymocowanie. Po tym czasie na płyty nakłada się zaprawę szpachlowo-klejącą i rozprowadza się ją równomiernie pacą ze stali nierdzewnej, np. (zębatą o wielkości zębów 10–12 mm), tworząc warstwę materiału klejącego o powierzchni nieco większej niż przycięty pas siatki zbrojącej. Na tak przygotowanej warstwie szpachlowo-klejącej rozkłada się siatkę zbrojącą, którą zatapia się przy użyciu pacy ze stali nierdzewnej, szpachlując na gładko. Siatka zbrojąca powinna być całkowicie zatopiona w warstwie klejącej.

Sąsiednie pasy siatki muszą być układane w ten sam sposób z zakładem nie mniejszym niż 10 cm. Zakłady siatki nie powinny pokry-

**Uwaga!**

Brak nałożenia masy klejącej na styropian przed położeniem siatki sprawia, że siatka oraz wyprawa elewacyjna nie są dostatecznie związane ze styropianem, czego częstym efektem jest rozwarstwianie i odpadanie zewnętrznej warstwy docieplenia.

Zaniżanie grubości zaprawy klejącej służącej do wykonania warstwy zbrojącej prowadzi do znacznego zmniejszenia wytrzymałości tej warstwy i nadmiernego przesuszania zaprawy klejącej w czasie wiązania.

wać się ze spoinami między płytami styropianowymi. Szerokość siatki powinna być tak dobrana, aby możliwe było oklejenie ościeży okiennych i drzwiowych na całej ich głębokości.

Bardzo ważne jest zastosowanie ukośnych prostokątów siatki przy narożach okiennych i drzwiowych, ponieważ ich brak sprzyja pojawianiu się rys na przedłużeniu przekątnych tych otworów.

W przypadku, gdy nie są stosowane kątowniki narożne, to na narożach zewnętrznych siatka powinna zachodzić z obu stron co najmniej 10 cm. Ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia w części parterowej i cokołowej ocieplanych ścian, zaleca się do wysokości 2 m stosowanie dwóch warstw siatki zbrojącej lub siatki o większej gramaturze, zwanej siatką pancerną. Można także stosować płyty Austrotherm EPS 038 FASADA SUPER, które mają większą wytrzymałość mechaniczną.

WYKONYWANIE WYPRAWY TYNKARSKIEJ

Wyprawę tynkarską należy wykonywać zgodnie z zaleceniami producenta, zazwyczaj nie wcześniej niż po 3 dniach od wykonania warstwy zbrojonej i nie później niż po 3 miesiącach od wykonania tej warstwy. Wyprawę tynkarską należy wykonać zgodnie z projektem oraz instrukcją systemodawcy. Proces nakładania i wiązania tynku powinien przebiegać przy bezdeszczowej pogodzie, w temperaturze podłoża od +5 do +25°C.

Zbyt niska temperatura oraz duża wilgotność względna powietrza znacznie wydłużają proces wiązania tynku. Ponadto, aby nie następowało zbyt szybkie wysychanie tynku uniemożliwiające wykonanie prawidłowej struktury tynku, prace tynkarskie należy wykonywać na powierzchniach nienarażonych na bezpośrednie promieniowanie słoneczne i działanie wiatru.

Po nałożeniu tynku na elewację należy ją chronić przed opadami atmosferycznymi do momentu wstępnego stwardnienia tynku. Miejsca połączeń ocieplenia ze stolarką okienną, drzwiową, obróbkami blacharskimi i dylatacjami należy szczelnie zabezpieczyć materiałami trwale elastycznymi, np. kitami, silikonami, uszczelkami rozprężnymi itp. ■



OCIEPLAM DOM i walczę ze smogiem



Akcja społeczna

Termomodernizacja jest dziś nieodzownym elementem walki o lepszą jakość powietrza.

Główną przyczyną zanieczyszczenia powietrza w Polsce są nieocieplone budynki, dlatego termomodernizacja wraz z wymianą wysokoemisyjnych źródeł ciepła powinny być podstawowymi narzędziami poprawiającymi jakość powietrza.

WWW.TERMOMODERNIZACJA.ORG

WSPIERAJĄ NAS



BLOK THERM®

FAKRO®

quick-mix
marka firmy **slevert**

PATRONI AKCJI



SIPUR

MIWO
STOWARZYSZENIE PRODUCENTÓW
WŁÓKNY MINERALNYCH SŁONEJ I SKAŁNYCH



IZOLACJE
izolacje i systemy ociepleń

ORGANIZATOR AKCJI

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI, INŻ. KONDRAT RATAJ

48

EKOLOGICZNE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE PRZEGRÓD BUDYNKU W ŚWIETLE WYMAGAŃ OBOWIĄZUJĄCYCH OD 1 STYCZNIA 2021 R.

Budynek ekologiczny to taki budynek, który jest projektowany i wykonany z materiałów ekologicznych, uzyskanych oraz utylizowanych w sposób naturalny, a jego proces powstawania oraz eksploatacji przebiega zgodnie z zasadami ekologii i budownictwa zrównoważonego. Podstawowym celem jest obecnie projektowanie wyłącznie budynków o niskim zużyciu energii, czyli spełniających wymagania w zakresie oszczędności energii i ochrony cieplnej obowiązujących od 1 stycznia 2021 r.

W artykule przedstawiono analizy w zakresie zastosowania materiałów ekologicznych do przegród zewnętrznych budynków z uwzględnieniem obowiązujących wymagań prawnych.

UKŁADY MATERIAŁOWE PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH BUDYNKÓW EKOLOGICZNYCH

W Polsce budownictwo ekologiczne zyskuje coraz większą popularność. Wielu zadaje sobie pytanie, czy budynek ekologiczny może być przykładem „budynku o niskim zużyciu energii” – spełniającego wymagania w zakresie oszczędności energii i ochrony cieplnej obowiązujące wg rozporządzenia [1] od 1 stycznia 2021 r.

Poniżej zestawiono systemowe rozwiązania materiałowe stosowane przy projektowaniu i wznoszeniu budynków ekologicznych:

- » technologia hempcrete (budynek wykonany z nośnej konstrukcji szkieletowej drewnianej wypełnionej betonem konopnym odpowiadającym za izolację termiczno-akustyczną),
- » technologia strawbale oparta na konstrukcji szkieletowej drewnianej wypełnionej kostkami słomy.

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl



FOT. 1. Przykład ekologicznego systemowego rozwiązania materiałowego – technologia hempcrete; fot.: www.budnews.pl



FOT. 2. Przykład ekologicznego systemowego rozwiązania materiałowego – technologia strawbale; fot.: www.budownictwonaturalne.info.pl

Technologia hempcrete, oparta na betonie konopnym jako naturalnym materiale izolacyjnym produkowanym przez mieszanie na mokro konopnych paździerz z wapiennym spoiwem, charakteryzuje się dodatkowo zadowalającymi właściwościami termicznymi i wyjątkowo silnie wpisuje się w trend odnawialnych zasobów oraz budownictwa zrównoważonego. Optymalizowanie stosunku wapiennego spoiwa do konopnych paździerz wpływa na wytrzymałość i właściwości termiczne betonu konopnego, co pozwala na używanie go jako „oddychającej izolacji” dla podłóg, ścian i dachu. Może być używany w nowym budownictwie i przy pracach remontowych.

Budynki z „kostek ze słomy” stanowią energooszczędną i ekologiczną formę nowoczesnego budownictwa zrównoważonego, chociaż dla niektórych będzie to oznaczać powrót do średniowiecza. Zasadność popularyzacji tej technologii potwierdza jej coraz powszechniejsze wykorzystanie w Wielkiej Brytanii oraz w Niemczech, gdzie w ostatnich

latach powstało kilkaset budynków z kostek słomy. Podobne do polskich warunki klimatyczne w tych krajach pozwalają na zastosowanie zbliżonych technik konstrukcyjnych i przystosowania do rodzimych warunków ogólnych zasad budowania w tej technologii.

W TABELI 1 zestawiono właściwości techniczne wybranych ekologicznych materiałów termoizolacyjnych.

Nazwa materiału termoizolacyjnego	Wybrane cechy techniczne
Kompozyt wapienno-konopny (beton konopny)	optymalizacja parametrów technicznych w różnych proporcjach wapna i paździerz
	materiał paroprzepuszczalny
	współczynnik przewodzenia ciepła w zależności od gęstości objętościowej ($\rho_{ob} = 250-600 \text{ kg/m}^3$) – $\lambda = 0,065-0,120 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Słoma	naturalny, zdrowy i niewyczerpalny materiał
	niski współczynnik energii pochłanianej w procesie powstawania
	gotowe bloczki dostępne w różnych rozmiarach
	współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,035-0,045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	zakładana wilgotność 8–14%; potrzeba ochrony przed wilgocią

TABELA 1. Wybrane cechy techniczne ekologicznych materiałów termoizolacyjnych – opracowanie na podstawie [2]

Nazwa materiału termoizolacyjnego	Wybrane cechy techniczne
Celuloza	materiał organiczny pochodzący z włókien drzewnych przetwarzanych z recyklingu makulatury gazetowej
	dodatki w ograniczeniu palności
	zastosowanie metodą wdmuchiwania, nadmuchu, natrysku na mokro
	charakteryzuje się gęstością objętościową o wartości $\rho_{ob.} = 25\text{--}65 \text{ kg/m}^3$ oraz współczynnikiem przewodzenia ciepła o wartościach $\lambda = 0,037\text{--}0,041 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	zdolność regulacji poziomu wilgotności, która nie zmienia jego właściwości termicznych
Włókno drzewne	ekologiczny w pełni biodegradowalny; z odpadów tartakowych
	duża pojemność cieplna, dzięki czemu jest odporny na nagłe zmiany temperatur oraz uniemożliwia kondensację pary wodnej na elewacji; reguluje poziom wilgoci
	charakteryzuje się gęstością o wartości $\rho = 200\text{--}400 \text{ kg/m}^3$ oraz współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038\text{--}0,048 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	asortyment: płyty, maty oraz granulaty
	płyty formowane na sucho dzielą się na hydrofobizowane lub bitumizowane, co ma znaczny wpływ na ich gęstość objętościową $\rho_{ob.}$ od 110 do 450 kg/m^3 ; współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,036\text{--}0,045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; stosowane w konstrukcjach szkieletowych z uwagi na swobodne wypełnianie przestrzeni i blokowanie między elementami
	maty z wełny drzewnej (formowane na sucho) stosowane są w ociepleniach stropów, dachów oraz ścian zewnętrznych
	istnieje możliwość wdmuchania granulatu z włókien drzewnych o współczynniku przewodzenia $\lambda = 0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ w miejsca trudno dostępne; przestrzenie te muszą być poziome lub zamknięte, ponieważ granulaty nie przykleja się do podłoża
Wełna owcza	doskonale oddycha; wg badań neutralizuje szkodliwe substancje
	dobre właściwości akustyczne, nie rozprzestrzenia ognia, jest samogasnąca
	charakteryzuje się gęstością $\rho = 14\text{--}100 \text{ kg/m}^3$ oraz współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda = 0,038\text{--}0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; absorbuje wilgoć, nie redukując przy tym wydajności termicznej
	stosowana w ociepleniach stromych dachów między krokiewiami, podłóg, stropów oraz ścian działowych
Wełna konopna	– materiał naturalny, odnawialny i biodegradowalny; jego głównym składnikiem są włókna konopne (83–87%) związane krochmalem ryżowym lub kukurydzianym (10–12%) oraz dodatkiem sody odpowiadającej za ochronę przeciwpożarową (3–5%)
	reguluje poziom wilgotności w pomieszczeniach, dzięki czemu minimalizuje ryzyko kondensacji pary wodnej
	gęstość objętościowa $\rho_{ob.} = 38 \text{ kg/m}^3$, a współczynnik przewodzenia ciepła wynosi $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	asortyment: w postaci płyt, pasów oraz w luźnej formie

» TABELA 1. Wybrane cechy techniczne ekologicznych materiałów termoizolacyjnych – opracowanie na podstawie [2]

ANALIZA PARAMETRÓW CIEPLNYCH WYBRANYCH PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH BUDYNKÓW EKOLOGICZNYCH

Aby ilość energii cieplnej potrzebnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie, przewidziano dwie metody pozwalające spełnić wymagania w nowo projektowanych budynkach:

» pierwsza polega na takim zaprojektowaniu przegród w budynku, aby wartości współczynników przenikania ciepła U/U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom izolacyjności cieplnej; kryterium w zakresie ochrony cieplnej: $U_c \leq U_{c(max)}$,

» druga to zaprojektowanie budynku pod kątem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, lokalu mieszkalnym lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową – EP [$kWh/(m^2 \cdot rok)$]; kryterium w zakresie oszczędności energii: $EP \leq EP_{(max)}$.

Wartości maksymalne współczynników $U_{c(max)}$ dla poszczególnych przegród budynku oraz wskaźników $EP_{(max)}$ dla budynków określono w rozporządzeniu [1].

Dobór warstw materiałowych przegród zewnętrznych budynków powinien opierać się na podstawie obliczeń ich parametrów fizykalnych z uwzględnieniem wymagań prawnych sformułowanych w rozporządzeniu [1]. Poniżej przedstawiono przykłady obliczeniowe w zakresie izolacyjności termicznej ścian zewnętrznych, dachów zielonych oraz przegród stykających się z gruntem z zastosowaniem systemów ekologicznych.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

Określenie izolacyjności termicznej wybranych ścian zewnętrznych z zastosowaniem rozwiązań ekologicznych

Do analizy wybrano cztery warianty obliczeniowe ścian zewnętrznych (**RYS. 1–4**), przyjmując następujące założenia:

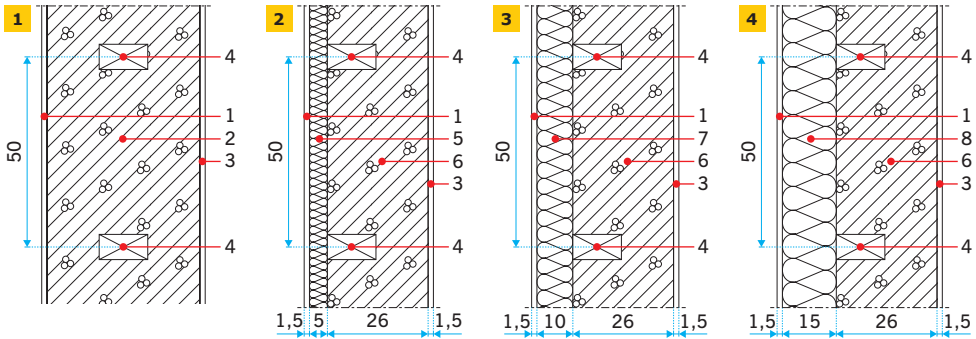
» obliczenia przeprowadzono w oparciu o PN-EN ISO 6946:2008 [3] metodą kresów dla przegród niejednorodnych cieplnie,

» wartości współczynnika przewodzenia ciepła poszczególnych materiałów:

- tynk wapienny $\lambda = 0,70 W/(m \cdot K)$,
- drewno $\lambda = 0,16 W/(m \cdot K)$,
- kompozyt wapienno-konopny $\lambda = 0,076 W/(m \cdot K)$,
- tynk gliniany $\lambda = 0,85 W/(m \cdot K)$,
- płyty z wełny konopnej $\lambda = 0,040 W/(m \cdot K)$.

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c zestawiono w **TABELI 2**.

W przykładzie obliczeniowym przedstawiono tylko wybrane warianty obliczeniowe dotyczące ścian zewnętrznych. Należy podkreślić, że projektowanie cieplne ścian zewnętrznych wymaga indywidualnego podejścia z uwzględnieniem rodzaju i charakteru budynku oraz uwzględnienia analiz ciepło-wilgotnościowych złączy ścian zewnętrznych (np. połączenie ściany zewnętrznej z oknem). Procedury projektowe i wykonawcze w tym zakresie przedstawiono m.in. w pracach [4–5].



RYS. 1-4. Wariantowe

rozwiązania materiałowe ścian zewnętrznych z zastosowaniem materiałów ekologicznych: bez dodatkowego ocieplenia (wariant I) (1), z dodatkowym ociepleniem – wełna konopna grubości 5 cm (wariant II) (2), z dodatkowym ociepleniem – wełna konopna grubości 10 cm (wariant III) (3), z dodatkowym ociepleniem – wełna konopna grubości 15 cm (wariant IV) (4); rys.: [2]

1 – tynk zewnętrzny wapienny gr. 1,5 cm, **2** – wypełnienie wapienno-konopne z konstrukcją nośną drewnianą gr. 40 cm, **3** – tynk wewnętrzny gliniany gr. 1,5 cm, **4** – słupek drewniany 60×120 cm, **5** – płyty z wełny konopnej gr. 5 cm, **6** – wypełnienie wapienno-konopne z konstrukcją nośną drewnianą gr. 26 cm, **7** – płyty z wełny konopnej gr. 10 cm, **8** – płyty z wełny konopnej gr. 15 cm

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

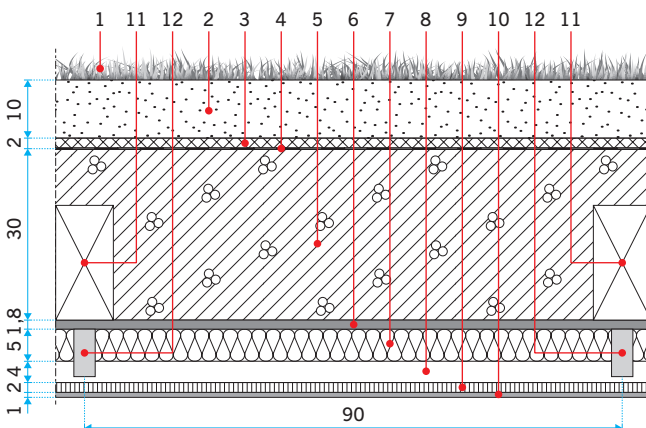
Określenie izolacyjności termicznej wybranych dachów zielonych z zastosowaniem rozwiązań ekologicznych

Do analizy wybrano trzy warianty obliczeniowe stropodachów w formie dachów zielonych (RYS. 5-7), przyjmując następujące założenia:

Wariant obliczeniowy	Wartość współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m ² ·K)]
wariant I	0,19
wariant II	0,23
wariant III	0,19
wariant IV	0,16

TABELA 2. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych – opracowanie na podstawie [2]

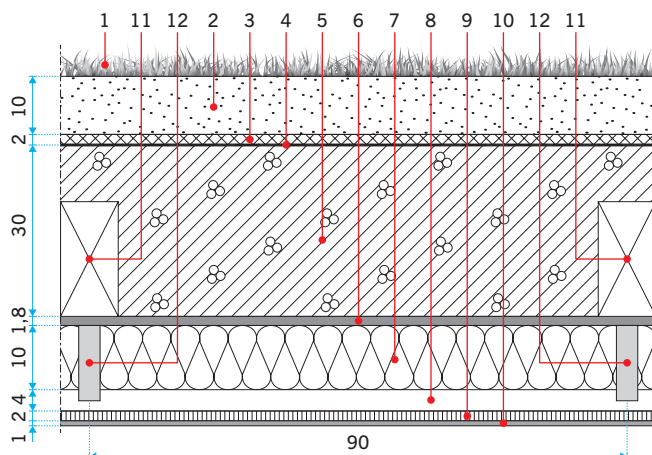
Kolorem zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K)



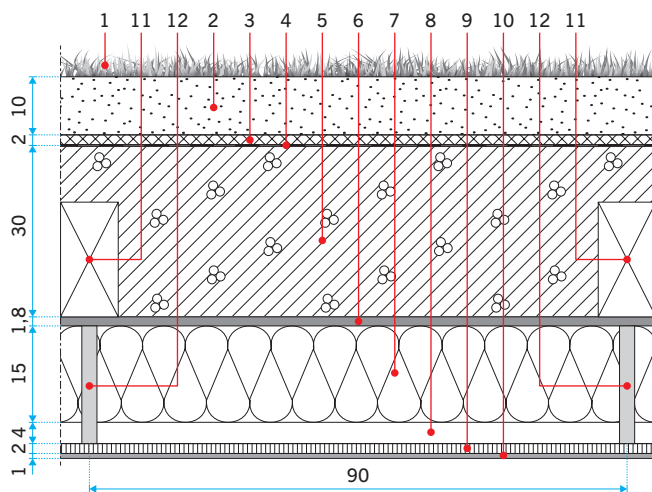
RYS. 5. Wariantowe rozwiązania materiałowe stropodachów pełnych z zastosowaniem materiałów ekologicznych: ocieplenie stropodachu od wewnątrz grubości 5 cm (wariant I); rys.: [2]

1 – roślinność, **2** – substrat dachowy gr. 10 cm, **3** – mata drenażowa z włókniną filtracyjną gr. 2 cm, **4** – folia wodochronna, **5** – beton konopny z konstrukcją nośną drewnianą gr. 30 cm, **6** – płyta wiórowa gr. 1,8 cm, **7** – wełna konopna gr. 5 cm, **8** – ruszt drewniany z pustką powietrza gr. 4 cm, **9** – płyta korkowa gr. 2 cm, **10** – tynk gliniany gr. 1 cm, **11** – krokiew z drewna klejonego 10×20 cm, **12** – kątownik ciesielski 80×80×40×2 mm

gliniany gr. 1 cm, **11** – krokiew z drewna klejonego 10×20 cm, **12** – kątownik ciesielski 80×80×40×2 mm



gr. 4 cm, **9** – płyta korkowa gr. 2 cm, **10** – tynk gliniany gr. 1 cm, **11** – krokiew z drewna klejonego 10×20 cm, **12** – kątownik ciesielski 120×95×40×2 mm



gr. 2 cm, **10** – tynk gliniany gr. 1 cm, **11** – krokiew z drewna klejonego 10×20 cm, **12** – kątownik ciesielski 40×200×40×2 mm

RYS. 6. Wariantowe rozwiązania materiałowe stropodachów pełnych z zastosowaniem materiałów ekologicznych: ocieplenie stropodachu od wewnątrz grubości 10 cm (wariant II); rys.: [2]

1 – roślinność,
2 – substrat dachowy gr. 10 cm, **3** – mata drenażowa z włókniną filtracyjną gr. 2 cm, **4** – folia wodochronna, **5** – beton konopny z konstrukcją nośną drewnianą gr. 30 cm, **6** – płyta wiórowa gr. 1,8 cm, **7** – wełna konopna gr. 10 cm, **8** – ruszt drewniany z pustką powietrza

RYS. 7. Wariantowe rozwiązania materiałowe stropodachów pełnych z zastosowaniem materiałów ekologicznych: ocieplenie stropodachu od wewnątrz grubości 15 cm (wariant III); rys.: [2]

1 – roślinność,
2 – substrat dachowy gr. 10 cm, **3** – mata drenażowa z włókniną filtracyjną gr. 2 cm, **4** – folia wodochronna, **5** – beton konopny z konstrukcją nośną drewnianą gr. 30 cm, **6** – płyta wiórowa gr. 1,8 cm, **7** – wełna konopna gr. 15 cm, **8** – ruszt drewniany z pustką powietrza gr. 4 cm, **9** – płyta korkowa

» obliczenia przeprowadzono w oparciu o PN-EN ISO 6946:2008 [3] metodą kresów dla przegród niejednorodnych cieplnie,

» wartości współczynnika przewodzenia ciepła poszczególnych materiałów:

- substrat dachowy $\lambda = 0,50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- drewno $\lambda = 0,16 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- kompozyt wapienno-konopny $\lambda = 0,065 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- płyta wiórowa $\lambda = 0,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- płyty z wełny konopnej $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- płyta korkowa $\lambda = 0,046 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- tynk gliniany $\lambda = 0,85 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c dachów zielonych zestawiono w **TABELI 3**.

W przykładzie obliczeniowym przedstawiono tylko wybrane warianty obliczeniowe dotyczące dachów zielonych. Należy podkreślić, że projektowanie cieplne dachów i stropodachów wymaga indywidualnego podejścia

z uwzględnieniem rodzaju i charakteru budynku. Procedury projektowe i wykonawcze w tym zakresie przedstawiono m.in. w pracach [4, 6].

Wariant obliczeniowy	Wartość współczynnika przenikania ciepła U_c [$W/(m^2 \cdot K)$]
wariant I	0,16
wariant II	0,14
wariant III	0,13

TABELA 3. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c dachów zielonych – opracowanie na podstawie [2]

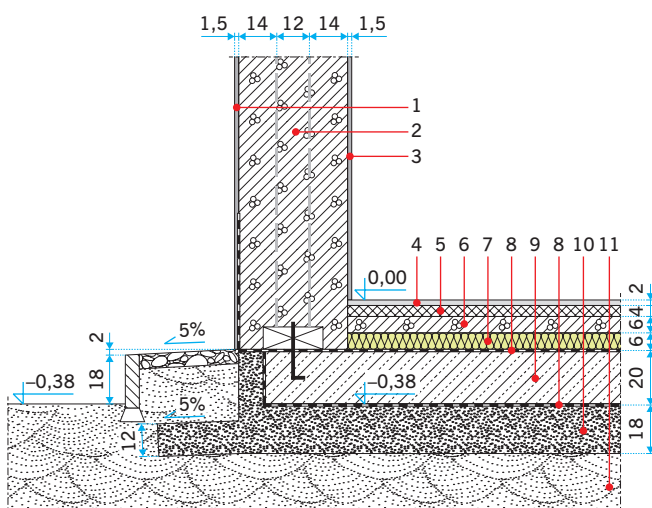
Kolorem zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c stropodachów pełnych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,15 W/(m^2 \cdot K)$

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 3

Określenie izolacyjności termicznej wybranych podłóg na gruncie z zastosowaniem rozwiązań ekologicznych

Do analizy wybrano dwa warianty obliczeniowe podłogi na gruncie (**RYS. 8–9**), przyjmując następujące założenia:

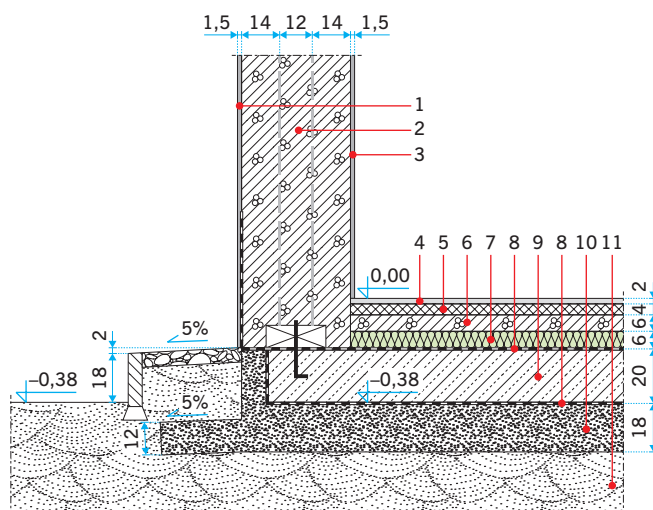
- » obliczenia przeprowadzono w oparciu o PN-EN ISO 13370:2008 [7],
- » wartości współczynnika przewodzenia ciepła poszczególnych materiałów:
 - parkiet $\lambda = 0,18 W/(m \cdot K)$,
 - wylewka wapienno-piaskowa $\lambda = 0,80 W/(m \cdot K)$,
 - kompozyt wapienno-konopny dla podłogi $\lambda = 0,12 W/(m \cdot K)$,
 - płyta fundamentowa $\lambda = 2,30 W/(m \cdot K)$,
 - keramzyt $\lambda = 0,10 W/(m \cdot K)$,



gr. 1 cm, **11** – krokiew z drewna klejonego 10×20 cm, **12** – kątownik ciesielski 80×80×40×2 mm

RYS. 5. Wariantowe rozwiązania materiałowe stropodachów pełnych z zastosowaniem materiałów ekologicznych: ocieplenie stropodachu od wewnątrz grubości 5 cm (wariant I); rys.: [2]

1 – roślinność, **2** – substrat dachowy gr. 10 cm, **3** – mata drenażowa z włókniną filtracyjną gr. 2 cm, **4** – folia wodochronna, **5** – beton konopny z konstrukcją nośną drewnianą gr. 30 cm, **6** – płyta wiórowa gr. 1,8 cm, **7** – wełna konopna gr. 5 cm, **8** – ruszt drewniany z pustką powietrza gr. 4 cm, **9** – płyta korkowa gr. 2 cm, **10** – tynk gładki



RYS. 9. Wariantowe rozwiązania materiałowe przegród stykających się z gruntem: izolacja podłogi na gruncie/płyta z pianki poliuretanowej grubości 6 cm (wariant II); rys.: [2]

1 – tynk zewnętrzny wapienny gr. 1,5 cm, 2 – wypełnienie wapienno-konopne z konstrukcją nośną drewnianą gr. 40 cm, 3 – tynk wewnętrzny gliniany gr. 1,5 cm, 4 – parkiet gr. 2 cm, 5 – wylewka wapienno-piaskowa gr. 4 cm, 6 – kompozyt wapienno-konopny gr. 6 cm, 7 – płyta PIR gr. 6 cm, 8 – izolacja przeciwwilgociowa,

9 – płyta fundamentowa gr. 20 cm, 10 – keramzyt gr. 18 cm, 11 – pospółka zagęszczona

- płyta z polistyrenu ekstrudowanego $\lambda = 0,030 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- płyta z pianki poliuretanowej $\lambda = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- ściana zewnętrzna jednowarstwowa (słupy drewniane z wypełnieniem wapienno-konopnym o grubości 40 cm i współczynniku $U_c = 0,19 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
- wymiar charakterystyczny budynku $B' = 6,57 \text{ m}$.

Wariant obliczeniowy	Wartość współczynnika przenikania ciepła U [$\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$]
wariant I	0,16
wariant II	0,14

TABELA 4. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U podłogi na gruncie – opracowanie na podstawie [2]

Kolorem zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c podłogi na gruncie spełniających wymaganie: $U \leq U_{(max)} = 0,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U podłogi na gruncie zestawiono w TABELI 4.

W przykładzie obliczeniowym przedstawiono tylko wybrane warianty obliczeniowe. Należy podkreślić, że projektowanie cieplne przegród stykających się z gruntem wymaga indywidualnego podejścia z uwzględnieniem wymiarów powierzchni zabudowy budynku oraz usytuowania i posadowienia budynku. Procedury projektowe i wykonawcze w tym zakresie przedstawiono m.in. w pracach [4, 6].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Budownictwo zrównoważone to budownictwo przyjazne środowisku naturalnemu i człowiekowi, które realizuje zasady zrównoważonego rozwoju w wyniku oddziaływania uwzględniającego metody oszczędzania zasobów naturalnych oraz przeciwdziałania zanieczyszczeń środowiska. Najistotniejsze zagadnienia projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne w tym zakresie obejmują m.in.: oszczędność surowców naturalnych przy zastosowaniu odnawialnych źródeł energii, zmniejszenie energochłonności procesów technologicznych, zmniejszenie ilości wytwarzanych

odpadów technologicznych (przez zmianę lub modernizację stosowanych technologii produkcji materiałów budowlanych), ograniczenie energochłonności budynków istniejących i nowoprojektowanych, monitorowanie obiektów budowlanych podczas ich eksploatacji, nowoczesne instalacje budowlane w budynkach, wspomaganie komputerowe w budownictwie zrównoważonym.

Budynki ekologiczne (z zastosowaniem ekologicznych rozwiązań materiałowych) wpisują się w opisaną powyżej oraz m.in. w pracy [8] ideę budownictwa zrównoważonego. Dobór układu materiałów przegród zewnętrznych i ich złączy nie powinien być przypadkowy, lecz oparty na podstawie obliczeń ich parametrów fizykalnych (cieplno-wilgotnościowych).

Jakość cieplna elementów obudowy budynku (przegrody zewnętrzne i złącza budowlane) generuje wartości wskaźników zapotrzebowania budynku na energię użytkową EU [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$], na energię końcową EK [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$] oraz na nieodnawialną energię pierwotną EP [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$].

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r., poz. 2285).
2. K. Rataj, „Studium projektowe jednorodzinne budynku ekologicznego”, praca dyplomowa inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2021.
3. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
4. K. Pawłowski, „Zasady projektowania budynków energooszczędnych”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2017.
5. K. Pawłowski, „Projektowanie ścian w budownictwie energooszczędnym. Obliczanie cieplno-wilgotnościowe ścian zewnętrznych i ich złączy w świetle obowiązujących przepisów prawnych”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2017.
6. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród poziomych w budownictwie energooszczędnym. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegród stykających się z gruntem, stropów oraz dachów i stropodachów w świetle obowiązujących przepisów prawnych”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2018.
7. PN-EN ISO 13370:2008, „Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Obliczenia szczegółowe”.
8. A. Kaliszek-Wietecha, „Budownictwo zrównoważone. Wybrane zagadnienia z fizyki budowli”, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2017.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

KONDRAT RATAJ jest absolwentem studiów I stopnia na kierunku Budownictwo, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. J. Śniadeckich w Bydgoszczy.

**BEZPŁATNA
PRENUMERATA
PRÓBNA!**

ZAMÓW PRENUMERATĘ MIESIĘCZNIKA „IZOLACJE”

Różne warianty prenumeraty
– wybierz odpowiedni dla siebie



**ZAMÓW TELEFONICZNIE:
22 512 60 51**

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

58

PROJEKTOWANIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH A WARUNKI TECHNICZNE 2021

Osiągnięcie wymaganych przez przepisy wartości współczynnika przenikania ciepła U_c poniżej wartości granicznej polega na określeniu odpowiedniej grubości materiału termoizolacyjnego oraz poprawnym jego usytuowaniu. Należy jednak zwrócić uwagę na odpowiednie kształtowanie układów materiałowych złączy budowlanych (połączenie dwóch lub trzech przegród w węzle), określanych także w literaturze jako mostki cieplne (mostki termiczne). Dobór materiałów, szczególnie termoizolacyjnych, powinien uwzględniać innowacyjne rozwiązania pozwalające na optymalizację (minimalizację) ich grubości.

Projektowanie ścian zewnętrznych budynku o niskim zużyciu energii (NZEB) wymaga znajomości zagadnień z zakresu fizyki budowli, budownictwa ogólnego, materiałów budowlanych oraz przepisów prawnych w zakresie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1]. Dotyczy to w szczególności:

- » właściwości technicznych materiałów budowlanych tworzących przegrody zewnętrzne i złącza budowlane,
- » określenia i przyjmowania do dalszych obliczeń parametrów technicznych stosowanych materiałów budowlanych (m.in. wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)], współczynnika oporu dyfuzyjnego μ [-]) na podstawie norm przedmiotowych oraz udokumentowanych danych producentów,
- » określenia parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego,
- » zasad przepływu ciepła przez przegrody i ich złącza w polu jednowymiarowym (1D), dwuwymiarowym (2D) oraz trójwymiarowym (3D),
- » zasad konstruowania układów materiałowych ścian zewnętrznych i ich złączy zgodnie z wymaganiami konstrukcyjnymi, przeciwpożarowymi, ciepło-wilgotnościowymi oraz akustycznymi.

PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNO-MATERIAŁOWE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

Ściana zewnętrzna stanowi sztuczną przegrodę pomiędzy otoczeniem zewnętrznym (o zmiennej temperaturze i wilgotności) a wnętrzem (o określonej temperaturze i wilgotności).

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

W pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi powinny być zapewnione użytkownikom odpowiednie warunki w zakresie:

- » nośności konstrukcji,
- » **ochrony ciepło-wilgotnościowej,**
- » **ochrony przed zmiennymi warunkami klimatycznymi: zmiana temperatur, deszcz, wiatr,**
- » ochrony przed hałasem,
- » ochrony przeciwpożarowej,
- » walorów architektonicznych i estetycznych.

Zmieniające się wymagania powodują, że na etapie projektowania i wykonywania pojawiają się nowe rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe ścian zewnętrznych. Najczęściej stosowanymi technologiami wznoszenia ścian zewnętrznych budynków w Polsce są technologia murowana, drewniana lub prefabrykowana.

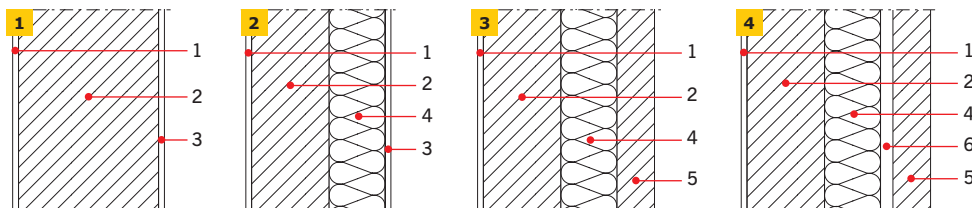
Ściany zewnętrzne murowane jednowarstwowe (RYS. 1) stanowią mury wykonane z bloczków z betonu komórkowego, pustaków z ceramiki poryzowanej lub keramzytobetonu. Natomiast **ściany zewnętrzne murowane warstwowe** (RYS. 2–4) składają się z:

- » warstwy konstrukcyjnej,
- » warstwy izolacji cieplnej,
- » warstwy pustki powietrznej wentylowanej (w przypadku ścian szczelinowych),
- » warstwy elewacyjnej (w przypadku ścian trójwarstwowych i szczelinowych).

Powszechnie stosowanymi materiałami do wznoszenia warstwy konstrukcyjnej są materiały ceramiczne, materiały silikatowe: pełne lub drążone, elementy betonowe, np. pustaki szalunkowe, pustaki z autoklawizowanego betonu komórkowego, elementy murowe z kamienia naturalnego.

Głównym zadaniem tej warstwy jest zdolność przenoszenia obciążeń z wyższych kondygnacji oraz w wyniku parcia wiatru. W przypadku znaczących obciążeń często stosuje się słupy żelbetowe (jako trzpienie).

Do grupy materiałów ściennych ceramicznych (otrzymywanych z glin ilastych, morenowych, wstęgowych, łupków, mułków oraz lessów; surowcami pomocniczymi przy produkcji ceramiki budowlanej są piasek kwarcowy, żłom suszarnikowy) można zaliczyć:



RYS. 1–4. Przykładowe układy murowanych ścian zewnętrznych; ściana jednowarstwowa (1), ściana dwuwarstwowa (2), ściana trójwarstwowa (3), ściana szczelinowa (4); rys.: autor

1 – tynk wewnętrzny, 2 – pustak ścienny, 3 – tynk zewnętrzny, 4 – izolacja termiczna, 5 – warstwa elewacyjna, 6 – szczelina powietrzna

- » cegły budowlane zwykłe,
- » cegły kratówki K1, K2, K3,
- » cegły dziurawki,
- » cegły modularne,
- » pustaki modularne MAX, S2, U, M-44,
- » pustaki do ścianek działowych,
- » pustaki wentylacyjne i kominowe,
- » cegły klinkierowe.

W przeszłości elementy ceramiczne (szczególnie cegła pełna) były stosowane do wykonywania jednowarstwowych ścian zewnętrznych. Izolacyjność takich przegród była bardzo niska, a współczynnik przenikania ciepła U wynosił:

- » dla ścian z cegły pełnej o $\lambda = 0,77 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, dla gr. 38 cm – $U = 1,51 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, dla gr. 51 cm – $U = 1,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
- » dla ścian z cegły dziurawki o $\lambda = 0,62 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, dla gr. 38 cm – $U = 1,28 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, dla gr. 51 cm – $U = 1,01 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
- » dla ścian z cegły kratówki o $\lambda = 0,56 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, dla gr. 38 cm – $U = 1,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, dla gr. 51 cm – $U = 0,93 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Aby uzyskać poprawę efektywności wyrobów ceramicznych pod względem izolacyjności cieplnej, producenci zwiększają liczbę drążeń i parametry geometryczne. Jednak w celu zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości na ściskanie udział drążeń w wyrobach przeznaczonych na ściany zewnętrzne nie powinien przekraczać 50%. Dodatkowe podwyższenie izolacyjności termicznej wyrobów ściennych można uzyskać przez wprowadzenie do produkcji masy ceramicznej trocin, węgla kamiennego, odprysków brykietowych, włókien celulozowych, polistyrenu w postaci kulek lub innych, w wyniku czego w czerpie pozostają otwarte pory. Tego typu wyroby określane są jako ceramika poryzowana. Ściany zewnętrzne wykonywane z takich pustaków akumulują ciepło i przepuszczają parę wodną przenikającą z wnętrza budynku, dzięki czemu w pomieszczeniach panują odpowiednie parametry mikroklimatu (temperatura, wilgotność). Jednak zamknięte pory powodują, że są bardziej kruche i nasiąkliwe niż tradycyjne materiały ścienne (np. cegła pełna). Pustaki z tzw. ciepłej ceramiki produkowane są w postaci pustaków z krawędziami bocznymi profilowanymi do połączenia na pióro i wpust.

Elementy silikatowe zgodnie z normą PN-B-12066:1998 [2] można podzielić na następujące grupy:

- » według przeznaczenia:
 - A – murowane zwykłe ze spoinami zwykłymi,
 - B – murowane zwykłe ze spoinami pocienionymi,
 - C – murowane na suchy styk ze spoinami poziomymi zwykłymi,
 - D – murowane na suchy styk ze spoinami poziomymi pocienionymi,
 - E – murowane na wpust-wypust ze spoinami poziomymi zwykłymi,
 - F – murowane na wpust-wypust ze spoinami poziomymi pocienionymi,
- » według odporności na działanie mrozu:
 - M – odporne na działanie mrozu (do murowania ścian zewnętrznych i wewnętrznych),
 - N – nieodporne na działanie mrozu (do murowania ścian wewnętrznych),
- » według otworów i drążeń:

- P – pełne,
- D – drażnione.

Z elementów wapienno-piaskowych (silikatowych) wykonuje się ściany nośne zewnętrzne i wewnętrzne, ściany działowe, przeciwpożarowe, elewacyjne, elementy małej architektury, przewody wentylacyjne. Należy podkreślić, że można z łatwością łączyć z innymi materiałami: ceramicznymi, szklanymi czy też drewnianymi i drewnopochodnymi.

Elementy betonowe produkowane jako cegły cementowe pełne i drażnione. Natomiast pustaki szalunkowe są przeznaczone do wykonywania fundamentów i ścian piwnic bez deskowania. Układane na „sucho” do wysokości maks. 4 warstw. Po zabrojeniu pionowym i poziomym pustaki wypełnia się mieszanką betonową. Oprócz pustaków z betonów cementowych z kruszywami naturalnymi są produkowane elementy z innym wypełnieniem: perlit, keramzyt, materiały drewnopochodne.

Bloczki z betonu komórkowego produkowane są w różnych odmianach, np. 500, 600 i 700. Współczynnik przewodzenia ciepła bloczków zależy od gęstości objętościowej. Bloczki nowego typu posiadają profilowane ściany boczne oraz dwa uchwyty montażowe. W budynkach wielokondygnacyjnych ściany wykonywane są często jako przegrody niejednorodne cieplnie (konstrukcja słupowa z żelbetu z wypełnieniem z bloczków z betonu komórkowego).

Naturalne materiały kamienne mają zastosowanie w częściach reprezentacyjnych obiektów budowlanych i wykonywane są z odpowiednich złóż skał magmowych, osadowych lub metamorficznych. Z kamieni naturalnych są produkowane ciosy i kształtki o regulowanych kształtach. W budynkach niskich zaleca się stosowanie bloczków z lekkiego wapienia miękkiego.

W przypadku ocieplenia ścian zewnętrznych murowanych stosuje się technologię bezspoinowego systemu ocieplenia ETICS, która polega na przymocowaniu do ściany systemu warstwowego, składającego się z materiału termoizolacyjnego oraz warstwy zbrojonej i wyprawy tynkarskiej. System mocowany jest do ściany za pomocą zaprawy klejącej i dodatkowo łącznikami mechanicznymi. Zasadniczą funkcję w tym systemie pełni materiał termoizolacyjny w postaci płyt:

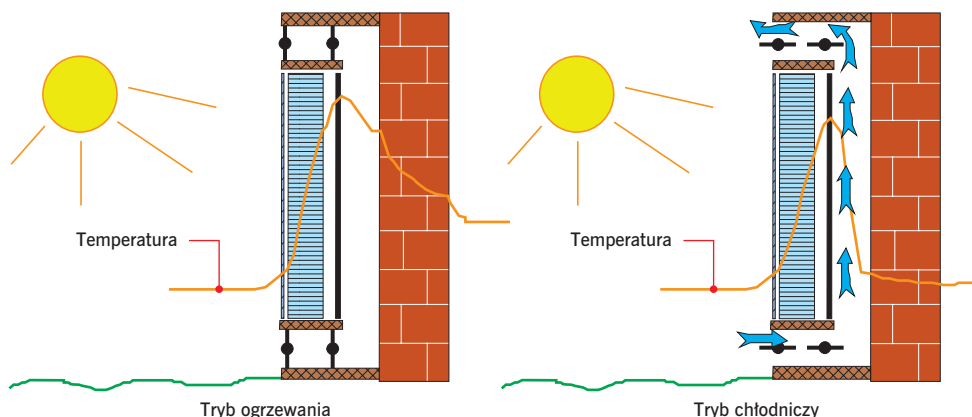
- » styropianowych EPS,
- » ze styropianu grafitowego (szarego),
- » z wełny mineralnej (skalnej),
- » z pianki poliuretanowej PIR lub PUR,
- » z pianki fenolowej (rezolowej).

Szczegółową charakterystykę parametrów materiałów termoizolacyjnych przedstawiono w pracach [3, 4].

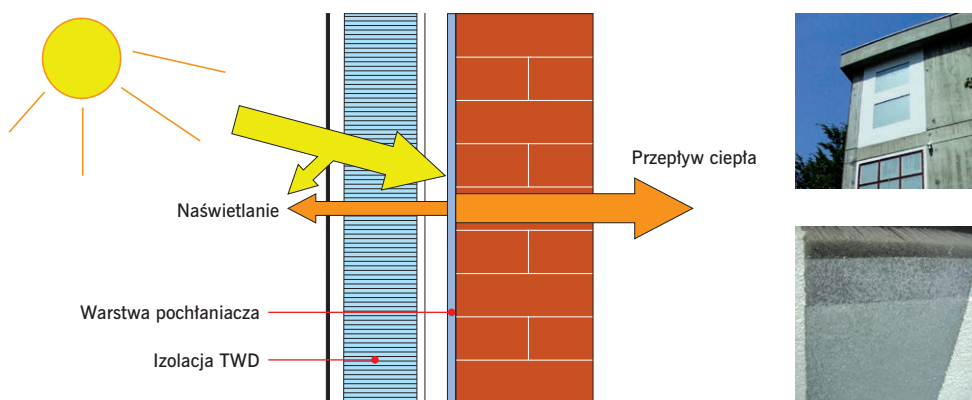
W konwencjonalnym systemie ocieplającym w niektórych miejscach mogą być wprowadzane specjalne płyty lub moduły przepuszczające światło – elementy **TWD** (*Transparente Wärmedämmung*) o następujących cechach [5]:

- » czarna powłoka (absorber) położona na ścianie lub na tylnej stronie płyty pozwala uzyskać dodatkową energię ciepłą z promieniowania słonecznego,
- » zjawisko przegrzewania się ścian w okresie letnim stosuje się zacienienie elementów czy też wentylacja przestrzeni między elementami a ścianą lub zastosowanie szyb pryzmatycznych, które w okresie letnim (gdy słońce jest wysoko na horyzoncie) odbijają znaczną część promieniowania słonecznego.

Na **RYS. 5** przedstawiono przykładowy schemat działania izolacji transparentnej TWD z szybą pryzmatyczną.



RYS. 5. Przykładowy schemat izolacji transparentnej TWD z szybą pryzmatyczną; rys.: www.bosy-online.de



RYS. 6. Przykładowy schemat izolacji transparentnej SWD; rys.: www.yumpu.de

Podobnym rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie dodatkowej energii cieplnej z promieniowania słonecznego jest zastosowanie elementów tzw. przełączalnej izolacji termicznej **SWD** (Schaltbare Wärmedämmung) o następujących cechach [5]:

- » w panelach próżniowych wykonanych w osłonie ze stali nierdzewnej umieszczono sprasowane włókno szklane i niewielką ilość wodorku palladu, który umożliwia uwalnianie małej ilości wodoru (ok. 50 hPa) oraz ponowne jego wchłanianie,
- » przewodność cieplna elementu może zwiększyć się ok. 40-krotnie i ponownie powrócić do stanu, jaki zapewnia próżnia,
- » wydzielanie wodoru odbywa się w wyniku podgrzania (elektrycznego) kapsuły z wodorkiem palladu, w związku z tym w fazie przewodzenia ciepła do panelu musi być dostarczona energia elektryczna o mocy ok. 5 W/m²,
- » zaletą tego rozwiązania jest dobre zabezpieczenie ścian przed przegrzewaniem w okresie letnim.

Na RYS. 6 przedstawiono tryby izolowania i przewodzenia ciepła przez panele SWD.

Od strony zewnętrznej należy zastosować tynk zewnętrzny – cienkowarstwowy (w przypadku ścian dwuwarstwowych) lub warstwę elewacyjną (w przypadku ścian trójwarstwowych i szczelinowych).

W przypadku ścian dwuwarstwowych zaleca się stosowanie tynków cienkowarstwowych, które można podzielić [6]:

- » ze względu na spoiwo: mineralne, silikatowe (krzemianowe), silikonowe, silikatowo-silikonowe, polimerowe (akrylowe),
- » ze względu na technikę wykonywania: naciągane pacą, zacierane, cyklinowane, wytłaczane, natryskowe, nakrapiane,
- » ze względu na rodzaj faktury: gładkie, drapane, ziarniste (tzw. baranek), modelowane, mozaikowe.

W przypadku ścian trójwarstwowych i szczelinowych warstwa elewacyjna wykonywana jest najczęściej z cegły klinkierowej, bloczków wapienno-piaskowych (silikatowych) oraz płyt z drewna.

W kształtowaniu układu warstw materiałowych w ścianie szczelinowej należy zaprojektować szczelinę wentylowaną pomiędzy warstwą izolacji cieplnej a warstwą elewacyjną o odpowiedniej grubości z zapewnieniem swobodnej cyrkulacji powietrza (otwory w warstwie elewacyjnej). Warstwa elewacyjna powinna połączona z warstwą konstrukcyjną za pomocą kotew metalowych (łącników mechanicznych) w ilości od 5 do 6 szt./m² powierzchni ściany (dobór łączników przeprowadza się na podstawie szczegółowych obliczeń). Ze względu na zmiany temperatur (w okresie letnim do 50°C, a w okresie zimowym do -25°C), w celu uniknięcia występowania zarysowań, wybrzuszeń, kruszenia i odpryskiwania materiału warstwy elewacyjnej, zaleca się stosowanie w zewnętrznej warstwie ściany szczelinowej przerwy dylatacyjnej. Na podstawie prowadzonych analiz w **TABELI 1** zestawiono zalety i wady ścian w konstrukcji murowanej.

Współczesne konstrukcje ścian zewnętrznych mogą być projektowane jako **fasady wentylowane**, w których występują wewnątrz szczeliny powietrzne, które odprowadzają nadmierną wilgoć poza przegrodę. Fasady wentylowane mogą być wykonane w dwóch technologiach:

- » technologia lekka sucha (montaż elewacji z sidingu, płyt włókno-cementowych, płyt cementowych, laminatów, elementów drewnianych, blachy aluminiowej itp.),
- » technologia ciężka sucha (ciężkie płyty kamienne lub płyty z kruszywa kamiennego spojenego żywicą).

Obie technologie mogą spełniać kryterium rozwiązania energooszczędnego, zarówno przy realizacji nowych budynków, jak i przy termorenowacji budynków już istniejących. Stosowanie tych technologii nie ma praktycznie ograniczeń temperaturowych dotyczących procesu technologicznego, ponieważ nie wykonuje się prac mokrych na budowie. Szczegółową charakterystykę rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych fasad wentylowanych przedstawiono w pracach [7, 8, 9].

Budownictwo drewniane to budownictwo, w którym elementy konstrukcyjne budynku wykonane zostały z drewna litego lub drewna klejonego. Zatem do budownictwa drewnianego zaliczyć należy:

- » budownictwo o lekkiej konstrukcji szkieletowej, gdzie konstrukcję wykonuje się z litych elementów drewnianych lub belek dwuteowych opartych na materiałach drewnopochodnych,

	Ściany jednowarstwowe	Ściany dwuwarstwowe	Ściany trójwarstwowe/ /ściany szczelinowe
Zalety	■ przyspieszenie i uproszczenie budowy ścian ■ łączenie pustaków na pióro-wpust bez spoin pionowych ■ zastosowanie tynków tradycyjnych, cienkowarstwowych, szlachetnych ■ łatwe bruzdowanie ścian na prowadzenie instalacji	■ prosta i sprawdzona technologia ■ możliwość zwiększania grubości izolacji cieplnej (obniżenie współczynnika przenikania ciepła U) ■ ciągłość izolacji cieplnej ■ wykonanie węgarka z ocieplenia (minimalizacja strat ciepła) ■ możliwość wykonania detali architektonicznych: boniowania, gzymsów, pilastrów ■ różnorodne faktury wypraw elewacyjnych, możliwość zastosowania płytek ceramicznych	■ solidna i trwała ■ układ warstw korzystny z punktu widzenia fizyki budowli ■ elewacja klinkierowa jako najtrwalsza elewacja
Wady	■ szczególne zwrócenie uwagi na mostki cieplne ■ sprawdzenie nośności (wytrzymałości na ściskanie), w szczególnych przypadkach stosuje się konstrukcję słupową ■ stosowanie zapraw ciepłochronnych i cienkich spoin klejonych (koszty)	■ zabezpieczenie części cokołowej od uszkodzeń mechanicznych ■ szczelne powłoki elewacyjne powodują brak możliwości „oddychania ścian” ■ szczególne zwrócenie uwagi na dokładność wykonania detali (szczegółów)	■ koszty i materiałochłonność ■ w budynkach wielokondygnacyjnych stężenia z wieńcami ścian konstrukcyjnych ■ skomplikowany detal – zwiększenie kosztów ■ skomplikowane rozwiązywanie detali – wykusze, płyty balkonowe ■ wady wykonawcze – szczelina wentylowana źle zaprojektowana, rozwiązanie części cokołowej – połączenie ściany fundamentowej i parteru

TABELA 1. Zalety i wady ścian zewnętrznych murowanych

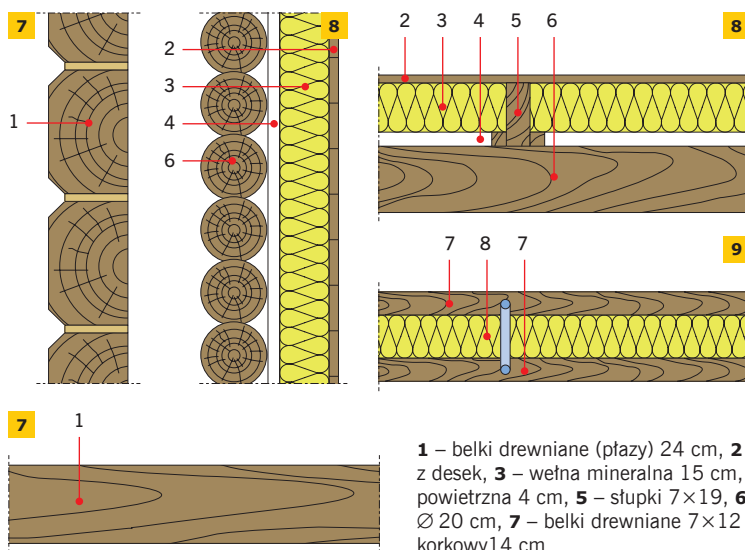
- » budownictwo prefabrykowane, tzw. domy gotowe, gdzie elementy budynku przygotowywane są w zakładzie prefabrykacji, w oparciu o elementy z litego drewna,
- » domy z bali, o ścianach zewnętrznych z drewna litego i klejonego, o grubości spełniającej wymagania izolacyjności cieplnej, niewymagających stosowania dodatkowej warstwy ocieplenia [10].

Ze względu na rodzaj i grubość bali (RYS. 7–9) rozróżnia się dwie podstawowe przegrody [11]:

- » ściana z bali grubych, niewymagających dodatkowej izolacji, może być z drewna litego bądź klejonego (niezalecane dla budynków o niskim zużyciu energii),
- » ściana z bali cienkich, niezapewniająca wymaganej izolacji cieplnej przegrodzie zewnętrzne, wymagająca dodatkowej termoizolacji o odpowiedniej grubości.

Ściany prefabrykowane jednowarstwowe i warstwowe wykorzystywane są przy wykonywaniu ścian zewnętrznych w budownictwie mieszkaniowym oraz przemysłowym.

Warstwa izolacji cieplnej wykonana jest z styropianu, polistyrenu ekstrudowanego, wełny mineralnej, pianki poliuretanowej. Zewnętrzne faktury ścian mogą być jednolite lub posiadać



RYC. 7–9. Przykładowe rozwiązania materiałowe ścian drewnianych (z bali drewnianych): ściana z okrągłaków bez dodatkowego ocieplenia (7), pojedyncze ściany zrębowe z ociepleniem od wewnątrz (8), podwójne ściany zrębowe z ociepleniem pomiędzy dwoma warstwami belek (9);

rys.: [12]

1 – belki drewniane (płazy) 24 cm, 2 – poszycie wewnętrzne z desek, 3 – wełna mineralna 15 cm, 4 – szczelina powietrzna 4 cm, 5 – słupki 7×19, 6 – bale drewniane Ø 20 cm, 7 – belki drewniane 7×12 cm, 8 – granulat korkowy 14 cm

warstwę elewacyjną wykończoną tynkami mineralnymi, fakturą z kamienia płukanego np. z łupka jurajskiego, bazaltu lub granitu. Elewacja zewnętrzna może być także odciskiem ozdobnych matryc. Ściany produkowane są w szerokim zakresie rozmiarów i zastosowań: do obudowy obiektów handlowych, hal przemysłowych, budynków użyteczności publicznej i mieszkaniowych, z przeznaczeniem na ściany wewnętrzne i zewnętrzne nośne, ściany szybów windowych, klatek schodowych itd. Prefabrykaty (jednowarstwowe i wielowarstwowe) mogą posiadać otwory okienne i drzwiowe w praktycznie dowolnych rozmiarach i kształtach. W zależności od grubości prefabrykatu i przyjętego sposobu wypełniania spoin odporność ogniowa ścian do REI 240.

W budownictwie stosuje się różne technologie wznoszenia obiektów. Oprócz technologii drewnianej, murowanej czy też żelbetowej można wykonywać obiekty z płyt warstwowych.

Płyty warstwowe są nowatorskim rozwiązaniem systemów lekkiej obudowy. Zarówno płyty warstwowe ściennie, jak i dachowe są ekonomiczne oraz charakteryzują się bezpiecznym i szybkim montażem. Lekka obudowa jest trwała i zachowuje wysoką jakość przez cały okres eksploatacji. Płyty warstwowe stosowane są zarówno do obudowy hal wielkogabarytowych, o powierzchniach sięgających kilkudziesięciu tysięcy metrów kwadratowych, jak i małych przenośnych obiektów [13].

Najczęściej **płyty warstwowe** wytwarzane są na ciągłej linii produkcyjnej. Bezpośrednimi surowcami stosowanymi do ich produkcji są:

- » blacha stalowa w kręgach przeznaczona na okładzinę zewnętrzną (dolna na linii) i wewnętrzną (górna),
- » jako materiał rdzenia – komponenty systemu PUR (ewentualnie PIR), arkusze styropianu (EPS) albo lamele (ewentualnie arkusze) wełny mineralnej (WM),
- » klej poliuretanowy służący do trwałego połączenia styropianu lub wełny z okładzinami.

Wybór konkretnego rozwiązania konstrukcyjno-materiałowego ścian zewnętrznych powinien być oparty na podstawie obliczeń i analiz w zakresie nośności oraz ochrony ciepło-wilgotnościowej, akustycznej i przeciwpożarowej.

METODY OBLICZENIOWE W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA CIEPLNEGO ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

Przenikanie ciepła w budynkach może być przeprowadzone przy podziale struktury na typowe przegrody: ściany zewnętrzne, okna, drzwi, podłogi, dachy, w odniesieniu do których straty ciepła można obliczać oddzielnie na podstawie jednowymiarowego modelu przepływu ciepła, przy założeniu jednorodnej struktury przegrody, złożonej z równoległych warstw, do których strumień cieplny jest prostopadły.

Straty ciepła przez pojedyncze elementy budynku, przy przyjęciu pewnych uproszczeń, można określić za pomocą współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$].

Projektowanie przegród budowlanych wymaga uwzględnienia klimatu miejscowego, jaki panuje w otoczeniu budynku oraz mikroklimatu pomieszczeń. Największy wpływ na kształtowanie właściwości cieplno-wilgotnościowych przegród mają:

- » temperatura,
- » wilgotność względna,
- » natężenie promieniowania słonecznego.

Zdolność materiału do przewodzenia ciepła jest określana przy pomocy współczynnika przewodzenia ciepła – λ [$W/(m \cdot K)$]. Jest to ilość ciepła przewodzonego w jednostce czasu przez $1 m^2$ powierzchni przegrody o grubości $1 m$ przy różnicy temperatur powierzchni po obu stronach przegrody, równej $1 K$, w jednostce czasu. W normalizacji wprowadzono dwa pojęcia odnoszące się do wartości współczynnika przewodzenia ciepła materiałów (lub oporu cieplnego komponentów):

- » wartość deklarowaną (λ_D), służącą kontroli jakości produkcji, odpowiadająca warunkom laboratoryjnym,
- » wartość obliczeniową (λ_{ob}), służącą projektowaniu, odpowiadająca warunkom stosowania materiału w budynku.

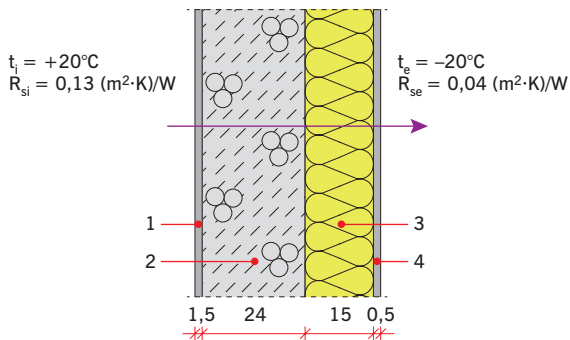
Procedury obliczania współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych o budowie jednorodnie i niejednorodnie cieplnie według PN-EN ISO 6946:2008 [14] przedstawiono w pracach [15, 16].

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

Obliczono wartość współczynnika przenikania ciepła U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] dwuwarstwowej ściany zewnętrznej (RYS. 10) budynku jednorodzinnego zgodnie z procedurą normy PN-EN ISO 6946:2008 [14].

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- » temperatura obliczeniowa zewnętrzna (Toruń – III strefa klimatyczna: $t_e = -20^\circ C$),



RYS. 10. Układ warstw materiałowych ściany zewnętrznej; rys.: autor

1 – tynk gipsowy gr. 1,5 cm, 2 – bloczki z betonu komórkowego gr. 24 cm, 3 – płyty styropianowe gr. 15 cm, 4 – tynk cienkowarstwowy gr. 0,5 cm

lp.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m ² ·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,13
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
3	Błoczek wapienno-piaskowy	0,24	0,56	0,48
4	Płyty styropianowe grafitowe	0,15	0,031	4,84
5	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,01
6	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
				$R_T = 5,54$

TABELA 2. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej dwuwarstwowej

» temperatura obliczeniowa wewnętrzna (pomieszczenia przeznaczone do przebywania ludzi bez okryć zewnętrznych niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej: pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie, korytarze: $t_i = 20^\circ\text{C}$),

» opory przejmowania ciepła dla ściany; wartości oporów przejmowania ciepła zostały przyjęte według normy PN-EN ISO 6946:2008 [14] dla poziomego kierunku strumienia ciepła:

- opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,
- opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,

» wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie tablic w pracach [15, 16].

W TABELI 2 zestawiono dane materiałowe analizowanej przegrody.

» Całkowity opór cieplny ściany zewnętrznej od środowiska do środowiska określono według wzoru:

$$R_T = R_{si} + \sum R_n + R_{se} \text{ [(m}^2\cdot\text{K)/W]}$$

» Opór cieplny pojedynczej warstwy materiałowej ściany zewnętrznej (przegrody) obliczono według wzoru:

$$R_i = \frac{d}{\lambda} \text{ [(m}^2\cdot\text{K)/W]}$$

» Wartość współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] określono według wzoru:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5,54} = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

» Wartość skorygowanego współczynnika przenikania ciepła określono według równania:

$$U_c = U + \Delta U$$

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$$

Wartości poszczególnych poprawek ΔU_g , ΔU_f , ΔU_r określono na podstawie następujących założeń:

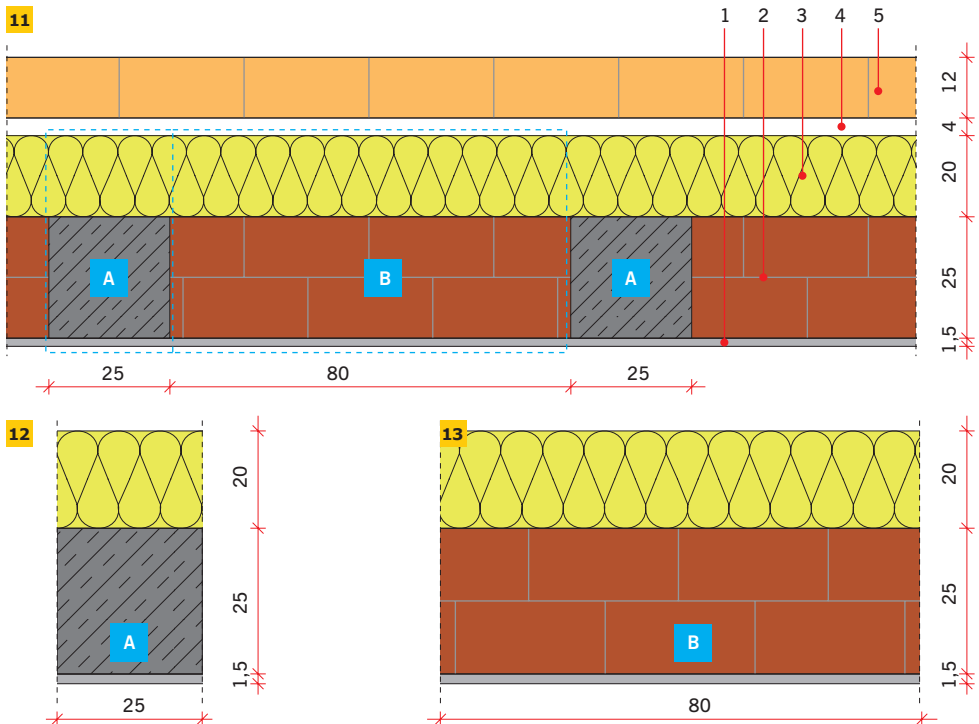
- » ze względu na brak występowania pustek powietrznych (płyty styropianowe ułożone na zakładkę) poprawka na szczelności $\Delta U_g = 0$,
- » w przypadku ścian zewnętrznych poprawki ΔU_r nie uwzględnia się ($\Delta U_r = 0$),
- » wpływ łączników mechanicznych pominięto ($\Delta U_f = 0$) – łączniki mechaniczne o wartości $\lambda_f = 0,75 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Zatem człon korekcyjny $\Delta U = 0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, a wartość skorygowanego współczynnika przenikania ciepła ściany wynosi $U_c = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Analizowana ściana zewnętrzna spełnia kryterium cieplne według rozporządzenia [1] obowiązującego od 1 stycznia 2021 r.:

$$U_c = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} < U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

Obliczono całkowity opór cieplny R_T [(m²·K)/W] oraz wartość współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] ściany zewnętrznej budynku o układzie warstw materiałowych (ze szczeliną dobrze wentylowaną) przedstawionym na RYS. 11–13 (rzut poziomy ściany).



RYS. 11–13. Układ warstw materiałowych ściany szczelinowej o warstwach niejednorodnych cieplnie: model obliczeniowy (11), wycinek „A” (12), wycinek „B” (13); rys.: autor

1 – tynk gipsowy gr. 1,5 cm, **2** – cegła kratówka gr. 25 cm/słup żelbetowy 25×25 cm, **3** – wełna mineralna gr. 20 cm, **4** – szczelina dobrze wentylowana gr. 4 cm, **5** – cegła klinkierowa gr. 12 cm, część konstrukcyjna połączona z warstwą elewacyjną za pomocą stalowych łączników mechanicznych

W analizowanej ścianie szczelinowej zaprojektowano dobrze wentylowaną warstwę powietrza gr. 4 cm – spełnia to kryterium według pkt. 5.3.4. normy PN-EN ISO 6946:2008 [14]; „całkowity opór cieplny komponentu budowlanego zawierającego dobrze wentylowaną warstwę powietrza należy obliczyć, pomijając opór cieplny warstwy powietrza i wszystkich innych warstw między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym oraz dodając zewnętrzny opór przejmowania ciepła, odpowiadający powietrzu nieruchomemu; alternatywnie może być zastosowana wartość R_{si} z Tablicy 1 normy”.

KRES GÓRNY CAŁKOWITEGO OPORU CIEPLNEGO R'_T

W wyniku podziału przegrody płaszczyznami prostopadłymi do powierzchni przegrody wyodrębniono dwa zróżnicowane wycinki (sekcje): wycinek „A”, wycinek „B” o układach warstw materiałowych przedstawionych na RYS. 11–13 oraz w TABELI 3 i 4.

Pola względne wycinka „A” i „B” wyznaczono na podstawie:

- » pola wycinka „A”: $P_a = 0,25 \text{ m} \cdot 0,465 \text{ m} = 0,12 \text{ m}^2$
- » pola wycinka „B”: $P_b = 0,80 \text{ m} \cdot 0,465 \text{ m} = 0,37 \text{ m}^2$
- » sumy pól wycinka „A” i wycinka „B”:

Ip.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,13
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
3	Żelbet	0,25	2,00	0,13
5	Wełna mineralna	0,20	0,04	5,00
6	Szczelina dobrze wentylowana	0,04	–	0,13
7	Cegła klinkierowa	0,12	1,05	
8	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	
$R_T = R_{si} + \sum R_n + R_{se}$				5,43

TABELA 3. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej – kres górny całkowitego oporu cieplnego R'_T wycinka „A”

Ip.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,13
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
4	Cegła kratówka	0,25	0,56	0,45
5	Wełna mineralna	0,20	0,04	5,00
6	Szczelina dobrze wentylowana	0,04	–	0,13
7	Cegła klinkierowa	0,12	1,05	
8	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	
$R_T = R_{si} + \sum R_n + R_{se}$				5,75

TABELA 4. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej – kres górny całkowitego oporu cieplnego R'_T wycinka „A”

$$P = P_a + P_b = 0,12 + 0,37 = 0,49 \text{ m}^2$$

Pola względne zatem wynoszą:

$$f_a = P_a/P = 0,12/0,49 = 0,24$$

$$f_b = P_b/P = 0,37/0,49 = 0,76$$

$$f_a + f_b = 1$$

Kres górny całkowitego oporu cieplnego R'_T określono według wzoru:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} = \frac{0,24}{5,43} + \frac{0,76}{5,75} = 0,18, R'_T = 5,68 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

KRES DOLNY CAŁKOWITEGO OPORU CIEPLNEGO R''_T

W wyniku podziału przegrody płaszczyznami równoległymi do powierzchni przegrody wyodrębniono warstwę niejednorodną cieplnie (dwa materiały: cegła kratówka – $\lambda_{c.k.} = 0,56 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, żelbet – $\lambda_z = 2,00 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$), dla której należy określić równoważoną (uśrednioną) przewodność cieplną λ'' według wzoru:

$$\lambda'' = f_{c.k.} \cdot \lambda_{c.k.} + f_z \cdot \lambda_z$$

gdzie:

$f_{c.k.}$ – pole względne cegły kratówki [-],

$\lambda_{c.k.}$ – współczynnik przewodzenia ciepła cegły kratówki [$\text{W/(m} \cdot \text{K)}$],

f_z – pole względne żelbetu [-],

λ_z – współczynnik przewodzenia ciepła żelbetu [$\text{W/(m} \cdot \text{K)}$].

Pola względne wycinka cegły kratówki i żelbetu wyznaczono na podstawie:

- » pola cegły kratówki: $P_{c.k.} = 0,80 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} = 0,20 \text{ m}^2$
- » pola żelbetu: $P_z = 0,25 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^2$
- » sumy pól betonu komórkowego i żelbetu:

$$P = P_{b.k.} + P_z = 0,20 + 0,06 = 0,26 \text{ m}^2$$

Pola względne wycinków wynoszą zatem:

$$f_{c.k.} = P_{c.k.}/P = 0,20/0,26 = 0,77$$

$$f_z = P_z/P = 0,06/0,26 = 0,23$$

$$f_{c.k.} + f_z = 1$$

Równoważona (uśredniona) przewodność cieplna warstwy niejednorodnej cieplnie:

$$\lambda'' = f_{c.k.} \cdot \lambda_{c.k.} + f_z \cdot \lambda_z = 0,77 \cdot 0,56 + 0,23 \cdot 2,00 = 0,89 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego R''_T określono według wzoru:

$$R''_T = R_{si} + R_{t.g.} + R_{z/c.k.} + R_{w.m.} + R_{se}$$

lp.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,13
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
3/4	Żelbet/cegła kratówka	0,25	$\lambda'' = 0,89$	0,28
5	Wełna mineralna	0,20	0,04	5,00
6	Szczelina dobrze wentylowana	0,04	–	0,13
7	Cegła klinkierowa	0,12	1,05	
8	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	
$R_T'' = R_{si} + R_2 + R_{3/4} + R_5 + R_{se}$				5,58

TABELA 5. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej – kres dolny całkowitego oporu cieplnego R_T''

gdzie:

R_{si} – opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej [(m²·K)/W],

$R_{t.g.}$ – opór cieplny warstwy z tynku gipsowego [(m²·K)/W],

$R_{z./c.k.}$ – opór cieplny warstwy z żelbetu/cegły kratówki [(m²·K)/W],

$R_{w.m.}$ – opór cieplny warstwy z wełny mineralnej [(m²·K)/W],

R_{se} – opór przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej [(m²·K)/W].

W TABELI 5 zestawiono wyniki obliczeń.

PARAMETRY R_T I U

Całkowity opór cieplny ściany zewnętrznej R_T (komponentu składającego się z warstw cieplnie jednorodnych i niejednorodnych) oblicza się jako średnią arytmetyczną górnego i dolnego kresu oporu cieplnego, zgodnie ze wzorem:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} = \frac{5,68 + 5,58}{2} = 5,63 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Wartość współczynnika przenikania ciepła ściany zewnętrznej U wynosi:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5,63} = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Wartość skorygowanego współczynnika przenikania ciepła określono według wzoru:

$$U_c = U + \Delta U$$

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$$

Wartości poszczególnych poprawek ΔU_g , ΔU_f , ΔU_r określono na podstawie następujących założeń:

- » ze względu na brak występowania pustek powietrznych poprawka na nieszczelności $\Delta U_g = 0$,
- » w przypadku ścian zewnętrznych poprawki ΔU_r nie uwzględnia się ($\Delta U_r = 0$),
- » ze względu na łączniki mechaniczne ze stali nierdzewnej (o średnicy 5 mm i układzie 5 szt./m²) obliczono wartość poprawki ΔU_f według wzoru:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_o} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

gdzie:

$\alpha = 0,8$ – łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji,

$\lambda_f = 17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – kotwy ze stali nierdzewnej o średnicy 5 mm,

$A_f = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,0025)^2 = 1,963 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$,

n_f – liczba łączników na metr kwadratowy, $n_f = 5 \text{ szt./m}^2$,

$d_o = 0,20 \text{ m}$ – grubość warstwy izolacji zawierającej łącznik,

$R_1 = 5,00 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – opór cieplny izolacji przebijanej przez łącznik,

$R_{T,h} = 5,75 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – całkowity opór cieplny komponentu.

Po podstawieniu do wzoru uzyskano wartość poprawki $\Delta U_f = 0,01 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Zatem człon korekcyjny $\Delta U = 0,01 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, a wartość skorygowanego współczynnika przenikania ciepła ściany wynosi $U_c = 0,19 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Analizowana ściana zewnętrzna spełnia kryterium cieplne według rozporządzenia [1] obowiązującego od 1 stycznia 2021 r.

$$U_c = 0,19 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} < U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 3

Obliczono rozkład temperatury w dwuwarstwowej ścianie zewnętrznej z ociepleniem usytuowanym od zewnątrz i wewnątrz (RYS. 14–15, TABELA 6 i 7).

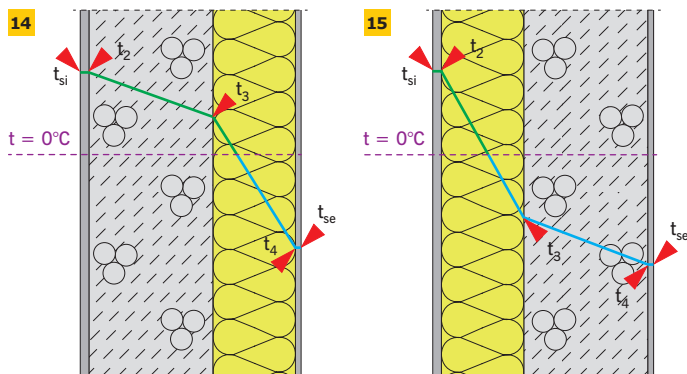
Do określenie rozkładu temperatur w ścianie zewnętrznej przyjęto następujące założenia:

- » temperatura obliczeniowa zewnętrzna (Toruń – III strefa klimatyczna: $t_e = -20^\circ\text{C}$),
- » temperatura obliczeniowa wewnętrzna (pomieszczenia przeznaczone do przebywania ludzi bez okryć zewnętrznych niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej: pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie, korytarze: $t_i = 20^\circ\text{C}$),
- » opory przejmowania ciepła dla ściany:
 - opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,
 - opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$.

W TABELI 8 i 9 zestawiono wyniki obliczeń.

Należy podkreślić, że ocieplenie ściany zewnętrznej od wewnątrz powoduje, że jej warstwa konstrukcyjna (beton komórkowy) znajduje się

RYS. 14–15 Rozkład temperatur w ścianie dwuwarstwowej: ocieplonej od strony zewnętrznej (14), ocieplonej od strony wewnętrznej (15); rys.: autor



Ip.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,25
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
3	Błoczek betonu komórkowego	0,24	0,21	1,14
4	Płyty styropianowe	0,15	0,04	3,75
5	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,01
6	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
				$R_T = 5,23$ $U = 1/R_T = 0,191$

TABELA 6. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej dwuwarstwowej (ocieplenie od zewnątrz)

Ip.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,25
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
3	Płyty styropianowe	0,15	0,04	3,75
4	Błoczek betonu komórkowego	0,24	0,21	1,14
5	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,01
6	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
				$R_T = 5,23$ $U = 1/R_T = 0,191$

TABELA 7. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej dwuwarstwowej (ocieplenie od wewnątrz)

Charakterystyczne temperatury	t [°C]
Temperatura powietrza wewnętrznego: $t_i = 20^{\circ}\text{C}$	20,00
Temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{si} = t_i - U \cdot \Delta t \cdot R_{si} = 20 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,25 =$	18,088
Temperatura na styku tynk gipsowy – błoczek z betonu komórkowego: $t_2 = t_{si} - U \cdot \Delta t \cdot R_2 = 18,092 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	17,782
Temperatura na styku błocek z betonu komórkowego – styropian: $t_3 = t_2 - U \cdot \Delta t \cdot R_3 = 17,786 - 0,191 \cdot 40 \cdot 1,14 =$	9,063
Temperatura na styku styropian – tynk cienkowarstwowy: $t_4 = t_3 - U \cdot \Delta t \cdot R_4 = 9,084 - 0,191 \cdot 40 \cdot 3,75 =$	-19,618
Temperatura na zewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{se} = t_4 - U \cdot \Delta t \cdot R_5 = -19,542 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,01 =$	-19,694
Temperatura powietrza zewnętrznego: $t_e = t_{se} - U \cdot \Delta t \cdot R_{se} = -19,695 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	-20,000

TABELA 8. Zestawienie temperatur na stykach warstw materiałowych (ściana ocieplona od zewnątrz)

Charakterystyczne temperatury	t [°C]
Temperatura powietrza wewnętrznego: $t_i = 20^{\circ}\text{C}$	20,00
Temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{si} = t_i - U \cdot \Delta t \cdot R_{si} = 20 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,25 =$	18,088
Temperatura na styku tynk gipsowy – płyty styropianowe: $t_2 = t_{si} - U \cdot \Delta t \cdot R_2 = 18,092 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	17,782
Temperatura na styku płyty styropianowe – bloczki z betonu komórkowego: $t_3 = t_2 - U \cdot \Delta t \cdot R_3 = 17,786 - 0,191 \cdot 40 \cdot 3,75 =$	-10,899
Temperatura na styku bloczki z betonu komórkowego – tynk cienkowarstwowy: $t_4 = t_3 - U \cdot \Delta t \cdot R_4 = 9,084 - 0,191 \cdot 40 \cdot 1,14 =$	-19,542
Temperatura na zewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{se} = t_4 - U \cdot \Delta t \cdot R_5 = -19,542 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,01 =$	-19,694
Temperatura powietrza zewnętrznego: $t_e = t_{se} - U \cdot \Delta t \cdot R_{se} = -19,695 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	-20,000

TABELA 9. Zestawienie temperatur na stykach warstw materiałowych (ściana ocieplona od wewnątrz)

w strefie przemarzania ($t < 0^{\circ}\text{C}$). Takie zjawisko może spowodować zmianę parametrów technicznych i fizykalnych (cieplno-wilgotnościowych) analizowanej przegrody.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 4

Obliczono współczynnik przenikania ciepła U_c [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] warstwowych ścian zewnętrznych trójwarstwowych (RYS. 16), w zróżnicowanym układzie warstw materiałowych zgodnie z procedurą normy PN-EN ISO 6946:2008 [14].

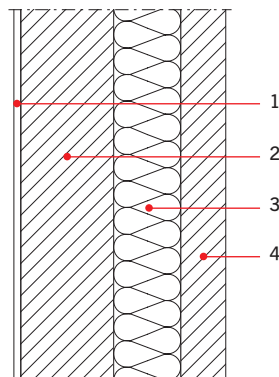
Do obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_c [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] przyjęto następujące założenia:

- » temperatura obliczeniowa zewnętrzna (Toruń – III strefa klimatyczna: $t_e = -20^{\circ}\text{C}$),
- » temperatura obliczeniowa wewnętrzna (pomieszczenia przeznaczone do przebywania ludzi bez okryć zewnętrznych niewykonujących w sposób ciągły pracy: pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie, korytarze: $t_i = 20^{\circ}\text{C}$),

RYS. 16. Przykładowe rozwiązanie materiałowe ścian zewnętrznych trójwarstwowych;

rys.: autor

- 1 – tynk wewnętrzny,
- 2 – warstwa konstrukcyjna,
- 3 – izolacja cieplna,
- 4 – warstwa elewacyjna



Warstwa konstrukcyjna:

- bloczek z betonu komórkowego 24 cm,
- cegła pełna 25 cm,
- bloczek wapienno-piaskowy (silikatowy) 24 cm,

Warstwa izolacji cieplnej:

- styropian,
- styropian grafitowy,
- wełna mineralna,
- płyty z poliizocyanuratu (PIR),
- płyty rezolowe,
- płyty ekstrudowane XPS,
- płyty celulozowe,
- płyty z aerożelu,
- płyty VIP (izolacje próżniowe),

Warstwa elewacyjna:

- cegła klinkierowa 12 cm,
- bloczek wapienno-piaskowy 12 cm

	Warstwy materiałowe	d [m]	λ [W/(m·K)]	x [m]	Wartości współczynnika przenikania ciepła U_e [W/(m²·K)] w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła materiałów izolacji cieplnej λ [W/(m·K)]							
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
					0,040	0,038	0,036	0,035	0,031	0,021	0,015	0,007
I	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,26	0,25	0,24	0,24	0,22	0,17	0,13	0,07
	Błoczki z betonu komórkowego	0,24	0,21	0,12	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20	0,15	0,12	0,06
	Isolacja cieplna	x	y ¹⁾	0,15	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17	0,13	0,10	–
II	Błoczki wapienno-piaskowe	0,12	0,80	0,20	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,10	0,08	–
	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,32	0,30	0,29	0,29	0,26	0,19	0,14	0,08
	Błoczki wapienno-piaskowe	0,24	0,56	0,12	0,28	0,26	0,25	0,25	0,23	0,16	0,12	0,07
III	Isolacja cieplna	x	y ¹⁾	0,15	0,23	0,22	0,21	0,21	0,19	0,14	0,10	–
	Błoczki wapienno-piaskowy	0,12	0,80	0,20	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,10	0,08	–
	Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,10	0,33	0,32	0,30	0,30	0,27	0,20	0,15	0,08
VIII	Cegła pełna	0,25	0,77	0,12	0,29	0,27	0,26	0,26	0,23	0,17	0,13	0,07
	Isolacja cieplna	x	y ¹⁾	0,15	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,14	0,10	–
	Cegła klinkierowa	0,12	1,05	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17	0,15	0,11	0,08	–

TABELA 10. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_e według PN-EN ISO 6946:2008 [14] w odniesieniu do ściany zewnętrznej trójwarstwowej

Objaśnienia:

y¹⁾ warianty izolacji cieplnej: I – płyty styropianowe $\lambda = 0,040$ W/(m·K), II – płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K), III – płyty celulozowe $\lambda = 0,036$ W/(m·K), IV – płyty ekstrudowane $\lambda = 0,035$ W/(m·K), V – płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ W/(m·K), VI – płyty rezolowe $\lambda = 0,021$ W/(m·K), VII – płyty aerożelowe $\lambda = 0,015$ W/(m·K), VIII – płyty z paneli próżniowych VIP $\lambda = 0,007$ W/(m·K) (dla paneli próżniowych VIP wykonano obliczenia tylko dla grubości 10 i 12 cm wg wytycznych producentów). Do obliczeń U_e przyjęto $\Delta U = 0,01$

Kolorem zielonym zaznaczono w tablicy wartości współczynnika przenikania ciepła U_e ścian zewnętrznych spełniających wymagania: $U_e \leq U_{e(max)} = 0,20$ W/(m²·K)

» opory przejmowania ciepła dla ściany; wartości oporów przejmowania ciepła zostały przyjęte według PN-EN ISO 6946:2008 [14] dla poziomego kierunku strumienia ciepła:

- opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,
- opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,

» wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$ przyjęto na podstawie tablic załącznik do pracy [15, 16].

Wyniki obliczeń zestawiono w **TABELI 10**.

Istotny wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej $U_c \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ ma wartość współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$ materiału izolacyjnego. W odniesieniu do jednego rodzaju izolacji może się ona wahać w znacznym przedziale w zależności od produktu, co wynika z szybkiego rozwoju rynku materiałów termoizolacyjnych oraz coraz bardziej zaawansowanych technologii produkcyjnych. W obliczeniach różnicowano grubość warstwy izolacji cieplnej i wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego $\lambda \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]}$. Dodatkowo zamieszczono poziomy wymagań co do izolacyjności cieplnej $U_{c(max)} \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ według rozporządzenia [1], obowiązujące od 1 stycznia 2021 r.

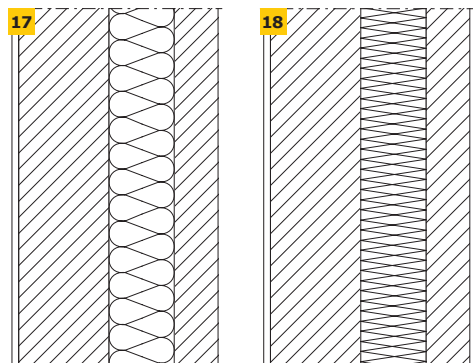
PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 5

Sprawdzono ryzyko występowania kondensacji międzywarstwowej w ścianie zewnętrznej trójwarstwowej rozpatrywanej w dwóch wariantach.

Do obliczeń i analizy w zakresie sprawdzenia występowania kondensacji międzywarstwowej wybrano ścianę zewnętrzną trójwarstwową, otynkowaną od wnętrza, z zewnętrzną warstwą licowej cegły klinkierowej oraz płytą termoizolacyjną w środku, wykonaną alternatywnie z wełny mineralnej lub styropianu. Na **RYS. 17–18** i w **TABELI 11** przedstawiono dane geometryczne i materiałowe przegrody. Przeprowadzono podstawowe obliczenia (**TABELE 12 i 13**) i analizy w zakresie **stanu wilgotnościowego ściany** dla dwóch różnych materiałów termoizolacyjnych: wełny mineralnej i styropianu, użytych alternatywnie, przyjmując budynek w Bydgoszczy (dane meteorologiczne) z wentylacją grawitacyjną w 3/4 klasie wilgotności pomieszczeń (dla $\theta_e < 0^\circ\text{C} \rightarrow \Delta p = 810 \text{ Pa}$).

Na **RYS. 19–22** przedstawiono w skali oporów dyfuzyjnych (oś pozioma) wykresy temperatury $t \text{ [}^\circ\text{C]}$, ciśnienia pary wodnej nasyconej $p_{sat} \text{ [Pa]}$ oraz rzeczywistego ciśnienia cząstkowego pary wodnej $p \text{ [Pa]}$ dla dwóch przypadków termoizolacji ściany.

Wykresy $p \text{ [Pa]}$ i $p_{sat} \text{ [Pa]}$ przecinają się, przegroda w obu przypadkach jest zagrożona kondensacją wewnętrzną wilgoci. Występuje jedna wewnętrzna płaszczyzna kondensacji wilgoci c w styku termoizolacji z licówką (płaszczyzna międzywarstwowa 1), ciśnienie $p_c \text{ [Pa]}$. Obliczenie ilości kondensującej wilgoci w płaszczyźnie c :



RYS. 17–18 Ściana zewnętrzna trójwarstwowa z licówką klinkierową i ociepleniem: wełną mineralną (17) i styropianem (18); rys.: autor

Warstwa materiałowa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [m²·K/W]	μ [-]	Warianty materiału termoizolacyjnego	
					Wetna mineralna	Płyty styropianowe
					s_d [m]	s_d [m]
Powietrze zewnętrzne	–	–	0,04	–	–	
Licowa cegła klinkierowa	0,12	1,05	0,11	100	12,00	12,00
Wetna mineralna	0,15	0,04	3,75	1	0,15	–
Styropian	0,15	0,04	3,75	60	–	9,00
Cegła pełna	0,25	0,77	0,32	10	2,50	2,50
Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,03	10	0,10	0,10
Powietrze wewnętrzne	–	–	0,25	–	–	
$R_T = R_{si} + \sum R_i + R_{se} = 4,50$					$\sum s_d = 14,75 \text{ m}$	$\sum s_d = 23,60 \text{ m}$

TABELA 11. Parametry geometryczno-materiałowe warstw ściany zewnętrznej trójwarstwowej

Objaśnienia:

d – grubość warstwy materiałowej, λ – współczynnik przewodzenia ciepła warstwy materiałowej,

$R = d/\lambda$ – opór cieplny warstwy materiałowej przegrody, μ – współczynnik oporu dyfuzyjnego,

$s_d = \mu \cdot d$ – dyfuzyjnie równoważna warstwa powietrza

Warstwy	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]	μ [-]	s_d [m]	t [°C]	p_{sat} [Pa]	p [Pa]
Powietrze zewnętrzne	–	–	0,04	–	–	–0,70	577	505
Licowa cegła klinkierowa	0,12	1,05	0,11	100	12,00	–0,52	587	505
Wetna mineralna	0,15	0,04	3,75	1	0,15	–0,10	$p_c = 605$	1230
Cegła pełna	0,25	0,77	0,32	10	2,50	17,24	1954	1239
Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,03	10	0,10	18,71	2158	1390
Powietrze wewnętrzne	–	–	0,25	–	–	18,85	2179	1396
						20,00	2340	1396
$R_T = R_{si} + \sum R_i + R_{se} = 4,50$						$\sum s_d = 14,75$		
						$t_{si} = t_i - U \cdot \Delta t \cdot R_{si}$		

TABELA 12. Wyniki obliczeń w zakresie występowania kondensacji międzywarstwowej – ściana zewnętrzna trójwarstwowa z wetną mineralną (wariant I)

Do obliczeń przyjęto: $t_i = 20^\circ\text{C}$ (pokój dzienny), $t_e = -0,7^\circ\text{C}$ (średnia miesięczna temperatura dla stycznia

– lokalizacja budynku Bydgoszcz,

Wartości ciśnienie rzeczywistego po stronie zewnętrznej: $p_e = p_{sat,e} \cdot \varphi_e = 577 \cdot 0,876 = 505 \text{ Pa}$,

po stronie wewnętrznej: $p_i = p_e + 1,1 \cdot \Delta p = 505 + 1,1 \cdot 810 = 1396 \text{ Pa}$

Warstwy	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m ² ·K)/W]	μ [-]	s_d [m]	t [°C]	p_{sat} [Pa]	p [Pa]
Powietrze zewnętrzne			0,04			-0,70	577	505
Licowa cegła klinkierowa	0,12	1,05	0,11	100	12,00	-0,52	587	505
Płyty styropianowe	0,15	0,04	3,75	60	9,00	-0,10	$p_c = 605$	958
Cegła pełna	0,25	0,77	0,32	10	2,50	17,24	1954	1298
Tynk gipsowy	0,01	0,40	0,03	10	0,10	18,71	2158	1392
Powietrze wewnętrzne			0,25			18,85	2179	1396
						20,00	2340	1396
$R_T = R_{si} + \sum R_i + R_{se} = 4,50$						$\sum s_d = 23,60$		
						$t_{si} = t_i - U \cdot \Delta t \cdot R_{si}$		

TABELA 13. Wyniki obliczeń w zakresie występowania kondensacji międzywarstwowej – ściana zewnętrzna trójwarstwowa z płytami styropianowymi (wariant II)

Do obliczeń przyjęto: $t_i = 20^\circ\text{C}$ (pokój dzienny), $t_e = -0,7^\circ\text{C}$ (średnia miesięczna temperatura dla stycznia – lokalizacja budynku Bydgoszcz,

Wartości ciśnienie rzeczywistego po stronie zewnętrznej: $p_e = p_{sat,e} \cdot \varphi_e = 577 \cdot 0,876 = 505$ Pa,
po stronie wewnętrznej: $p_i = p_e + 1,1 \cdot \Delta p = 505 + 1,1 \cdot 810 = 1396$ Pa

» izolacja z wełny mineralnej:

$$g_c = \delta_o \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1396 - 605}{14,75 - 12} - \frac{605 - 505}{12} \right) = 559 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}),$$

w okresie miesiąca $g(m) = 30 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 559 \cdot 10^{-10} = 0,145 \text{ kg}/\text{m}^2$

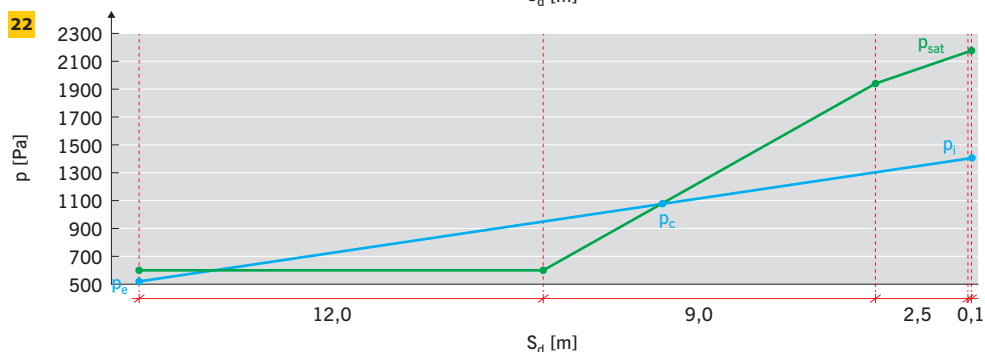
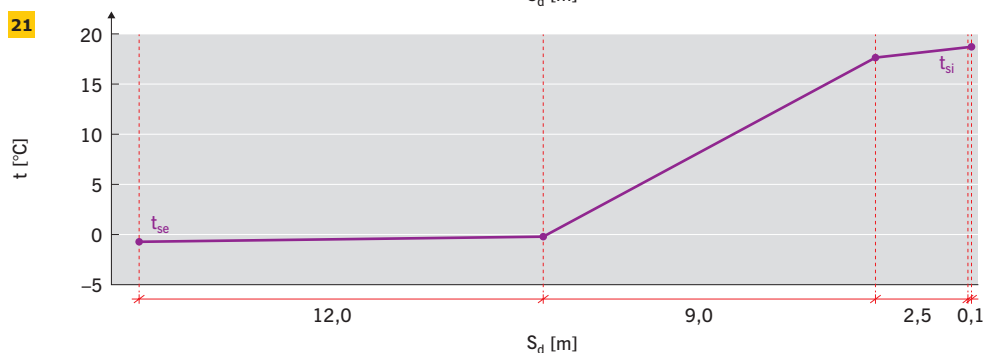
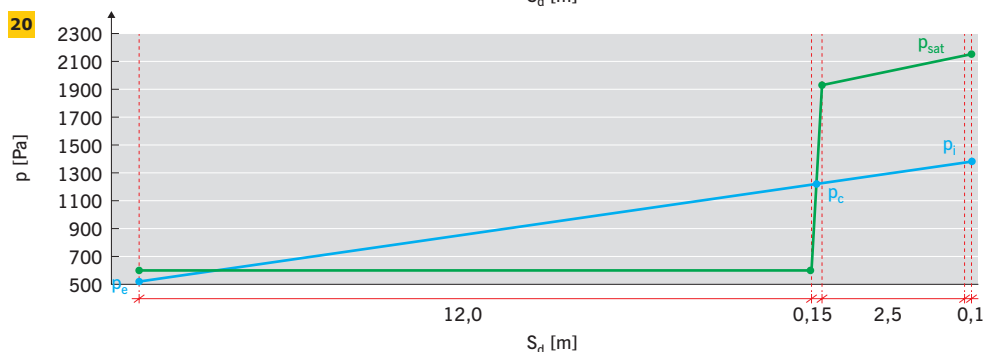
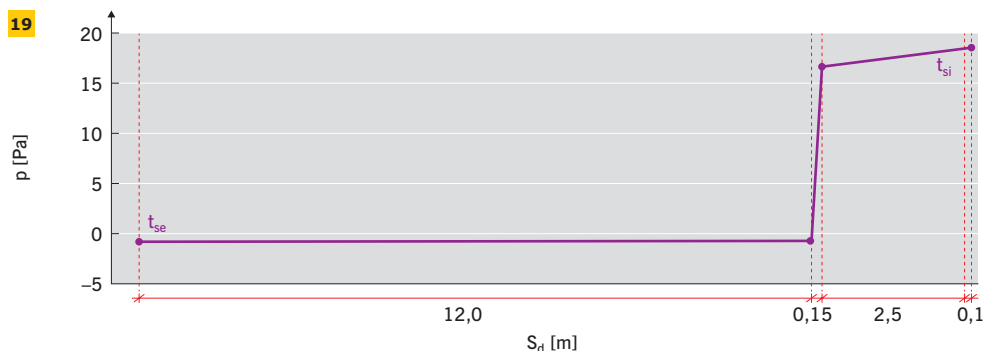
» izolacja ze styropianu:

$$g_c = \delta_o \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1396 - 605}{23,60 - 12} - \frac{605 - 505}{12} \right) = 120 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}),$$

w okresie miesiąca $g(m) = 30 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 120 \cdot 10^{-10} = 0,031 \text{ kg}/\text{m}^2$

Rezultaty obliczeń wskazują na fakt gromadzenia się wewnątrz przegrody (dla obu rodzajów termoizolacji) wilgoci kondensacyjnej. Nie można jednak odpowiedzieć na pytanie, czy bilans roczny wilgoci wykaże możliwość wysuszenia przegrody w okresie letnim, co jest koniecznym warunkiem jej akceptacji technicznej. Należy przeprowadzić dalsze analizy i obliczenia w tym zakresie.



RYS. 19–22 Analiza wilgotnościowa ściany trójwarstwowej ocieplonej alternatywnie: wełną mineralną (19–20), styropianem (21–22); rys.: autor

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono zasady projektowania ścian zewnętrznych i ich złączy spełniających prawne wymagania cieplno-wilgotnościowe obowiązujące od 1 stycznia 2021 roku z uwzględnieniem wytycznych budownictwa niskoenergetycznego. Osiągnięcie wartości współczynnika przenikania ciepła U_e [$W/(m^2 \cdot K)$] poniżej wartości granicznej polega określeniu odpowiedniej grubości materiału termoizolacyjnego oraz poprawnym jego usytuowaniu. Należy jednak zwrócić uwagę także na odpowiednie kształtowanie układów materiałowych złączy budowlanych (połączenie dwóch lub trzech przegród w węźle), określanych także w literaturze jako mostki cieplne (mostki termiczne). Dobór materiałów, szczególnie termoizolacyjnych, powinien uwzględniać innowacyjne rozwiązania pozwalające na optymalizację (minimalizację) ich grubości.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
2. PN-B-12066:1998, „Wyroby budowlane silikatowe. Cegły, bloki, elementy”.
3. M. Wesołowska, K. Pawłowski, „Aspekty związane z dostosowaniem obiektów istniejących do standardów budownictwa energooszczędnego”, Agencja Reklamowa TOP, Włocławek 2016. Praca wydana w ramach projektu finansowanego ze środków funduszy norweskich i środków krajowych.
4. K. Pawłowski, „Innowacyjne rozwiązania materiałów termoizolacyjnych w aspekcie modernizacji budynków w Polsce”, „IZOLACJE” 3/2018, s. 48–64.
5. D. Christoffers, U. Tron, „Transparente wärmedämmungen mit integrierter prismenscheibe zur saisonalen verschattung – Ausführungsbeispiele Vakuumdämmung“, BINE Informationsdienst, projektinfo 4/01.
6. M. Gaczek, S. Fiszer, „Tynki” [w:] „XVIII Ogólnopolska Konferencja Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji”, Ustroń 2003.
7. K. Schabowicz, „Elewacje wentylowane. Technologia produkcji i metody badania płyt włóknisto-cementowych”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2018.
8. K. Pawłowski, „Fasada wentylowana jako nowoczesna elewacja budynków niskoenergetycznych”, „IZOLACJE” 2/2017, s. 62–65.
9. K. Pawłowski, „Elewacje wentylowane w budynkach energooszczędnych”, „Przewodnik projektanta” 3/2019, s. 38–41.
10. F. Lewandowski, „Analiza numeryczna parametrów cieplnych przegród zewnętrznych i ich złączy budynku z bali drewnianych”, praca magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2013.
11. W. Nitka, „Mój dom z drewna”, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa 2010.
12. P. Markiewicz, „Budownictwo ogólne dla architektów”, Wydawnictwo ARCHI-PLUS, Kraków 2011.
13. P. Tokarz, „Płyty warstwowe w systemach lekkiej obudowy budynków”, „IZOLACJE” 2/2012, s. 24–26.
14. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.

15. K. Pawłowski, „Projektowanie ścian w budownictwie energooszczędnym. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe ścian zewnętrznych i ich złączy w świetle obowiązujących przepisów prawnych”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2017.
16. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepło-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

PROMOCJA

NOWOŚĆ*Krzysztof Pawłowski*

PROJEKTOWANIE PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH

budynków o niskim zużyciu energii

**Obliczenia fizyczne przegród zewnętrznych i ich złączy
w świetle wymagań obowiązujących od 1 stycznia 2021 r.**

Książka dla architektów, projektantów, osób opracowujących świadectwa charakterystyki energetycznej budynków, audytorów energetycznych, audytorów efektywności energetycznej, studentów i innych specjalistów zajmujących się problematyką ochrony energii w budownictwie. Zawiera wiele przykładów obliczeniowych, co szczególnie może być przydatne w praktyce projektowej specjalistów.

JAK SKUTECZNIE WYELIMINOWAĆ LINIOWE I PUNKTOWE MOSTKI CIEPLNE

Isomur® Plus, Eco-Fix – innowacyjne produkty firmy Stahlton

Zaprojektowanie obiektu budowlanego, który łączy w sobie trwałość, jakość wykonania i niskie koszty użytkowania, zagwarantuje minimalną ilość wad i niskie zapotrzebowanie energetyczne. Założenia te prowadzą do poszukiwania rozwiązań technicznych oraz materiałów budowlanych, które pozwolą wyeliminować słabe miejsca w przegrodach, umożliwiając nie tylko poprawę izolacyjności termicznej budynku, ale również mikroklimatu w pomieszczeniach.

Norma **PN EN ISO 10211-1** definiuje mostek cieplny (termiczny) jako część obudowy budynku, w której jednolity opór cieplny jest znacznie zmieniony przez:

- » całkowite lub częściowe przebicie obudowy budynku przez materiały o innym współczynniku przewodzenia ciepła,
- » zmianę grubości warstw materiałów,
- » różnicę między wewnętrznymi i zewnętrznymi powierzchniami przegród, jaka występuje w połączeniach ściana/podłoga/sufit.

W praktyce ze względów konstrukcyjnych nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie występowania zjawiska mostków cieplnych, a jedynie ich zminimalizowanie. Bardzo trudne jest bowiem stworzenie produktu, który jednocześnie będzie wytrzymałym elementem konstrukcyjnym i zarazem dobrym materiałem termoizolacyjnym.

Próbując zminimalizować negatywny wpływ mostków cieplnych, projektant staje przed trudnym zadaniem. Musi zaprojektować trwałe połączenie węzłów konstrukcyjnych przy jednoczesnym zapewnieniu ciągłości izolacji termicznej. Niewłaściwe zaprojektowanie oraz wykonanie połączeń elementów konstrukcji powoduje powstanie słabego, z punktu widzenia fizyki budowli, miejsca w budynku – mostka cieplnego, przez który w sposób niekontrolowany ucieka dużo ciepła. W szczególności problem ten pojawia się w takich miejscach jak: połączenie płyty balkonowej ze ścianą, żelbetowego słupa lub trzpienia ze stropem, ściany z fundamentem lub podłogą na gruncie czy połączenie zewnętrznych elementów mocowanych do ściany za pomocą stalowych łączników.

Mostki cieplne oprócz zwiększonych strat ciepła prowadzą do obniżenia temperatury wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu ich występowania, co może skutkować w przypadku osiągnięcia „punktu rosy” wykraplaniem pary i powstawaniem pleśni na ścianach.

Firma Stahlton posiada w swojej ofercie całą gamę rozwiązań i produktów umożliwiających w znacznym zakresie eliminację mostków cieplnych. Pozwalają one kształtować połączenia ścian z fundamentem, podłogą na gruncie lub stropem w przyziemiu oraz połączenia ze ścianą elementów zewnętrznych, takich jak markizy, daszki, anteny satelitarne czy poręcze.

LINIOWY MOSTEK CIEPLNY W STREFIE COKOŁOWEJ BUDYNKU

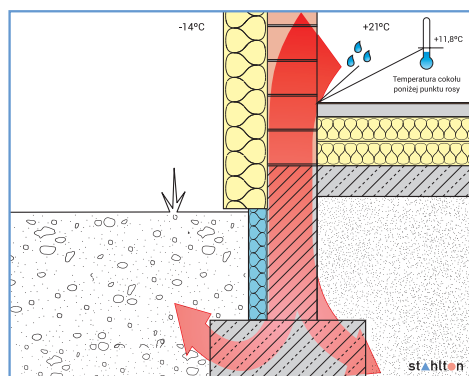
83

Liniowe mostki cieplne powstają, gdy na pewnym odcinku przegrody budowlanej brakuje termoizolacji, jest ona niewystarczająca lub jej ciągłość została przerwana. Taka sytuacja pojawia się np. w miejscach posadowienia ścian w przyziemiu budynku, czyli w przypadku styku ściany z fundamentem, z podłogą na gruncie lub stropem nad nieogrzewaną piwnicą czy garażem.

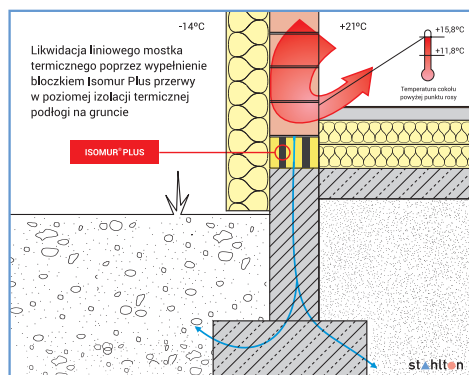
Podczas ocieplania stropu lub podłogi na gruncie warstwę poziomą izolacji termicznej układa się pomiędzy ścianami, natomiast jej poprowadzenie pod samymi ścianami nie jest możliwe

ze względu na niską wytrzymałość na ściskanie materiałów izolacyjnych, takich jak EPS, XPS czy wełna mineralna. Prowadzi to do przerwania ciągłości poziomej izolacji termicznej ocieplanego elementu budowli. Przerwa ta skutkuje powstaniem znacznego liniowego mostka cieplnego w kierunku pionowym (RYS. 1.).

Ciepło pomieszczenia ogrzewanego wnika do ściany i wobec dużego oporu cieplnego sąsiednich przegród budowlanych, czyli ściany zewnętrznej i podłogi na gruncie, przepływa swobodnie w kierunku elementów konstrukcji przyziemia, wykonanych z betonu o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_{\text{Beton}} = 1,0\text{--}1,7 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Spowodowane jest to brakiem warstwy ocieplenia bezpośrednio pod ścianą, a zatem małym oporem cieplnym oraz różnicą temperatur pomiędzy ogrzewanym pomieszczeniem a gruntem pod budynkiem lub nieogrzewanym garażem czy piwnicą. Mamy tutaj do czynienia ze znacznym liniowym mostkiem cieplnym na długości wszystkich połączeń ścian z fundamentem w przyziemiu.



RYS. 1. Przerwa w poziomej izolacji termicznej na styku ścian z fundamentem prowadzi do powstania znacznego mostka cieplnego w kierunku pionowym



RYS. 2. Isomur® Plus zamyka przerwę w poziomej izolacji termicznej podłogi na gruncie lub stropu nad nieogrzewanymi pomieszczeniami

BLOCZEK ISOMUR® PLUS

– JAK ZMINIMALIZOWAĆ LINIOWY MOSTEK CIEPLNY W COKOLE BUDYNKU

Stosując bloczek termoizolacyjny Isomur® Plus, jako wypełnienie przerwy w poziomej izo-



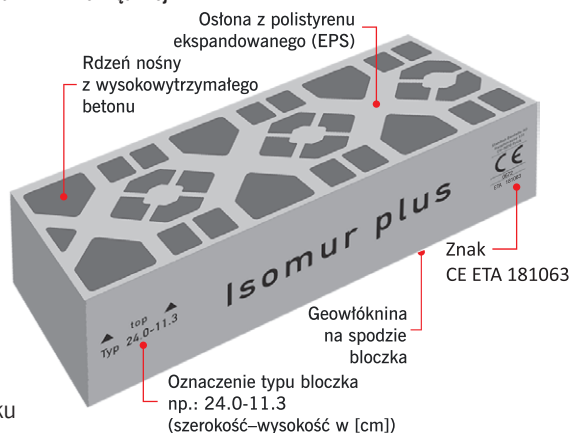
FOT. 1. Pleśń w rejonie mostka cieplnego to następstwo zawilgocenia ściany spowodowanego zjawiskiem rosenia

lacji termicznej na styku ścian z fundamentem, minimalizujemy w znacznym stopniu przepływ strumienia ciepłego przez przegrodę budowlaną w kierunku pionowym, ograniczając w dużym stopniu straty ciepła przez istniejący tam mostek cieplny (RYS. 2.). Ograniczenie ucieczki ciepła, oprócz korzyści finansowych, prowadzi jednocześnie do podniesienia temperatury po wewnętrznej stronie ściany w cokole budynku powyżej „punktu rosy”, co w efekcie eliminuje ryzyko powstawania pleśni na ścianach.

Metody ograniczenia strat ciepła przez mostek cieplny w cokole, takie jak ocieplanie ścian fundamentowych, przynoszą niewielkie korzyści, pomimo sporych nakładów finansowych na zakup materiałów izolacyjnych oraz robociznę. Rozwiązanie takie nie zamyka przerwy w poziomej izolacji termicznej na połączeniu ścian z fundamentem i tym samym nie prowadzi do zachowania jej ciągłości, a jedynie nieznacznie zmniejsza straty ciepła przez istniejący tam mostek cieplny (RYS. 1.).



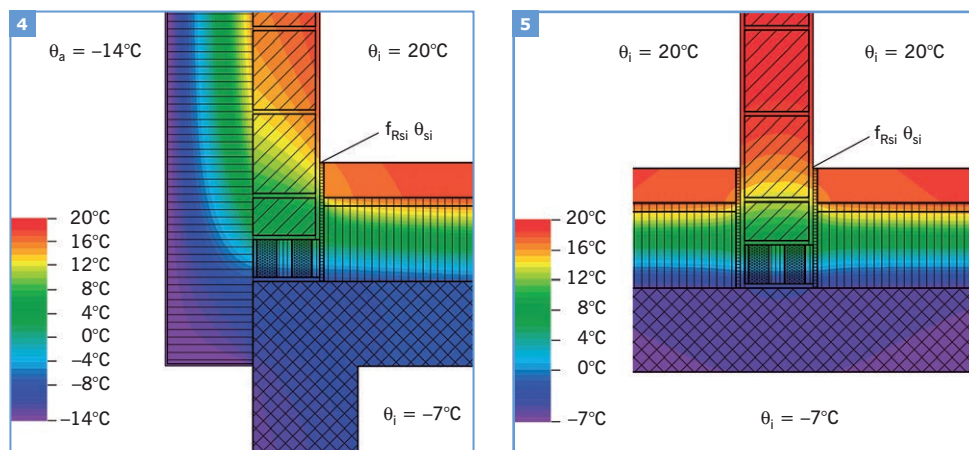
FOT. 2. Isomur® Plus jako pierwsza warstwa ściany zewnętrznej



RYS. 3. Bloczek Isomur® Plus

Bloczki Isomur® Plus – dane techniczne

- » współczynnik przewodzenia ciepła: $\lambda = 0,245 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- » niski stopień nasiąkliwości wg normy PN-EN ISO 12571: maksymalnie 4%,
- » absorpcja wody wg PN-EN 772-11: $c_{ws} = 0,10 \text{ kg/}(\sqrt{\text{m}^2\cdot\text{h}})$ – deklaracja: nieprzepuszczalny dla wody,
- » wytrzymałość na ściskanie: 20 MPa,
- » wytrzymałość na ścinanie ściany z wbudowanymi bloczkami Isomur®: 0,10 MN/m²,
- » wymiary: długość: 60 cm,
 - wysokość 11,3 cm dla szerokości: 11,5; 15; 17,5; 20; 24 cm,
 - wysokość 9 cm dla szerokości: 17,5 i 24 cm,
- » Europejska Ocena Techniczna ETA 181063.



RYS. 4–5. Prezentacja termograficzna ściany zewnętrznej oraz lekkiej działowej z zastosowaniem bloczków Isomur® Plus

Właściwości Isomur® Plus:

- » niska wartość współczynnika przewodzenia ciepła,
- » niski stopień nasiąkliwości – brak obniżenia właściwości izolacyjnych bloczka po ewentualnym zawilgoceniu,
- » brak przepuszczalności dla wody – stanowi dodatkową warstwę poziomej izolacji przeciwwilgociowej ścian,
- » brak kapilarnego podciągania wody do warstw muru posadowionych bezpośrednio na bloczku,
- » duża wytrzymałość na ściskanie – w zależności od stosowanej technologii budowania możliwość wznoszenia na bloczkach budynków do 4 kondygnacji,
- » szybkie i proste wbudowanie podczas murowania ścian.

Korzyści z zastosowania bloczków Isomur® Plus:

- » minimalne straty ciepła, a więc niższe koszty ogrzewania pomieszczeń,
- » podniesienie poziomu temperatury na wewnętrznych powierzchniach ścian w części cokołowej znacznie powyżej „punktu rosy” i tym samym brak występowania zawilgoceń, przebarwień oraz pleśni na ścianach,
- » zdrowy mikroklimat w pomieszczeniu,
- » suchy i ciepły cokół.

ELEMENTY MONTAŻOWE ECO-FIX – SPOSÓB NA PUNKTOWE MOSTKI CIEPLNE

Punktowe mostki cieplne powstają wskutek przebicia warstwy izolacji termicznej budynku przez łączniki z materiałów o dużej przewodności cieplnej, takie jak stalowe kotwy, dyble czy śruby. Ze względu na stosowanie coraz grubszych warstw izolacji termicznej ścian, elementy łącznikowe osiągają znaczne długości. Wraz ze wzrostem ich długości wzrasta ich sprężystość, co może doprowadzić do odkształceń oraz pęknięć elewacji w miejscu mocowania elementu



FOT. 3. Pęknięcie elewacji w miejscu źle zamontowanego daszku



FOT. 5. Konsola Eco-Fix A-E do mocowania ciężkich elementów typu markizy, daszki, barierki itp.



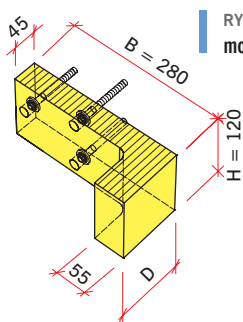
FOT. 4. Kątownik montażowy Eco-Fix G do mocowania balustrad przy portfenetrach



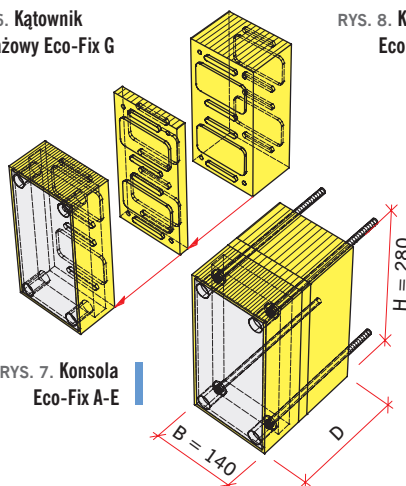
FOT. 6. Konsola Eco-Fix TK do mocowania poręczy, balustrad i okiennic

zewnątrznego (np. poprzez obciążenie elementu wiatrem, napięcia termiczne itp.) i do wnikania wilgoci w ściany (FOT. 3).

Produkty z grupy Eco-Fix są pośrednimi łącznikami do mocowania elementów zewnętrznych, takich jak balustrady, markizy, daszki czy anteny satelitarne w elewacji budynku wykończonej w systemie ETICS. Wykonane są ze skompresowanej i twardej pianki poliuretanowej (PUR) o bardzo dobrych właściwościach termoizolacyjnych i służą do eliminacji punktowych mostków ciepła-

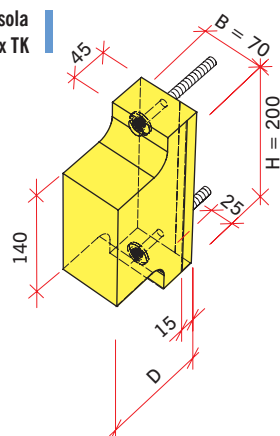


RYS. 6. Kątownik montażowy Eco-Fix G



RYS. 7. Konsola Eco-Fix A-E

RYS. 8. Konsola Eco-Fix TK



nych. Elementy Eco-Fix stanowią integralną część przegrody budowlanej – nie obciążają elewacji, co gwarantuje brak powstawania pęknięć na ich połączeniu z ociepleniem ściany oraz z elementem zewnętrznym. Pozwalają na łatwy montaż ciężkich elementów w elewacji, gwarantując ich trwałe i bezpieczne zamocowanie oraz zapewniają termiczne „odcięcie” elementu zewnętrznego od budynku. Dobór odpowiedniego elementu Eco-Fix zależy od ciężaru i rodzaju elementu zewnętrznego.

Dane techniczne:

- » materiał: skompresowana twarda pianka poliuretanowa (PUR) lub polistyren ekspandowany,
- » gęstość ρ : 200–450 kg/m³,
- » współczynnik przewodzenia ciepła w zależności od elementu λ : 0,038–0,080 W/(m·K),
- » przenoszone obciążenia w zależności od elementu: nacisk centryczny na element do 19,6 kN; siły ścinające do 8,0 kN; siły wyrywające do 22,0 kN.

Zalety produktów Eco-Fix:

- » bardzo dobre właściwości termoizolacyjne,
- » eliminują powstawanie punktowych mostków cieplnych,
- » stanowią stabilne podłoże do mocowania ciężkich elementów zewnętrznych,
- » wytrzymują znaczne obciążenia wyrywające oraz ściskające,
- » stanowią integralną część przegrody budowlanej bez jej obciążania,
- » mogą być stosowane przy grubości ocieplenia aż do 30 cm,
- » elementy oferowane są wraz z elementami łącznikowymi (kleje, dyble, pręty iniekcyjne, żywica iniekcyjna itp.),
- » montaż elementów jest łatwy i nie wymaga używania specjalistycznych narzędzi. ■

KONTAKT

stahlton

STAHLTON Polska Sp. z o.o.
ul. Henryka III 16A lok. 7
55-011 Siechnice
tel.: + 48 71 317 79 22
www.stahlton.pl

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

88

PROJEKTOWANIE PODŁÓG I STROPÓW WEDŁUG AKTUALNYCH PRZEPISÓW

Projektowanie poziomych przegród zewnętrznych budynku o niskim zużyciu energii (NZEB) jest kompleksowym działaniem projektanta i wymaga znajomości szczegółowych zagadnień z zakresu fizyki budowli, budownictwa ogólnego, materiałów budowlanych oraz przepisów prawnych w zakresie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

W związku z wprowadzeniem nowych zaostrzonych wymagań izolacyjności cieplnej i oszczędności energii (rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania [1]) niezwykle istotne staje się na etapie projektowania dokonywanie szczegółowych obliczeń i analiz, które powinny być podstawą do optymalnego wyboru rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy. Od 1 stycznia 2021 r. będą obowiązywały ostateczne wartości graniczne, m.in. w zakresie granicznej wartości współczynnika przenikania ciepła $U_{c(max)}/U_{max}$ [W/(m²·K)] dotyczących pojedynczych przegród zewnętrznych oraz granicznego wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną $EP_{(max)}$ [kWh/(m²·rok)] dla całego analizowanego budynku. W artykule przedstawiono zasady projektowania przegród poziomych i ich złączy z uwzględnieniem wymagań cieplno-wilgotnościowych.

PRZEGRODY STYKAJĄCE SIĘ Z GRUNTEM W ŚWIETLE WYMAGAŃ CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWYCH

W przypadku połączenia budynku z gruntem należy poprawnie zaprojektować i wykonać nie tylko posadzkę na gruncie, ale również ścianę fundamentową, izolację cieplną oraz przeciwwilgociową. Dobór materiałów dla tych przegród nie może być przypadkowy i należy uwzględnić tutaj zarówno zagadnienia konstrukcyjne, jak i cieplno-wilgotnościowe. Szczególnie ważne jest prawidłowe konstruowanie złącza na styku podłoga na gruncie – ściana fundamentowa – ściana parteru budynku. Bardzo istotny jest odpowiedni wybór i kształtowanie następujących elementów przegród stykających się z gruntem:

- » ściany fundamentowe (monolityczne, murowane z różnych materiałów),

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

- » izolacje przeciwwilgociowe i przeciwwodne (izolacje przeciwwilgociowe typu lekkiego, średniego i ciężkiego),
 - » izolacje cieplne ścian fundamentowych, części nadziemnej budynku oraz posadzki na gruncie.
- Fragment rozporządzenia przytoczono w artykule „Warunki techniczne 2021 dla przegród i złączy budowlanych” (s. 14).

Do ocieplania przegród stykających się z gruntem (izolacja obwodowa), cokołów i podłóg stosowane są najczęściej następujące materiały termoizolacyjne:

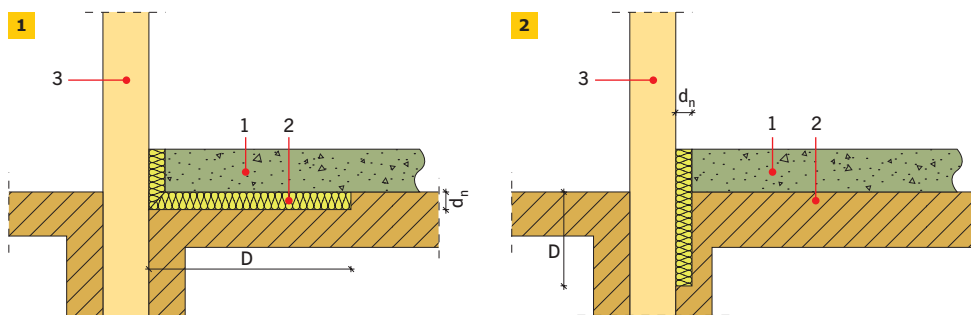
- » polistyren ekstrudowany (XPS),
- » płyty z pianek poliuretanowych,
- » szkło piankowe.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na rozbieżności w nazewnictwie izolacji cieplnej występującej w złączy przegród stykających się z gruntem. Izolacja termiczna na ścianach fundamentowych w budynkach niepodpiwniczonych, określana w rozporządzeniu [1] jako izolacja obwodowa, w normach określona jest następująco:

- » według PN-EN ISO 13370:2008 [2] – izolacja krawędziowa i jest obliczeniowo włączana do wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi (RYS. 1–2),
- » według PN-EN 12831:2006 [3] – izolacja boczna i nie jest uwzględniana w wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi.

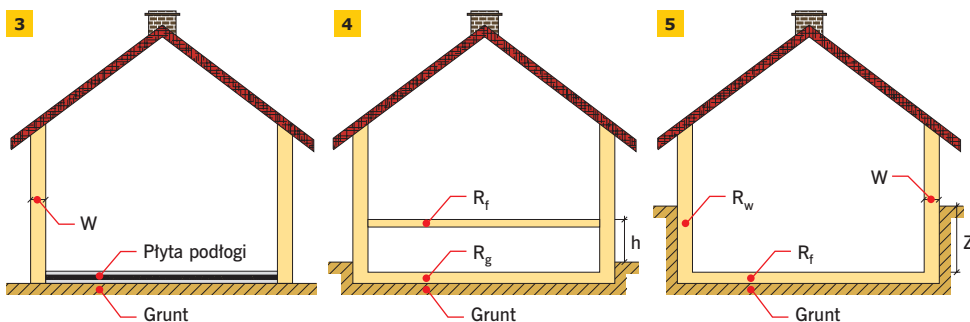
Izolacja krawędziowa może być umieszczona poziomo, pionowo lub występować jako fundament o małej gęstości (RYS. 1–2).

Efekt izolacji krawędziowej jest traktowany jako liniowy współczynnik przenikania ciepła $\Psi_{g,e}$ [W/(m·K)]. Jeżeli złącze przegród stykających się z gruntem ma więcej niż jedną część izolacji krawędziowej (pionowej lub poziomej, wewnętrznej lub zewnętrznej), należy do dalszych obliczeń uwzględnić tę, która daje większą redukcję straty ciepła.



RYS. 1–2. Schematy izolacji krawędziowej według normy PN-EN ISO 13370:2008: pozioma izolacja krawędziowa (1) oraz pionowa izolacja krawędziowa (2); rys.: opracowanie własne na podstawie [2]

1 – płyta podłogi, 2 – pozioma izolacja krawędziowa, 3 – ściana fundamentu, d_n – grubość izolacji krawędziowej (lub fundamentu), D – szerokość poziomej izolacji krawędziowej (1), D – głębokość pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu) poniżej poziomu gruntu (2)



RYS. 3–5. Schematy podłóg analizowane w PN-EN ISO 13370:2008: podłoga typu płyta na gruncie (3), podłoga podniesiona (4) oraz budynek z podziemiem ogrzewanym (5); rys.: opracowanie własne na podstawie [2]

W – grubość ścian zewnętrznych, **R_f** – opór cieplny podłogi [$(m^2 \cdot K)/W$], **R_g** – opór efektywny cieplny gruntu [$(m^2 \cdot K)/W$], **R_w** – opór cieplny ścian podziemia, łącznie z wszystkimi warstwami [$(m^2 \cdot K)/W$], **Z** – głębokość podłogi podziemia poniżej poziomu gruntu, **h** – wysokość powierzchni podłogi powyżej zewnętrznego poziomu gruntu

Metody przybliżone opierają się na zbliżonych i numerycznych procedurach obliczeniowych według PN-EN ISO 13370:2008 [2], PN-EN 12831:2006 [3] i rozporządzenia [4]. W obliczeniach wykorzystuje się opracowane algorytmy z zastosowaniem wzorów empirycznych, pozwalając na uniknięcie skomplikowanych symulacji numerycznych.

W normie PN-EN ISO 13370:2008 [2] przedstawiono procedury obliczeniowe w zakresie następujących przypadków występujących w praktyce (RYS. 3–5):

- » podłoga typu płyta na gruncie,
- » podłoga podniesiona,
- » budynek z podziemiem ogrzewanym.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

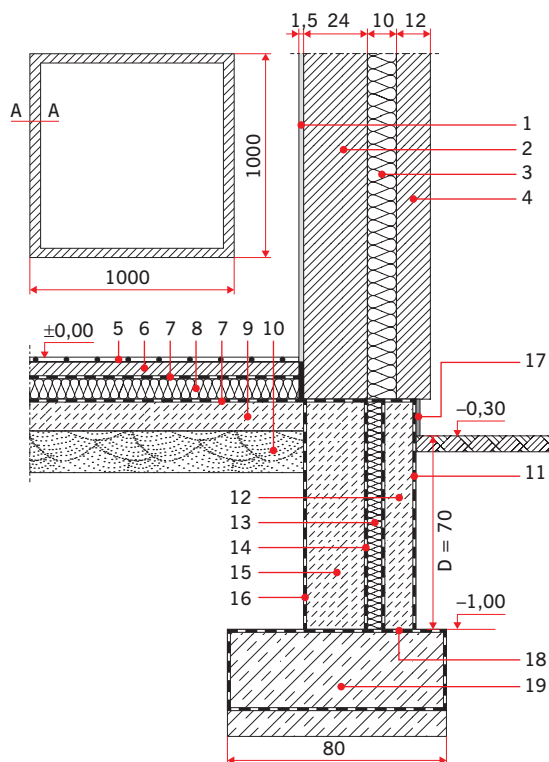
Określono straty ciepła przez grunt według normy PN-EN ISO 13370:2008 [2], czyli: współczynnika przenikania ciepła podłogi na gruncie (U [$W/(m^2 \cdot K)$]) oraz współczynnika sprzężenia cieplnego dla płyty podłogowej z pionową izolacją krawędziową (H_g [W/K]).

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- » budynek jednorodzinny – rzut ścian parteru budynku (RYS. 6),
- » płyta podłogowa izolowana – styropianem XPS gr. 10 cm o $\lambda = 0,035 W/(m \cdot K)$,
- » ściana zewnętrzna parteru trójwarstwowa: tynk gipsowy 1,5 cm, bloczek wapienno-piaskowy 24 cm, płyta z poliizocyanuratu PIR 10 cm, bloczek wapienno-piaskowy 12 cm,
- » izolacja krawędziowa pionowa grubości $d_n = 5$ cm, z poliizocyanuratu PIR o $\lambda_n = 0,022 W/(m \cdot K)$,
- » budynek posadowiony na piasku zwykłym.

OKREŚLENIE WYMIARU CHARAKTERYSTYCZNEGO PODŁOGI NA GRUNCIE

Wymiar charakterystyczny podłogi wprowadza się w celu uwzględnienia trójwymiarowej natury strumienia ciepła w obrębie gruntu.



RYS. 6. Geometria przegród stykających się z gruntem dla wybranego budynku; rys.: [5]

- 1** – tynk gipsowy gr. 1,5 cm,
- 2** – bloczek wapienno-piaskowy gr. 24 cm,
- 3** – płyta z poliizocyanuratu PIR gr. 10 cm,
- 4** – bloczek wapienno-piaskowy gr. 12 cm,
- 5** – parkiet gr. 2 cm,
- 6** – wylewka betonowa gr. 5 cm,
- 7** – folia budowlana,
- 8** – styropian XPS gr. 10 cm,
- 9** – płyta betonowa gr. 10 cm,
- 10** – ubity grunt (posypka piaskowa) gr. 15 cm,
- 11** – folia kubelkowa, **12** – bloczek betonowy gr. 12 cm,
- 13** – płyta z poliizocyanuratu PIR gr. 5 cm,
- 14** – izolacja przeciwwilgociowa,
- 15** – bloczek betonowy gr. 24 cm,
- 16** – izolacja przeciwwilgociowa 2×papa na lepiku,
- 17** – płytki ceramiczne,
- 18** – papa bitumiczna,
- 19** – łąwa fundamentowa

Wymiar charakterystyczny podłogi określa się wg wzoru:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}$$

gdzie:

A – pole powierzchni podłogi, [m²]

P – obwód podłogi, [m].

$$A = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m}^2, P = 4 \cdot 10 = 40 \text{ m} \rightarrow B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{100}{0,5 \cdot 40} = 5,00 \text{ m}$$

OKREŚLENIE GRUBOŚCI EKWIWALENTNEJ

Koncepcja grubości ekwiwalentnej została wprowadzona w celu uproszczenia wyrażenia współczynnika przenikania ciepła. Opór cieplny jest reprezentowany przez jego grubość ekwiwalentną, będącą grubością gruntu, która ma ten sam opór cieplny.

Grubość ekwiwalentna podłogi na gruncie:

$$d_t = w + \lambda(R_{st} + R_f + R_{se})$$

gdzie:

w – całkowita grubość ścian, łącznie ze wszystkimi warstwami, [m],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła gruntu – tablica 1 PN-EN ISO 13370:2008 [2], [W/(m·K)],

R_f – opór cieplny płyty podłogi, łącznie z każdą warstwą izolacyjną na całej powierzchni powyżej lub poniżej płyty podłogi i każdym pokryciem podłogi [(m²·K)/W]; opór cieplny płyt z ciężkiego betonu i cienkich pokryć podłogi można pominąć; zakłada się, że chudy beton poniżej płyty ma taki sam współczynnik przewodzenia ciepła jak grunt i zaleca się jego pominięcie,

R_{si} – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody według tablicy PN-EN ISO 6946 [6]; $R_{si} = 0,17$ (m²·K)/W – kierunek przepływu ciepła w dół

R_{se} – opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody według tablicy PN-EN ISO 6946 [6]; $R_{se} = 0$ (m²·K)/W.

Układ warstw podłogi na gruncie (RYS. 6):

- » parkiet drewniany 2 cm, $\lambda = 0,18$ W/(m·K),
- » posadzka betonowa 5 cm, $\lambda = 1,0$ W/(m·K),
- » folia budowlana,
- » styropian XPS 10 cm, $\lambda = 0,035$ W/(m·K),
- » folia budowlana,
- » beton podkładowy 10 cm, $\lambda = 1,7$ W/(m·K),
- » ubity grunt (podsypka piaskowa) 15 cm,
- » grubość ściany $w = 0,475$ m,
- » grunt piasek zwykły $\lambda = 2,0$ W/(m·K) – tablica 1 PN-EN ISO 13370:2008 [2].

Do obliczeń opór cieplnego R_f uwzględniono parkiet drewniany, a także styropian XPS:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \rightarrow R_f = \frac{0,02}{0,18} + \frac{0,10}{0,035} \rightarrow 2,97 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Grubość ekwiwalentna podłogi:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) = 0,475 + 2,0(0,17 + 2,97 + 0) = 6,75 \text{ m}$$

OKREŚLENIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA U

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U zależy od izolacji cieplnej podłogi:

- » jeżeli $d_t < B'$ (podłogi nieizolowane lub podłogi średnio izolowane), to:

$$U = \frac{2\lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi \cdot B' + d_t}{d_t} + 1 \right) \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$$

- » jeżeli $d_t \geq B'$ (podłogi dobrze izolowane), to:

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$$

Współczynnik przenikania ciepła powinien być zaokrąglony do dwóch miejsc znaczących, jeżeli jest prezentowany jako wynik końcowy. Obliczenia pośrednie powinny być przeprowadzone z co najmniej trzema cyframi znaczącymi.

Współczynnik przenoszenia ciepła przez grunt w stanie ustalonym między środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g$$

gdzie:

Ψ_g – liniowy współczynnik przenikania ciepła [W/(m·K)] przyjmuje się na podstawie obliczeń własnych lub na podstawie katalogu mostków cieplnych lub na podstawie PN-EN ISO 14683:2008 [7],

- » $d_t = 6,75$ m; $B' = 5,00$ m $\rightarrow d_t > B'$ podłoga dobrze izolowana
- » współczynnik przenikania ciepła U :

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot 5,00 + 6,75} = 0,22 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

UWZGLĘDNIENIE WPŁYWU IZOLACJI KRAWĘDZIOWEJ (ZAŁ. B PN-EN ISO 13370 [2])

W przykładzie obliczeniowym (RYS. 6) występuje pionowa izolacja krawędziowa grubości 5 cm – płyta z poliizocyanuratu PIR o $\lambda_n = 0,022$ W/(m·K).

Dodatkowa grubość ekwiwalentna wynikająca z izolacji krawędziowej:

$$d' = R' \cdot \lambda$$

R' – dodatkowy opór cieplny wprowadzony przez izolację krawędziową (lub fundament), tzn. zastępuje ją różnica między oporem cieplnym izolacji krawędziowej a oporem cieplnym podłoża (lub płyty):

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda}$$

gdzie:

R_n – opór cieplny poziomej lub pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu), [(m²·K)/W]

d_n – grubość izolacji krawędziowej (lub fundamentu), [m]

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} = (\text{opór płyty z poliizocyanuratu PIR gr. 5 cm}) = \frac{0,05}{0,022} = 2,27 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} = 2,27 - \frac{0,05}{2,00} = 2,25 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$d' = R' \cdot \lambda = 2,25 \cdot 2,00 = 4,50 \text{ m}$$

Uwzględnienie izolacji krawędziowej (poniżej gruntu wzdłuż obwodu podłogi):

$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \text{ [W/(m·K)]}$$

D – szerokość pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu) poniżej poziomu gruntu, m

d' – dodatkowa grubość ekwiwalentna, m

$$D = 0,7 \text{ m}; d' = 4,50 \text{ m}; d_t = 6,75 \text{ m}; \lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$\begin{aligned}\Psi_{g,e} &= -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] = \\ &= -\frac{2,00}{3,14} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 0,7}{6,75} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2 \cdot 0,7}{6,75 + 4,50} + 1 \right) \right] = -0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}\end{aligned}$$

Uwzględnienie izolacji krawędziowej do obliczeń współczynnika przenikania ciepła U :

$$U = U + \frac{2 \cdot \Psi_{g,e}}{B} \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$$

$$U = 0,22 + \frac{2 \cdot (-0,09)}{5,00} = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

WSPÓŁCZYNNIK PRZENOSZENIA CIEPŁA PRZEZ GRUNT W STANIE USTALONYM MIĘDZY ŚRODOWISKIEM WEWNĘTRZNYM A ZEWNĘTRZNYM H_G [W/K]

$$H_g = (A \cdot U) + P(\Psi_g + \Psi_{g,e}) = (100 \cdot 0,22) + 40 \cdot (0,29 + (-0,09)) = 22,00 + 8,00 = 30,00 \text{ W/K}$$

$$H_g \text{ (wg PN-EN ISO 13370:2008)} = H_{t,ig} \text{ (wg PN-EN 12831:2006)}$$

Ψ_g – liniowy współczynnik przenikania ciepła na styku ściana zewnętrzna – ściana fundamentowa – podłoga na gruncie przyjęto na podstawie obliczeń własnych (jako gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dotyczący strat ciepła dla podłogi na gruncie):

$$\Psi_g = 0,29 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Analizowana przegroda spełnia wymagania sformułowane w rozporządzeniu [1] w zakresie współczynnika przenikania ciepła $U = 0,22 < U_{(max)} = 0,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Natomiast w zakresie oceny wartości oporu cieplnego izolacji cieplnej (obwodowej/krawędziowej) $R = 2,27 > R_{min.} = 2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – warunek został także spełniony.

STROPY ORAZ STROPY NAD PRZEJAZDAMI W ŚWIEŹLE WYMAGAŃ CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWYM

Strop jest poziomym elementem konstrukcyjnym, który dzieli budynek na kondygnacje. Do podstawowych funkcji stropów można zaliczyć:

- » przenoszenie obciążeń stałych i użytkowych,
- » usztywnienie ścian budynku w płaszczyznach poziomych,
- » ochronę przed przedostawaniem się z sąsiednich kondygnacji ognia podczas pożaru,
- » ochronę pomieszczeń przed przenikaniem ciepła i dźwięków oraz przed wilgocią, gazami i zapachami.

Stropy można podzielić, uwzględniając różnorodne kryteria:

- » ze względu na rodzaj materiału stosowanego do wykonania konstrukcji:
 - drewniane (nagi, z podsufitką),
 - na belkach stalowych typu Kleina (lekki, ciężki, średni),

- ceramiczno-żelbetowe,
- żelbetowe (monolityczne lub prefabrykowane),
- na blachach fałdowych,
- » ze względu na położenie budynku:
 - nadpiwniczne,
 - międzypiętrowe (międzykondygnacyjne),
 - stropy poddaszy,
 - stropodachy,
- » ze względu na rodzaj konstrukcji nośnej:
 - płytowe,
 - płytowe o przekroju wydrążonym,
 - belkowo-pustakowe,
 - płytowo-żebrowe,
 - gęstożebrowe (Fert, Teriva),
- » ze względu na ognioodporność użytego materiału:
 - palne
 - niepalne.

Natomiast w stropie międzykondygnacyjnym można wyodrębnić trzy podstawowe elementy: konstrukcja nośna, sufit (dolna część stropu), podłoga (górna część stropu).

Sufit wykonany jest w postaci tynku wewnętrzznego, płyt gipsowo-kartonowych, płyt drewno-pochodnych lub w postaci sufitu podwieszanego.

Strop kondygnacyjny może występować w różnej postaci materiałowej i konstrukcyjnej: strop drewniany, strop żelbetowy, ceramiczny, na belkach stalowych, płytowy czy też gęstożebrowy. Pełni funkcję nośną związaną z przenoszeniem obciążeń własnych i zewnętrznych, ale także odgrywa istotne znaczenie w zakresie izolacyjności akustycznej.

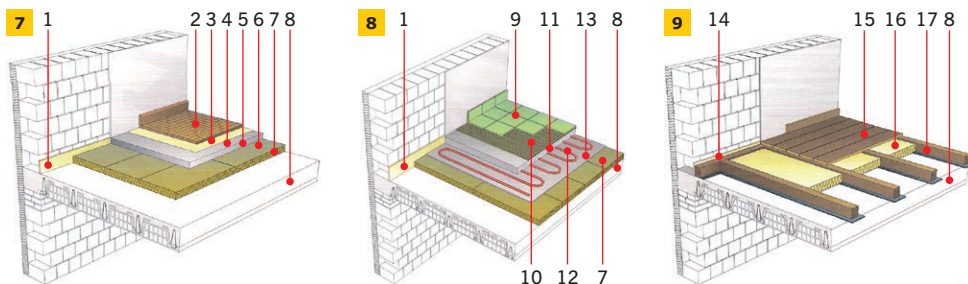
Podłoga jest elementem wykończeniowym nadającym podłożu wymagane cechy użytkowe, estetyczne oraz właściwości izolacyjne (akustyczne, termiczne, przeciwwilgociowe). Składa się zasadniczo z kilku warstw z różnicowanych materiałów. Układa się je na stropach międzykondygnacyjnych oraz na gruncie w przypadku pomieszczeń najniższej kondygnacji.

Rodzaje podłóg można podzielić w zależności od następujących czynników:

- » przeznaczenie (budynek mieszkalny, przemysłowy, użyteczności publicznej o zróżnicowanym przeznaczeniu),
- » materiał posadzki (drewno, tworzywa sztuczne, materiały mineralne i bitumiczne),
- » wymagania techniczno-użytkowe (izolacyjność termiczna, dźwiękochłonność, chemoodporność, wodoszczelność),
- » usytuowanie w budynku (na gruncie, międzykondygnacyjna, nad piwnicami, nad przejazdami) [8].

Warstwy izolacyjne układane są często bezpośrednio na stropie jako:

- » izolacja przeciwwilgociowa w postaci folii budowlanej, papy na lepisku lub masy bitumicznej,
- » izolacja wodoszczelna w pomieszczeniach tzw. mokrych – sanitarnych oraz gospodarczych (a także na gruncie przy wysokim poziomie wody gruntowej),
- » izolacja paroszczelna nad pomieszczeniami o bardzo dużej wilgotności (nad pralnią, suszarnią, kotłownią, sauną),



rys. 7–9. Przykładowe rozwiązania materiałowe podłóg na stropie międzykondygnacyjnym: podłoga pływająca z izolacją z hydrofobizowanej wełny skalnej (7), podłoga pływająca z elektrycznym ogrzewaniem podłogowym z izolacją z hydrofobizowanej wełny skalnej (8) oraz podłoga z desek drewnianych wykonana na legarach drewnianych (9); rys. [9]

1 – taśma izolacyjna, dylatująca wylewkę betonową od ściany na całym obwodzie podłogi, **2** – parkiet drewniany, **3** – klej do parkietu, **4** – gładź wyrównawcza, **5** – wylewka betonowa, **6** – warstwa rozdzielająca, **7** – hydrofobizowana wełna skalna, **8** – strop konstrukcyjny, **9** – płytki ceramiczne, **10** – zaprawa klejowa, **11** – wylewka betonowa grubości 10 cm, **12** – kable grzewcze, **13** – podkładowa wylewka betonowa grubości 1 cm, **14** – taśma izolacyjna, dylatująca podłogę od ścian na całym obwodzie pomieszczenia, **15** – drewniane deski podłogowe grubości 3 cm, **16** – izolacja termiczna i akustyczna z miękkiej wełny mineralnej, **17** – drewniane legary na pasach z papy

» izolacja termiczna – nad nieogrzewanymi piwnicami, nad ostatnią kondygnacją użytkową (ogrzewaną) oraz nad przejazdami wykonana m.in. z płyt z wełny mineralnej twardej, płyt styropianowych lub płyt z pianki poliuretanowej PIR,

» izolacja akustyczna pomiędzy pomieszczeniami lub w szczególnych przypadkach, gdy wymagane jest wyciszenie pomieszczenia ze względu na specyfikę sposobu użytkowania w postaci m.in. płyt z wełny mineralnej twardej, płyt pilśniowych twardych lub ekologicznych materiałów izolacyjnych.

Podkład pod posadzkę stanowi warstwę wyrównawczą (w odniesieniu do izolacji) oraz przejmującą obciążenia i przekazującą je na warstwy konstrukcyjne podłoża. Powinien być równo ułożony i dobrze wypoziomowany, posiadać odpowiednią wytrzymałość. Od dokładności jego wykonania zależy trwałość i estetyka posadzki. Na podkłady stosuje się specjalne zaprawy cementowe lub gipsowe albo jastrychy. W przypadku stosowania ogrzewania podłogowego podkład musi umożliwić prawidłowe ułożenie przewodów instalacji, aby chronić je przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Posadzka stanowi wierzchnią warstwę podłogi jako wykończenie. Musi spełniać odpowiednie cechy fizyczne i mechaniczne: wytrzymałość na ścieranie, odporność na wodę i inne substancje chemiczne, mrozoodporność, walory antypoślizgowe.

Na **rys. 7–9** przedstawiono przykładowe rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe podłóg na stropach międzykondygnacyjnych.

Osiągnięcie niskiego obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną – EP [kWh/(m²·rok)] dla „budynku o niskim zużyciu energii” jest możliwe m.in. poprzez poprawne zaprojektowanie przegród zewnętrznych i ich złączy. Zgodnie z rozporządzeniem [1] maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła dla ściany zewnętrznej od 31 grudnia 2020 roku $U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K), natomiast dla stropów nad przejazdami $U_{c(max)} = 0,15$ W/(m²·K).

Do ocieplenia ścian zewnętrznych i stropów nad przejazdami i pomieszczeniami ogrzewanymi zaleca się stosowanie następujących materiałów: styropian (EPS), styropian szary (grafitowy), płyty z polistyrenu ekstrudowanego XPS, płyty z piany fenolowej i wełna mineralna.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

Określono parametry fizyczne połączenia ściany zewnętrznej ze stropem wraz z warstwami podłogi pływającej nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i przejazdami.

Przyjęto następujące rozwiązania materiałowe:

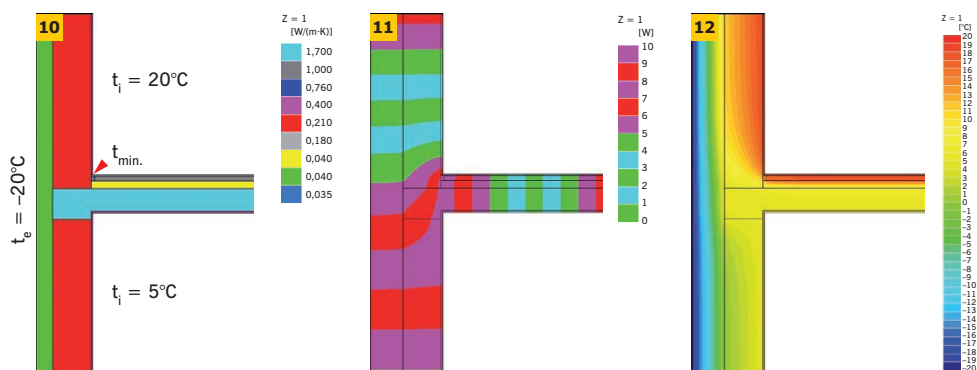
- » podłoga pływająca: (tynk gipsowy gr. 1 cm o $\lambda = 0,40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), strop żelbetowy gr. 14 cm o $\lambda = 1,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, folia budowlana, wełna mineralna twarda gr. 5 cm o $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, folia budowlana, pas dylatacji obwodowej, wylewka cementowa gr. 3 cm o $\lambda = 1,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, parkiet drewniany gr. 1 cm o $\lambda = 0,18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,
- » ściana zewnętrzna: tynk gipsowy gr. 1 cm o $\lambda = 0,40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, bloczki z betonu komórkowego gr. 24 cm o $\lambda = 0,21 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, styropian gr. 10, 12, 15, 20 cm o $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, tynk cienkowarstwowy gr. 0,5 cm o $\lambda = 0,76 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Na RYS. 10–12 przedstawiono graficzne wyniki symulacji komputerowej analizowanych złączy (nad pomieszczeniem nieogrzewanym $t = 5^\circ\text{C}$) przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO, a w TABELI 1 zestawiono wyniki przeprowadzonych obliczeń.

W wielu sytuacjach warstwy podłogi pływającej projektuje się nad przejazdami (narażone na oddziaływanie parametrów powietrza zewnętrznego) – RYS. 13–15.

Należy zauważyć, że w takiej sytuacji (czyli bez dodatkowej warstwy izolacji cieplnej stropu) następuje znaczne obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody na styku ściany zewnętrznej i warstw podłogi pływającej (TABELA 2). W związku z tym zaproponowano docieplenie dolnej powierzchni stropu płytami z pianki poliuretanowej gr. 10 cm o współczynniku $\lambda = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (RYS. 16–18). Uzyskano wartość współczynnika przenikania ciepła dla poziomej przegrody na poziomie $U = 0,141 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, co daje możliwość spełnienia kryterium cieplnego $U \leq U_{\max} = 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ według rozporządzenia [1]. Wyniki parametrów fizycznych przy uwzględnieniu docieplenia dolnej powierzchni stropu zestawiono w TABELI 3.

Wprowadzenie dodatkowej warstwy w postaci płyt z pianki poliuretanowej w dolnej powierzchni stropu pozwala na obniżenie strat ciepła przez strop nad przejazdami oraz minimalizację strat ciepła wynikające z połączenia ściany zewnętrznej ze stropem w postaci liniowego współczynnika



RYS. 10–12. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia zewnętrznej ściany dwuwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej nad pomieszczeniem nieogrzewanym: model obliczeniowy (10), linie strumieni cieplnych (adiabaty) (11) i rozkład temperatur (izotermy) (12); rys.: opracowanie własne

Wariant obliczeniowy	$U_{(1D)}$ [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	$t_{min.}$ [°C]	f_{Rsi} [-]
ST(10)	0,26/0,61 ¹⁾	19,20	14,88	0,659
ST(12)	0,23/0,61 ¹⁾	16,89	15,04	0,669
ST(15)	0,20/0,61 ¹⁾	14,31	15,23	0,682
ST(20)	0,16/0,61 ¹⁾	11,41	15,43	0,695

TABELA 1. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej dwuwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej nad pomieszczeniem nieogrzewanym

ST(10) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 10 cm

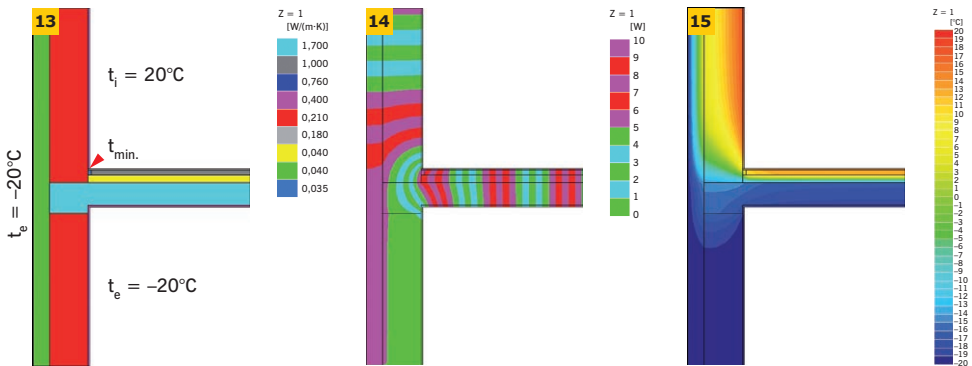
ST(12) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 12 cm

ST(15) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 15 cm

ST(20) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 20 cm

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

¹⁾ Wartość współczynnika przenikania ciepła stropu z warstwami podłogi pływającej bez docieplenia dolnej powierzchni



RYS. 13–15. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia zewnętrznej ściany dwuwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej nad przejazdami (bez dodatkowej warstwy izolacji): model obliczeniowy (13), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (14) i rozkład temperatur (izotermy) (15); rys.: [10]

Wariant obliczeniowy	$U_{(1D)}$ [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L^{2D} [W/(m·K)]	Ψ_i [W/(m·K)]	$t_{min.}$ [°C]	f_{Rsi} [-]
ST(10)	0,26/0,61 ¹⁾	40,60	1,015	0,150	9,13	0,728
ST(12)	0,23/0,61 ¹⁾	39,57	0,989	0,154	9,22	0,730
ST(15)	0,20/0,61 ¹⁾	38,43	0,961	0,159	9,32	0,733
ST(20)	0,16/0,61 ¹⁾	37,10	0,929	0,166	9,44	0,736

TABELA 2. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej dwuwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej nad przejazdami (bez dodatkowej warstwy izolacji)

ST(10) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 10 cm

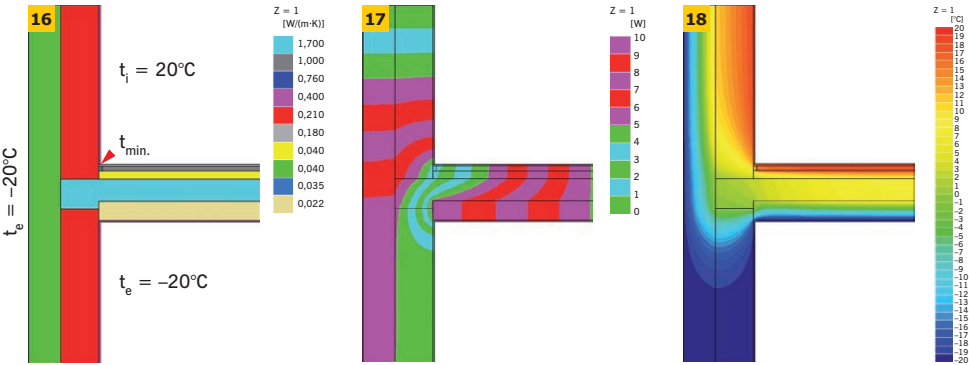
ST(12) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 12 cm

ST(15) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 15 cm

ST(20) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 20 cm

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

¹⁾ Wartość współczynnika przenikania ciepła stropu z warstwami podłogi pływającej bez docieplenia dolnej powierzchni



rys. 16–18. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia zewnętrznej ściany dwuwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej nad przejazdami (z dodatkową warstwą izolacji cieplnej): model obliczeniowy (16), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (17) i rozkład temperatur (izotermy) (18); rys.: [10]

Wariant obliczeniowy	$U_{(1D)}$ [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L^{2D} [W/(m·K)]	Ψ_i [W/(m·K)]	t_{min} [°C]	f_{Rsi} [-]
ST(10)	0,26/0,14 ¹⁾	22,45	0,561	0,160	13,59	0,840
ST(12)	0,23/0,14 ¹⁾	21,13	0,528	0,158	13,82	0,845
ST(15)	0,20/0,14 ¹⁾	19,67	0,492	0,155	14,07	0,852
ST(20)	0,16/0,14 ¹⁾	18,01	0,450	0,152	14,43	0,859

TABELA 3. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej dwuwarstwowej ze stropem w przekroju przez wieniec z warstwami podłogi pływającej nad przejazdami (z dodatkową warstwą izolacji cieplnej)

ST(10) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 10 cm
 ST(12) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 12 cm
 ST(15) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 15 cm
 ST(20) – ocieplenie ściany zewnętrznej styropianem gr. 20 cm

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

¹⁾ Wartość współczynnika przenikania ciepła stropu z warstwami podłogi pływającej z dociepleniem dolnej powierzchni

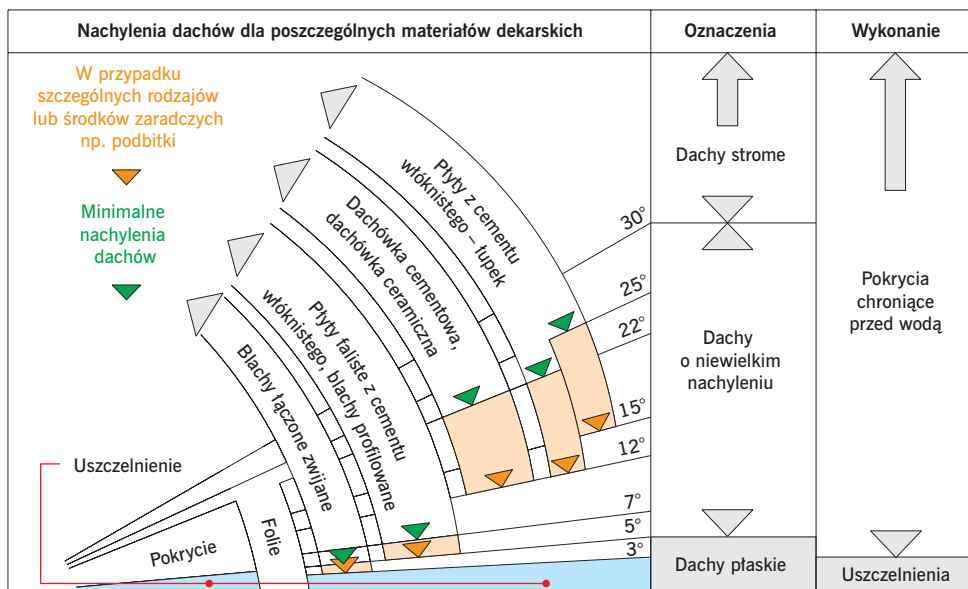
Kolorem niebieskim zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c stropów nad przejazdami spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

przenikania ciepła Ψ_i (TABELA 2–3). Należy także zauważyć podwyższenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody na styku dwóch przegród w porównaniu z analizowanym złączem bez docieplenia (TABELA 2–3), co prowadzi do wyeliminowania ryzyka kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych).

DACHY I STROPODACHY W ŚWIEŁLE WYMAGAŃ CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWYCH

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

- » konstrukcję nośną (drewno, stal, żelbet lub połączenie drewna i żelbetu),
- » warstwę izolacji cieplnej, paroszczelnej,



rys. 19. Zależność w zakresie nachylenie połaci dachowej – rodzaj pokrycia dachowego; rys.: [8]

- » warstwę podkładu (deskowanie, łączenie),
- » pokrycie dachowe (dachówka ceramiczna, dachówka cementowa, gont bitumiczny, blacha trapezowa itp.).

Dachy o konstrukcji drewnianej projektowane i wykonywane są zwykle z drewna sosnowego, jodłowego lub świerkowego o wilgotności poniżej 20% zabezpieczonego przed korozją biologiczną. Konstrukcje nośne dachów drewnianych, czyli więźby dachowe, mogą różnić się układem tworzących elementów. Przykładowe konstrukcje dachów drewnianych:

- » dachy krokwiowe,
- » dachy jętkowe,
- » dachy płatwiowo-kleszczowe,
- » dachy zastrzałowe.

Dobór pokrycia dachowego zależy od kąta nachylenia połaci dachowej, stylu architektonicznego oraz upodobań (gustu) użytkowników. Pochylenie dachu (nachylenie połaci dachowych) zależy od warunków klimatycznych, rodzaju pokrycia dachowego, rodzaju konstrukcji dachowej, przeznaczenia poddasza, wymagań architektonicznych. Spadek połaci może być podawany w procentach (%) lub określany wartością kąta nachylenia połaci dachowej do poziomu (określa się go stosunkiem wysokości h do rzutu poziomego szerokości połaci dachowej i równa się $\tan \alpha$). Na rys. 19 przedstawiono zależność w zakresie nachylenie połaci dachowej – rodzaj pokrycia dachowego.

Do grupy materiałów pokryciowych lekkich można zaliczyć: płyty bitumiczne ($3,3 \text{ kg/m}^2$), papy ($4\text{--}6 \text{ kg/m}^2$), blachodachówkę (5 kg/m^2), gonty bitumiczne ($8\text{--}15 \text{ kg/m}^2$). Natomiast przykładowymi materiałami pokryciowymi ciężkimi są dachówki cementowe ($35\text{--}46 \text{ kg/m}^2$) oraz dachówki ceramiczne ($40\text{--}75 \text{ kg/m}^2$).

Z punktu widzenia zagadnień ciepłno-wilgotnościowych istotne znaczenie ma określenie grubości izolacji cieplnej i odpowiednie jej usytuowanie oraz zabezpieczenie przed ryzykiem występowania kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej.

Do ocieplania dachów drewnianych według [11, 12] stosowane są najczęściej następujące materiały termoizolacyjne: płyty drzewne, płyty z wełny owczej, płyty z wełny mineralnej, pianka poliuretanowa (PUR/PIR), a także płyty korkowe.

Wełna mineralna stosowana jest do ocieplenia dachów drewnianych skośnych w postaci mat i płyt o gęstości objętościowej $\rho_{ob.} = 80\text{--}120 \text{ kg/m}^3$ i współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,032\text{--}0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ w układzie: między krokiewiami oraz dodatkowo pod krokiewiami (RYS. 3-4 – s. 35).

Pianka poliuretanowa PIR/PUR jest materiałem chemoutwardzalnym w postaci sztywnej piany natryskowej. Występuje w postaci pianki o porach otwartych (spieniona na budowie) i o porowości zamkniętej (płyty z osłoną lub bez osłony). Sztywne płyty stosowane są jako izolacja podkrokwiowa (często z wykończeniem płytą gipsowo-kartonową) lub jako izolacja nadkrokwiowa (RYS. 5-6 – s. 35). Przy gęstości objętościowej $\rho_{ob.} = 35\text{--}60 \text{ kg/m}^3$ charakteryzują się współczynnikiem przewodzenia ciepła na poziomie $\lambda_D = 0,020\text{--}0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

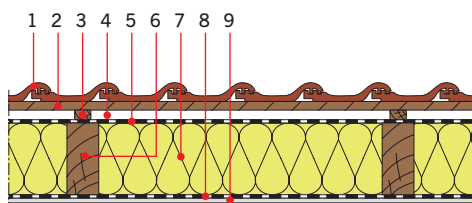
PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 3

Analiza rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych stropodachów drewnianych w aspekcie ochrony cieplnej budynków według rozporządzenia [1].

Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe stropodachów drewnianych różnią się od siebie sposobem ułożenia warstwy izolacji termicznej oraz sposobem wentylowania. Występuje kilka możliwości mocowania termoizolacji (RYS. 20-22):

- » między krokiewiami,
- » między krokiewiami i nad lub pod nimi,
- » na krokwiach.

Jej usytuowanie zależy od wielu czynników oraz zjawisk ciepłno-wilgotnościowych. W dachach z poddaszem ogrzewanym ocieplenie jest najczęściej układane między i pod krokiewiami. Jego grubość zależna jest od wysokości krokwi. Wykonywane jest z płyt, mat lub w postaci luźnego ma-

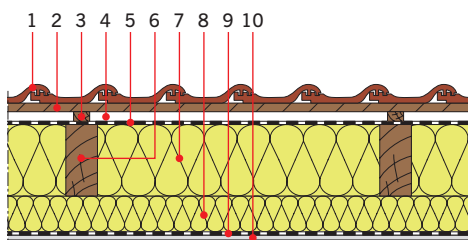


RYS. 20. Układy warstw materiałowych stropodachów drewnianych: izolacja cieplna między krokiewiami; rys.: [13]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łata, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna, 8 – folia paroizolacyjna, 9 – płyta gipsowo-kartonowa

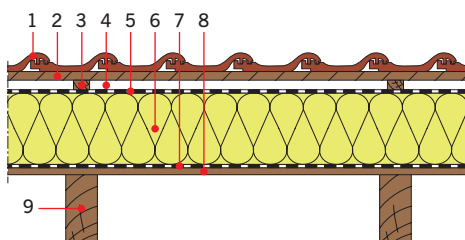
teriału wdmuchiwanego, na którym układana jest warstwa wiatroizolacji. Jej zadaniem jest ochrona przed powietrzem przepływającym z zewnątrz oraz przepuszczanie pary wodnej. Pod warstwą izolacji stosuje się paroizolację. Nachylenie połaci dachowych zależy od rodzaju pokrycia dachowego i geometrii dachu.

Do analizy parametrów cieplnych wybrano stropodach drewniany z izolacją cieplną między i pod krokiewiami (wariant I, II) oraz stropodach drewniany w systemie nadkrokwiowym (wariant III). Do obliczeń przyjęto następujące założenia:



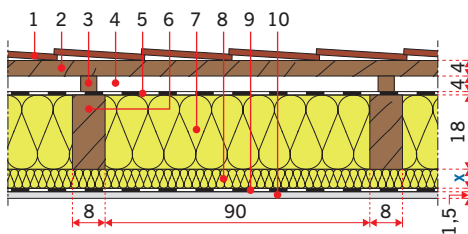
RYS. 21. Układy warstw materiałowych stropodachów drewnianych: izolacja cieplna między i pod krokiewiami; rys.: [13]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łata, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna, 8 – dodatkowa warstwa izolacji cieplnej, 9 – folia paroizolacyjna, 10 – płyta gipsowo-kartonowa



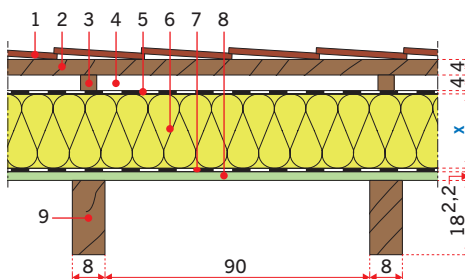
RYS. 22. Układy warstw materiałowych stropodachów drewnianych: izolacja cieplna nad krokiewiami; rys.: [13]

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łata, 3 – kontrłata lub deskowanie, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia, 6 – izolacja cieplna, 7 – folia paroizolacyjna, 8 – deskowanie, 9 – krokiew



RYS. 23. Model obliczeniowy stropodachu drewnianego: wariant I (wełna mineralna) gr.: 5 cm, 10 cm, 12 cm; wariant II (styropian grafitowy) gr.: 5 cm, 10 cm, 12 cm; rys.: [15, 16]

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



RYS. 24. Model obliczeniowy stropodachu drewnianego w systemie nadkrokwowym: wariant III (płyty z pianki poliuretanowej PIR) gr.: 16 cm, 18 cm, 20 cm; rys.: [15, 16]

1 – dachówka karpiówka, 2 – łata 4×5 cm, 3 – kontrłata, 4 – szczelina wentylacyjna 4 cm, 5 – folia, 6 – termoizolacja gr. x cm, 7 – folia paroizolacyjna, 8 – płyta OSB gr. 2,2 cm, 9 – krokiew 8×18 cm

» wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] według danych producenta oraz pracy [14]; dla wełny mineralnej $\lambda = 0,035$ W/(m·K) (wariant I), dla płyt ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ W/(m·K) (wariant II), dla płyt z pianki poliuretanowej PIR $\lambda = 0,026$ W/(m·K) (wariant III),

» w wariantach I i II stropodachu zaprojektowano dobrze wentylowaną warstwę powietrza o grubości 4 cm, więc według PN-EN ISO 6946:2008 [16] opór cieplny komponentu budowlanego będzie liczony z pominięciem oporu cieplnego warstw między szczeliną powietrzną a środowiskiem zewnętrznym oraz wliczając zewnętrzny opór przejmowania ciepła, który odpowiada powietrzu nieruchomemu ($R_{se} = 0,10$ (m²·K)/W). Obliczenia przeprowadzono metodą kresów.

Modele obliczeniowe zawierające układy warstw materiałowych analizowanych stropodachów w dwóch powszechnie stosowanych rozwiązaniach materiałowych (izolacja pod krokiewiami i między krokiewiami – wariant I i II) przedstawiono na RYS. 23.

Przypadek	Grubość termoizolacji x [m]	Kres górny całkowitego oporu cieplnego według PN-EN ISO 6946:2008 R'_T [(m ² ·K)/W]	Kres dolny całkowitego oporu cieplnego według PN-EN ISO 6946:2008 R''_T [(m ² ·K)/W]	Opór cieplny przegrody według PN-EN ISO 6946:2008 R [(m ² ·K)/W]	Współczynnik przenikania ciepła przegrody według PN-EN ISO 6946:2008 U [W/(m ² ·K)]
Wariant I – ocieplenie z wełny mineralnej między krokiewmi gr. 18 cm i pod krokiewmi gr. 5, 10, 12 cm					
Przypadek a	0,05	6,098	5,550	5,824	0,17
Przypadek b	0,10	7,692	6,978	7,335	0,14
Przypadek c	0,12	8,264	7,550	7,907	0,13
Wariant II – ocieplenie styropianem grafitowym między krokiewmi gr. 18 cm i pod krokiewmi gr. 5, 10, 12 cm					
Przypadek a	0,05	6,803	6,090	6,447	0,16
Przypadek b	0,10	8,547	7,703	8,125	0,12
Przypadek c	0,12	9,259	8,348	8,804	0,11

TABELA 4. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] stropodachów drewnianych z izolacją cieplną między i pod krokiewmi; opracowanie własne na podstawie [15, 16]

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c dachów skośnych spełniających wymaganie: $U \leq U_{(max)} = 0,15$ W/(m²·K)

Przypadek	Grubość termoizolacji x [m]	Opór cieplny przegrody według PN-EN ISO 6946:2008 R [(m ² ·K)/W]	Współczynnik przenikania ciepła przegrody według PN-EN ISO 6946:2008 U [W/(m ² ·K)]
Wariant III – ocieplenie z płyt z pianki poliuretanowej PIR gr. 16, 18, 20 cm nad krokiewmi (system nakrokwiowy)			
Przypadek a	0,16	6,523	0,15
Przypadek b	0,18	7,292	0,14
Przypadek c	0,20	8,061	0,12

TABELA 5. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] stropodachów drewnianych w systemie nadkrokwiowym; opracowanie własne na podstawie [15, 16]

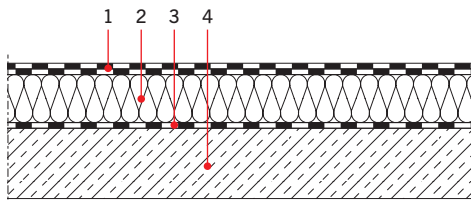
Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c dachów skośnych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,15$ W/(m²·K)

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] dla wybranych rozwiązań materiałowych stropodachów drewnianych, metodą kresów, zestawiono w TABELI 4.

W drugim etapie obliczeń wytypowano stropodach drewniany w systemie nadkrokwiowym (izolacja cieplna w postaci płyt z pianki poliuretanowej PIR). Model obliczeniowy przedstawiono na RYS. 24.

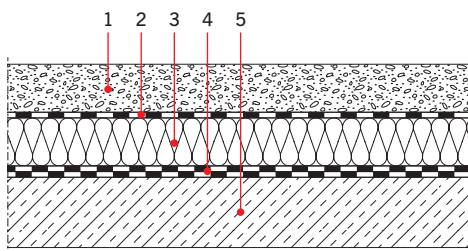
Wyniki obliczeń parametrów cieplnych według PN-EN ISO 6946:2008 [6] dla analizowanych rozwiązań materiałowych stropodachu w systemie nadkrokwiowym przedstawiono w TABELI 5.

Powyżej przedstawiono tylko wybrane (reprezentatywne) rozwiązania materiałowe stropodachów drewnianych. Dobór warstw materiałowych stropodachów drewnianych powinien być



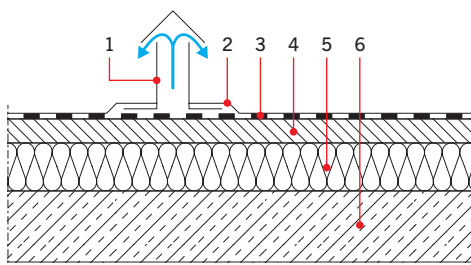
RYS. 25. Układy warstw materiałowych stropodachów: stropodach pełny; rys.: [17]

1 – warstwa hydroizolacyjna: 2×papa termozgrzewalna, **2** – termoizolacja, **3** – folia paroizolacyjna, **4** – konstrukcja nośna stropu



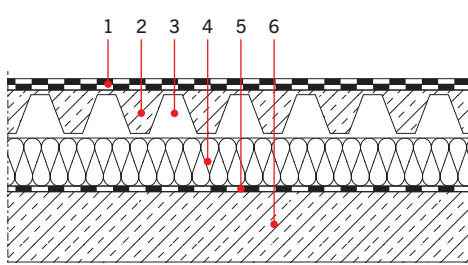
RYS. 26. Układy warstw materiałowych stropodachów: stropodach o odwróconym układzie warstw; rys.: [17]

1 – warstwa dociskowa: żwir, **2** – folia paroizolacyjna, **3** – termoizolacja, **4** – warstwa hydroizolacyjna: 2×papa termozgrzewalna, **5** – konstrukcja nośna stropu



RYS. 27. Układy warstw materiałowych stropodachów: stropodach odpowietrzany; rys.: [17]

1 – kominek wentylacyjny, **2** – pokrycie dachowe, **3** – warstwa odpowietrzająca: papa perforowana, **4** – gładź betonowa, **5** – termoizolacja, **6** – konstrukcja nośna stropu



RYS. 28. Układy warstw materiałowych stropodachów: stropodach wentylowany; rys.: [17]

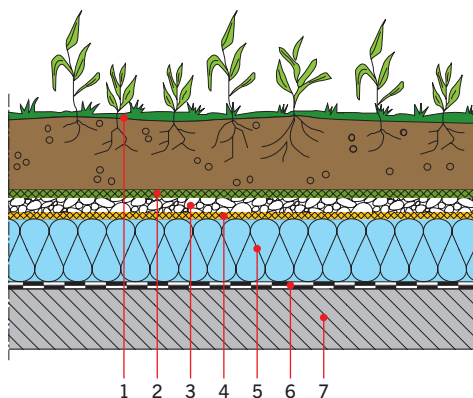
1 – warstwa hydroizolacyjna: 2×papa termozgrzewalna, **2** – blacha trapezowa, **3** – kanaliki wentylacyjne, **4** – termoizolacja, **5** – folia paroizolacyjna, **6** – konstrukcja nośna stropu

przeprowadzony w oparciu o obliczenia i analizy w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] wybranych stropodachów drewnianych (TABELA 4–5) można stwierdzić, że warunek izolacyjności cieplnej $U_c \leq U_{c(max)} = 0,15$ (od 31 grudnia 2020 r.) w wielu przypadkach został spełniony.

Stropodachy to element budynku pełniący funkcję przekrycia ostatniej kondygnacji i pełniący dwie podstawowe funkcje: stropu i dachu. Podstawowe elementy stropodachu to:

- » konstrukcja nośna,
- » paroizolacja,
- » izolacja termiczna,
- » warstwa nadająca spadek,
- » pokrycie dachowe.

Stropodachy przenoszą obciążenia od śniegu i wiatru oraz zabezpieczają wnętrze budynku przed opadami atmosferycznymi i wahaniami temperatury. Ze względu na układ warstw materiałowych stropodachu można wyróżnić: stropodachy pełne, odpowietrzane i wentylowane. Na RYS. 25–28 przedstawiono przykładowe rozwiązania materiałowe stropodachów.



RYŚ. 29. Przykładowe rozwiązanie dachu zielonego;

rys.: opracowanie własne

1 – warstwa wegetacyjna, **2** – warstwa filtrująca, **3** – warstwa drenażowa, **4** – warstwa ochronna, **5** – warstwa termoizolacji, **6** – warstwa hydroizolacyjna, **7** – warstwa konstrukcyjna (strop nad ostatnią kondygnacją)

Natomiast w zależności od sposobu użytkowania: nieużytkowe (dostęp ogranicza się do prac konserwacyjnych i kontrolnych), użytkowe (dostępne dla ludzi oraz ruchu kołowego) oraz zielone (użytkowane w sposób ekstensywny i intensywny).

Do ocieplania stropodachów pełnych stosowane są najczęściej następujące materiały termoizolacyjne: polistyren ekstrudowany (XPS), płyty z pianek poliuretanowych PIR i PUR, a także styropapa.

Do ocieplania stropodachów dwudzielnych i stropów nad poddaszami nieużytkowanymi stosowane są wełna celulozowa oraz wełna mineralna. Wartość współczynnika przenikania ciepła ww. stropodachów zależy głównie od rodzaju i grubości materiału termoizolacyjnego.

Dach zielony (RYŚ. 29) to rodzaj 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:

1. warstwa wegetacyjna (występuje w postaci substratu bądź humusu przemieszanego z keramzytem czy żwirem rzeczny; jej grubości przyjmowane są w zależności od systemu korzeniowego roślin),
2. warstwa filtrująca (najczęściej stosowana w niej jest geowłóknina polipropylenowa, która daje możliwość przenikania korzeni roślin; zapobiega przedostaniu się jakichkolwiek zanieczyszczeń do warstwy drenującej, a jednocześnie w dużym stopniu przepuszcza wodę),
3. warstwa drenażowa (służąca do maksymalnego magazynowania wody opadowej, wykorzystywanej w późniejszym czasie przez roślinność; zbyt duża ilość nadmiaru wody zostaje dalej odprowadzona do odpływów),
4. warstwa ochronna (stanowi dodatkową ochronę przed przerastaniem korzeni roślin oraz przed uszkodzeniami mechanicznymi),
5. warstwa termoizolacji (w przypadku układu warstw o odwróconym układzie stropodachu znajdują zastosowanie płyty z polistyrenu ekstrudowanego lub płyt z pianki poliuretanowej PIR i płyt rezolowych),
6. warstwa hydroizolacyjna (przy jej wykonywaniu w przypadku odwróconego układu najczęściej stosowana jest papa termozgrzewalna lub folia EPDM; powinna posiadać właściwości przeciwwodne oraz odpowiednią odporność na ściskanie; dodatkowo musi zapewniać odporność na wszelkie środki chemiczne oraz na grzyby czy pleśń),
7. warstwa konstrukcyjna (strop nad ostatnią kondygnacją; obciążenia w przypadku dachów zielonych mogą dochodzić od 100 do nawet 1000 kg/m² powierzchni).

Zastosowanie formy (przyjęcie rozwiązania materiałowego) dachu zielonego zasadniczo nie jest ograniczone wysokością budynku, ponieważ to rozwiązanie stosuje się zarówno w budynkach niskich, jak i wysokich. W przypadku stosowania wysokich form architektury należy uwzględnić utrudnione warunki klimatyczne (silne porywy wiatru oraz znaczące nasłonecznienie). Wiąże się to z odpowiednim doбором struktury roślinnej. Formę ogrodową dachów zielonych wykonuje się na budynkach użyteczności publicznej (przykładem jest budynek Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego), ale także w budownictwie wielorodzinnym, przemysłowym i niskiej zabudowie jednorodzinnej. Ogrody na dachach umieszcza się zazwyczaj na dachach płaskich – stropodachach o pochyleniu połaci od 5 do 35%. Przy wartości pochylenia większej niż 20° dach zielony należy zabezpieczać przed osuwaniem się zieleni. Duże znaczenie roślinności w strukturze miejskiej zaczęło być doceniane niedawno, choć jej wartości estetyczne znane były w wielu kulturach od setek lat. Ogrody zielone to istotne elementy zieleni, mające duże znaczenie w architekturze i urbanistyce. Wykorzystanie technologii dachów zielonych daje duże możliwości kreowania formy architektonicznej. Zastosowanie różnego typu zieleni nadaje obiektowi i terenom otaczającym go indywidualny wygląd i charakter. Tak stworzony obiekt wraz z zastosowaną zielenią może się przyczynić do identyfikacji terenu w przestrzeni, stać się wyróżnikiem danego osiedla. Wykorzystanie przez architekta rozwiązania ogrodu zielonego wraz z innymi materiałami ekologicznymi przyczynia się w znacznym stopniu do ochrony środowiska naturalnego. Odpowiednie

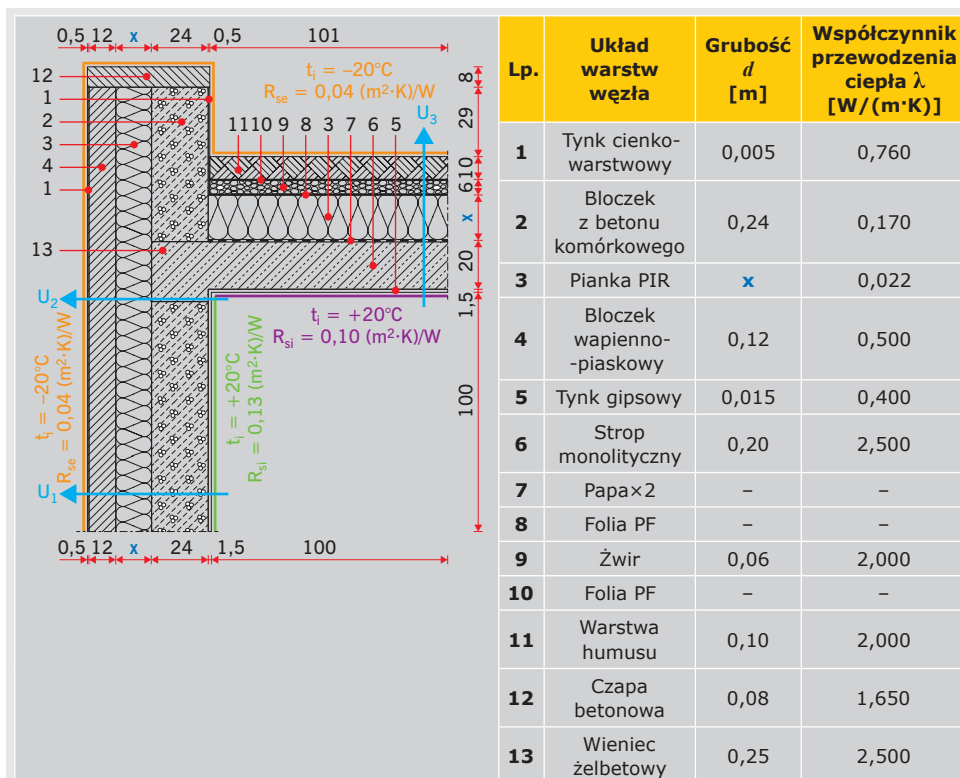


TABELA 6. Charakterystyka materiałowa analizowanego złącza dachu zielonego; opracowanie własne na podstawie [18]

zakomponowanie przestrzeni dachu formą zieloną pozwala uzyskać powierzchnię użytkową, którą można przeznaczyć na tarasy zielone – miejsca odpoczynku i rekreacji.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 4

Analiza parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z dachem zielonym.

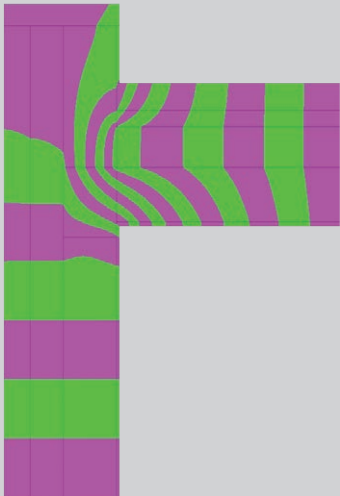
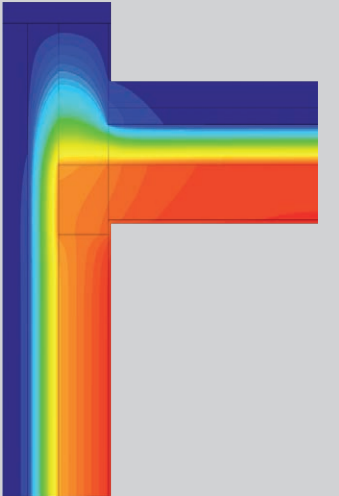
W **TABELI 6** zestawiono charakterystykę materiałową analizowanego złącza oraz przyjęte warunki brzegowe do obliczeń numerycznych przy zastosowaniu programu komputerowego TRI-SCO-KOBRU. Szczegółowe procedury obliczeniowe w tym zakresie przedstawiono w pracy [14].

Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych analizowanego złącza przedstawiono w postaci przykładowej karty katalogowej (**TABELA 7**).

W literaturze brakuje kart katalogowych złączy dachów zielonych, co utrudnia proces projektowania współczesnych przegród zewnętrznych w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym. Wartości parametrów fizykalnych zależą od przyjętego układu warstw materiałowych, a w szczególności – usytuowania i grubości materiału termoizolacyjnego.

Połączenie ściany trójwarstwowej ze stropodachem zielonym			
Lp.	Układ warstw węzła	Grubość d [m]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]
1	Tynk cienko-warstwowy	0,005	0,760
2	Błoczek z betonu komórkowego	0,24	0,170
3	Pianka PIR	1), 2), 3)	0,022
4	Błoczek wapienno-piaskowy	0,12	0,500
5	Tynk gipsowy	0,015	0,400
6	Strop monolityczny	0,20	2,500
7	Papa×2	–	–
8	Folia PF	–	–
9	Żwir	0,06	2,000
10	Geowłóknina	–	–
11	Warstwa humusu	0,10	2,000
12	Czapa betonowa	0,08	1,650
13	Wieniec żelbetowy	0,24	2,500
1) wariant I: grubość izolacji 0,10 m			
2) wariant II: grubość izolacji 0,12 m			
3) wariant III: grubość izolacji 0,15 m			

TABELA 7. Przykładowa karta katalogowa złącza dachu zielonego; opracowanie własne na podstawie [18]

Parametry fizyczne złącza budowlanego (Z25)	Grubość d [m]		
	0,10	0,12	0,15
Współczynnik przenikania ciepła stropodachu/ współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej U_s/U_{sc} [$W/(m^2 \cdot K)$]	0,16/0,21	0,14/0,17	0,12/0,14
Strumień ciepła przepływający przez złącze Φ [W]	22,58	19,90	16,97
Liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego L^{2D} [$W/(m \cdot K)$]	0,565	0,498	0,424
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do górnej części złącza – stropodachu $\Psi_{ig(s)}$ [$W/(m \cdot K)$] po wymiarze wewnętrznym	0,035	0,033	0,030
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do dolnej części złącza – ściana zewnętrzna $\Psi_{id(sc)}$ [$W/(m \cdot K)$] po wymiarze wewnętrznym	0,167	0,154	0,138
Liniowy współczynnik przenikania ciepła określony po wymiarach wewnętrznych Ψ_i [$W/(m \cdot K)$]	0,202	0,186	0,168
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do górnej części złącza – stropodachu $\Psi_{e,g(s)}$ [$W/(m \cdot K)$] po wymiarze zewnętrznym	0,013	0,014	0,015
Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w odniesieniu do dolnej części złącza – ściana zewnętrzna $\Psi_{ed(sc)}$ [$W/(m \cdot K)$] po wymiarze zewnętrznym	0,067	0,066	0,063
Liniowy współczynnik przenikania ciepła określony po wymiarach zewnętrznych Ψ_e [$W/(m \cdot K)$]	0,080	0,080	0,078
Temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $\theta_{si,min}$ [$^{\circ}C$]	13,82	14,43	15,11
Czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-]	0,846	0,861	0,878
			
linie strumieni ciepłych – adiabaty		rozkład temperatury w złączu – izotermy	

» TABELA 7. Przykładowa karta katalogowa złącza dachu zielonego; opracowanie własne na podstawie [18]

Wartości parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z dachem zielonym zależą od grubości materiału termoizolacyjnego ściany zewnętrznej i dachu zielonego. Należy zauważyć, że mimo spełnienia kryterium cieplnego $U \leq U_{max}$ dla pojedynczych przegród (ściana zewnętrzna i dach zielony) złącze tych przegród generuje dodatkowe straty ciepła w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $\theta_{st,min}$ [°C].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono zasady projektowania wybranych poziomych przegród zewnętrznych (przegród stykających się z gruntem, stropów, dachów oraz stropodachów) i ich złączy spełniających prawne wymagania cieplno-wilgotnościowe obowiązujące od 1 stycznia 2021 roku z uwzględnieniem wytycznych budownictwa niskoenergetycznego. Osiągnięcie wartości współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] poniżej wartości granicznej polega na poprawnym usytuowaniu materiału termoizolacyjnego oraz określeniu odpowiedniej jego grubości. Należy jednak zwrócić uwagę także na odpowiednie kształtowanie układów materiałowych złączy budowlanych (połączenie dwóch lub trzech przegród w węźle), określanych także w literaturze jako mostki cieplne (mostki termiczne). Dobór materiałów, szczególnie termoizolacyjnych, powinien uwzględniać innowacyjne rozwiązania pozwalające na optymalizację (minimalizację) ich grubości.

Znajomość zagadnień fizyki cieplnej budowli oraz procedur obliczeniowych w tym zakresie pozwala na odpowiedni dobór materiałów budowlanych pod kątem przyjaznego ich oddziaływania na zdrowie i samopoczucie człowieka, a także obniżenie zapotrzebowania budynku na energię użytkową (EU), energię końcową (EK) i energię pierwotną (EP).

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
2. PN-EN ISO 13370:2008, „Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania”.
3. PN-EN 12831:2006, „Instalacje grzewcze w budynkach – Metoda obliczania obciążenia cieplnego”.
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynkulub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (DzU 2015, poz. 376).
5. M. Maciaszek, „Analiza porównawcza parametrów fizykalnych złączy ścian zewnętrznych trójwarstwowych w świetle nowych wymagań cieplnych”, praca magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, UTP, Bydgoszcz 2017.
6. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
7. PN-EN ISO 14683:2008, „Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne”.
8. W.M. Francuz, A. Kusina, M. Machnik, „Technologia budownictwa” cz. 2, Wydawnictwo REA, Warszawa 2012.

9. P. Markiewicz, „Budownictwo ogólne dla architektów”, Wydawnictwo ARCHI-PLUS, Kraków 2011.
10. K. Pawłowski, „Analiza rozwiązań materiałowych podłóg na stropach w budynkach – stadium przypadku”, „IZOLACJE” 2/2018, s. 60–64.
11. M. Wesołowska, K. Pawłowski, „Aspekty związane z dostosowaniem obiektów istniejących do standardów budownictwa energooszczędnego”, Agencja Reklamowa TOP, Włocławek 2016. Praca wydana w ramach projektu finansowanego ze środków funduszy norweskich i środków krajowych.
12. K. Pawłowski, „Innowacyjne rozwiązania materiałów termoizolacyjnych w aspekcie modernizacji budynków w Polsce”, „IZOLACJE”, nr 3/2018, s. 48–64.
13. M. Maciaszek „Studium projektowe przegród zewnętrznych i ich złączy z zastosowaniem nowoczesnych materiałów izolacyjnych”, praca dyplomowa inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, UTP, Bydgoszcz 2016.
14. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.
15. A. Wojtalewicz „Studium projektowe przegród zewnętrznych niskoenergetycznego budynku jednorodzinnego”, praca dyplomowa inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, UTP, Bydgoszcz 2016.
16. M. Mrzygłód, A. Wojtalewicz „Analiza rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych budynku w standardzie niskoenergetycznym” [w:] „Nowoczesne projektowanie i realizacja konstrukcji budowlanych”, Politechnika Krakowska, Kraków 2016.
17. J. Ciuba, „Studium projektowe złączy stropodachów pełnych w świetle nowych wymagań cieplnych”, praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, UTP, Bydgoszcz 2016.
18. A. Chruścińska „Analiza porównawcza parametrów fizykalnych złączy stropodachów w świetle nowych wymagań cieplnych”, praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. K. Pawłowskiego, UTP, Bydgoszcz 2017.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.



Sprawdź na **ekspertbudowlany.pl**

bezpłatne poradniki

w formie e-booków

Czytaj, jak lubisz!

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

112

STROPY I ICH ZŁĄCZA W BUDYNKACH Z UWZGLĘDNIENIEM WYMAGAŃ OBOWIĄZUJĄCYCH OD 1 STYCZNIA 2021 R.

Projektowanie cieplne podtóg na stropach międzykondygnacyjnych i nad przejazdami w budynkach o niskim zużyciu energii (NZEB) jest kompleksowym działaniem projektanta i wymaga znajomości zagadnień z zakresu budownictwa ogólnego i fizyki budowli.

Dobór materiałów izolacyjnych powinien opierać się na obliczeniach parametrów fizykalnych z uwzględnieniem aktualnie obowiązujących wymagań prawnych.

IZOLACYJNOŚĆ STROPÓW

Strop jest poziomym elementem konstrukcyjnym, który dzieli budynek na kondygnacje. Do podstawowych funkcji stropów można zaliczyć:

- » przenoszenie obciążeń stałych i użytkowych,
- » usztywnienie ścian budynku w płaszczyznach poziomych,
- » ochronę przed przedostawaniem się z sąsiednich kondygnacji ognia podczas pożaru,
- » ochronę pomieszczeń przed przenikaniem ciepła i dźwięków oraz przed wilgocią, gazami i zapachami.

W **TABELI 1** przedstawiono podział stropów, uwzględniając różnorodne kryteria.

W stropie międzykondygnacyjnym można wyodrębnić trzy podstawowe elementy: konstrukcja nośna, sufit (dolna część stropu), podłoga (górna część stropu). Sufit wykonany jest w postaci tynku wewnętrznego, płyt gipsowo-kartonowych, płyt drewnopochodnych lub w postaci sufitu podwieszanego.

Konstrukcja nośna stropu pełni funkcję nośną związaną z przenoszeniem obciążeń własnych i zewnętrznych, ale także odgrywa istotne znaczenie w zakresie izolacyjności akustycznej. Podłoga jest elementem wykończeniowym nadającym podłozu wymagane cechy użytkowe, estetyczne oraz właściwości izolacyjne (akustyczne, termiczne, przeciwwilgociowe). Składa się zasadniczo z kilku warstw ze zróżnicowanych materiałów.

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

113

Kryteria podziału stropów	Przykłady stropów
Ze względu na rodzaj materiału stosowanego do wykonania konstrukcji	Drewniane (np. nagi, z podsufitką)
	Na belkach stalowych typu Kleina (lekki, ciężki, średni)
	Ceramiczno-żelbetowe
	Żelbetowe (monolityczne lub prefabrykowane)
	Na blachach fałdowych
Ze względu na położenie budynku	Nadpiwniczne
	Międzypiętrowe (międzykondygnacyjne)
	Stropy poddaszy
	Stropodachy
Ze względu na rodzaj konstrukcji nośnej	Płytowe
	Płytowe o przekroju wydrążonym
	Belkowo-pustakowe
	Płytowo-żebrowe
	Gęstożebrowe (Fert, Teriva)
Ze względu na ognioodporność użytego materiału	Palne
	Niepalne

TABELA 1. Podział stropów wg przyjętych kryteriów

Rodzaje podłóg można podzielić w zależności od następujących czynników:

- » przeznaczenie (budynki mieszkalne, przemysłowe, użyteczności publicznej o zróżnicowanym przeznaczeniu),
- » materiał posadzki (drewno, tworzywa sztuczne, materiały mineralne i bitumiczne),
- » wymagania techniczno-użytkowe (izolacyjność termiczna, dźwiękochłonność, chemoodporność, wodoszczelność,
- » usytuowanie w budynku (na gruncie, międzykondygnacyjna, nad piwnicami, nad przejazdami) [1].

Przykładowe rozwiązania materiałowe podłóg na stropach międzykondygnacyjnych oraz nad przejazdami opisano m.in. w pracach [2, 3]. W TABELI 2 zestawiono przykładowe izolacje stosowane na stropach w budynkach.

Podkład pod posadzkę stanowi warstwę wyrównawczą (w odniesieniu do izolacji) oraz przejmującą obciążenia i przekazującą je na warstwy konstrukcyjne podłoża. Powinien być równo

Rodzaj izolacji	Przykładowe rozwiązanie materiałowe
Izolacja przeciwwilgociowa	Folia budowlana
	Papy na lepisku
	Masy bitumiczne
Izolacja wodoszczelna w pomieszczeniach tzw. mokrych – sanitarnych oraz gospodarczych (a także na gruncie przy wysokim poziomie wody gruntowej)	Folia w płynie
	Papy i masy bitumiczne
Izolacja paroszczelna nad pomieszczeniami o bardzo dużej wilgotności (nad pralnią, suszarnią, kotłownią, sauną)	Folie paroizolacyjne
	Membrany dachowe
Izolacja termiczna (nad nieogrzewanymi piwnicami, nad ostatnią kondygnacją użytkową (ogrzewaną) oraz nad przejazdami)	Płyty z wełny mineralnej twardej
	Płyty styropianowe
	Płyty z pianki poliuretanowej
Izolacja akustyczna pomiędzy pomieszczeniami lub w szczególnych przypadkach, gdy wymagane jest wyciszenie pomieszczenia ze względu na specyfikę	Płyty z wełny mineralnej twarde
	Płyty pilśniowe twarde
	Ekologiczne materiały izolacyjne

TABELA 2. Przykładowe izolacje stosowane na stropach w budynkach

ułożony i dobrze wypoziomowany, a także posiadać odpowiednią wytrzymałość. Od dokładności jego wykonania zależy trwałość i estetyka posadzki. Na podkłady stosuje się specjalne zaprawy cementowe lub gipsowe albo jastrychy. W przypadku stosowania ogrzewania podłogowego podkład musi umożliwić prawidłowe ułożenie przewodów instalacji, aby chronić je przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Posadzka stanowi wierzchnią warstwę podłogi jako wykończenie. Musi spełniać odpowiednie cechy fizyczne i mechaniczne: wytrzymałość na ścieranie, odporność na wodę i inne substancje chemiczne, mrozoodporność oraz walory antypoślizgowe.

Najbardziej popularna i skuteczna metoda izolacji akustycznej stropów polega na wykonaniu tzw. podłogi pływającej, czyli wylewki cementowej na podkładzie z płyt z hydrofobizowanej wełny skalnej lub styropianu. W celu zwiększenia izolacyjności od dźwięków uderzeniowych można zastosować płyty z wełny skalnej. Charakteryzują się one dobrą sprężystością, dzięki czemu podłoga pływająca wykonana z płyt izolacyjnych grubości 40 mm charakteryzuje się wskaźnikiem ważonego zmniejszenia poziomu uderzeniowego stropu wzorcowego $\Delta L_w = 27$ dB i może być zakwalifikowana do klasy akustycznej II. Badania wykazały, że zwiększenie grubości płyt izolacyjnych nie wpływa w znaczący sposób na polepszenie izolacyjności akustycznej. Innym sposobem poprawy izolacyjności akustycznej staje się wykonanie sufitu podwieszanego z płyt gipsowo-kartonowych na konstrukcji niezależnej od konstrukcji stropu, z izolacją akustyczną

Lp.	Rodzaj przegrody	Temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m ² ·K)]
			od 1.01.2021 r. ¹⁾
1	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podłogowymi	$t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$	0,25
		$8^{\circ}\text{C} \leq t_i < 16^{\circ}\text{C}$	0,30
		$t_i < 8^{\circ}\text{C}$	1,00
2	Stropy nad ogrzewanymi kondygnacjami podziemnymi i międzykondygnacyjnymi	$\Delta t_i \geq 8^{\circ}\text{C}$	bez wymagań
		$\Delta t_i < 8^{\circ}\text{C}$	bez wymagań
		oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	0,25

TABELA 3. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] stropów [5]

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura wewnętrzna, której wartość określona w §134 ust. 2 rozporządzenia [5]

t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia zgodnie z §134 ust. 2 rozporządzenia [5]

z wełny szklanej lub skalnej. Natomiast w stropach na belkach drewnianych poprawę izolacyjności akustycznej można uzyskać poprzez zastosowanie przekładek z filcu, gumy lub pianki poliuretanowej zakładanych między belkami a poszyciem [4].

Zasadniczą zmianą rozporządzenia w zakresie ochrony cieplnej budynków [5] jest zmiana wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła $U_{c(max)}$. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła stropów, zgodnie z załącznikiem 2 do rozporządzenia, zestawiono w TABELI 3.

Szczegółowe analizy w zakresie kształtowania parametrów fizykalnych złączy stropów międzykondygnacyjnych oraz nad przejazdami przedstawiono m.in. w pracach [2, 3].

JAKOŚĆ CIEPLNA POŁĄCZENIA STROPU Z PŁYTĄ BALKONOWĄ

Rozwiązanie konstrukcyjne balkonu uzależnione jest od wielu czynników na niego oddziałujących:

- » obciążenie oddziałujące na konstrukcję,
- » wnikanie wody opadowej w konstrukcję balkonu,
- » bezpieczeństwo użytkowania dla osób korzystających z balkonu,
- » mostki termiczne na styku płyty nośnej ze ścianą.

Głównym problemem w konstruowaniu połączenia ścian zewnętrznych z balkonem jest zachowanie ciągłości termoizolacji. Jednym ze sposobów minimalizacji mostka termicznego jest sposób oparcia płyty na żelbetowych lub stalowych wspornikach kotwionych w wieńcu lub zastosowanie tzw. łączników izotermicznych.

Zastosowanie łączników izotermicznych pozwalających na odsunięcie wspornikowej płyty balkonowej od wieńca stropu i wypełnienie tej przestrzeni systemowym materiałem

termoizolacyjnym, minimalizuje utratę energii. Są to gotowe elementy, przygotowane do montażu i połączenia ze zbrojeniem wykonanym na budowie. Rozmiar oraz gęstość rozstawienia uzależnione są od wymagań statyczno-budowlanych, takich jak powierzchnia balkonu, wysunięcie oraz grubość płyty balkonowej. Do prawidłowego zaprojektowania przegród zewnętrznych budynku w aspekcie ciepno-wilgotnościowym wymaga się od projektanta, aby każde złącze rozpatrzył przy wykorzystaniu szczegółowych obliczeń numerycznych lub miarodajnych (dokładnych) kart katalogowych.

Analizowane rozwiązanie zostało wdrożone do produkcji i zastosowania w budownictwie. Założenia techniczne [6] zostały opracowane m.in. przez pracowników Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy [7]. System łączników izotermicznych w płycie balkonowej uzyskał także Krajową Deklarację właściwości użytkowych, Krajową Ocenę Techniczną wydaną przez Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie oraz Krajowy Certyfikat Stałości Właściwości Użytkowych wydany także przez Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie.

Zastosowanie w łącznikach balkonowych odpowiednio wygiętych blach stalowych jako elementów nośnych (zamiast prętów jak w większości innych tego typu rozwiązań) pozwoliło na zwiększenie grubości izolacji termicznej systemu łączników izotermicznych w płycie balkonowej do wielkości 16 cm. Profile izolacyjne wykonane są ze styropianu grafitowego o bardzo niskim współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Pozwala to na uzyskanie zrównoważonego współczynnika przewodzenia ciepła całego łącznika izotermicznego $\lambda'' = 0,052\text{--}0,258 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ w zależności od ilości łączników stalowych, wysokości szerokości łącznika.

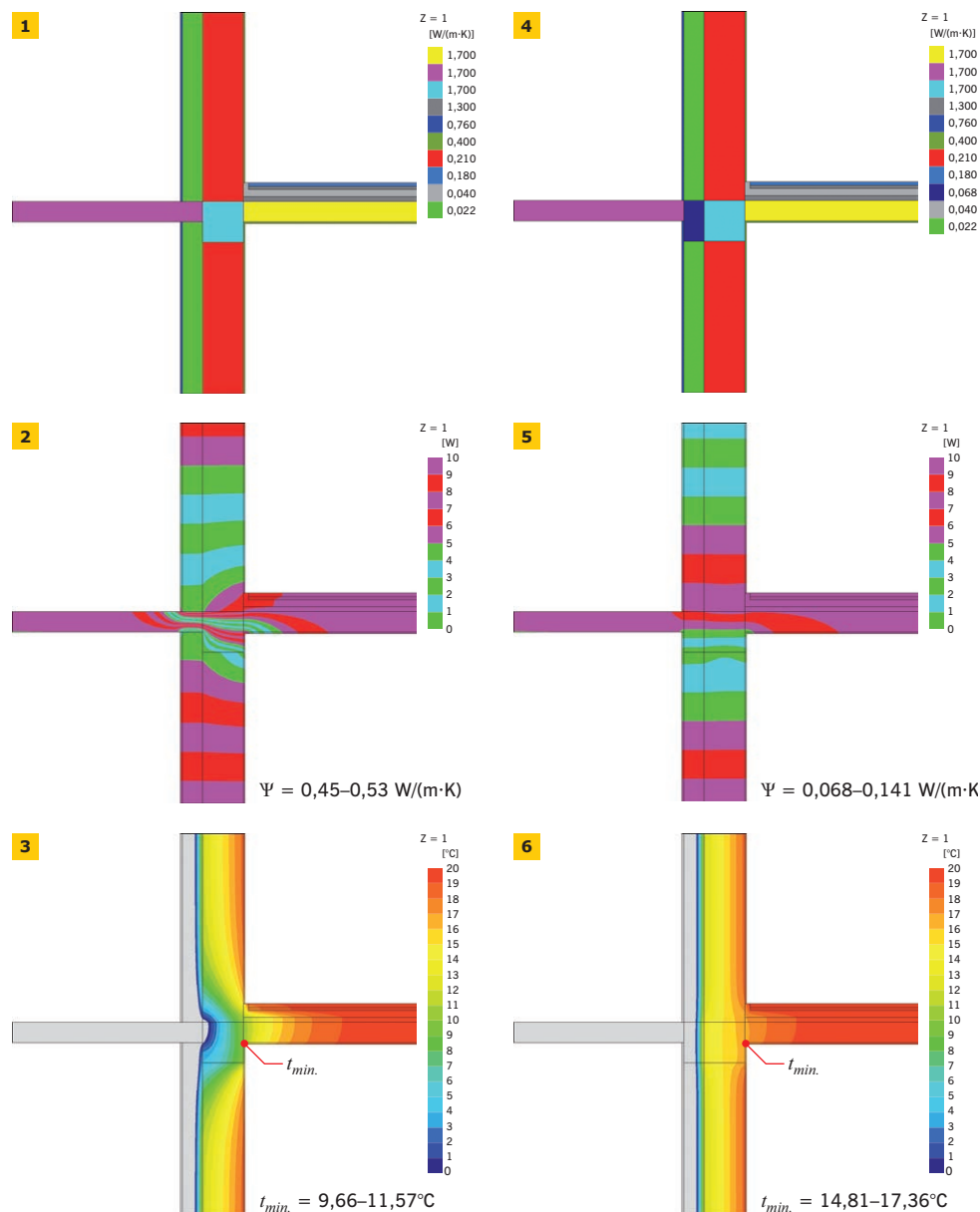
Energoszczędny system łączników izotermicznych w płycie balkonowej jest odpowiedzią na potrzeby wymagających architektów i inwestorów, którzy poszukują łącznika balkonowego o najlepszych parametrach termoizolacyjnych. Jego szerokość wynosi 16 cm i spełnia wymagania stawiane przez światowy trend budownictwa niskoenergetycznego.

Zastosowanie łączników izotermicznych pozwala na minimalizację dodatkowych strat ciepła przez przenikanie oraz ograniczenie ryzyka obniżenia temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody (kondensacji powierzchniowej). Na RYS. 1–6 przedstawiono wyniki analizy parametrów fizykalnych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową dla dwóch wariantów: wspornikowa płyta balkonowa oraz zastosowanie łącznika izotermicznego. Dla analizowanych wariantów zestawiono wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$], odzwierciedlającego dodatkowe straty ciepła wynikającego z występowania mostka cieplnego oraz wartości temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $t_{\min.}$ [$^{\circ}\text{C}$] w zakresie sprawdzenia ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej – ryzyka rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych.

Szczegółowe analizy parametrów fizykalnych złączy stropów z płytą balkonową, przy zróżnicowanych rozwiązaniach materiałowych, przedstawiono m.in. w pracy [8].

PODSUMOWANIE

Jakość cieplna stropów i ich złączy (np. z płytą balkonową) zależy od wielu czynników, szczególnie związanych z kształtowaniem układów materiałowych elementów obudowy budynków z uwzględnieniem wymagań budownictwa w standardzie niskoenergetycznym.



RYS. 1–3. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową (wspornikowa płyta balkonowa): model obliczeniowy (1), linie strumieni ciepłych – adiabaty (2), rozkład temperatury – izotermy (3); rys.: autor

RYS. 4–6. Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową (zastosowanie łącznika izotermicznego): model obliczeniowy (4), linie strumieni ciepłych – adiabaty (5), rozkład temperatury – izotermy (6); rys.: autor

Istnieje potrzeba opracowania katalogu rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy (wraz z parametrami fizykalnymi) budynków w standardzie energooszczędnych.

LITERATURA

1. W.M. Francuz, A. Kusina, M. Machnik, „Technologia budownictwa” cz. 2, Wydawnictwo REA, Warszawa 2012.
2. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród poziomych w budownictwie energooszczędnym. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe przegród stykających się z gruntem, stropów oraz dachów i stropodachów w świetle obowiązujących przepisów prawnych”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2018.
3. K. Pawłowski, „Izolacyjność cieplna podłóg w budynkach z uwzględnieniem wymagań obowiązujących od 1 stycznia 2021 r.”, „IZOLACJE” 2/2021, s. 16–23.
4. P. Markiewicz, „Budownictwo ogólne dla architektów”, Wydawnictwo ARCHI-PLUS, Kraków 2011.
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
6. Założenia techniczne łączników balkonowych TIPOMEGA.
7. K. Pawłowski, Sprawozdanie z Badania Zleconego „Określenie współczynnika przewodzenia ciepła łączników izotermicznych TIPOMEGA”, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Bydgoszcz 2020.
8. K. Pawłowski, „Jakość cieplna wybranych złączy budowlanych budynków w standardzie niskoenergetycznym”, „IZOLACJE” 6/2021, s. 34–39.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepło-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowlanej i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

czasopismo / portal / konferencje / książki



RZETELNE INFORMACJE DLA SPECJALISTÓW BRANŻY HVAC I WOD-KAN

przykłady projektów i realizacji

analizy techniczne i ekonomiczne instalacji

przepisy, normy i wytyczne

www.rynekinstalacyjny.pl

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

120

PROJEKTOWANIE BALKONÓW W BUDYNKACH ENERGOOSZCZĘDNYCH

Integralną częścią projektowania budynków o niskim zużyciu energii (NZEB) jest minimalizacja strat ciepła przez ich elementy obudowy (przegrody zewnętrzne i złącza budowlane). Złącza budowlane, nazywane także mostkami cieplnymi (termicznymi), powstają m.in. w wyniku połączenia przegród budynku. Generują dodatkowe straty ciepła przez przegrody budowlane.

Dobór materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych złączy nie powinien być przypadkowy, ale oparty o szczegółowe obliczenia i analizy.

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNO-MATERIALOWE BALKONÓW W ASPEKCIE WYMAGAŃ CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWYCH

Balkon jest elementem konstrukcyjno-architektonicznym budynku, stanowiącym otwartą formę. Rozwiązanie konstrukcyjne balkonu uzależnione jest od czynników na niego oddziałujących, np.:

- » obciążenia oddziałującego na konstrukcję,
- » wnikania wody opadowej w konstrukcję balkonu,
- » bezpieczeństwa użytkowania osób korzystających z balkonu,
- » mostków termicznych na styku płyty nośnej ze ścianą.

Grubość płyty w balkonie wspornikowym może być stała lub może maleć w kierunku od ściany. Pręty główne w płycie wspornikowej umieszcza się w strefie rozciąganej (zbrojenie górą) i kotwi w wieńcu.

W przypadku balkonów o wysięgu większym niż 1,5 m, bądź dużym obciążeniu, płytę balkonową opiera się na belkach wspornikowych utwierdzonych w wieńcu. Grubość płyty w tym przypadku wynosi 8–10 cm, natomiast zbrojenie główne ułożone jest w dolnej strefie płyty równoległe do ściany.

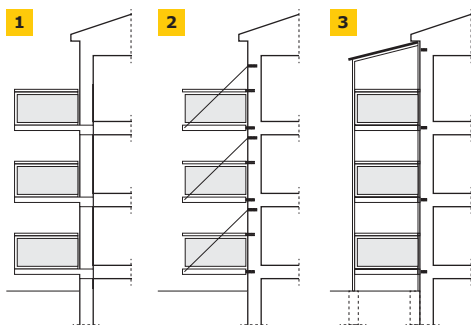
Na **rys. 1–3** przedstawiono schematy konstrukcji balkonów: wspornikowych, podwieszanych i dostawianych.

Balkony podwieszane mocowane są do ścian konstrukcyjnych za pomocą cięgien stalowych lub stalowych konstrukcji podpierających z zastrzałami i belkami od spodu płyty. Nie wymagają dodatkowych fundamentów, lecz obciążają ściany budynku.

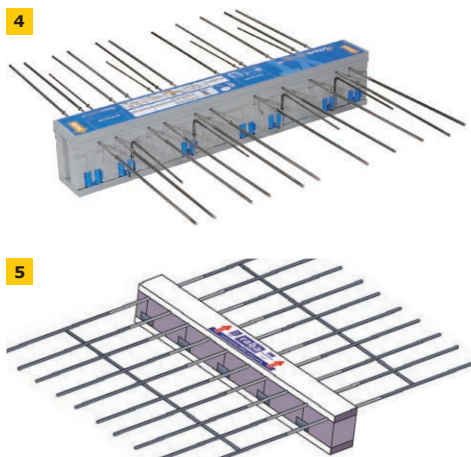
Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

121



RYS. 1–3. Schematy konstrukcji balkonów: wspornikowych (1), podwieszanych (2) i dostawianych (3); rys.: [1]



RYS. 4–5. Przykładowe łączniki izotermiczne; rys.: [2]

- » zastosowanie balkonów dostawianych,
- » zastosowanie tzw. łączników izotermicznych.

Obowiązujące przepisy prawne związane z procesami projektowania, wznoszenia i eksploatacji budynków o niskim zużyciu energii (NZEB) wymuszają takie rozwiązania technologiczne i organizacyjne, w wyniku których nowo wznoszone budynki zużywają w trakcie eksploatacji coraz mniej energii na ogrzewanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Zmiany maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła U_{max} wpływają na wielkość zużycia energii w trakcie eksploatacji budynków. Niestety przepisy prawne w tym zakresie nie regulują wymagań w zakresie ograniczenia strat ciepła przez złącza budowlane – mostki cieplne, ponieważ nie określono wartości granicznych np. w zakresie maksymalnych wartości liniowego współczynnika

Balkony na konstrukcji dostawianej do budynku i posadowionej na własnym fundamencie, w których podparcie mogą stanowić pełne ściany poprzeczne lub lżejsze słupy stalowe albo żelbetowe, nie obciążają ścian budynku, jednak są połączone z nimi za pomocą kotwi z kształtowników stalowych. Pozwala to na zachowanie stateczności oraz przeniesienie obciążeń poziomych od wiatru. Należy także podkreślić, że w takim rozwiązaniu nie występuje przerwanie izolacji cieplnej ściany zewnętrznej [1].

Natomiast zastosowanie łączników izotermicznych pozwalających na odsunięcie wspornikowej płyty balkonowej od wieńca stropu i wypełnienie tej przestrzeni systemowym materiałem termoizolacyjnym minimalizuje dodatkowe straty ciepła. Są to gotowe elementy, przygotowane do montażu i połączenia ze zbrojeniem wykonanym na budowie. Rozmiar oraz gęstość rozstawienia uzależnione są od wymagań statyczno-budowlanych, takich jak powierzchnia balkonu, wysunięcie oraz grubość płyty balkonowej (RYS. 4–5).

Głównym problemem w konstruowaniu złączy balkonów ze ścianą jest zachowanie ciągłości termoizolacji. Minimalizację wpływu mostka termicznego można uzyskać przez:

- » oparcie płyty na żelbetowych lub stalowych wspornikach kotwionych w wieńcu,

przenikania ciepła Ψ_{max} [W/(m·K)]. Należy jednak podkreślić, że budynek stanowi strukturę przegród budowlanych i ich złączy o indywidualnym charakterze fizycznym i poddany jest oddziaływaniu środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. W wielu przypadkach analiza przegród i złączy budowlanych w aspekcie konstrukcyjno-materiałowym i technologii wykonania nie budzi zwykle zastrzeżeń na etapie projektowania. Natomiast znajomość parametrów fizycznych, związanych z wymianą ciepła i wilgoci, pozwala na uniknięcie wielu wad projektowych i wykonawczych.

W wielu przypadkach rozwiązanie przepływu ciepła sprowadza się do określenia przenikania ciepła przez płaską przegrodę budowlaną w polu jednowymiarowym (1D), bez uwzględnienia przepływu ciepła w polu dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D). Jednak realnym (rzeczywistym) polem wymiany ciepła jest zazwyczaj przegroda zewnętrzna jako fragment budynku, a więc połączona systemem złączy z przegrodami dowiązującymi (płytą balkonową, stropem, ścianą zewnętrzną lub wewnętrzną lub podłogą na gruncie).

KSZTAŁTOWANIE UKŁADU WARSTW MATERIAŁOWYCH POŁĄCZENIA ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ Z PŁYTĄ BALKONOWĄ PRZY ZASTOSOWANIU OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Poprawne ukształtowanie układu materiałowego złącza budowlanego (np. połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową) wymaga określenia ich parametrów fizycznych z uwzględnieniem parametrów powietrza zewnętrznego i wewnętrznego przy zastosowaniu profesjonalnego programu komputerowego.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi mostki cieplne (złącza budowlane) są:

- » liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)], obliczany na podstawie normy PN-EN ISO 10211:2008 [3], lub należy przyjmować jego wartości na podstawie katalogu mostków cieplnych (np. załącznik do pracy [4]) oraz normy PN-EN ISO 14683:2008 [5],
- » punktowy współczynnik przenikania ciepła χ [W/K], obliczany na podstawie normy PN-EN ISO 10211:2008 [3], lub należy przyjmować jego wartości na podstawie katalogu mostków cieplnych na podstawie danych producentów,
- » czynnik temperaturowy f_{Rsi} ($f_{Rsi(2D)}$, $f_{Rsi(3D)}$), określany zgodnie z normą PN-EN ISO 13788:2003 [6] na podstawie temperatury minimalnej w miejscu mostka cieplnego (2D lub 3D).

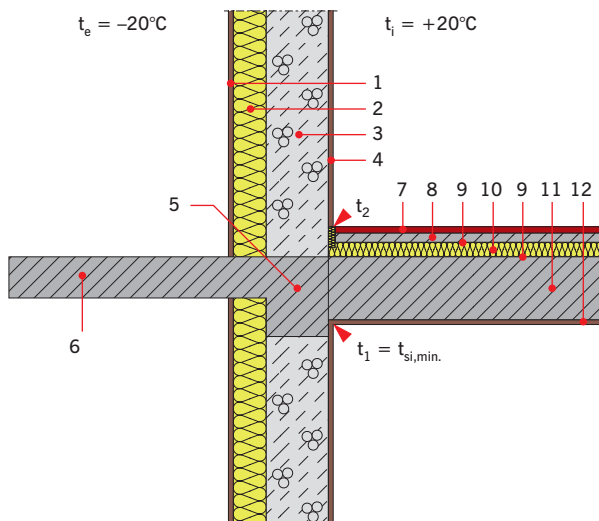
Szacuje się, że dokładność metod obliczeń mostków cieplnych według [7] wynosi:

- » $\pm 5\%$ – obliczenia numeryczne,
- » $\pm 20\%$ – katalog mostków cieplnych,
- » $\pm 20\%$ – obliczenia ręczne,
- » 0–50% – wartości orientacyjne.

Poniżej przedstawiono przykłady obliczeniowe dotyczące kształtowania układu warstw materiałowych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową w zróżnicowanych wariantach obliczeniowych.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

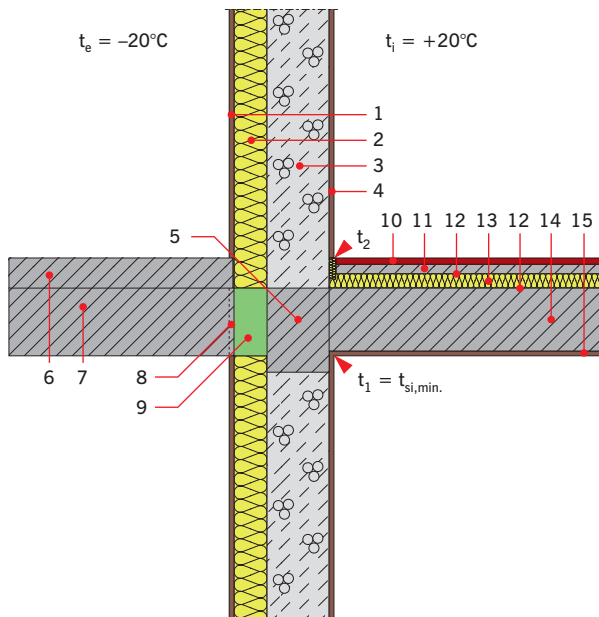
Określono parametry fizyczne połączenia ściany zewnętrznej ze stropem i płytą balkonową. Dla prawidłowego zaprojektowania elementów obudowy budynku (przegrody zewnętrzne i złącza budowlane) w aspekcie cieplno-wilgotnościowym wymaga się od projektanta, aby każde złącze



RYŚ. 6. Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową: wariant I – płyta wspornikowa;

rys.: opracowanie własne [11]

1 – tynk cienkowarstwowy, gr. 0,5 cm, **2** – płyty styropianowe, gr. $d_2 = 12$ cm, **3** – bloczki z betonu komórkowego, gr. 24 cm, **4** – tynk gipsowy, gr. 1,5 cm, **5** – wieniec żelbetowy o wym. 24×30 cm, **6** – płyta żelbetowa kotwiona w wieńcu, gr. 16 cm, **7** – parkiet drewniany, gr. 2 cm, **8** – gładź cementowa, gr. 3 cm, **9** – folia PF, **10** – płyty styropianowe, gr. 5 cm, **11** – strop gęstożebrowy, gr. 24 cm, **12** – tynk gipsowy, gr. 1,5 cm



RYŚ. 7. Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową: wariant II – płyta na belkach;

rys.: opracowanie własne [11]

1 – tynk cienkowarstwowy, gr. 0,5 cm, **2** – płyty styropianowe, gr. $d_2 = 12$ cm, **3** – bloczki z betonu komórkowego, gr. 24 cm, **4** – tynk gipsowy, gr. 1,5 cm, **5** – wieniec żelbetowy o wym. 24×30 cm, **6** – płyta żelbetowa, gr. 10 cm, **7** – belka żelbetowa kotwiona na wieńcu o wym. 24×24 cm, **8** – równoważny współczynnik przewodzenia ciepła λ_2^u (żelbet–tynk cienkowarstwowy), **9** – równoważny współczynnik przewodzenia ciepła λ_1^u (żelbet–styropian), **10** – parkiet drewniany, gr. 2 cm, **11** – gładź cementowa, gr. 3 cm, **12** – folia PF, **13** – płyty styropianowe, gr. 5 cm, **14** – strop gęstożebrowy, gr. 24 cm, **15** – tynk gipsowy, gr. 1,5 cm

rozpatrzył przy wykorzystaniu szczegółowych obliczeń numerycznych lub miarodajnych (dokładnych) kart katalogowych.

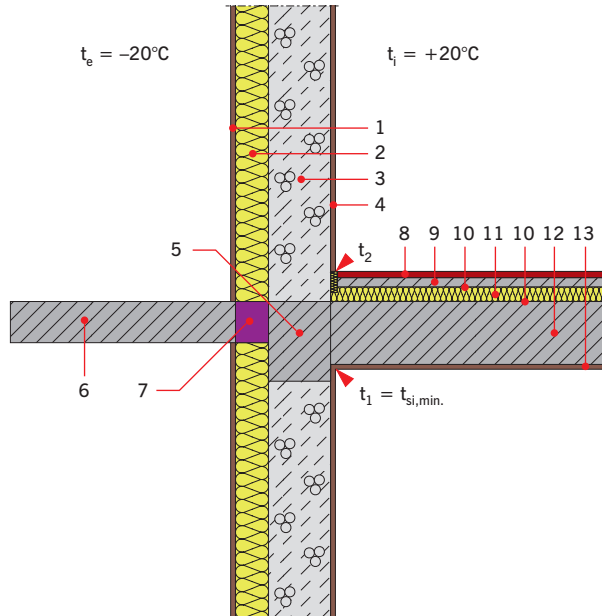
Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- » budynek zlokalizowany w III strefie – temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$, temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = +20^\circ\text{C}$,
- » wspornikowa płyta balkonowa (wariant I), płyta balkonowa oparta na belkach (wariant II), płyta balkonowa połączona ze ścianą zewnętrzną za pomocą łącznika izotermicznego (wariant III) (RYS. 6–8),

RYS. 8. Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową: wariant III – zastosowanie łącznika izotermicznego;

rys.: opracowanie własne [11]

1 – tynk cienkowarstwowy, gr. 0,5 cm, **2** – płyty styropianowe, gr. $d_2 = 12$ cm, 20 cm, **3** – bloczki z betonu komórkowego, gr. 24 cm, **4** – tynk gipsowy, gr. 1,5 cm, **5** – wieniec żelbetowy o wym. 24×30 cm, **6** – płyta żelbetowa, gr. 16 cm, **7** – łącznik izotermiczny o wym. 12 cm, **8** – parkiet drewniany, gr. 2 cm, **9** – gładź cementowa, gr. 3 cm, **10** – folia PF, **11** – płyty styropianowe, gr. 5 cm, **12** – strop gęstożebrowy, gr. 24 cm, **13** – tynk gipsowy, gr. 1,5 cm



- » ściana zewnętrzna dwuwarstwowa: bloczek wapienno-piaskowy gr. 24 cm, płyty styropianowe gr. 12 i 20 cm,
- » wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie tablic w [4],
- » warunki przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [8] dla obliczenia wielkości strumieni ciepłych oraz zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 [6] przy obliczaniu temperatur i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$,
- » modelowanie analizowanych złączy wykonano zgodnie z zasadami sformułowanymi w PN-EN ISO 10211:2008 [3].

W wyniku przeprowadzonych obliczeń przy zastosowaniu programu TRISCO-KOBRU 86 [9] uzyskano wartości strumieni przepływających przez złącza Φ [W], rozkład linii strumieni ciepłych (adiabaty) oraz rozkład izoterm. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)] według określonych procedur obliczeniowych prezentowanych szczegółowo m.in. w pracach [4, 10] oraz czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$ [-]. Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla rozpatrywanych złączy zestawiono na RYS. 9–14 i w TABELI 1.

Ściana zewnętrzna (o grubości izolacji cieplnej 20 cm) o analizowanych złączach spełnia podstawowe wymaganie w zakresie izolacyjności cieplnej według rozporządzenia [12] $U_c = 0,18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} < U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$. Jednak jej połączenie z płytą balkonową generuje dodatkowe straty ciepła określone w postaci parametrów: Φ [W], L^{2D} [W/(m·K)], Ψ_i [W/(m·K)] oraz występuje obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si,min}$ [°C] (TABELA 1).

W aspekcie oceny ciepło-wilgotnościowej optymalnym rozwiązaniem jest wariant III – połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową za pomocą łącznika izotermicznego. Uzyskano wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] na poziomie 0,094 (przy 12 cm izolacji cieplnej) oraz 0,081 (przy 20 cm izolacji cieplnej). Poza tym, rozwiązanie według

Wyniki parametrów fizycznych analizowanych złączy		Wariant I		Wariant II		Wariant III	
		Grubość izolacji cieplnej					
		12 cm	20 cm	12 cm	20 cm	12 cm	20 cm
Parametry cieplne złącza	U_c [W/(m ² ·K)]	0,27	0,18	0,27	0,18	0,27	0,18
	Φ [W]	47,02	35,81	40,68	28,26	25,63	17,41
	Φ_g [W]	17,47	12,88	15,43	10,53	11,48	7,69
	Φ_d [W]	29,55	22,93	25,25	17,73	14,15	9,72
	L^{2D} [W/(m·K)]	1,176	0,895	1,017	0,707	0,641	0,435
	Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,164	0,145	0,113	0,086	0,014	0,015
	Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,465	0,396	0,357	0,266	0,080	0,066
	Ψ_i [W/(m·K)]	0,628	0,541	0,470	0,352	0,094	0,081
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_c = -20^{\circ}\text{C}$, $t_i = 20^{\circ}\text{C}$)	t_1 ($\theta_{si,min}$) [°C]	10,80	12,40	12,52	14,52	17,12	17,88
	t_2 [°C]	13,63	14,83	14,91	16,32	17,37	18,20
	$f_{Rsi(2D)}$ [-]	0,770	0,810	0,813	0,863	0,928	0,947

TABELA 1. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową; opracowanie własne [11]

Objaśnienia:

U_c – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej [W/(m²·K)],

Φ – wielość strumienia ciepłego przepływającego przez złącze,

Φ_g – dotyczy górnej części złącza,

Φ_d – dotyczy górnej części złącza [W],

L^{2D} – współczynnik sprzężenia cieplnego [W/(m·K)],

Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła;

Ψ_{ig} – dotyczy górnej części złącza,

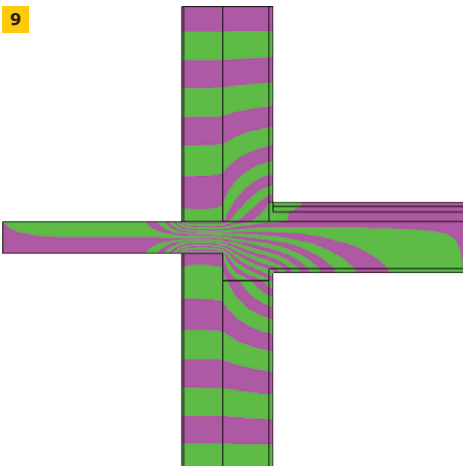
Ψ_{id} – dotyczy górnej części złącza, [W/(m·K)]

t_1, t_2 – temperatury na stykach wewnętrznych złącza [°C],

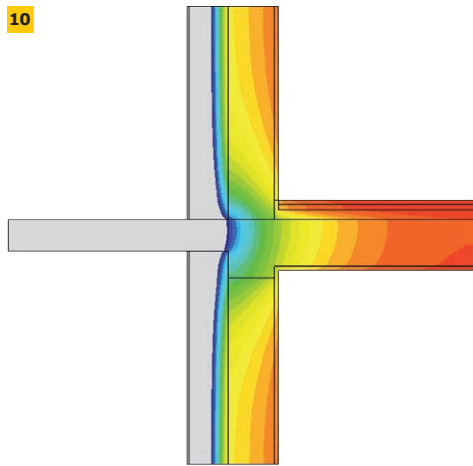
$\theta_{si,min}$ – temperatura minimalna w złączu na wewnętrznej powierzchni przegrody [°C],

$f_{Rsi(2D)}$ – czynnik temperaturowy [-]

9

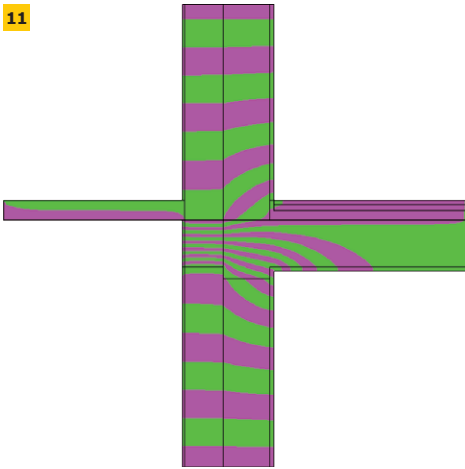


10

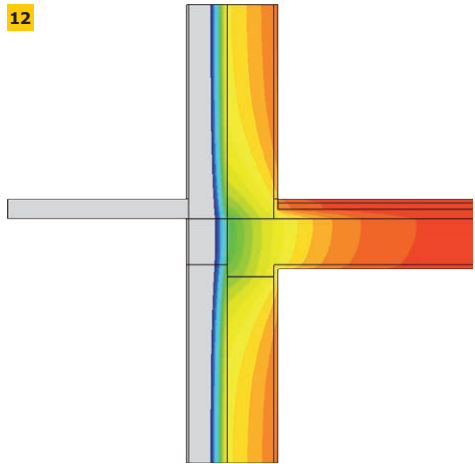


RYS. 9–10. Wyniki symulacji komputerowej analizowanych wariantów obliczeniowych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową: wariant I analizowanego złącza – linie strumieni ciepłych – adiabaty (9) oraz rozkłady temperatur – izoterm (10); rys.: opracowanie własne [11]

11

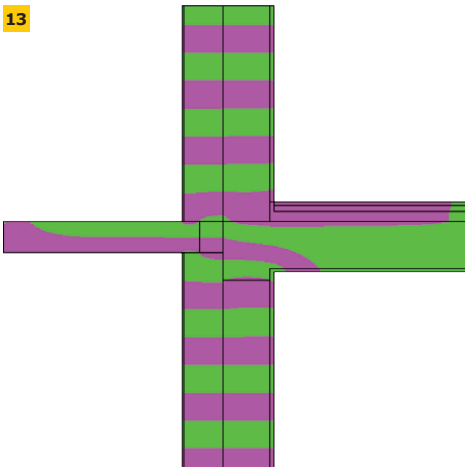


12

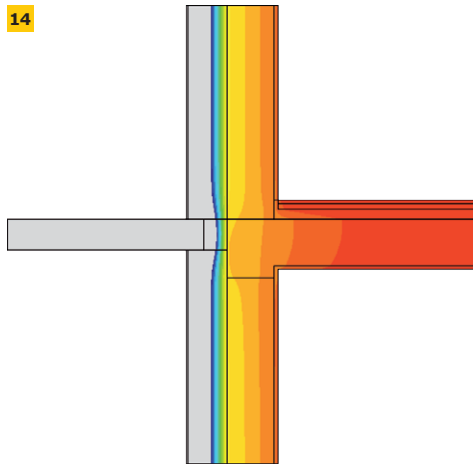


RYS. 11–12. Wyniki symulacji komputerowej analizowanych wariantów obliczeniowych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową: wariant II analizowanego złącza – linie strumieni ciepłych – adiabaty (11) oraz rozkłady temperatur – izotermy (12); rys.: opracowanie własne [11]

13

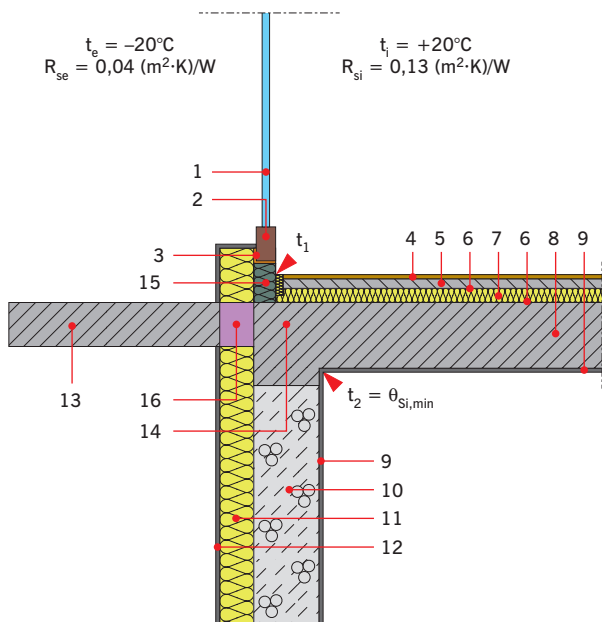


14



RYS. 13–14. Wyniki symulacji komputerowej analizowanych wariantów obliczeniowych połączenia ściany zewnętrznej z płytą balkonową: wariant III analizowanego złącza – linie strumieni ciepłych – adiabaty (13) oraz rozkłady temperatur – izotermy (14); rys.: opracowanie własne [11]

wariantu I generuje obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody do poziomu, w którym występuje ryzyko kondensacji powierzchniowej, ponieważ $f_{Rsi(2D)} < f_{Rsi, kryt.}$. Wartość graniczna (krytyczna) czynnika temperaturowego, uwzględniając parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, analizowanych wariantów obliczeniowych według [4] wynosi $f_{Rsi(kryt)} = 0,785$.

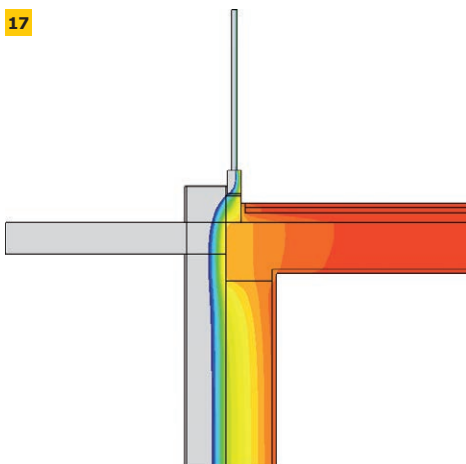
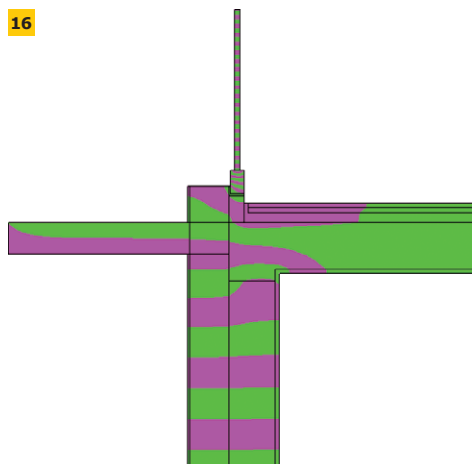


RYS. 15. Analizowane złącze budowlane: układ materiałowy złącza budowlanego;

rys.: opracowanie własne [13]

1 – zestaw szybowy, 2 – ościeżnica drewniana, 3 – pianka poliuretanowa, 4 – parkiet drewniany gr. 2 cm, 5 – gładź cementowa gr. 3 cm, 6 – folia PF, 7 – płyty styropianowe gr. 5 cm, 8 – strop gr. 24 cm, 9 – tynk gipsowy gr. 1,5 cm, 10 – bloczki betonu komórkowego gr. 24 cm, 11 – izolacja termiczna gr. 20 cm (płyty PIR lub PUR, szary styropian lub styropian, wełna mineralna lub celulozowa), 12 – tynk cienkowarstwowy gr. 0,5 cm, 13 – płyta żelbetowa kotwiona w wieńcu gr. 16 cm, 14 – wieniec żelbetowy o wym. 24×30 cm, 15 – tuleje ze stali nierdzewnej, wolna przestrzeń wypełniona styropianem, 16 – łącznik izotermiczny Schöck IsokorbXT 12 cm

127



RYS. 16–17. Analizowane złącze budowlane: linie strumieni ciepłych (adiabaty) (16) oraz rozkład temperatur (izotermy) (17); rys.: opracowanie własne [13]

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

Określono parametry fizyczne połączenia ściany zewnętrznej ze stropem i płytą balkonową i drzwiami balkonowymi przy zastosowaniu łącznika izotermicznego i różnicowanych materiałów termoizolacyjnych.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- » układ rozwiązań materiałowych złącza (RYS. 15–17),

Wyniki parametrów fizykalnych analizowanych złącza		Rodzaj izolacji cieplnej grubości 20 cm			
		Płyty PUR	Szary styropian	Wełna mineralna	Styropian
		Wartość współczynnika przewodności cieplnej λ [W/(m·K)]			
		0,024	0,031	0,035	0,040
Parametry cieplne złącza	U_c [W/(m ² ·K)]	0,10	0,13	0,14	0,16
	Φ [W]	51,81	53,22	53,97	54,87
	Ψ_{ig} [W/(m·K)]	0,092	0,097	0,099	0,103
	Ψ_{id} [W/(m·K)]	0,039	0,045	0,049	0,054
	Ψ_i [W/(m·K)]	0,131	0,142	0,148	0,157
Ocena ryzyka kondensacji powierzchniowej (temperatury minimalne przy: $t_e = -20^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$)	t_1 ($\theta_{si,min}$) [$^\circ\text{C}$]	16,80	16,54	16,40	16,24
	t_2 [$^\circ\text{C}$]	18,55	18,31	18,18	18,02
	$f_{Rsi(2D)}$ [-]	0,920	0,914	0,910	0,906

TABELA 2. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych analizowanego złącza; opracowanie własne [13]

Objaśnienia:

U_c – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej [W/(m²·K)],

Φ – strumień ciepła przepływający przez złącze [W],

Ψ_{ig} – gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dla górnej części złącza (powyżej stropu i płyty balkonowej) [W/(m·K)],

Ψ_{id} – gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dla dolnej części złącza (poniżej stropu i płyty balkonowej) [W/(m·K)],

Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła dla całego złącza [W/(m·K)],

t_1 ($\theta_{si,min}$), t_2 – temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody [$^\circ\text{C}$],

$f_{Rsi(2D)}$ – czynnik temperaturowy [-]

- » materiały termoizolacyjne gr. 20 cm: płyty z pianki poliuretanowej, płyty styropianowe, płyty ze styropianu grafitowego, wełna mineralna,
- » wartości współczynników przewodności cieplnej materiałów budowlanych λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie tablic w [4],
- » temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^\circ\text{C}$, temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^\circ\text{C}$,
- » opory przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody (R_{si} , R_{se}) zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [8] w przypadku obliczeń parametrów cieplnych oraz PN-EN ISO 13788:2003 [6] w przypadku określenia czynnika temperaturowego f_{Rsi} ,
- » modelowanie złączy przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008 [3].

Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych zestawiono w TABELI 2.

Wszystkie rozpatrywane rozwiązania materiałowe ścian zewnętrzne (przy zastosowaniu różnych materiałów termoizolacyjnych) spełniają podstawowe wymaganie w zakresie izolacyjności cieplnej od 01.01.2021 r. według rozporządzenia [12]: $U_c < U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K). Zastosowanie łącznika izotermicznego, nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych (o niskich wartościach współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda < 0,04$ W/(m·K)) oraz poprawne ukształtowanie i usytuowanie drzwi balkonowych (przy zastosowaniu np. tulei ze stali nierdzewnej z wypełnieniem styropianowym) pozwala na minimalizację dodatkowych strat ciepła oraz ryzyka obniżenia temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (TABELA 2).

Klasy wpływu mostka cieplnego oparte na ocenie wartości współczynnika Ψ			
C1 $\Psi_{l,e} < 0,1$	C2 $0,1 \leq \Psi_{l,e} < 0,25$	C3 $0,25 \leq \Psi_{l,e} < 0,5$	C4 $\Psi_{l,e} \geq 0,5$
wpływ pomijany	mały wpływ	duży wpływ	bardzo duży wpływ

TABELA 3. Klasyfikacja wpływu mostków cieplnych na straty ciepła; opracowanie własne na podstawie [7]

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dobór układu materiałów dla przegród zewnętrznych i ich złączy nie powinien być przypadkowy, lecz oparty na podstawie obliczeń parametrów fizykalnych. Określenie charakterystyki cieplno-wilgotnościowej mostków cieplnych z uwzględnieniem nowoczesnych rozwiązań technicznych (zastosowanie łączników izotermicznych) i materiałów termoizolacyjnych przy zastosowaniu programu komputerowego daje możliwość uzyskania miarodajnych wyników, odzwierciedlających rzeczywiste straty ciepła. Posługiwanie się wartościami orientacyjnymi dodatkowych strat ciepła (np. według PN-EN ISO 14683:2008 [5]), bez uwzględnienia rodzaju i grubości izolacji cieplnej jest niedopuszczalne w procesie projektowym.

Ocena złączy budowlanych w aspekcie wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ nie jest zdefiniowana (znormalizowana), jednak istnieje możliwość sformułowania pewnych kryteriów w krajowych przepisach (rozporządzenie [12]) dotyczących izolacyjności budynków. Przykładową klasyfikację wpływu mostków cieplnych w zależności od wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ według pracy [7] podano w TABELI 3.

Połączenie ściany zewnętrznej z płytą balkonową z zastosowaniem łączników izotermicznych determinuje dodatkowe straty ciepła w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ na poziomie 0,081–0,157 W/(m·K) (TABELA 1 i 2). Zgodnie z TABELĄ 3 wpływ tego typu złącza (mostka cieplnego) na straty ciepła jest pomijany lub mały.

Zasadne staje się określenie w rozporządzeniu [12] wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_{max} na poziomie 0,05–0,10 W/(m·K) w zależności od specyfiki analizowanego złącza. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych obliczeń parametrów fizykalnych nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy budynków o niskim zużyciu energii w celu wyeliminowania niepoprawnych rozwiązań w aspekcie cieplno-wilgotnościowym.

Jakość cieplna elementów obudowy budynków (przegrody zewnętrzne i złącza budowlane) decyduje o optymalizacji wskaźników zapotrzebowania budynku na energię użytkową (EU), końcową (EK), ale także nieodnawialną pierwotną (EP).

LITERATURA

1. M. Grudzińska, „Balkony o różnej konstrukcji – cieplno-wilgotnościowa ocena mostków cieplnych”, „IZOLACJE” 6/2011, s. 14–16.
2. Dane producentów łączników izotermicznych.
3. PN-EN ISO 10211:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe”.

4. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.
5. PN-EN ISO 14683:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne”.
6. PN-EN ISO 13788:2003, „Ciepło-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania”.
7. P. Wouters, J. Schietecata, P. Standaert, K. Kasperkiewicz, „Ciepło-wilgotnościowa ocena mostków cieplnych”, Wydawnictwo ITB, Warszawa 2004.
8. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
9. Program komputerowy TRISCO-KOBRU 86.
10. A. Dylla, „Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe”, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2015.
11. M. Dybowska, K. Pawłowski, „Balkony – analiza numeryczna parametrów ciepło-wilgotnościowych w świetle nowych wymagań cieplnych”, „IZOLACJE” 6/2014, s. 52–57.
12. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
13. M. Dybowska-Józefiak, K. Pawłowski, Ł. Lewandowski, „Wpływ zastosowania nowoczesnych materiałów izolacyjnych na parametry fizyczne przegród zewnętrznych i ich złączy”, „Materiały budowlane” 1/2017, s. 40–41.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepło-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

**BEZPŁATNA
PRENUMERATA
PRÓBNA!**

ZAMÓW PRENUMERATĘ MIESIĘCZNIKA „IZOLACJE”

Różne warianty prenumeraty
– wybierz odpowiedni dla siebie



**ZAMÓW TELEFONICZNIE:
22 512 60 51**

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

OCIEPLANIE OD WEWNĄTRZ ZGODNE Z WT 2021

Według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa [1] od 1 stycznia 2021 roku będą obowiązywały nowe wartości graniczne współczynnika przenikania ciepła $U_{c(max)}$ dla przegród zewnętrznych (np. dla ścian zewnętrznych $U_{c(max)} = 0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$). Aby spełnić kryterium cieplne: $U_c \leq U_{c(max)}$, należy dobrać odpowiednią grubość zalecanego materiału termoizolacyjnego od strony zewnętrznej i wewnętrznej.

Kolejność położenia poszczególnych warstw nie ma wpływu na izolacyjność termiczną całej przegrody, gdyż wynika on jedynie z sumy oporów cieplnych użytych materiałów. Jednak ocieplanie od wewnątrz, w przeciwieństwie do izolacji termicznej zewnętrznej, wymaga bardziej szczegółowej analizy przegród, przede wszystkim ze względu na zjawiska wilgotnościowe (kondensacja powierzchniowa oraz międzywarstwowa). Dlatego dobór materiału izolacyjnego przy dociepleniu od wewnątrz wymaga wykonania miarodajnych obliczeń i analiz parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy.

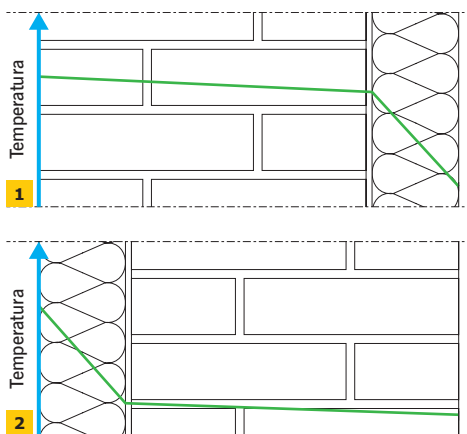
Ocieplenie przegród zewnętrznych od wewnątrz jest projektowane i wykonywane od wielu lat dla grupy budynków, które z różnych względów nie mogą lub nie powinny być ocieplone od zewnątrz. Można do nich zaliczyć:

- » obiekty zabytkowe (budynki wpisane do rejestru zabytków lub objęte ochroną konserwatorską),
- » obiekty o wartości architektonicznej (ciekawy charakter elewacji lub oryginalny wygląd budynku),
- » obiekty z ograniczeniem praw własności (w przypadku gdy część ścian zewnętrznych znajduje się dokładnie na granicy działki),
- » obiekty użytkowane czasowo (ogrzewanie czasowe w nieregularnych okresach).

W literaturze przedmiotu [2–5] szczegółowo opisano charakterystykę materiałów izolacyjnych stosowanych w ociepleniu od wewnątrz oraz mankamenty i doświadczenia w zakresie projektowania i wykonywania dociepleń od strony wewnętrznej.

Podstawową zaletą ocieplenia od wewnątrz jest zmniejszenie ilości energii niezbędnej do ogrzania pomieszczeń o żądanej temperaturze oraz skrócenia czasu nagrzewania. Należy jednak podkreślić, że warstwa izolacji cieplnej od strony wewnętrznej przegrody oddziela konstrukcję muru od środowiska wewnętrznego, co wpływa na zmniejszenie pojemności cieplnej budynku i powoduje wprowadzenie całej warstwy konstrukcyjnej w strefę przemarzania

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

RYS. 1–2. Rozkład temperatur w przegrodzie z izolacją termiczną – ogrzewanie od strony zewnętrznej (1) i wewnętrznej (2); rys.: autor

(RYS. 1–2). Na skutek niskiej temperatury otoczenia znacznie spada temperatura wewnątrz przegrody, powodując kondensację na styku warstwy konstrukcyjnej i izolacji cieplnej [6].

W artykule przedstawiono charakterystykę wybranych materiałów termoizolacyjnych stosowanych przy ociepleniu od strony wewnętrznej. Zaprezentowano także wyniki obliczeń parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy z uwzględnieniem wymagań cieplno-wilgotnościowych obowiązujących od 1 stycznia 2021 r.

PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE DOCIEPLEŃ OD STRONY WEWNĘTRZNEJ

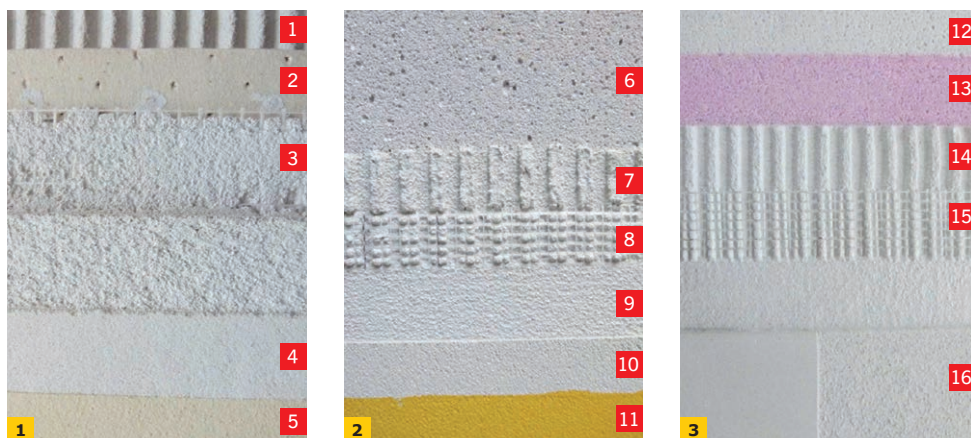
Do ocieplenia od wewnątrz najczęściej stosowane są następujące materiały termoizolacyjne: bloczki z lekkiego betonu komórkowego, płyty klimatyczne, płyty z paneli próżniowych VIP oraz tynki ciepłochronne (renowacyjne).

Mineralne płyty izolacyjne są wykonane z bardzo lekkiej odmiany betonu komórkowego ($\rho_{ob.} = 115 \text{ kg/m}^3$) o stosunkowo niskiej wartości współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Ponadto charakteryzuje się on współczynnikiem oporu dyfuzyjnego $\mu = 3$, co powoduje, że stanowi właściwą termoizolację od wewnątrz (FOT. 1–3).

Płyty klimatyczne wytwarzane są z silikatu wapiennego, będącego materiałem na bazie mineralnej. Kryształki silikatu wapiennego tworzą mikroporowaty szkielet, tworząc wyrób o wysokiej kapilarności (gęstość objętościowa $\rho_{ob.} = 200\text{--}400 \text{ kg/m}^3$, współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,059 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$). Jest to materiał paroprzepuszczalny o współczynniku oporu dyfuzyjnego $\mu = 3\text{--}6$, posiadający otwarte pory, kapilarnie aktywny, przyjazny dla środowiska naturalnego, niepalny oraz zapobiegający tworzeniu się pleśni i zagrzybienia. Wyroby można stosować w pełnym systemie, obejmującym klej, szpachlę i farby. Systemu nie powinno się łączyć z wyrobami na bazie gipsu.

Płyty z paneli próżniowych VIP składają się z rdzenia oraz powłoki w postaci szczelnej membrany zwanej folią. Charakteryzują się niską wartością $\lambda_D = 0,006\text{--}0,007 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ i wysoką wartością współczynnika μ . Płyty powinny być chronione przed uszkodzeniami, wilgocią i nasłonecznieniem. Montaż powinien odbywać się w warunkach suchych. Przygotowywane są do wbudowania jako indywidualny projekt.

Tynki ciepłochronne (renowacyjne) pozwalają uzyskać znacznie lepsze właściwości termoizolacyjne budynku niż przy zastosowaniu zwykłych tynków. Zapobiegają przemarzaniu murów,



FOT. 1–3. Kompleksowe systemy docieplania od wewnątrz: system i-Q Therm (1), system Multipor (2) oraz System TecTem (3); fot.: [24]

1 – masa klejąca, **2** – płyta iQ-Therm, **3** – poryzowana zaprawa mineralna z siatką zbrojącą, **4** – masa szpachlowa, **5** – dyfuzyjna powłoka malarska, **6** – mineralna płyta izolacyjna, **7** – lekka zaprawa, **8** – siatka z włókna szklanego, **9** – lekka zaprawa po zatarciu, **10** – lekka wyprawa zewnętrzna, **11** – farba silikatowa, **12** – płyta silikatowo-perlitowa, **13** – środek gruntujący, **14** – tynk mineralny, **15** – siatka zbrojąca, **16** – masa szpachlowa (gładka lub strukturalna)

a zatem mają duży udział w ograniczeniu utraty ciepła. Ich zaletami są: eliminacja mostków cieplnych oraz wyprowadzanie wilgoci ze ściany. Często jest to gotowa mieszanka do ręcznego i maszynowego nakładania. Sprawdza się zarówno w pracach zewnętrznych, jak i wewnętrznych. Podstawę tynku stanowi niezwykle lekki granulat ze spienionej mączki szklanej i perlitu. Tym dwóm składnikom zawdzięcza swoje wyjątkowe właściwości termoizolacyjne ($\lambda_D = 0,06\text{--}0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$).

Według [7] materiały termoizolacyjne stosowane do ociepleń od strony wewnętrznej można podzielić na następujące grupy:

- » zastosowanie materiału termoizolacyjnego o bardzo wysokim oporze dyfuzyjnym – szkło piankowe o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ i współczynniku oporu dyfuzyjnego $\mu = \infty$ (w praktyce $\mu = 100\,000$), stosowane o grubości od 4 cm do 18 cm,
- » zastosowanie materiału termoizolacyjnego wraz z paroizolacją, np. w postaci folii aluminiowej od strony wewnętrznej oraz warstwy wykończeniowej w postaci np. płyt gipsowo-kartonowych lub termoizolacyjna płyta zespolona z warstwą zapewniającą opór dyfuzyjny (np. płyta składająca się z płyt styropianowych EPS z dodatkiem grafitu oraz płyty gipsowo-kartonowej, a także opcjonalnie z paroizolacją jako warstwą pośrednią); stosowane o grubości termoizolacji od 4 cm do 10 cm (współczynnik oporu dyfuzyjnego $\mu = 30\text{--}70$) [8],
- » zastosowanie materiału dopuszczające wystąpienie kondensacji – wyroby z silikatu wapiennego (płyty klimatyczne). W przypadku wytworzenia się wilgoci pod warstwą ocieplenia nie ma ryzyka występowania pleśni i zagrzybienia muru i degradacji izolacji. Płyty klimatyczne dzięki swojej aktywności kapilarnej pochłaniają wilgoć i rozpraszają ją na całej powierzchni, skąd zostaje ona odparowana. Materiał tego typu nie traci właściwości termoizolacyjnych – wartość współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,059 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, stosowane najczęściej grubości do 5 cm,

a współczynnik oporu dyfuzyjnego wynosi $\mu = 3\text{--}6$ [9]. Innym materiałem termoizolacyjnym w tej grupie są mineralne płyty izolacyjne wykonane z lekkiej odmiany betonu komórkowego (np. Multipor), opisany wcześniej oraz w [10],

» zastosowanie materiału o bardzo niskiej wartości współczynnika przewodzenia ciepła – aerożel. Jest to materiał będący rodzajem sztywnej piany o bardzo niskiej wartości gęstości, który składa się w ponad 90% z powietrza (pozostała część to żel tworzący nanostrukturę). Charakteryzuje się współczynnikiem $\lambda_D = 0,013\text{--}0,018 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Stosowany np. do prac termoizolacyjnych wewnątrz budynku, w miejscach trudno dostępnych [11],

» zastosowanie materiału termoizolacyjnego, który powstaje z połączenia wełny mineralnej z aerożelem, nazywany aerowetną. Charakteryzuje się współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,019 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, a współczynnik oporu dyfuzyjnego $\mu > 3$ [12],

» zastosowanie nowoczesnego materiału termoizolacyjnego – izolacja próżniowa (tzw. modułowy system ocieplenia od wewnątrz), która charakteryzuje się niską wartością współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda_D = 0,007 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ oraz współczynnikiem oporu dyfuzyjnego na poziomie $\mu > 500\,000$. Zalecana grubość izolacji do 3,5 cm z zastosowaniem wykończenia w postaci płyty włóknocementowej [13],

» zastosowanie materiałów ekologicznych, np. w postaci płyt z wełny drzewnej lub z włókien konopnych. To materiały cechujące się bardzo dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi oraz niewielkim oporem dyfuzyjnym. Dodatkowo materiały te mają zbliżone cechy do płyt mineralnych lub płyt klimatycznych, dotyczące aktywności kapilarnej.

W **TABELI 1** zestawiono parametry techniczne wybranych materiałów termoizolacyjnych wykorzystywane w analizie zjawisk ciepło-wilgotnościowych.

Wartości parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy zależą głównie od współczynnika przewodzenia ciepła λ [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$], współczynnika oporu dyfuzyjnego μ [–], dyfuzyjnie równoważnej grubości warstwy powietrza $s_d = \mu \cdot d$ [m] materiałów izolacyjnych. Szczegółową charakterystykę wybranych materiałów izolacyjnych przedstawiono także m.in. w pracach [6, 15].

W przypadku opracowania koncepcji projektowej ocieplenia od wewnątrz zapobiegającej wystąpieniu kondensacji należy uwzględnić warunki mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń. Dlatego zasadne staje się przeprowadzenie obliczeń i analiz w zakresie przyrostu wilgoci w ścianach ocieplonych od wewnątrz ze szczególną starannością i uwzględnieniem zmieniających się warunków eksploatacji. Aby zapewnić prawidłowe warunki eksploatacji, należy zastosować termoizolację o bardzo wysokim współczynniku oporu dyfuzyjnego μ [–] lub dodatkową warstwę izolacji paroszczelnej od strony wewnętrznej. W ten sposób teoretycznie zostaje wyeliminowana dyfuzja pary wodnej z pomieszczeń w konstrukcję ściany. Według normy DIN 4108-3 [16] zaleca się, aby wartość dyfuzyjnie równoważnej grubości warstwy powietrza s_d izolacji termicznej lub zastosowanej paraizolacji przekraczała 1500 m. Tego typu koncepcje rozwiązań zalecane są w przypadku docieplenia ścian w pomieszczeniach mokrych, w których panuje w sposób ciągły podwyższona wilgotność (np. baseny kryte, pralnie). Dodatkowo dopuszcza się, według DIN 4108-3 [16], stosowanie materiałów stanowiących opór dyfuzyjny, dla których dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza s_d zawiera się pomiędzy 0,5 m a 1500 m. Tak szerokie zróżnicowanie wielkości s_d wpływa niejednoznacznie na oceny poprawności realizowanych dociepleń. Materiał, którego s_d wynosi powyżej 0,5 m, jest materiałem „otwartym dyfuzyjnie”, natomiast materiał o s_d niewiele mniejszej niż 1500 m jest określany w praktyce jako „izolacja

Materiał termoizolacyjny	Grubość d [cm]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]	Opór cieplny materiału $R = d/\lambda$ [(m²·K)/W]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego μ [-]
Silikat wapienny	1,5–30	0,042–0,070	^(d = 1,5) 0,357–0,214 ^(d = 30) 7,143–4,286	2–6
Płyty mineralne	1,5– 10	0,040	0,38–2,50	5–7
Mineralny tynk ciepłochronny	2–10	0,07–0,09	^(d = 2) 0,286–0,222 ^(d = 10) 1,492–1,111	7–8
Wełna drzewna + tynk gliniany	4–10	0,045	0,889–2,222	5
Płyty keramzytowo-gliniane	≤17	0,20	0,850	5–10
Szkło piankowe	4–18	0,036	1,11–5,00	∞
Wełna mineralna + aerożel	1,6–5	0,019	0,842–2,632	>3
Folia bąbelkowa	3	0,012	2,50	50 000
Styropian XPS	3–9	0,029	1,03–3,10	650
Wełna drzewna	2–10	0,04	0,50–2,50	3
Płyty korkowo-gliniane	2–20	0,07	0,286–2,857	9–11
Płyty korkowe	2–10	0,04	0,50–2,50	25–30
Płyty z włókien konopnych	3–22	0,04	0,75–5,50	1
Celuloza	6–8	0,037	1,62–2,16	2,4
Pianka rezolowa	3–14	0,022	1,36–6,36	38
		0,020	1,5–7,0	
		0,018	1,67–7,78	
Płyty z paneli próżniowych	1–4	0,007	1,43–5,71	500 000
Płyty z pianki poliuretanowej	5–15	0,022	2,27–6,82	60

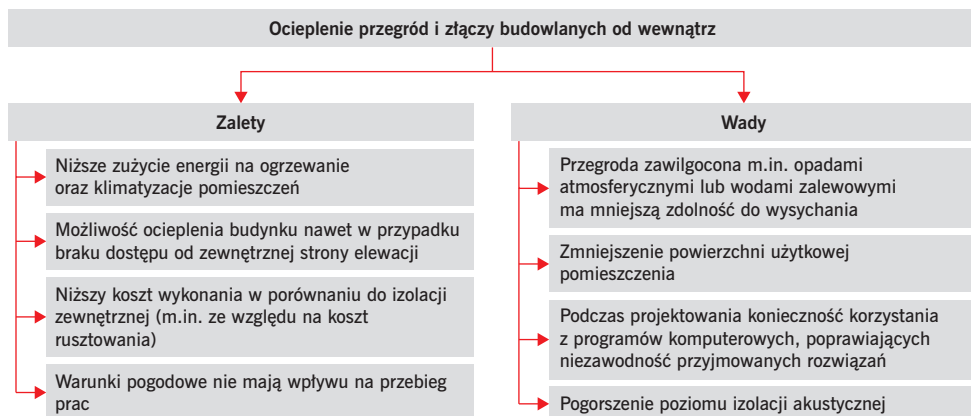
TABELA 1. Parametry techniczne wybranych materiałów termoizolacyjnych stosowanych w ogrzewaniach od wewnątrz w aspekcie cieplno-wilgotnościowym – opracowanie własne na podstawie [7, 14]

paroszczelna”. W takim przypadku niezbędne staje się przeprowadzenie symulacji wilgotnościowej analizowanej przegrody budowlanej w pełnym roku jej eksploatacji. Ilość zakumulowanej wilgoci, która jest dopuszczalna w odniesieniu do tego typu koncepcji ogrzewania, musi być na takim poziomie, aby umożliwić jej wyparowanie w kierunku użytkowanego pomieszczenia lub nie powodować akumulacji w kolejnych latach. Istotne jest dodatkowo zapewnienie pełnej szczelności na niekontrolowaną infiltrację powietrza [7].

Na podstawie przeprowadzonych analiz przedstawiono zalety i wady ogrzewania przegród od wewnątrz – RYS. 3.

IZOLACYJNOŚĆ CIEPLNA ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH OGRZEWANYCH OD WENĘTRZ

Dobór materiału termoizolacyjnego do ogrzewania od wewnątrz nie powinien być przypadkowy, lecz oparty na podstawie znajomości parametrów technicznych warstw przegrody. Na wstępie, aby spełnić podstawowe kryterium cieplne ($U_c \leq U_{c(max)}$), należy ustalić grubość materiału



RYS. 3. Zalety i wady ocieplenia przegród i złączy budowlanych od wewnątrz; rys.: autor

termoizolacyjnego (TABELA 1) o zróżnicowanej wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)].

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

Obliczono współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] ściany zewnętrznej z cegły pełnej grubości 25 cm i 37 cm, ocieplonej od strony wewnętrznej różnymi materiałami, zgodnie z procedurą normy PN-EN ISO 6946:2008 [17].

Do obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] przyjęto następujące założenia:

» opór przejmowania ciepła dla ściany; wartości oporu przejmowania ciepła zostały przyjęte według PN-EN ISO 6946:2008 [17] dla poziomego kierunku strumienia ciepła:

- opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{se} = 0,04$ (m²·K)/W,
- opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{si} = 0,13$ (m²·K)/W,

» wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] przyjęto na podstawie TABELI 1 i tablic – załącznik do pracy [18].

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c dla analizowanych rozwiązań materiałowych ściany zewnętrznej zestawiono w TABELI 2.

Istotny wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła przegrody budowlanej U_c [W/(m²·K)] ma wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)] materiału izolacyjnego. W odniesieniu do jednego rodzaju izolacji może się ona wahać w znacznym przedziale w zależności od produktu, co wynika z szybkiego rozwoju rynku materiałów termoizolacyjnych oraz coraz bardziej zaawansowanych technologii produkcyjnych. W obliczeniach różnicowano grubość warstwy izolacji cieplnej i wartość współczynnika przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego λ [W/(m·K)]. Dodatkowo zamieszczono poziomy wymagań co do izolacyjności cieplnej $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)] według rozporządzenia [1], obowiązujące od 1.01.2021 r. (rozwiązania materiałowe ścian zewnętrznych spełniających kryterium cieplne: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K) – zaznaczono kolorem zielonym – TABELA 2).

	Warstwy materiałowe	d [m]	λ [W/(m·K)]	x [m]	Wartości współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] w zależności współczynnika przewodzenia ciepła materiałów izolacji cieplnej λ [W/(m·K)]						
					I	II	III	IV	V	VI	VII
					0,059	0,040	0,038	0,031	0,022	0,015	0,007
I	Cegła pełna Izolacja cieplna Płyty gipsowo-kartonowe	0,25 x	0,77 γ^1	0,10	0,45	0,33	0,31	0,27	0,20	0,14	0,07
				0,12	0,39	0,28	0,27	0,23	0,17	0,12	0,06
		0,02	0,40	0,15	0,32	0,23	0,22	0,19	0,14	0,10	–
				0,20	0,25	0,18	0,17	0,14	0,10	0,07	–
II	Cegła pełna Izolacja cieplna Płyty gipsowo-kartonowe	0,37 x	0,77 γ^1	0,10	0,42	0,31	0,30	0,25	0,19	0,14	0,07
				0,12	0,37	0,27	0,26	0,22	0,16	0,11	0,06
		0,02	0,40	0,15	0,31	0,22	0,22	0,18	0,13	0,09	–
				0,20	0,24	0,18	0,17	0,14	0,10	0,07	–

TABELA 2. Wyniki obliczeń wartości współczynnika przenikania ciepła U_c według PN-EN ISO 6946:2008 [17] w odniesieniu do ściany zewnętrznej z cegły pełnej ocieplonej od wewnątrz

Objaśnienia:

γ^1 warianty izolacji cieplnej: I – płyty klimatyczne $\lambda = 0,059$ W/(m·K),

II – lekka odmiana betonu komórkowego $\lambda = 0,040$ W/(m·K), III – płyty z wełny mineralnej $\lambda = 0,038$ W/(m·K),

IV – płyty ze styropianu grafitowego $\lambda = 0,031$ W/(m·K), V – płyty rezolowe $\lambda = 0,022$ W/(m·K),

VI – płyty aerożelowe $\lambda = 0,015$ W/(m·K), VII – płyty z paneli próżniowych VIP $\lambda = 0,007$ W/(m·K);

dla wariantu VII obliczenia wykonano tylko dla gr. 10 i 12 cm zgodnie z zaleceniami producenta

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymaganie: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K)

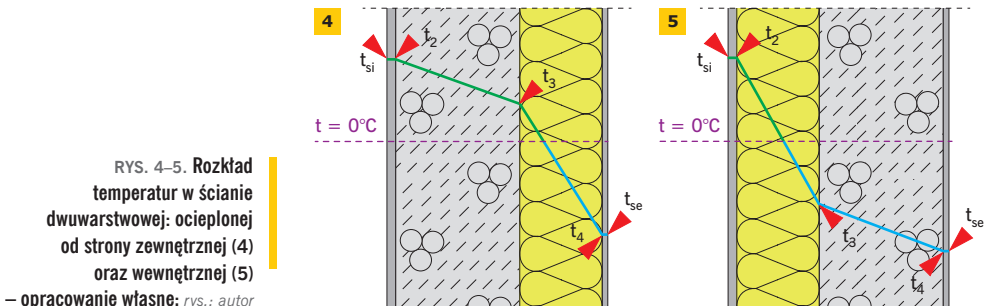
Oprócz znajomości izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych istotne staje się określenie rozkładu temperatury przy założeniu temperatury powietrza wewnętrznego t_i i zewnętrznego t_e .

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

Określono rozkład temperatur w dwuwarstwowej ścianie zewnętrznej z ociepleniem usytuowanym od zewnątrz i wewnątrz (RYS. 4–5, TABELA 3–4).

Do określenie rozkładu temperatur w ścianie zewnętrznej przyjęto następujące założenia:

» temperatura obliczeniowa zewnętrzna (Toruń – III strefa klimatyczna: $t_e = -20^\circ\text{C}$),



Ip.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,25
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
3	Błoczek betonu komórkowego	0,24	0,21	1,14
4	Płyty styropianowe	0,15	0,04	3,75
5	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,01
6	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
				$R_T = 5,23$ $U = 1/R_T = 0,191$

TABELA 3. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej dwuwarstwowej (ocieplenie od zewnątrz)

Ip.	Warstwa	d [m]	λ [W/(m·K)]	R [(m²·K)/W]
1	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,25
2	Tynk gipsowy	0,015	0,40	0,04
3	Płyty styropianowe	0,15	0,04	3,75
4	Błoczek betonu komórkowego	0,24	0,21	1,14
5	Tynk cienkowarstwowy	0,005	0,76	0,01
6	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
				$R_T = 5,23$ $U = 1/R_T = 0,191$

TABELA 4. Zestawienie danych materiałowych ściany zewnętrznej dwuwarstwowej (ocieplenie od wewnątrz)

» temperatura obliczeniowa wewnętrzna (pomieszczenia przeznaczone do przebywania ludzi bez okryć zewnętrznych nie wykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej – pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie, korytarze: $t_i = 20^\circ\text{C}$),

» opory przejmowania ciepła dla ściany:

- opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$,
- opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody: $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$.

W TABELACH 5–6 zestawiono wyniki obliczeń.

Należy podkreślić, że ocieplenie ściany zewnętrznej od wewnątrz powoduje, że jej warstwa konstrukcyjna (beton komórkowy) znajduje się w strefie przemarzania ($t < 0^\circ\text{C}$). Takie zjawisko może spowodować zmianę parametrów technicznych i fizycznych (cieplno-wilgotnościowych) analizowanej przegrody.

KSZTAŁTOWANIE PARAMETRÓW FIZYKALNYCH ZŁĄCZY PRZEGRÓD OCIEPLONYCH OD WEWNĄTRZ

Budynek stanowi zbiór przegród budowlanych i ich złączy o indywidualnym charakterze fizycznym i poddany jest oddziaływaniu środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. W wielu

Charakterystyczne temperatury	t [°C]
temperatura powietrza wewnętrznego: $t_i = 20^\circ\text{C}$	20,00
temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{si} = t_i - U \cdot \Delta t \cdot R_{si} = 20 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,25 =$	18,088
temperatura na styku tynk gipsowy – bloczek z betonu komórkowego: $t_2 = t_{si} - U \cdot \Delta t \cdot R_2 = 18,092 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	17,782
temperatura na styku bloczek z betonu komórkowego – styropian: $t_3 = t_2 - U \cdot \Delta t \cdot R_3 = 17,786 - 0,191 \cdot 40 \cdot 1,14 =$	9,063
temperatura na styku styropian – tynk cienkowarstwowy: $t_4 = t_3 - U \cdot \Delta t \cdot R_4 = 9,084 - 0,191 \cdot 40 \cdot 3,75 =$	-19,618
temperatura na zewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{se} = t_4 - U \cdot \Delta t \cdot R_5 = -19,542 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,01 =$	-19,694
temperatura powietrza zewnętrznego: $t_e = t_{se} - U \cdot \Delta t \cdot R_{se} = -19,695 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	-20,000

TABELA 5. Zestawienie temperatur na stykach warstw materiałowych (ściana ocieplona od zewnątrz)

Charakterystyczne temperatury	t [°C]
temperatura powietrza wewnętrznego: $t_i = 20^\circ\text{C}$	20,00
temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{si} = t_i - U \cdot \Delta t \cdot R_{si} = 20 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,25 =$	18,088
temperatura na styku tynk gipsowy – płyty styropianowe: $t_2 = t_{si} - U \cdot \Delta t \cdot R_2 = 18,092 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	17,782
temperatura na styku płyty styropianowe – bloczki z betonu komórkowego: $t_3 = t_2 - U \cdot \Delta t \cdot R_3 = 17,786 - 0,191 \cdot 40 \cdot 3,75 =$	-10,899
temperatura na styku bloczki z betonu komórkowego – tynk cienkowarstwowy: $t_4 = t_3 - U \cdot \Delta t \cdot R_4 = 9,084 - 0,191 \cdot 40 \cdot 1,14 =$	-19,542
temperatura na zewnętrznej powierzchni przegrody: $t_{se} = t_4 - U \cdot \Delta t \cdot R_5 = -19,542 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,01 =$	-19,694
temperatura powietrza zewnętrznego: $t_e = t_{se} - U \cdot \Delta t \cdot R_{se} = -19,695 - 0,191 \cdot 40 \cdot 0,04 =$	-20,000

TABELA 6. Zestawienie temperatur na stykach warstw materiałowych (ściana ocieplona od wewnątrz)

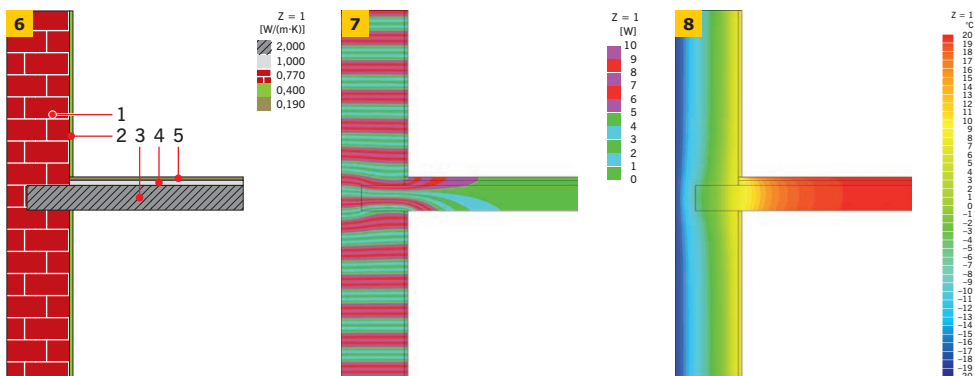
przypadkach analiza przegród i złączy budowlanych w aspekcie konstrukcyjno-materiałowym i technologii wykonania nie budzi zastrzeżeń na etapie projektowania. Natomiast znajomość ich parametrów fizykalnych, związanych z wymianą ciepła i wilgoci, pozwala na uniknięcie wielu wad korozyjnych i fizykalnych. Szczególnie dotyczy to przegród ocieplonych od wewnątrz.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 3

Obliczono parametry fizykalne wybranych złączy przegród przed ociepleniem oraz ocieplonych od strony wewnętrznej.

W przykładzie zaprezentowano wyniki obliczeń i analiz parametrów fizykalnych złączy:

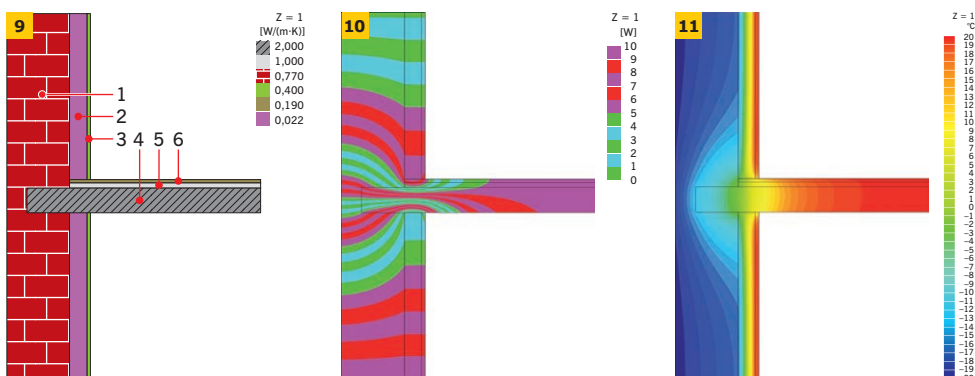
- » połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec (RYS. 6–11),
- » połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę (RYS. 12–20).



RYS. 6–8. Charakterystyka połączenia ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec bez ocieplenia (warian I):

model obliczeniowy (6), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (7) i linie rozkładu temperatur (izotermy) (8); rys.: autor

1 – cegła pełna gr. 37 cm, $\lambda = 0,77 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 2 – płyta gipsowo-kartonowa gr. 2 cm, $\lambda = 0,40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 3 – strop żelbetowy gr. 15 cm, $\lambda = 2,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 4 – wylewka cementowa gr. 3 cm, $\lambda = 1,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 5 – parkiet drewniany gr. 2 cm, $\lambda = 0,19 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



RYS. 9–11. Charakterystyka połączenia ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec z ociepleniem od strony wewnętrznej (warian II): model obliczeniowy (9), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (10) i linie rozkładu temperatur (izotermy) (11); rys.: autor

1 – cegła pełna gr. 37 cm, $\lambda = 0,77 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 2 – płyty rezolowe gr. x cm, $\lambda = 0,22 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 3 – płyta gipsowo-kartonowa gr. 2 cm, $\lambda = 0,40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 4 – strop żelbetowy gr. 15 cm, $\lambda = 2,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 5 – wylewka cementowa gr. 3 cm, $\lambda = 1,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 6 – parkiet drewniany gr. 2 cm, $\lambda = 0,19 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

Do obliczeń numerycznych, przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU 86 [19], przyjęto następujące założenia:

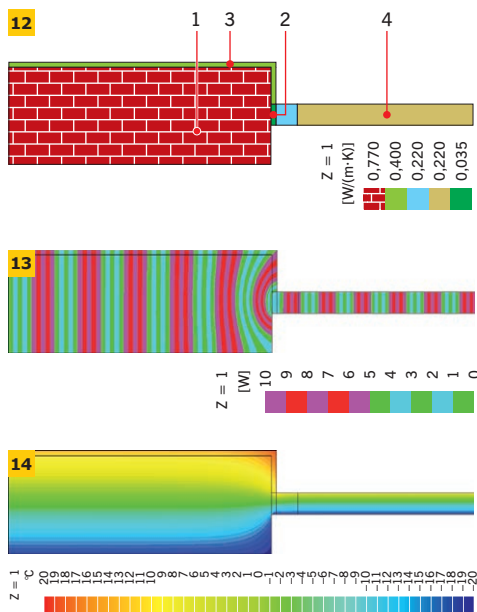
- » modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [20],
- » opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [17] przy obliczeniach strumieni ciepłych oraz według PN-EN ISO 13788:2003 [21] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$,
- » 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 [W/(m·K)] przyjęto na podstawie tablic zamieszczonych w pracy [18].

Na RYS. 6–20 przedstawiono analizowane warianty obliczeniowe. Szczegółowe procedury obliczeniowe parametrów fizycznych złączy zaprezentowano m.in. w pracy [18]. Wyniki obliczeń zaprezentowano w TABELACH 7–8.

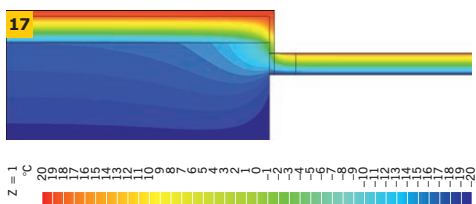
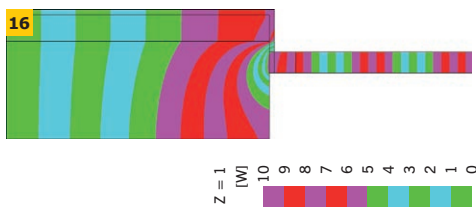
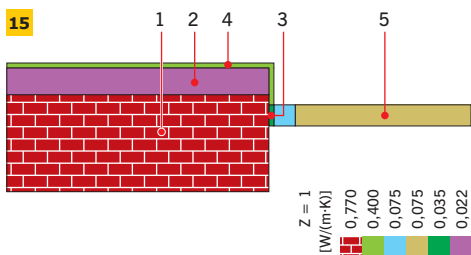
Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (TABELA 7–8) można stwierdzić, że analizowane złącza generują dodatkowe straty ciepła określone m.in. w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [W/(m·K)] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody t_{min} [°C]. Parametry fizyczne złączy ścian zewnętrznych po ociepleniu od wewnątrz zależą od usytuowania i grubości materiału termoizolacyjnego (TABELA 7–8). Należy zwrócić uwagę, że ocieplenie od wewnątrz bez węgarka (przedłużenia ocieplenia na ościeżnicę – RYS. 15–17) powoduje znacznie wyższe dodatkowe straty ciepła (Φ , L^{2D} , Ψ_i) oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody (t_{min} , $f_{Rsi(2D)}$) niż rozwiązanie z węgarkiem – RYS. 18–20. Takie rozwiązanie powoduje ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (rozwój pleśni i grzybów pleśniowych), kondensacji międzywarstwowej oraz zwiększenie ilości energii koniecznej do ogrzania pomieszczeń do żądanej temperatury.

Spełnienie kryterium w zakresie uniknięcia występowania ryzyka kondensacji powierzchniowej (rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych): $f_{Rsi(2D)} \geq f_{Rsi(kryt.)}$ wymaga określenia wartości $f_{Rsi(2D)}$ na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (2D) t_{min} [°C] oraz wartości $f_{Rsi(kryt.)}$ uwzględniającej parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego (wilgotność i temperatura powietrza). Według normy PN-EN ISO 13788:2003 [21] czynnik temperaturowy $f_{Rsi(kryt.)}$ oblicza się lub przyjmuje w zależności od zastosowanego w budynku rodzaju wentylacji (wentylacja grawitacyjna – dominująca w budownictwie mieszkaniowym lub wentylacja mechaniczna, często będąca składnikiem systemów klimatyzacyjnych pozwalających w prawie dowolny sposób kształtować właściwości mikroklimatu wnętrza). Wartość maksymalna z 12 miesięcy w odniesieniu do lokalizacji (Bydgoszcz) $f_{Rsi(max)} = f_{Rsi(kryt.)} = 0,785$ (luty). Oznacza to, że w każdym miesiącu roku i dla wszystkich innych wartości temperatur brzegowych dla uniknięcia kondensacji powierzchniowej $f_{Rsi(2D)}$ powinien być większy niż 0,785. W pewnych przypadkach (TABELA 7–8) warunek: $f_{Rsi(2D)} \geq f_{Rsi(kryt.)}$



RYS. 12–14. Charakterystyka połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę bez ocieplenia (wariant III): model obliczeniowy (12), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (13) i linie rozkładu temperatur (izotermy) (14); rys.: autor

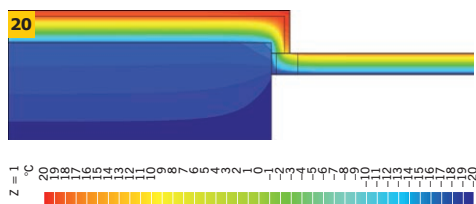
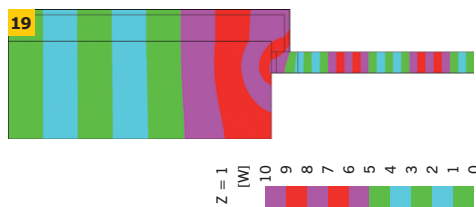
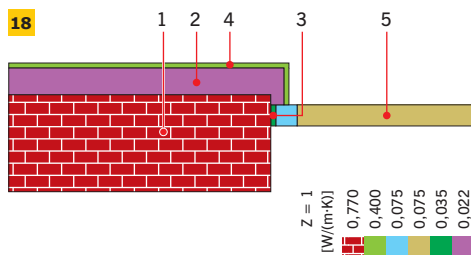
1 – cegła pełna gr. 37 cm, $\lambda = 0,77$ W/(m·K),
 2 – pianka montażowa gr. 2 cm,
 $\lambda = 0,035$ W/(m·K), 3 – płyta gipsowo-kartonowa
 gr. 2 cm, $\lambda = 0,40$ W/(m·K), 4 – stolarka okienna
 $\lambda = 0,22$ W/(m·K) – $U_{w1} = 1,87$ W/(m²·K)/
 $/\lambda = 0,075$ W/(m·K) – $U_{w2} = 0,81$ W/(m²·K)



RYS. 15–17. Charakterystyka połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę z ociepleniem od strony wewnętrznej bez węgarka (wariant IV): model obliczeniowy (15), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (16) i linie rozkładu temperatur (izotermy) (17);

rys.: autor

1 – cegła pełna gr. 37 cm, $\lambda = 0,77$ W/(m·K),
 2 – płyty rezolowe gr. x cm, $\lambda = 0,22$ W/(m·K),
 3 – pianka montażowa gr. 2 cm, $\lambda = 0,035$ W/(m·K), 4 – płyta gipsowo-kartonowa gr. 2 cm, $\lambda = 0,40$ W/(m·K), 5 – stolarka okienna $\lambda = 0,075$ W/(m·K) – $U_{w2} = 0,81$ W/(m²·K)



RYS. 18–20. Charakterystyka połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę z ociepleniem od strony wewnętrznej z węgarkiem (wariant V): model obliczeniowy (18), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (19) i linie rozkładu temperatur (izotermy) (20);

rys.: autor

1 – cegła pełna gr. 37 cm, $\lambda = 0,77$ W/(m·K),
 2 – płyty rezolowe gr. x cm, $\lambda = 0,22$ W/(m·K),
 3 – pianka montażowa gr. 2 cm, $\lambda = 0,035$ W/(m·K), 4 – płyta gipsowo-kartonowa gr. 2 cm, $\lambda = 0,40$ W/(m·K), 5 – stolarka okienna $\lambda = 0,075$ W/(m·K) – $U_{w2} = 0,81$ W/(m²·K)

nie został spełniony, w związku z czym istnieje możliwość (ryzyko) występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody.

W rozporządzeniu [1], mimo uznania normy PN-EN ISO 13788 [21] za obowiązującą w projektowaniu, istnieje odstępstwo od jej wymagań polegające na przyjęciu średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w stałej wartości $\varphi_i = 0,50$ (50%) (punkt 2.2.2 Załącznika nr 2 [1]) dla pomieszczeń z temperaturą wewnętrzną równą co najmniej 20°C. Równocześnie dopuszczono (bez obliczeń) dla tych pomieszczeń przyjmowanie wartości czynnika $f_{Rsi(kryt)} = 0,72$, co praktycznie oznacza rezygnację z ustalania klas wilgotności pomieszczeń zaopatrzonych w wentylację grawitacyjną. To odstępstwo nie pozwala na uwzględnienie w obliczeniach wilgotnościowych realnych warunków lokalizacyjnych (klimatycznych) oraz mikroklimatycznych badanego budynku, przynajmniej w odniesieniu do pomieszczeń o temperaturze

warianty	Parametry fizyczne					
	$U_c (U_{1D})$ [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L^{2D} [W/(m·K)]	Ψ_i [W/(m·K)]	$t_{min.}$ [°C]	$f_{Rsi(2D)}$ [-]
I	1,43	132,33	3,31	0,453	7,87	0,697
II (x = 12 cm) ¹⁾	0,16	36,46	0,91	0,587	11,79/7,91	0,698
II (x = 15 cm) ¹⁾	0,13	33,18	0,83	0,563	12,19/8,46	0,712

TABELA 7. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec – opracowanie własne

Objaśnienia:

¹⁾ ocieplenie w postaci płyt rezolowych o $\lambda = 0,022$ W/(m·K) o grubości x = 12 cm i x = 15 cm

$U_c (U_{1D})$ – współczynnik przenikania ściany zewnętrznej [W/(m²·K)]

Φ – strumień ciepły przepływający przez złącze [W]

L^{2D} – współczynnik sprzężenia cieplnego [W/(m·K)]

Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła [W/(m·K)]

$t_{min.}$ – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody [°C]

$f_{Rsi(2D)}$ – czynnik temperaturowy [-]

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c ścian zewnętrznych spełniających wymagania: $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K)

Warianty	Parametry fizyczne					
	$U_c (U_{1D})/U_w$ [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L^{2D} [W/(m·K)]	Ψ_i [W/(m·K)]	$t_{min.}$ [°C]	$f_{Rsi(2D)}$ [-]
IIIa	1,43/1,87	119,50	2,988	0,148	8,16	0,704
IIIb	1,43/ 0,81	87,62	2,191	0,150	9,98	0,750
IV (x = 12 cm) ¹⁾	0,16/0,81	38,77	0,969	0,194	1,93	0,548
IV (x = 15 cm) ¹⁾	0,13/0,81	37,77	0,944	0,198	1,83	0,546
V (x = 12 cm) ¹⁾	0,16/0,81	31,85	0,796	0,061	11,59	0,790
V (x = 15 cm) ¹⁾	0,13/0,81	30,73	0,768	0,063	11,54	0,789

TABELA 8. Wyniki obliczeń parametrów fizycznych połączenia ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę – opracowanie własne

Objaśnienia:

¹⁾ ocieplenie w postaci płyt rezolowych o $\lambda = 0,022$ W/(m·K) o grubości x = 12 cm i x = 15 cm

$U_c (U_{1D})$ – współczynnik przenikania ściany zewnętrznej [W/(m²·K)]

U_w – współczynnik przenikania ciepła stolarki okiennej [W/(m²·K)]

Φ – strumień ciepły przepływający przez złącze [W]

L^{2D} – współczynnik sprzężenia cieplnego [W/(m·K)]

Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła [W/(m·K)]

$t_{min.}$ – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody [°C]

$f_{Rsi(2D)}$ – czynnik temperaturowy [-]

Kolorem zielonym zaznaczono w tabeli wartości współczynnika przenikania ciepła U_c/U_w spełniające wymagania: dla ściany zewnętrznej $U_c \leq U_{c(max)} = 0,20$ W/(m²·K), dla stolarki okiennej $U_w \leq U_{w(max)} = 0,90$ W/(m²·K)

wewnętrznej $t_i \geq 20^\circ\text{C}$, dość drastycznie obniżając poziom wymagań w zakresie ochrony przed zagrzybieniem budynków położonych w Polsce w ostrzejszych strefach klimatycznych (strefa IV i V).

Sprawdzenie warunku w zakresie występowania kondensacji międzywarstwowej przeprowadza się metodą szacunkową Gläsera przedstawioną w normie PN-EN ISO 13788:2003 [21]. Norma ta budzi wiele wątpliwości co do jakości uzyskiwanych wyników obliczeń i sposobu ich

interpretacji, dlatego zaleca się przeprowadzenie obliczenia metodą numeryczną. Metody symulacyjne opierają się na zaawansowanych programach komputerowych do symulacji zjawisk ciepło-wilgotnościowych, np. WUFI-PRO 5.0. Wyniki w zakresie kondensacji międzywarstwowej, przy zróżnicowanym zastosowaniu materiału termoizolacyjnego, zaprezentowano m.in. w pracach [15, 22].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Docieplenie ścian zewnętrznych od wewnątrz jest powszechnie stosowanym działaniem w zakresie termomodernizacji istniejących budynków w celu osiągnięcia obowiązujących i zmieniających się wymagań w aspekcie ciepło-wilgotnościowym.

Projektowanie tego typu dociepleń na podstawie obliczeń przybliżonych, np. dotyczących tylko płaskiej przegrody, określając współczynnik przenikania ciepła w polu jednowymiarowym U_c (U_{1D}), jest niedopuszczalne. Zasadne staje się wykonanie obliczeń parametrów fizykalnych złączy przegród zewnętrznych z uwzględnieniem odpowiednich parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, prezentowane w przykładzie obliczeniowym 3 oraz m.in. w pracy [23]. Na ich podstawie należy opracować karty katalogowe poprawnie zaprojektowanych złączy przegród zewnętrznych po ociepleniu od wewnątrz.

Rozwiązanie materiałowe ocieplenia przegród budynku od strony wewnętrznej zależy od następujących czynników: eksploatacja pomieszczeń, rodzaj materiału konstrukcyjnego ścian oraz materiału użytego do ocieplenia, technologia zamocowania dodatkowej termoizolacji. Szczegółowe analizy w zakresie projektowania i wykonywania dociepleń od wewnątrz przedstawiono także m.in. w pracy [24].

LITERATURA

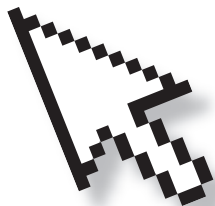
1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
2. K. Arbiter, „Innendaemmung”, Wydawnictwo Rudolf Mueller, Koeln 2014.
3. R. Bynum, „Insulation Handbook” McGraw-Hill 2001.
4. M. Pfundstein, „Detal Practice: Insulating Materials. Principles, Materials and Applications”, Birkhauser GmbH, 2008.
5. Powell & Stanley L. Matthews, „Insulation, Materials and Systems”, ASTM 1997.
6. M. Wesołowska, K. Pawłowski, „Aspekty związane z dostosowaniem obiektów istniejących do standardu budownictwa energooszczędnego”, Agencja Reklamowa TOP, Włocławek 2016.
7. B. Orlik-Koździej, P. Krause, T. Steidl, „Rozwiązania materiałowe w ociepleniach od wewnątrz”, „IZOLACJE” 11/12/2015, s. 30–34.
8. Strona internetowa: www.knauf.pl
9. Strona internetowa: www.ecovario.pl
10. Strona internetowa: www.xella.pl
11. EnergieCluster. Kurs HLWD 2011, Innendämmung.
12. Deutsche Rockwool Mineralwool.

13. Strona internetowa: www.variotec.de
14. K. Arbeter, „Innendaemmung”, Wyd. Rudolf Mueller, Koeln 2014.
15. M. Dybowska-Józefiak, K. Pawłowski, „Analiza rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych ocieplonych od wewnątrz”, „Materiały Budowlane” 1/2017, s. 31–33.
16. DIN 4108-3 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz. Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.
17. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
18. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.
19. Program komputerowy TRISCO-KOBRU 86.
20. PN-EN ISO 10211:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe”.
21. PN-EN ISO 13788:2003, „Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania”.
22. M. Dybowska-Józefiak, K. Pawłowski, „Renowacja ścian zewnętrznych budynków ocieplonych od wewnątrz – wybrane aspekty fizyczne”, „Materiały Budowlane” 11/2015, s. 128–130.
23. K. Pawłowski, „Parametry fizyczne złączy ścian zewnętrznych po ociepleniu od wewnątrz – studium przypadku”, XVI Polska Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Łódź 2017. Materiały konferencyjne. Referaty, Instytut Fizyki Budowli Katarzyna i Piotr Klemm S.C., s. 173–177.
24. R. Wójcik, „Docieplenie budynków od wewnątrz”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2018.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwa na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

 **IZOLACJE.com.pl**

budownictwo | przemysł | ekologia



DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

148

PRZEGRODY STYKAJĄCE SIĘ Z GRUNTEM – WYMAGANIA CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWE

Projektowanie przegród stykających się z gruntem w standardzie energooszczędnym jest kompleksowym działaniem projektanta i wymaga znajomości szczegółowych zagadnień z zakresu fizyki budowli, budownictwa ogólnego, materiałów budowlanych oraz przepisów prawnych w zakresie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Zasadniczą zmianą rozporządzenia w zakresie ochrony cieplnej budynków [1] jest zmiana wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła $U_{c(max)}$. Zaostrzeniu uległy wymagania częściowe w zakresie izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych, dachów, podłóg oraz okien i drzwi. Ponadto nie ma już znaczenia typ przegrody (wielo- czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenie obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.). Wartości maksymalne współczynników podłóg na gruncie, zgodnie z załącznikiem 2 do rozporządzenia [1], zestawiono w **TABELI 1**.

Według rozporządzenia [1] dopuszcza się dla budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego większe wartości współczynnika U niż $U_{c(max)}$ oraz $U_{(max)}$ określone w **TABELI 1**, jeśli uzasadnia to rachunek efektywności ekonomicznej inwestycji, obejmujący koszt budowy i eksploatacji budynku. Ponadto w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności

Rodzaj przegrody	Temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m ² ·K)]			
		do 31.12.2013 r. ²⁾	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 01.01.2021 r. ¹⁾
Podłogi na gruncie	$t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$	0,45	0,30	0,30	0,30
	$8^{\circ}\text{C} \leq t_i < 16^{\circ}\text{C}$	1,20	1,20	1,20	1,20
	$t_i < 8^{\circ}\text{C}$	1,50	1,50	1,50	1,50

TABELA 1. Wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] dla ścian, podłóg na gruncie, stropów, dachów i stropodachów [1]

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura wewnętrzna, której wartość określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia [1]

t_i – temperatura obliczeniowa ogrzewanego pomieszczenia zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia [1]

¹⁾ od 1.01.2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością

²⁾ według rozporządzenia WT 2008

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

149

publicznej, produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej $R_{min.} = 2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [2] oraz PN-EN ISO 13370:2008 [3].

PRZEGRODY STYKAJĄCE SIĘ Z GRUNTEM – PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNO-MATERIAŁOWE

W przypadku połączenia budynku z gruntem należy poprawnie zaprojektować i wykonać nie tylko posadzkę na gruncie, ale również ścianę fundamentową, izolację cieplną oraz przeciwwilgociową i przeciwwodną. Dobór materiałów dla tych przegród nie może być przypadkowy i należy przy nim uwzględniać zagadnienia konstrukcyjno-materiałowe oraz cieplno-wilgotnościowe. Szczególnie ważne jest prawidłowe konstruowanie złącza na styku podłoga na gruncie–ściana fundamentowa–ściana parteru budynku. Bardzo istotny jest odpowiedni wybór i kształtowanie następujących elementów przegród stykających się z gruntem:

- » ściany fundamentowe (monolityczne, murowane z różnych materiałów),
- » izolacje przeciwwilgociowe i przeciwwodne (izolacje przeciwwilgociowe typu lekkiego, średniego i ciężkiego),
- » izolacje cieplne ścian fundamentowych, części nadziemnej budynku oraz posadzki na gruncie.

Ściana fundamentowa, jako ściana zewnętrzna ograniczająca podłogę na gruncie, uczestniczy w przekazywaniu strumienia ciepłego między pomieszczeniem a atmosferą lub pomieszczeniem, gruntem i atmosferą. Jako bariera dla przenikania ciepła powinna zapewniać wystarczający opór cieplny, np. przez zastosowanie materiału termoizolacyjnego do wykonania izolacji obwodowej (krawędziowej) [4].

Fundament stanowi podstawowy element konstrukcyjny budynku, który zapewnia bezpieczeństwo obiektów budowlanych i zabezpieczenie przed ich nadmiernym i nierównomiernym osiadaniem. Przejmuje obciążenia pochodzące z obiektu i przenosi je na podłoże gruntowe. Błędy projektowe i wykonawcze w tym zakresie mogą spowodować nadmierne odkształcenia oraz pęknięcia pozostałych elementów budynku, doprowadzając niekiedy do jego zniszczenia. Fundamenty można podzielić na dwie podstawowe grupy: płytkie (bezpośrednie) i głębokie (pośrednie). Posadowienie fundamentów (głębokość posadowienia) zależy przede wszystkim od głębokości przemarzania gruntu, rodzaju i uwarstwienia gruntu, poziomu występowania wody gruntowej, przewidywanego poziomu posadzki piwnicy oraz wpływu sąsiednich obiektów budowlanych. W terenie, na którym występuje wysoki poziom wody gruntowej, roboty fundamentowe prowadzi się po wcześniejszym obniżeniu wody lub stałym odcięciu jej napływu do poziomu głębszego o przynajmniej 0,5 m poniżej przewidywanego poziomu wykopów.

W rozdziale 4 rozporządzenia [1] sformułowano szczegółowe wytyczne w zakresie ochrony przed zawilgoceniem i korozją biologiczną rozpatrywanych przegród (fragment rozporządzenia przytoczono na s. 14).

Do ocieplania przegród stykających się z gruntem (izolacja obwodowa), cokołów i podłóg najczęściej stosowane są następujące materiały termoizolacyjne: polistyren ekstrudowany (XPS), płyty z pianek poliuretanowych, szkło piankowe.

Polistyren ekstrudowany (XPS) jest sztywną pianą charakteryzującą się znaczącą wytrzymałością na ściskanie oraz odpornością na wilgoć. Takie właściwości pozwalają na efektywne zastosowanie wyrobu do izolacji poziomej i pionowej przegród stykających się z gruntem, lecz także izolacji tarasów i stropodachów pełnych, odwróconych i zielonych. Współczynnik przewodzenia ciepła płyt z polistyrenu ekstrudowanego zależy od grubości tych płyt i wynosi $\lambda_D = 0,035\text{--}0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Płyty z poliuretanu (PUR) i poliizocyanuratu (PIR) – twarde płyty piankowe, które są odporne termicznie i niepalne, o niższych wartościach współczynnika przewodzenia ciepła niż np. wełna mineralna i styropian. Występują w postaci pianki o porach otwartych (spieniona na budowie) i o porowatości zamkniętej (płyty z osłoną lub bez osłony). Sztywne płyty stosowane są jako izolacja ścian, dachów drewnianych (system podkrokwiovy i nadkrokwiovy, stropodachów i cokołów budynków o współczynniku $\lambda_D = 0,020\text{--}0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Szkło piankowe otrzymywane jest z roztopionego szkła przez dodanie domieszek pianotwórczych (np. węgiel, węglan wapnia). Jest nieprzezroczyste, odporne na korozję biologiczną i chemiczną oraz niepalne (w obecności płomieni nie wydziela gazów toksycznych). Produkowane jest w dwóch odmianach: szkło piankowe białe ($\rho_{ob.} = 240\text{--}300 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_D = 0,038\text{--}0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) – o otwartej strukturze i podatności na nasiąkliwość, szkło piankowe czarne ($\rho_{ob.} = 100 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_D = 0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) – o porowatości zamkniętej, co skutkuje wysokim oporem dyfuzyjnym i brakiem nasiąkliwości tej odmiany szkła piankowego. Stosowane jest także do termoizolacji stropodachów.

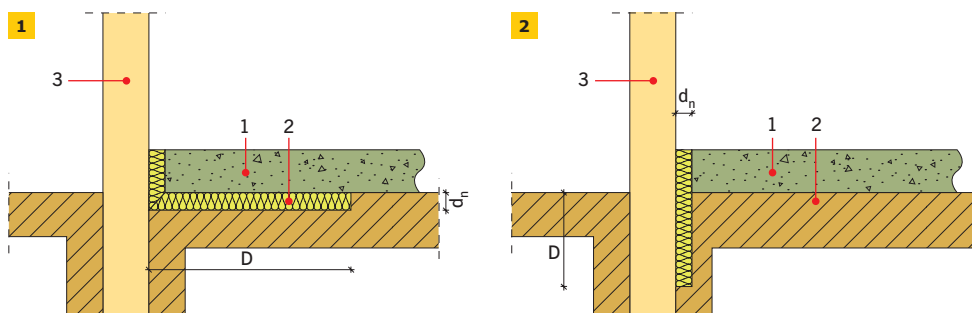
Szczegółową charakterystykę materiałów termoizolacyjnych przedstawiono m.in. w pracy [5]. Kształtowanie układu warstw materiałowych przegród stykających się z gruntem nie powinien być przypadkowy, lecz oparty na szczegółowych obliczeniach z uwzględnieniem m.in. wymagań cieplno-wilgotnościowych.

PRZEGRODY STYKAJĄCE SIĘ Z GRUNTEM – METODY OBLICZENIOWE W PROJEKTOWANIU

Straty ciepła przez przenikanie, dla przegród stykających się z gruntem, należą do trudniejszych w obliczeniu. Strumienie ciepła wypływające z ogrzewanego wnętrza mają swój udział w kształtowaniu rozkładu temperatur w gruncie pod budynkiem i jego otoczeniu. Zmiany w temperaturze gruntu obserwowane są na dość znacznym obszarze, rozciągającym się pod budynkiem i w jego sąsiedztwie. Na granicach tego obszaru pojawiają się płaszczyzny adiabatyczne świadczące o ustaniu przepływów ciepła w kierunkach prostopadłych do ich przebiegu.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na rozbieżności w nazewnictwie izolacji cieplnej występującej w złączu przegród stykających się z gruntem. Izolacja termiczna na ścianach fundamentowych w budynkach niepodpiwniczonych, określana w rozporządzeniu [1] jako izolacja obwodowa, w normach określona jest następująco:

- » według PN-EN ISO 13370:2008 [3] – izolacja krawędziowa, obliczeniowo włączana do wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi (RYS. 1-2),
- » według PN-EN 12831:2006 [6] – izolacja boczna, nieuwzględniana w wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi.



RYS. 1–2. Schematy izolacji krawędziowej według normy PN-EN ISO 13370:2008: pozioma izolacja krawędziowa (1) oraz pionowa izolacja krawędziowa (2); rys.: opracowanie własne na podstawie [3]

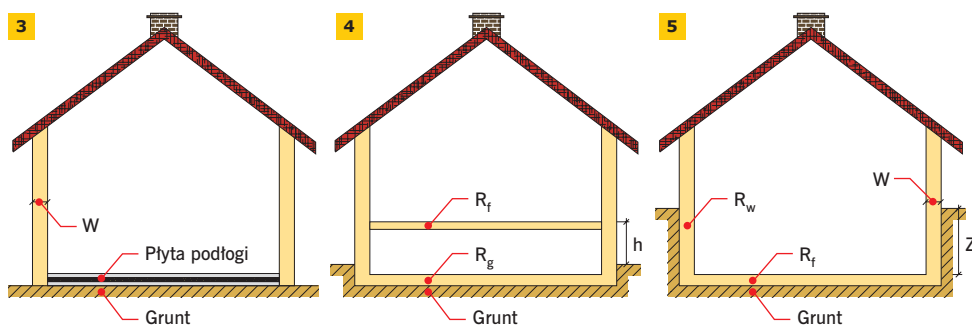
1 – płyta podłogi, 2 – pozioma izolacja krawędziowa, 3 – ściana fundamentu, d_n – grubość izolacji krawędziowej (lub fundamentu), D – szerokość poziomej izolacji krawędziowej (1), D – głębokość pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu) poniżej poziomu gruntu (2)

Izolacja krawędziowa może być umieszczona poziomo i pionowo lub występować jako fundament o małej gęstości (RYS. 1–2).

Efekt izolacji krawędziowej jest traktowany jako liniowy współczynnik przenikania ciepła $\Psi_{g,e}$ [W/(m·K)]. Jeżeli złącze przegród stykających się z gruntem ma więcej niż jedną część izolacji krawędziowej (pionowej lub poziomej, wewnętrznej lub zewnętrznej), do dalszych obliczeń należy uwzględnić tę, która daje większą redukcję straty ciepła.

Metody przybliżone opierają się na zbliżonych i numerycznych procedurach obliczeniowych według PN-EN ISO 13370:2008 [3], PN-EN 12831:2006 [6] oraz rozporządzenia [7]. W obliczeniach wykorzystuje się opracowane algorytmy z zastosowaniem wzorów empirycznych, pozwalając na uniknięcie skomplikowanych symulacji numerycznych.

W normie PN-EN ISO 13370:2008 [3] przedstawiono procedury obliczeniowe w zakresie następujących przypadków występujących w praktyce (RYS. 3–5):



RYS. 3–5. Schematy podłóg analizowane w PN-EN ISO 13370:2008: podłoga typu płyta na gruncie (3), podłoga podniesiona (4) oraz budynek z podziemiem ogrzewanym (5); rys.: autor

W – grubość ścian zewnętrznych, R_f – opór cieplny podłogi [(m²·K)/W], R_g – opór efektywny cieplny gruntu [(m²·K)/W], R_w – opór cieplny ścian podziemia, łącznie z wszystkimi warstwami [(m²·K)/W], Z – głębokość podłogi podziemia poniżej poziomu gruntu, h – wysokość powierzchni podłogi powyżej zewnętrznego poziomu gruntu

- » podłoga typu płyta na gruncie,
- » podłoga podniesiona,
- » budynek z podziemiem ogrzewanym.

Poniżej przedstawiono przykłady obliczeniowe w zakresie projektowania ciepłno-wilgotnościowego przegród stykających się z gruntem z uwzględnieniem wymagań obowiązujących od 1 stycznia 2021 r.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 1

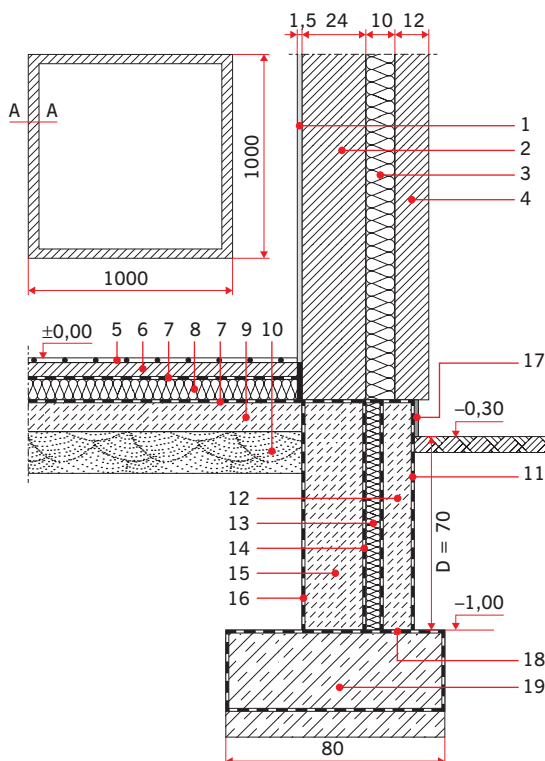
Określono straty ciepła przez grunt według normy PN-EN ISO 13370:2008 [3], czyli: współczynnika przenikania ciepła podłogi na gruncie (U [W/(m²·K)]), współczynnika sprężenia cieplnego dla płyty podłogowej z pionową izolacją krawędziową (H_g [W/K]).

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- » budynek jednorodzinny – rzut ścian parteru budynku (RYS. 6),
- » płyta podłogowa izolowana – styropianem XPS gr. 10 cm o $\lambda = 0,035$ W/(m·K),
- » ściana zewnętrzna parteru trójwarstwowa: tynk gipsowy 1,5 cm, błoczek wapienno-piaskowy 24 cm, płyta z poliizocyanuratu PIR 10 cm, błoczek wapienno-piaskowy 12 cm,
- » izolacja krawędziowa pionowa grubości $d_n = 5$ cm, z poliizocyanuratu PIR o $\lambda_n = 0,022$ W/(m·K),
- » budynek posadowiony na piasku zwykłym.

RYS. 6. Geometria przegród stykających się z gruntem dla wybranego budynku; rys.: [8]

- 1 – tynk gipsowy gr. 1,5 cm, 2 – błoczek wapienno-piaskowy gr. 24 cm,
- 3 – płyta z poliizocyanuratu PIR gr. 10 cm,
- 4 – błoczek wapienno-piaskowy gr. 12 cm,
- 5 – parkiet gr. 2 cm,
- 6 – wylewka betonowa gr. 5 cm,
- 7 – folia budowlana,
- 8 – styropian XPS gr. 10 cm,
- 9 – płyta betonowa gr. 10 cm,
- 10 – ubity grunt (posypka piaskowa) gr. 15 cm,
- 11 – folia kubatkowa, 12 – błoczek betonowy gr. 12 cm,
- 13 – płyta z poliizocyanuratu PIR gr. 5 cm,
- 14 – izolacja przeciwwilgociowa,
- 15 – błoczek betonowy gr. 24 cm,
- 16 – izolacja przeciwwilgociowa 2×papa na lepiku,
- 17 – płytki ceramiczne,
- 18 – papa bitumiczna,
- 19 – ława fundamentowa



OKREŚLENIE WYMIARU CHARAKTERYSTYCZNEGO PODŁOGI NA GRUNCIE

Wymiar charakterystyczny podłogi wprowadza się w celu uwzględnienia trójwymiarowej natury strumienia ciepła w obrębie gruntu.

Wymiar charakterystyczny podłogi określa się według wzoru:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}$$

gdzie:

A – pole powierzchni podłogi [m^2],

P – obwód podłogi [m].

$$A = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m}^2, P = 4 \cdot 10 = 40 \text{ m} \rightarrow B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{100}{0,5 \cdot 40} = 5,00 \text{ m}$$

OKREŚLENIE GRUBOŚCI EKWIWALENTNEJ

Koncepcja grubości ekwiwalentnej została wprowadzona w celu uproszczenia wyrażenia współczynnika przenikania ciepła. Opór cieplny jest reprezentowany przez jego grubość ekwiwalentną, będącą grubością gruntu, która ma ten sam opór cieplny.

Grubość ekwiwalentna podłogi na gruncie:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$$

gdzie:

w – całkowita grubość ścian, łącznie ze wszystkimi warstwami [m],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła gruntu – tabela 1 PN-EN ISO 13370:2008 [3] [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$],

R_f – opór cieplny płyty podłogi, łącznie z każdą warstwą izolacyjną na całej powierzchni powyżej lub poniżej płyty podłogi i każdym pokryciem podłogi [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]; opór cieplny płyt z ciężkiego betonu i cienkich pokryw podłogi można pominąć; zakłada się, że chudy beton poniżej płyty ma taki sam współczynnik przewodzenia ciepła jak grunt i zaleca się jego pominięcie,

R_{si} – opór przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody według tablicy PN-EN ISO 6946 [2]; $R_{si} = 0,17 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ – kierunek przepływu ciepła w dół,

R_{se} – opór przejmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni przegrody według tablicy PN-EN ISO 6946 [2]; $R_{se} = 0 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$.

Układ warstw podłogi na gruncie (RYS. 6):

- » parkiet drewniany 2 cm, $\lambda = 0,18 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,
- » posadzka betonowa 5 cm, $\lambda = 1,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,
- » folia budowlana,
- » styropian XPS 10 cm, $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,
- » folia budowlana,
- » beton podkładowy 10 cm, $\lambda = 1,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,
- » ubity grunt (podsypka piaskowa) 15 cm:
 - grubość ściany $w = 0,475 \text{ m}$,

- grunt piasek zwykły $\lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – tablica 1 PN-EN ISO 13370:2008 [3],
- do obliczeń oporu cieplnego R_f – uwzględniono parkiet drewniany, styropian XPS:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \rightarrow R_f = \frac{0,02}{0,18} + \frac{0,10}{0,035} = 2,97 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W},$$

- grubość ekwiwalentna podłogi:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) = 0,475 + 2,0 \cdot (0,17 + 2,97 + 0) = 6,75 \text{ m}$$

OKREŚLENIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA U

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U zależy od izolacji cieplnej podłogi:

- » jeżeli $d_t < B'$ (podłogi nieizolowane lub podłogi średnio izolowane)

$$U = \frac{2\lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$$

- » jeżeli $d_t \geq B'$ (podłogi dobrze izolowane)

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$$

Współczynnik przenikania ciepła powinien być zaokrąglony do dwóch miejsc znaczących, jeżeli jest prezentowany jako wynik końcowy. Obliczenia pośrednie powinny być przeprowadzone z co najmniej trzema cyframi znaczącymi.

Współczynnik przenoszenia ciepła przez grunt w stanie ustalonym między środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g$$

gdzie:

Ψ_g – liniowy współczynnik przenikania ciepła $[\text{W/(m}\cdot\text{K)}]$ przyjmuje się na podstawie obliczeń własnych, na podstawie katalogu mostków cieplnych lub na podstawie PN-EN ISO 14683:2008 [9]

- » $d_t = 6,75 \text{ m}$; $B' = 5,00 \text{ m} \rightarrow d_t > B'$ podłoga dobrze izolowana
- » współczynnik przenikania ciepła U

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot 5,00 + 6,75} = 0,22 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

UWZGLĘDNIENIE WPŁYWU IZOLACJI KRAWĘDZIOWEJ (ZAŁ. B PN-EN ISO 13370 [3])

W przykładzie obliczeniowym (**RYS. 6**) występuje pionowa izolacja krawędziowa grubości 5 cm – płyta z poliizocyanuratu PIR o $\lambda_n = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

- » dodatkowa grubość ekwiwalentna wynikająca z izolacji krawędziowej: $d^n = R' \cdot \lambda$

R' – dodatkowy opór cieplny wprowadzony przez izolację krawędziową (lub fundament) tzn. zastępuje ją różnica między oporem cieplnym izolacji krawędziowej a oporem cieplnym podłoża (lub płyty)

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda}$$

gdzie:

R_n – opór cieplny poziomej lub pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu) $[(m^2 \cdot K)/W]$,

d_n – grubość izolacji krawędziowej (lub fundamentu) [m].

$$- R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} = (\text{opór płyty z poliizocyjanuratu PIR gr. 5 cm}) = \frac{0,05}{0,022} = 2,27 (m^2 \cdot K)/W$$

$$- R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} = \frac{0,05}{2,00} = 2,25 (m^2 \cdot K)/W$$

$$- d' = R' \cdot \lambda = 2,25 \cdot 2,00 = 4,50 \text{ m}$$

» uwzględnienie izolacji krawędziowej (poniżej gruntu wzdłuż obwodu podłogi)

$$\Psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_i} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_i + d'} + 1 \right) \right] [W/(m \cdot K)]$$

D – szerokość pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu) poniżej poziomu gruntu [m],

d' – dodatkowa grubość ekwiwalentna [m].

$$- D = 0,7 \text{ m}; d' = 4,50 \text{ m}; d_i = 6,75 \text{ m}; \lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{g,e} &= -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_i} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_i + d'} + 1 \right) \right] = \\ &= -\frac{2,00}{3,14} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 0,7}{6,75} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2 \cdot 0,7}{6,75 + 4,50} + 1 \right) \right] = -0,09 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

» uwzględnienie izolacji krawędziowej do obliczeń współczynnika przenikania ciepła U

$$U = U + \frac{2 \cdot \Psi_{g,e}}{B'} [W/(m^2 \cdot K)]$$

$$U = 0,22 + \frac{2 \cdot (-0,09)}{5,00} = 0,18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

WSPÓŁCZYNNIK PRZENOSZENIA CIEPŁA PRZEZ GRUNT W STANIE USTALONYM MIĘDZY ŚRODOWISKIEM WEWNĘTRZNYM A ZEWNĘTRZNYM H_G [W/K]

$$H_g = (A \cdot U) + P \cdot (\Psi_g + \Psi_{g,e}) = (100 \cdot 0,22) + 40 \cdot (0,29 + (-0,09)) = 22,00 + 8,00 = 30,00 \text{ W/K}$$

$$H_g \text{ (według PN-EN ISO 13370:2008)} = H_{T,ig} \text{ (według PN-EN 12831:2006)}$$

Wymiar budynku	B' [m]	d_i [m]	Rodzaj podłogi	U [W/(m ² ·K)]	Ψ_g [W/(m·K)]	$\Psi_{g,e}$ [W/(m·K)]	$U^{(1)}$ [W/(m ² ·K)]	H_g [W/K]
6 x 6	3,00	6,75	$d_i > B'$ A	0,25	0,29	-0,09	0,19	13,80
7 x 7	3,50	6,75	$d_i > B'$ A	0,24	0,29	-0,09	0,19	17,36
8 x 8	4,00	6,75	$d_i > B'$ A	0,23	0,29	-0,09	0,19	21,12
9 x 9	4,50	6,75	$d_i > B'$ A	0,23	0,29	-0,09	0,19	25,83
10 x 10	5,00	6,75	$d_i > B'$ A	0,22	0,29	-0,09	0,18	30,00
11 x 11	5,50	6,75	$d_i > B'$ A	0,21	0,29	-0,09	0,18	35,42
12 x 12	6,00	6,75	$d_i > B'$ A	0,21	0,29	-0,09	0,18	39,84
13 x 13	6,50	6,75	$d_i < B'$ B	0,20	0,29	-0,09	0,17	44,20
14 x 14	7,00	6,75	$d_i < B'$ B	0,20	0,29	-0,09	0,17	50,40
15 x 15	7,50	6,75	$d_i < B'$ B	0,20	0,29	-0,09	0,18	57,00

TABELA 2. Wyniki obliczeń parametrów cieplnych podłóg na gruncie – opracowanie własne

A – podłoga dobrze izolowana, B – podłoga słabo izolowana

¹⁾ wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi na gruncie z uwzględnieniem izolacji krawędziowej (według rozporządzenia [1] – izolacji obwodowej)

Ψ_g – liniowy współczynnik przenikania ciepła na styku ściana zewnętrzna–ściana fundamentowa–podłoga na gruncie, przyjęto na podstawie obliczeń własnych (jako gałęziowy współczynnik przenikania ciepła dotyczący strat ciepła dla podłogi na gruncie) – $\Psi_g = 0,29$ W/(m·K).

Analizowana przegroda spełnia wymagania sformułowane w rozporządzeniu [1] w zakresie współczynnika przenikania ciepła $U = 0,22 < U_{c(max)} = 0,30$ W/(m²·K). Natomiast w zakresie oceny wartości oporu cieplnego izolacji cieplnej (obwodowej/krawędziowej) $R = 2,27 > R_{min.} = 2,0$ (m²·K)/W – warunek został także spełniony.

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 2

Określono współczynnik przenikania ciepła U podłogi na gruncie i współczynnik strat ciepła przez grunt H_g według normy PN-EN ISO 13370:2008 [3], stosując rozwiązanie materiałowe przegród stykających się z gruntem jak w przykładzie 1 (RYS. 6) przy zmiennych wymiarach budynku wolno stojącego. Wyniki obliczeń zestawiono w TABELI 2.

Wartości współczynnika przenikania ciepła U [W/(m²·K)] oraz współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_g [W/K] zależą od przyjętego układu warstw materiałowych przegród stykających się z gruntem oraz wymiarów rzutu analizowanego budynku (wymiar charakterystyczny budynku B'). W związku z powyższym w przypadku projektowania lub oceny stanu cieplnego przegród stykających się z gruntem powinno się podchodzić indywidualnie. Wszystkie analizowane przegrody spełniają wymagania sformułowane w rozporządzeniu [1] w zakresie współczynnika przenikania ciepła: $U = 0,20\text{--}0,25 < U_{c(max)} = 0,30$ W/(m²·K).

Wpływ izolacji krawędziowej (według rozporządzenia [1] – izolacji obwodowej) jest uwzględniany w obliczeniach strat ciepła przez przenikanie wg PN-EN ISO 13370:2008 [3] w postaci współczynnika $\Psi_{g,e}$ [W/(m·K)], redukując końcową wartość współczynnika przenikania ciepła U oraz współczynnika strat ciepła przez grunt H_g .

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY 3

Obliczono parametry fizyczne łącząca przegród stykających się z gruntem budynku jednorodzinnego niepodpiwniczonego, posadowionego na piasku zwykłym o współczynniku przenikania gruntu $\lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Pionową izolację krawędziową przyjęto w postaci pianki z poliizocyjanuratu PIR gr. 5 cm o $\lambda = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Układy warstw materiałowych przegrody stykającej się z gruntem przedstawiono na RYS. 6:

- » ściana parteru budynku: tynk gipsowy gr. 1,5 cm o $\lambda = 0,40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; bloczek wapienno-piaskowy gr. 24 cm o $\lambda = 0,55 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; płyty z poliizocyjanuratu PIR gr. 10 cm o $\lambda = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; bloczek wapienno-piaskowy gr. 12 cm o $\lambda = 0,50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$;
- » ściana fundamentowa: bloczek betonowy gr. 24 cm o $\lambda = 1,65 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; płyty z poliizocyjanuratu PIR gr. 5 cm o $\lambda = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; bloczek betonowy gr. 14 cm o $\lambda = 1,65 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; wraz z izolacjami przeciwwilgociowymi;
- » podłoga na gruncie: parkiet drewniany gr. 2 cm o $\lambda = 0,18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; wylewka betonowa gr. 5 cm o $\lambda = 1,65 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; folia budowlana; styropian XPS gr. 10 cm o $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; folia budowlana; płyta betonowa gr. 10 cm o $\lambda = 1,65 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; ubity grunt o $\lambda = 2,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Pionowa izolacja krawędziowa – przyjęto w postaci pianki z poliizocyjanuratu PIR gr. 5 cm o $\lambda = 0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

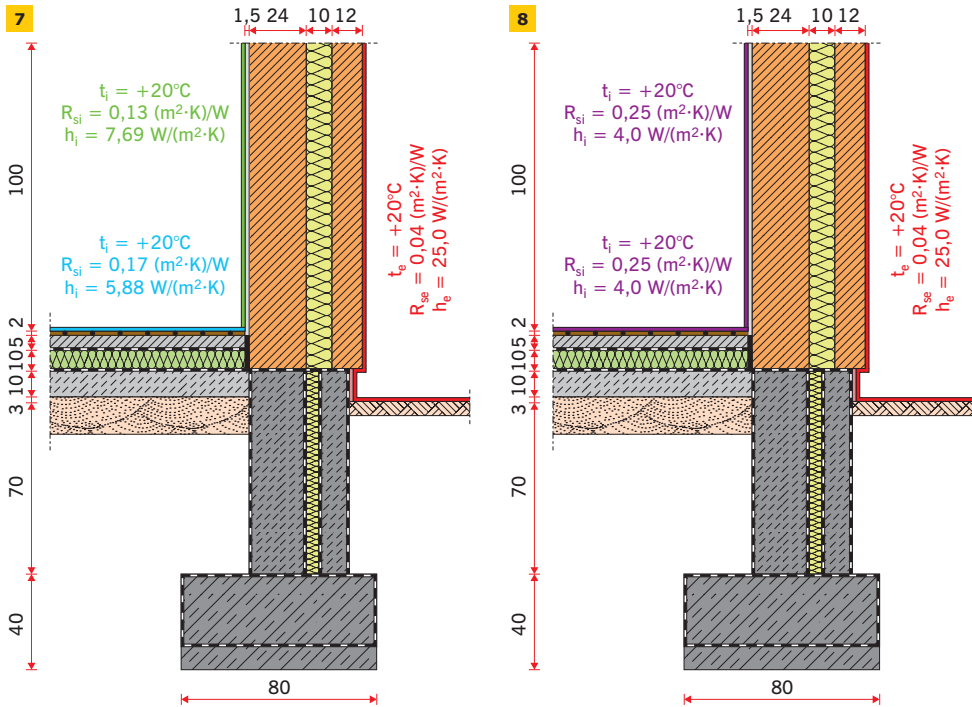
W pierwszym etapie obliczeń (w celu poszukiwania poprawnego rozwiązania układu materiałowego spełniającego obowiązujące wymagania cieplno-wilgotnościowe) wykonuje się szczegółowe obliczenia (w kilku wariantach obliczeniowych) parametrów fizycznych przegród zewnętrznych i ich złączy, tj.:

- » strumień ciepły Φ [W],
- » współczynnik przenikania ciepła pełnej przegrody U (U_{1D}) [$\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$],
- » liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego L^{2D} [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$],
- » liniowy współczynnik przenikania ciepła (określający dodatkowe straty ciepła wynikające z występowania liniowych mostków cieplnych) Ψ [$\text{W/(m}\cdot\text{K)}$],
- » temperaturę minimalną na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $\theta_{si,min}$ [$^{\circ}\text{C}$],
- » czynnik temperaturowy, określony na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $f_{Rsi(2D)}$ [–].

Do obliczeń, przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO, przyjmuje się następujące założenia:

- » modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [10],
- » opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [2] przy obliczeniach strumienia cieplnych oraz według PN-EN ISO 13788:2003 [11] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$ – RYS. 7–8,
- » temperatura powietrza wewnętrznego $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ (pokój dzienny), temperatura powietrza zewnętrznego $t_e = -20^{\circ}\text{C}$ (III strefa).

W wyniku przeprowadzonych obliczeń przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU 86 uzyskano wartość strumienia przepływającego przez złącze $\Phi = 49,76 \text{ W}$.



rys. 7–8. Warunki brzegowe stosowane przy obliczeniach parametrów fizycznych złącza przegród stykających się z gruntem dla wybranego budynku: obliczenia strumienia ciepłego (7), obliczenia rozkładu temperatur (8); rys.: [8]

W przykładzie obliczeniowym zestawiono procedury obliczeniowe parametrów cieplnych złącza przegród stykających się z gruntem według PN-EN ISO 10211:2008 [10] oraz według własnego algorytmu.

OKREŚLENIE PARAMETRÓW CIEPLNYCH WEDŁUG PROCEDURY OBLICZENIOWEJ PREZENTOWANEJ W PN-EN ISO 10211:2008 [10]

» Liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego analizowanego złącza:

$$L^{2D} = \frac{\Phi}{l \cdot (t_i - t_e)}$$

gdzie:

Φ – strumień cieplny przepływający przez złącze [W],

l – długość mostka cieplnego [m],

t_i – temperatura powietrza wewnętrznego [°C],

t_e – temperatura powietrza zewnętrznego [°C]

$$L^{2D} = \frac{\Phi}{l \cdot (t_i - t_e)} = \frac{49,76}{1,00 \cdot (20 - (-20))} = 1,24 \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}.$$

» Liniowy współczynnik przenikania ciepła analizowanego złącza (po wymiarach wewnętrznych):

$$\Psi_{g,i} = L^{2D} - h_w \cdot U_w - 0,5 \cdot B' \cdot U_g$$

gdzie:

L^{2D} – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego [W/(m·K)],

h_w – minimalna odległość od połączenia do płaszczyzny przekroju poprzecznego [m],

U_w – współczynnik przenikania ciepła ściany powyżej gruntu [W/(m²·K)],

B' – wymiar charakterystyczny podłogi na gruncie [m],

U_g – współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie [W/(m²·K)],

$$\begin{aligned} \Psi_{g,i} &= L^{2D} - h_w \cdot U_w - 0,5 \cdot B' \cdot U_g = \\ &= 1,24 - 1,00 \cdot 0,18 - 0,5 \cdot 5,00 \cdot 0,24 = 0,46 \text{ W/(m·K)}. \end{aligned}$$

» Liniowy współczynnik przenikania ciepła analizowanego złącza (po wymiarach zewnętrznych):

$$\Psi_{g,e} = L^{2D} - (h_w + h_f) \cdot U_w - 0,5 \cdot (B' + w) \cdot U_g$$

gdzie:

L^{2D} – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego [W/(m·K)],

h_w – minimalna odległość od połączenia do płaszczyzny przekroju poprzecznego [m],

h_f – wysokość górnej powierzchni płyty podłogi powyżej poziomu gruntu [m],

U_w – współczynnik przenikania ciepła ściany powyżej gruntu [W/(m²·K)],

B' – wymiar charakterystyczny podłogi na gruncie [m],

w – grubość ściany parteru budynku [m],

U_g – współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie [W/(m²·K)],

$$\begin{aligned} \Psi_{g,e} &= L^{2D} - (h_w + h_f) \cdot U_w - 0,5 \cdot (B' + w) \cdot U_g = \\ &= 1,24 - (1,00 + 0,30) \cdot 0,18 - 0,5 \cdot (5,00 + 0,475) \cdot 0,24 = 0,35 \text{ W/(m·K)}. \end{aligned}$$

OKREŚLENIE PARAMETRÓW CIEPLNYCH WEDŁUG WŁASNEGO ALGORYTMU

» Podział strumienia cieplnego napływającego na wewnętrzną powierzchnię złącza (Φ_{sc} – strumień napływający na ścianę zewnętrzną [W], Φ_g – strumień napływający na podłogę na gruncie [W]): $\Phi_{sc} = 13,45$ W; $\Phi_g = 36,31$ W;

» Liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego części złącza (w odniesieniu do ściany zewnętrznej):

$$L^{2D}_{sc} = \frac{\Phi_{sc}}{l \cdot (t_i - t_e)}$$

gdzie:

Φ_{sc} – strumień cieplny przepływający przez część złącza – ściana zewnętrzna [W],

l – długość mostka cieplnego [m],
 t_i – temperatura powietrza wewnętrznego [°C],
 t_e – temperatura powietrza zewnętrznego [°C],

$$L_{sc.}^{2D} = \frac{\Phi_{sc.}}{l \cdot (t_i - t_e)} = \frac{13,45}{1 \cdot (20 - (-20))} = 0,34 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}.$$

» Liniowy (gałęziowy) współczynnik przenikania ciepła części złącza – ściana zewnętrzna (po wymiarach wewnętrznych):

$$\Psi_{sc,i} = L_{sc.}^{2D} - (U_{sc.} \cdot l_i)$$

gdzie:

$L_{sc.}^{2D}$ – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego części złącza – ściana zewnętrzna [W/(m·K)],

$U_{sc.}$ – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej [W/(m²·K)],

l_i – długość mostka cieplnego [m],

$$\Psi_{sc,i} = L_{sc.}^{2D} - U_{sc.} \cdot l_i = 0,34 - (0,18 \cdot 1,00) = 0,16 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}.$$

» Liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego części złącza (w odniesieniu do podłogi na gruncie):

$$L_g^{2D} = \frac{\Phi_{g.}}{l \cdot (t_i - t_e)}$$

gdzie:

$\Phi_{g.}$ – strumień cieplny przepływający przez część złącza – podłoga na gruncie [W],

l – długość mostka cieplnego [m],

t_i – temperatura powietrza wewnętrznego [°C],

t_e – temperatura powietrza zewnętrznego [°C],

$$L_g^{2D} = \frac{\Phi_{g.}}{l \cdot (t_i - t_e)} = \frac{36,31}{1 \cdot (20 - (-20))} = 0,91 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

» Liniowy (gałęziowy) współczynnik przenikania ciepła części złącza – podłoga na gruncie (po wymiarach wewnętrznych):

$$\Psi_{g,i} = L_g^{2D} - (0,5 \cdot B' \cdot U_g)$$

gdzie:

L_g^{2D} – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego części złącza – podłoga na gruncie [W/(m·K)],

B' – wymiar charakterystyczny podłogi na gruncie [m],

U_g – współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie [W/(m²·K)],

$$\Psi_{g,i} = L_g^{2D} - (0,5 \cdot B' \cdot U_g) = 0,91 - (0,5 \cdot 5,00 \cdot 0,24) = 0,31 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}.$$

» Liniowy współczynnik przenikania ciepła analizowanego złącza (po wymiarach wewnętrznych):

$$\Psi_i = \Psi_{sc,i} + \Psi_{g,i}$$

gdzie:

$\Psi_{sc,i}$ – liniowy (gałęziowy) współczynnik przenikania ciepła części złącza – ściana zewnętrzna (po wymiarach wewnętrznych) [W/(m·K)],

$\Psi_{g,i}$ – liniowy (gałęziowy) współczynnik przenikania ciepła części złącza – podłoga na gruncie (po wymiarach wewnętrznych) [W/(m·K)],

$$\Psi_i = \Psi_{sc,i} + \Psi_{g,i} = 0,16 + 0,31 = 0,48 \text{ W/(m·K)}.$$

W kolejnym etapie obliczeń określono wartość minimalnej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $\theta_{si,min.}$ [°C] oraz czynnik temperaturowy f_{Rsi} [-] według PN-EN ISO 13788 [11]:

$$f_{Rsi(2D)} = f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si,min.} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)}$$

gdzie:

$\theta_{si,min.}$ – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego [°C],

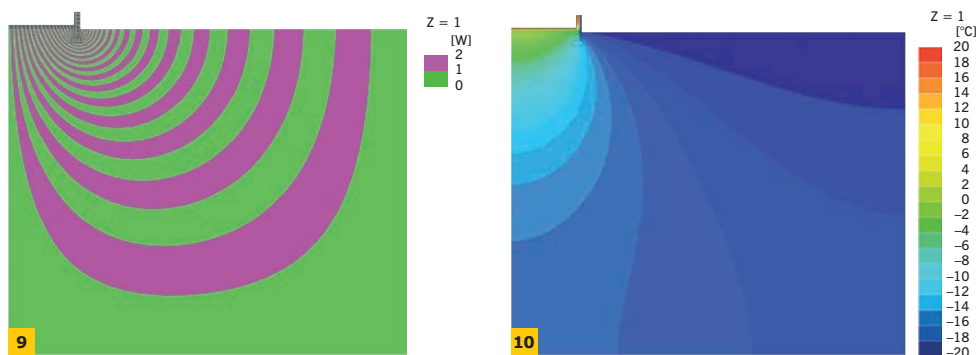
θ_e – temperatura powietrza zewnętrznego [°C],

θ_i – temperatura powietrza wewnętrznego [°C].

Na podstawie obliczeń numerycznych, przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU 86, określono temperaturę minimalną na wewnętrznej powierzchni przegrody (**rys. 10**) $\theta_{si,min.} = 12,37^\circ\text{C}$ i czynnik temperaturowy $f_{Rsi(2D)} = 0,809$.

Na **rys. 9–10** przedstawiono wyniki symulacji komputerowej w zakresie linii strumieni ciepłych (adiaty) oraz rozkładu temperatur w analizowanym złączu.

Złącza przegród stykających się z gruntem generują dodatkowe straty ciepła wyrażone w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)], którego wartości zależą od przyjętego układu warstw materiałowych (szczególnie zastosowanego materiału termoizolacyjnego – współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)], grubość materiału d [m]).



rys. 9–10. Wyniki symulacji komputerowej przy obliczeniach parametrów fizykalnych złącza przegród stykających się z gruntem dla wybranego budynku: linie strumieni ciepłych (adiaty) (9), rozkład temperatur (izotermy) (10); rys.: [8]

Klasy wpływu mostka cieplnego oparte na ocenie wartości współczynnika Ψ

C1 $\Psi_{i,e} < 0,1$	C2 $0,1 \leq \Psi_{i,e} < 0,25$	C3 $0,25 \leq \Psi_{i,e} < 0,5$	C4 $\Psi_{i,e} \geq 0,50$
wpływ pomijany	mały wpływ	duży wpływ	bardzo duży wpływ

TABELA 3. Klasyfikacja wpływu mostków cieplnych na straty ciepła – opracowanie własne na podstawie [12]

Ocena złączy budowlanych w aspekcie wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ nie jest zdefiniowana (znormalizowana), jednak istnieje możliwość sformułowania pewnych kryteriów w krajowych przepisach (rozporządzenie [1]) dotyczących izolacyjności budynków. Przykładową klasyfikację wpływu mostków cieplnych w zależności od wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ według pracy [12] podano w TABELI 3.

Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie determinuje dodatkowe straty ciepła w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ na poziomie 0,35–0,47 W/(m·K) – TABELA 4. Zgodnie z TABELĄ 3 wpływ tego typu złącza (mostka cieplnego) na straty ciepła jest duży.

Połączenie ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie			
Lp.	Układ warstw węzła	d [m]	λ [W/(m·K)]
1	Tynk gipsowy	0,015	0,40
2	Błoczek wapienno-piaskowy	0,24	0,55
3	Płyta PIR	^{1), 2), 3)}	0,022
4	Błoczek wapienno-piaskowy	0,12	0,50
5	Parkiet	0,02	0,16
6	Wylewka betonowa	0,05	1,000
7	Folia PF	–	–
8	Styropian	0,10	0,040
9	Papa termozgrzewalna	–	–
10	Płyta betonowa	0,10	1,650
11	Grunt rodzimy	–	2,000
12	Błoczek betonowy	0,24	1,650
13	Płyta PIR	0,05	0,022
14	Błoczek betonowy	0,12	1,650
15	Izolacja przeciwwilgociowa	–	–
16	Płytki klinkierowe	0,02	1,050
17	Ława żelbetowa	0,40	2,500

¹⁾ wariant I – grubość izolacji 0,10 m
²⁾ wariant II – grubość izolacji 0,12 m
³⁾ wariant III – grubość izolacji 0,15 m

TABELA 4. Przykładowa karta katalogowa połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie – opracowanie własne na podstawie [8]

»

Parametry fizyczne złącza budowlanego								
d [m]	U_{sc} [W/(m ² ·K)]	U_g [W/(m ² ·K)]	Φ [W]	L^{2D} [W/(m·K)]	$\Psi_{g,i}$ [W/(m·K)]	$\Psi_{g,e}$ [W/(m·K)]	$\theta_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi(2D)}$ [-]
0,10	0,18	0,24	49,76	1,24	0,46	0,35	12,37	0,81
0,12	0,16	0,24	48,77	1,22	0,46	0,36	12,49	0,81
0,15	0,13	0,24	47,33	1,19	0,47	0,37	12,62	0,82

d – grubość warstwy izolacji cieplnej [m]
 U_{sc} – współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej [W/(m²·K)]
 U_g – współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie [W/(m²·K)]
 Φ – strumień ciepły przepływający przez złącze [W]
 L^{2D} – liniowy współczynnik sprzężenia cieplnego [W/(m·K)]
 $\Psi_{g,i}$ – liniowy współczynnik przenikania ciepła złącza określony po wymiarach wewnętrznych [W/(m·K)]
 $\Psi_{g,e}$ – liniowy współczynnik przenikania ciepła złącza określony po wymiarach zewnętrznych [W/(m·K)]
 $\theta_{si,min}$ – temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego [°C]
 $f_{Rsi(2D)}$ – czynnik temperaturowy [-]

Linie strumieni ciepłych – adiabaty

Rozkład temperatury – izotermy

» TABELA 4. Przykładowa karta katalogowa połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie – opracowanie własne na podstawie [8]

Zasadne staje się określenie w rozporządzeniu [1] wartości granicznych liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_{max} na poziomie 0,05–0,10 W/(m·K) w zależności od specyfiki analizowanego złącza. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych obliczeń parametrów fizycznych nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy budynków o niskim zużyciu energii w celu wyeliminowania niepoprawnych rozwiązań w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym.

Jakość cieplna elementów obudowy budynków (przegrody zewnętrzne i złącza budowlane) decyduje o optymalizacji wskaźników zapotrzebowania budynku na energię użytkową (EU), końcową (EK), a także nieodnawialną pierwotną (EP), wyrażoną w [kWh/(m²·rok)].

W analizowanym złączu nie wystąpi ryzyko kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody, ponieważ spełnione jest kryterium $f_{Rsi(2D)} \geq f_{Rsi(kryt)}$. Wartość krytyczna (graniczna) czynnika temperaturowego analizowanych wariantów obliczeniowych, przy uwzględnieniu parametrów powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, wynosi $f_{Rsi(kryt)} = 0,78$. Procedurę określania czynnika $f_{Rsi(kryt)}$ przedstawiono w pracach [13–14]. Jego wartość zależy od parametrów powietrza wewnętrznego (t_i , Δp w zależności o klasy wilgotności pomieszczenia) i parametrów powietrza zewnętrznego (t_e , ϕ_e).

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń parametrów fizykalnych złączy budowlanych opracowuje się karty katalogowe, które stanowią podstawowe źródło informacji na etapie projektowania budynków lub oceny stanu cieplnego istniejącego budynku. Przykładową kartę katalogową przedstawiono w **TABELI 4**.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe dotyczące przegród stykających się z gruntem powinny być rozpatrywane w polu trójwymiarowym (3D) lub polu dwuwymiarowym (2D). Jednak dobór materiałów konstrukcyjnych, termoizolacyjnych i przeciwwilgociowych czy też przeciwwodnych jest często przypadkowy i niejednoznaczny, dokonywany bez miarodajnych obliczeń i analiz.

W dostępnych katalogach mostków cieplnych oraz w normie PN-EN ISO 14683:2008 [9] węzeł przyziemia budynku często jest pomijany lub rozwiązany jest w sposób ogólny (bez uwzględnienia nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych). Zastosowanie profesjonalnego programu komputerowego, np. do stacjonarnego przepływu ciepła TRISCO-KOBRU 86, pozwala na miarodajną analizę parametrów ciepłno-wilgotnościowych złączy przy zmiennych układach materiałowych oraz wytypowanie optymalnych rozwiązań. M.in. w pracach [14–16] przedstawiono wiele przykładów związanych z kształtowaniem układów materiałowych złączy przegród stykających się z gruntem z uwzględnieniem obowiązujących wymagań ciepłno-wilgotnościowych.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
2. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
3. PN-EN ISO 13370:2008, „Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania”.
4. A. Dylla, „Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych”, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009.
5. K. Pawłowski, „Innowacyjne rozwiązania materiałów termoizolacyjnych w aspekcie modernizacji budynków w Polsce”, „IZOLACJE” 3/2018, s. 48–64.
6. PN-EN 12831:2006 „Instalacje grzewcze w budynkach – Metoda obliczania obciążenia cieplnego”.
7. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (DzU 2015 poz. 376).
8. M. Maciaszek, „Analiza porównawcza parametrów fizykalnych złączy ścian zewnętrznych trójwarstwowych w świetle nowych wymagań cieplnych”, Praca magisterska napisana pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Pawłowskiego, UTP, Bydgoszcz 2017.
9. PN EN ISO 14683:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne”.
10. PN-EN ISO 10211:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe”.

11. 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”.
12. P. Wouters, J. Schietecata, P. Standaert, K. Kasperkiewicz, „Ciepłno-wilgotnościowa ocena mostków cieplnych”, Wydawnictwo ITB, Warszawa 2004.
13. A. Dylla, „Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe”, PWN, Warszawa 2015.
14. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.
15. K. Pawłowski, P. Olszar, „Analiza parametrów fizykalnych przegród budowlanych stykających się z gruntem”, „IZOLACJE” 5/2011, s. 20–24.
16. M. Wesołowska, P. Szczepaniak, K. Pawłowski, A. Kaczmarek, „Zagadnienia fizykalne w termomodernizacji i remontach obiektów budowlanych”, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2019.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

DR INŻ. KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, PROF. UCZELNI

166

TERMOMODERNIZACJA BUDYNKÓW – JAK SPEŁNIĆ WYMAGANIA WT 2021?

Termomodernizacja dotyczy dostosowania budynku do nowych wymagań ochrony cieplnej i oszczędności energii. Ponadto stanowi zbiór zabiegów mających na celu wyeliminowanie lub znaczne ograniczenie strat ciepła w istniejącym budynku. Jest jednym z elementów modernizacji budynku, który przynosi korzyści finansowe i pokrycie kosztów innych działań.

Działania energooszczędne stosowane w budynkach o niskim zużyciu energii można podzielić na trzy podstawowe grupy.

Pierwsza to technologie związane z redukcją strat ciepła przez przegrody, a w szczególności ocieplanie przegród zewnętrznych (podłogi na gruncie, stropy, dach, ściany), dobór stolarki okiennej i drzwiowej z uwzględnieniem wymagań cieplnych według rozporządzenia [1].

Druga grupa dotyczy redukcji strat oraz poprawy sprawności systemu instalacyjnego i jest to m.in. wymiana lub modernizacja grzejników, wymiana lub modernizacja systemu grzewczego (zastosowanie ogrzewania podłogowego, powietrznego itp.), instalacja termostatów, montaż nowoczesnych regulatorów pogodowych bądź pokojowych, izolacja przewodów c.w.u i c.o., wymiana lub modernizacja systemu wytwarzania ciepłej wody, wymiana lub modernizacja systemu wentylacji (np. zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła – rekuperatora).

Natomiast ostatnią grupę stanowią prace projektowo-wykonawcze lub modernizacyjne skupiające się na źródle ciepła, do których można zaliczyć zaprojektowanie i zainstalowanie lub wymianę źródła ciepła (zamiana kotła na nowy cechujący się lepszą sprawnością bądź zamiana źródła lokalnego na miejską sieć ciepłowniczą), zmianę nośnika energii (zamiana kotła na inny, który wytwarza energię, spalając paliwo innego rodzaju, wyjątkiem jest zamiana paliwa w tym samym kotle, który jest przystosowany do spalania kilku rodzajów surowców), zastosowanie technologii wykorzystującej odnawialne źródła energii (OZE) na potrzeby grzewcze (np. pompy ciepła, biopaliwa, kolektory słoneczne), zastosowanie kogeneracji (produkcja jednoczesnego prądu oraz ciepła – dotyczy współdzielni), a także zastosowanie automatyki sterującej źródłem.

Skontaktuj się z naszymi specjalistami i sprawdź atrakcyjne oferty na

HurtowniaStyropianu.pl

DOCIEPLENIE PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH JAKO PODSTAWOWY ELEMENT TERMOMODERNIZACJI

Aby ilość energii cieplnej potrzebnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie, przewidziano dwie metody pozwalające spełnić wymagania w nowo projektowanych budynkach:

» pierwsza polega na takim zaprojektowaniu przegród w budynku, aby wartości współczynników przenikania ciepła U/U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom izolacyjności cieplnej, kryterium w zakresie ochrony cieplnej: $U_c \leq U_{c(max)}$,

» druga to zaprojektowanie budynku pod kątem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, lokalu mieszkalnym lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową – EP [$kWh/(m^2 \cdot rok)$], kryterium w zakresie oszczędności energii: $EP \leq EP_{(max)}$.

Według rozporządzenia [1] dla budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego dopuszcza się większe wartości współczynnika U/U_c niż $U_{(max)}$ oraz $U_{c(max)}$, jeśli uzasadnia to rachunek efektywności ekonomicznej inwestycji, obejmujący koszt budowy i eksploatacji budynku. Ponadto w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej $2,0 (m^2 \cdot K)/W$, przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [2] oraz PN-EN ISO 13370:2008 [3].

Według zmian wprowadzonych w rozporządzeniu [1] wymagania dla nowo projektowanych budynków dotyczą jednoczesnego spełnienia dwóch wymagań w zakresie współczynnika przenikania ciepła U [$W/(m^2 \cdot K)$] – $U_c \leq U_{c(max)}$ dla pojedynczych przegród budynku oraz wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP [$kWh/(m^2 \cdot rok)$] – $EP \leq EP_{(max)}$ dla całego budynku.

Wymagania minimalne, o których mowa w ust. 1 rozporządzenia [1], uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie – termomodernizacji, jeżeli przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku podlegające przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia [1]. Ponadto należy pamiętać, że budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania budynku w okresie letnim (dotyczy przegród przezroczystych – stolarka okienna). W trakcie projektowania i wykonywania docieplenia przegród zewnętrznych budynku należy pamiętać o wyeliminowaniu zjawiska kondensacji powierzchniowej (ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych) oraz kondensacji międzywarstwowej.

Zastosowanie odpowiedniego materiału termoizolacyjnego pozwala na osiągnięcie niskich wartości współczynnika przenikania ciepła U/U_c [$W/(m^2 \cdot K)$] pełnej przegrody i liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [$W/(m \cdot K)$] oraz minimalizację ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej. Przed wyborem odpowiedniego materiału do izolacji cieplnej należy zwrócić uwagę na takie właściwości, jak:

- » współczynnik przewodzenia ciepła λ [$W/(m \cdot K)$],
- » gęstość objętościowa,

- » izolacyjność akustyczna,
- » przepuszczalność pary wodnej,
- » współczynnik oporu dyfuzyjnego μ [-],
- » wrażliwość na czynniki biologiczne i chemiczne,
- » ochronę przeciwpożarową.

Na podstawie prowadzonych obliczeń i analiz w tym zakresie zestawiono przykładowy dobór materiałów termoizolacyjnych (RYS. 1).

Najpopularniejszą metodą wykonywania izolacji termicznej ścian stała się metoda lekka–mokra, która ewoluowała w bezspoinowy system ocieplenia określany w skrócie – BSO, a od 2009 r. w Polsce określana jest jako ETICS. Choć docieplenie metodą lekką–mokrą wydaje się nieskomplikowane, to w trakcie realizacji i eksploatacji można napotkać na pewne niedoskonałości, ponieważ wiedza dotycząca zasad stosowania ociepleń była relatywnie niska i brakowało doświadczeń wykonawczych oraz nadzór i kontrole podczas robót budowlanych były niewystarczające i mało efektywne. Dlatego ważnym zagadnieniem jest ocena trwałości docieplenia budynku. Szczególnie jest to istotne w przypadku ponownego docieplenia ocieplonych ścian zewnętrznych w celu spełnienia obecnie obowiązujących przepisów prawnych i wymagań technicznych. Naprawy ocieplonych elewacji dotyczą zabiegów:

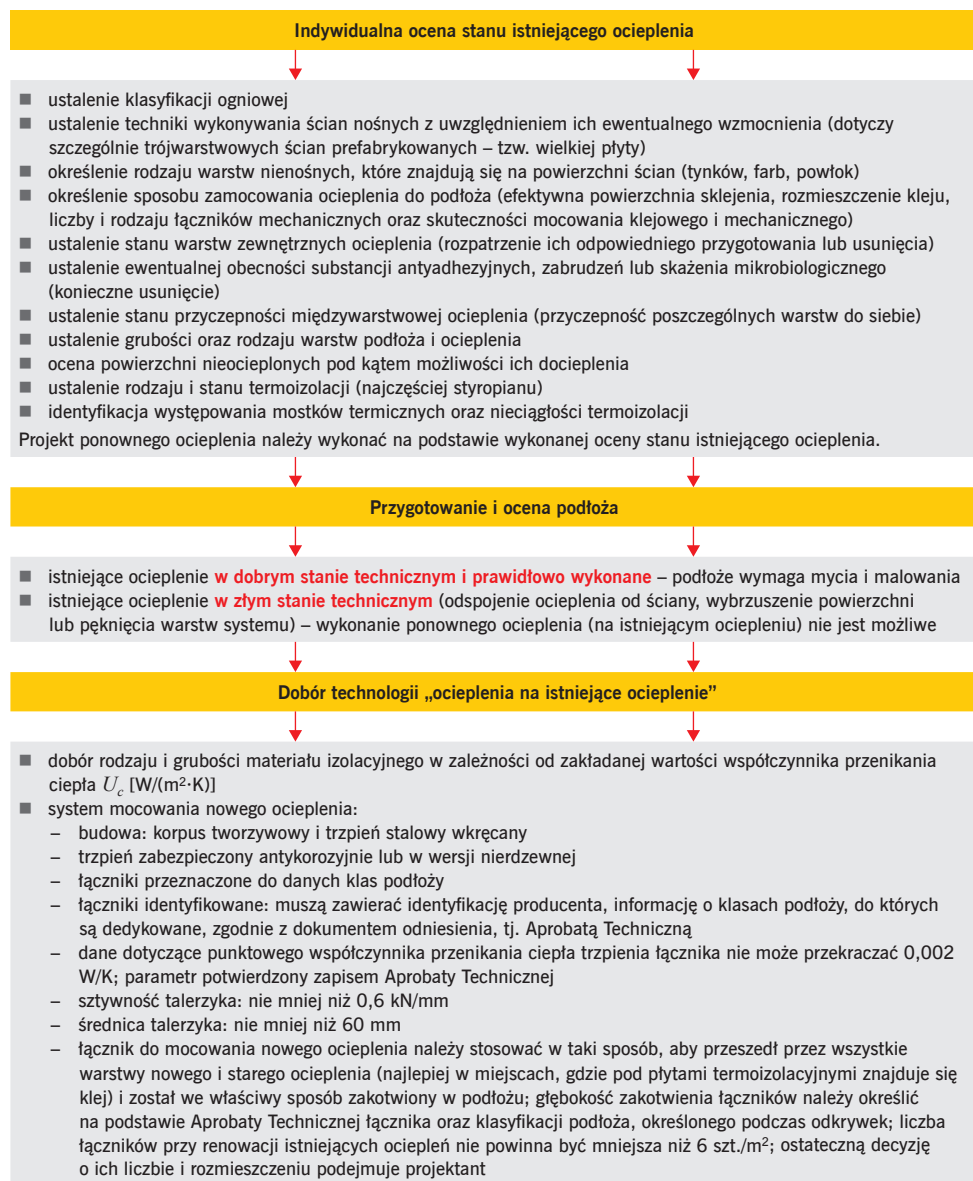
- » kosmetycznych (np. mycie elewacji),
- » powierzchniowych (wzmacnianie struktur tynkarskich i malowanie zabezpieczające),
- » w zakresie usuwania uszkodzonych warstw i ponowne wykonywanie lub wymianę warstw zewnętrznych,
- » w zakresie wykonywania dodatkowego ocieplenia na już istniejącym.

Należy podkreślić, że wykonywanie dodatkowego ocieplenia na już istniejącym stało bardzo ważnym zagadnieniem remontowym wielu istniejących budynków mieszkalnych lub użyteczności publicznej. Dlatego też Instytut Techniki Budowlanej, a także organizacje zrzeszające producentów ociepleń starają się szczegółowo zapoznać z problematyką tego typu realizacji. Zasadne staje się opracowanie wytycznych realizacji ociepleń wykonywanych na ociepleniach istniejących. W ostatnich latach powstały aprobaty techniczne wydane przez Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie dla systemów uwzględniających możliwość mocowania do ścian ocieplonych nowego ocieplenia w zakresie spełnienia obowiązujących wymagań cieplnych. Obecne rozwiązania dotyczą jedynie systemów z zastosowaniem styropianu [4, 5]. Na podstawie prowadzonych analiz i obserwacji własnych oraz wytycznych dotyczących renowacji istniejących systemów dociepleń



RYS. 1. Przykładowy dobór materiałów termoizolacyjnych;

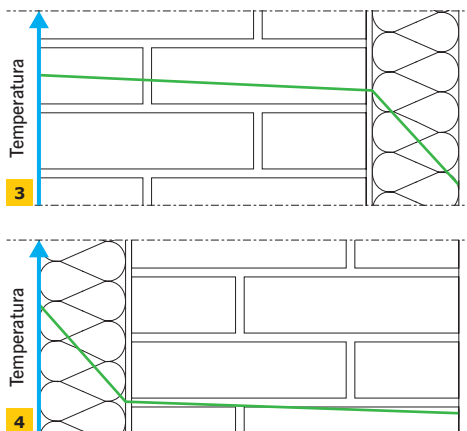
rys.: autor



RYS. 2. Kolejność postępowania w aspekcie ocieplenia na istniejące ocieplenie; rys.: opracowanie własne na podst. [4, 5]

budynków opracowano algorytm (schemat) postępowania w zakresie ocieplenia na istniejące ocieplenie (RYS. 2).

Natomiast ocieplenie przegród zewnętrznych od wewnątrz projektowane i wykonywane jest w obiektach zabytkowych (budynki wpisane do rejestru zabytków lub objęte ochroną konserwatorską), obiektach o wartości architektonicznej (ciekawość charakter elewacji lub oryginalny wygląd budynku), obiektach o ograniczonych prawach własności (w przypadku gdy część ścian



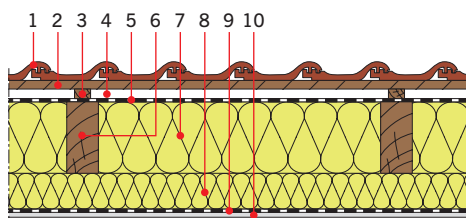
RYS. 3–4. Rozkład temperatur w przegrodzie z izolacją termiczną – ocieplenie od strony zewnętrznej (1) i wewnętrznej (2); rys.: autor

zewnątrznych znajduje się dokładnie na granicy działki), a także w obiektach użytkowanych czasowo (ogrzewanie czasowe w nieregularnych okresach). Takie rozwiązanie wiąże się jednak ze zjawiskiem wnikania pary wodnej w strukturę przegrody i jej kondensacji. Na skutek niskiej temperatury otoczenia spada znacznie temperatura wewnątrz przegrody, powodując kondensację na styku warstwy konstrukcyjnej i izolacji cieplnej. Warstwa izolacji cieplnej od strony wewnętrznej przegrody oddziela konstrukcję muru od środowiska wewnętrznego co wpływa na zmniejszenie pojemności cieplnej całego budynku i powoduje wprowadzenie całej warstwy konstrukcyjnej w strefę przemarzania (RYS. 3–4).

Podstawową zaletą ocieplenia od wewnątrz jest zmniejszenie ilości energii niezbędnej do ogrzania pomieszczeń o żądanej temperaturze oraz skrócenie czasu nagrzewania [6].

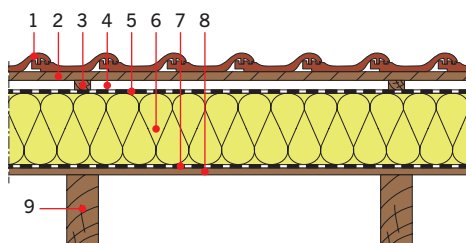
Docieplenie poddaszy użytkowych można przeprowadzić wprowadzając dodatkową warstwę izolacji cieplnej pod krokiewmi lub zastosować system nadkrokwiowy (RYS. 5–6). Często w związku ze stanem technicznym materiału termoizolacyjnego między krokiewmi należy podjąć decyzję w zakresie całkowitej wymiany ocieplenia.

Szczegółową analizę modernizacji poddaszy użytkowych przedstawiono m.in. w pracach [6, 7].



RYS. 5. Ocieplenie poddaszy użytkowych w budynkach istniejących: izolacja cieplna między i pod krokiewmi; rys.: autor

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łata, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna (np. wełna mineralna), 8 – dodatkowa warstwa izolacji cieplnej (np. wełna mineralna), 9 – folia paroizolacyjna, 10 – płyta gipsowo-kartonowa



RYS. 6. Ocieplenie poddaszy użytkowych w budynkach istniejących: izolacja cieplna nad krokiewmi; rys.: autor

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łata, 3 – kontrłata lub deskowanie, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia, 6 – izolacja cieplna (np. płyty PIR/PUR), 7 – folia paroizolacyjna, 8 – deskowanie, 9 – krokiew

PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE DOCIEPLENIA PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH – STUDIUM PRZYPADKU

Istnieje wiele rozwiązań materiałowych dociepleń przegród zewnętrznych istniejących budynków. Dobór materiału termoizolacyjnego i technologii wykonania nie powinien być przypadkowy, lecz

Lp.	Warstwa konstrukcyjna ściany zewnętrznej	Grubość materiału izolacyjnego d [m]	Wartość współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m ² ·K)] ściany zewnętrznej w zależności od zastosowanego materiału termoizolacyjnego					
			I	II	III	IV	V	VI
			λ [W/(m·K)]					
			0,04	0,035	0,031	0,022	0,042	0,059
1.	Mur z cegły pełnej gr. 37 cm $\lambda = 0,77$ W/(m·K) $U_c = 1,54$ W/(m ² ·K)	0,10	0,32	0,29	0,26	0,19	0,33	0,42
2.		0,12	0,27	0,25	0,22	0,16	0,29	0,37
3.		0,15	0,23	0,20	0,18	0,13	0,24	0,31
4.		0,20	0,18	0,16	0,14	0,10	0,18	0,25

TABELA 1. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła ściany zewnętrznej z cegły pełnej z ociepleniem

oparty na podstawie analiz otrzymanych parametrów fizycznych z uwzględnieniem parametrów powietrza zewnętrznego i wewnętrznego.

PRZYKŁAD 1. ANALIZA PARAMETRÓW FIZYKALNYCH ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ Z CEGŁY PEŁNEJ PRZED I PO DOCIEPLENIU

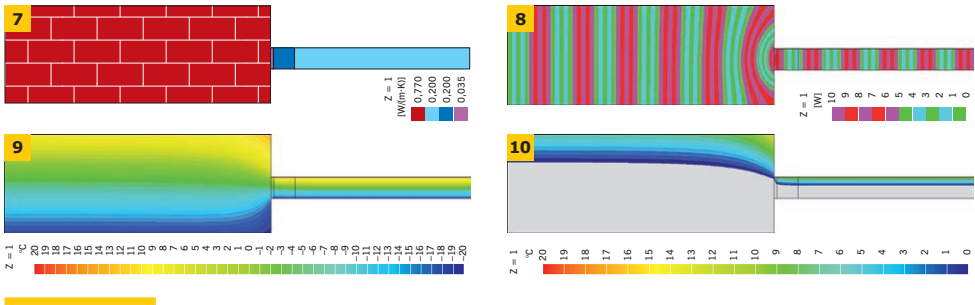
Do obliczeń wytypowano ścianę zewnętrzną z cegły pełnej gr. 37 cm o współczynniku $\lambda = 0,77$ W/(m·K) ocieplonej od zewnątrz:

- » wełna mineralna gr. 10, 12, 15 cm, $\lambda = 0,04$ W/(m·K);
- » styropian gr. 10, 12, 15 cm, $\lambda = 0,035$ W/(m·K),
- » styropian grafitowy gr. 10, 12, 15 cm, $\lambda = 0,031$ W/(m·K),
- » płyta z pianki poliuretanowej gr. 10, 12, 15 cm, $\lambda = 0,022$ W/(m·K) oraz ocieplonej od wewnątrz:
- » lekka odmiana betonu komórkowego gr. 10, 12 cm, $\lambda = 0,042$ W/(m·K),
- » płyty klimatyczne gr. 10, 12 cm, $\lambda = 0,059$ W/(m·K).

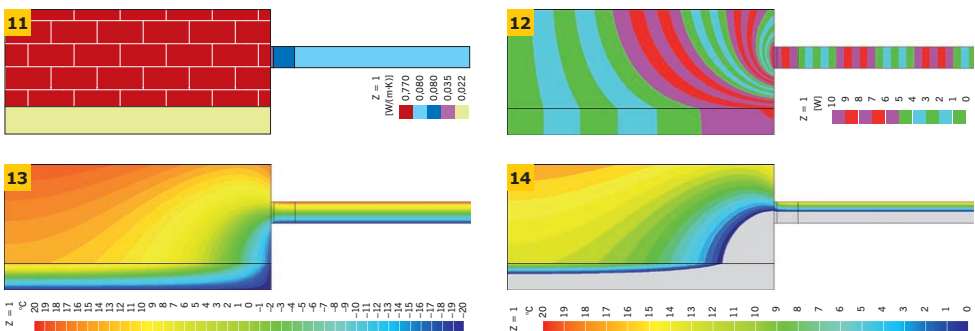
Obliczenia przeprowadzono zgodnie z procedurą według PN-EN ISO 6946:2008 [2]. Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_c [W/(m²·K)] w zależności od rodzaju i grubości materiału termoizolacyjnego przedstawiono w TABELI 1. Kolorem jasnozielonym zaznaczono w niej warianty obliczeniowe (rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe ściany zewnętrznej z cegły pełnej gr. 37 cm z ociepleniem), które spełniają podstawowe kryterium cieplne: U_c [W/(m²·K)] $\leq U_{C(max)} = 0,20$ W/(m²·K).

PRZYKŁAD 2. ANALIZA PARAMETRÓW FIZYKALNYCH POŁĄCZENIA ŚCIANY ZEWNĘTRZNEJ Z OKNEM PRZED I PO DOCIEPLENIU

W celu poszukiwania poprawnego rozwiązania układu materiałowego spełniającego obowiązujące wymagania dla budynku po dociepleniu należy wykonać szczegółowe obliczenia parametrów fizycznych złączy przegród zewnętrznych w kilku wariantach obliczeniowych. W przykładzie obliczeniowym rozpatrywano połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę przy zróżnicowanym usytuowaniu ocieplenia w następujących wariantach:

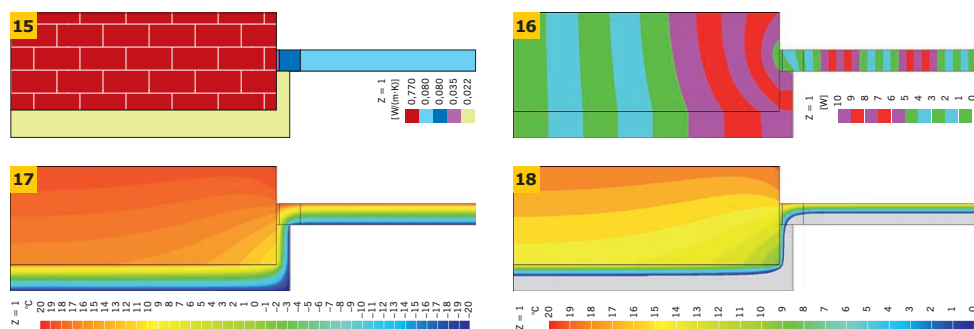


RYS. 7–10. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (bez ocieplenia) z oknem w przekroju przez ościeżnicę: model obliczeniowy (7), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (8), izotermę (9), izotermę w zakresie 0–20°C (10); rys.: autor



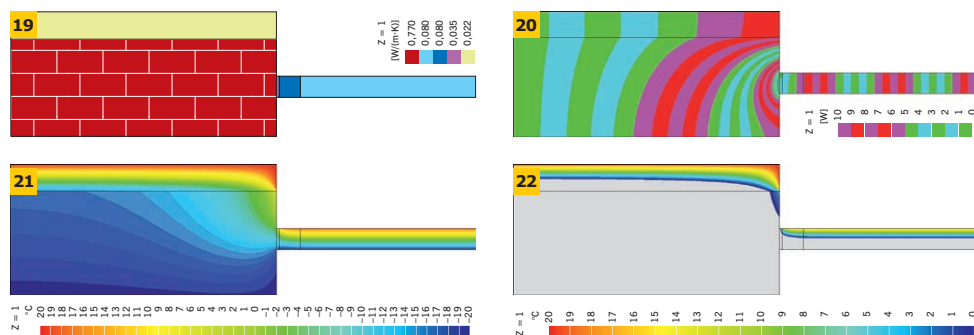
RYS. 11–14. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od zewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę bez węgarka: model obliczeniowy (11), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (12), izotermę (13), izotermę w zakresie 0–20°C (14); rys.: autor

- » wariant I (RYS. 7–10): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 37 cm ($\lambda = 0,77 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ($\lambda = 0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); stolarka okienna: przypadek A – o współczynniku przenikania ciepła okna $U_w = 1,75 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, przypadek B – $U_w = 0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,
- » wariant II (RYS. 11–14): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 37 cm ($\lambda = 0,77 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ($\lambda = 0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); izolacja termiczna od zewnątrz: płyty z pianki poliuretanowej gr. 10, 12, 15 i 20 cm ($\lambda = 0,022 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); stolarka okienna $U_w = 0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; bez węgarka,
- » wariant III (RYS. 15–18): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 37 cm ($\lambda = 0,77 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ($\lambda = 0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); izolacja termiczna od zewnątrz: płyty z pianki poliuretanowej gr. 10, 12, 15 i 20 cm ($\lambda = 0,022 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); stolarka okienna $U_w = 0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; z węgarkiem (ocieplenie zachodzi na ościeżnicę – 4 cm),
- » wariant IV (RYS. 19–22): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 37 cm ($\lambda = 0,77 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ($\lambda = 0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); izolacja termiczna od wewnątrz: płyty z pianki poliuretanowej gr. 10, 12, 15 i 20 cm ($\lambda = 0,022 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); stolarka okienna $U_w = 0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; bez węgarka,
- » wariant V (RYS. 23–26): ściana zewnętrzna z cegły pełnej gr. 37cm ($\lambda = 0,77 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); tynk gipsowy gr. 1,5 cm ($\lambda = 0,40 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$); izolacja termiczna od wewnątrz: płyty z pianki

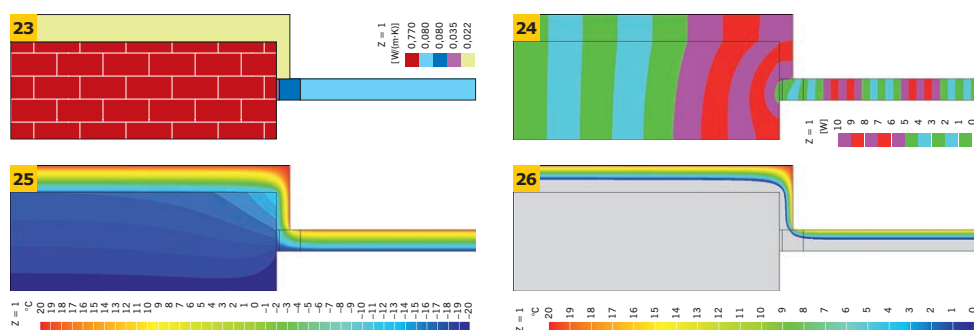


173

RYS. 15–18. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od zewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę z węgarciem: model obliczeniowy (15), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (16), izotermie (17), izotermie w zakresie 0–20°C (18); rys.: autor



RYS. 19–22. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od wewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę bez węgarca: model obliczeniowy (19), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (20), izotermie (21), izotermie w zakresie 0–20°C (22); rys.: autor



RYS. 23–26. Przykładowe graficzne przedstawienie wyników symulacji komputerowej dla połączenia ściany zewnętrznej (z ociepleniem od wewnątrz) z oknem w przekroju przez ościeżnicę z węgarciem: model obliczeniowy (23), linie strumieni ciepłych (adiabaty) (24), izotermie (25), izotermie w zakresie 0–20°C (26); rys.: autor

poliuretanowej gr. 10, 12, 15 i 20 cm ($\lambda = 0,022$ W/(m·K)); stolarka okienna $U_w = 0,86$ W/(m²·K); z węgarciem (ocieplenie zachodzi na ościeżnicę – 4 cm).

Dla ww. wariantów określono parametry fizyczne przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU 86 [8] przyjmuje się następujące założenia:

- » modelowanie złączy wykonano zgodnie z zasadami przedstawionymi w PN-EN ISO 10211:2008 [9],
- » opory przejmowania ciepła (R_{si} , R_{se}) przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [2] przy obliczeniach strumieni ciepłych oraz według PN-EN ISO 13788:2003 [10] przy obliczeniach rozkładu temperatur i czynnika temperaturowego $f_{Rsi(2D)}$,
- » 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 [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] przyjęto według tablic w pracy [11].

Na RYS. 7–26 przedstawiono graficzne wyniki symulacji komputerowej analizowanego złącza przy zastosowaniu programu komputerowego TRISCO-KOBRU 86 [8], a w TABELI 2 zestawiono wyniki przeprowadzonych obliczeń.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (TABELA 2) można stwierdzić, że analizowane złącza generują dodatkowe straty ciepła określone m.in. w postaci liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_i [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody $t_{si,min}$ [$^\circ\text{C}$]. Parametry fizyczne złączy ścian zewnętrznych po dociepleniu zależą od usytuowania i grubości materiału termoizolacyjnego. Należy zwrócić uwagę, że ocieplenie połączenia ściany zewnętrznej z oknem bez węgarka powoduje znacznie wyższe dodatkowe straty ciepła (Φ , L^{2D} , Ψ_i) oraz obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody ($t_{si,min}$, $f_{Rsi(2D)}$) w porównaniu z dociepleniem przy zastosowaniu węgarka – TABELA 2. Takie rozwiązanie powoduje ryzyko występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody (rozwój pleśni i grzybów pleśniowych), kondensacji międzywarstwowej oraz zwiększenie ilości energii koniecznej do ogrzania pomieszczeń o żądanej temperaturze.

Spełnienie kryterium w zakresie uniknięcia występowania ryzyka kondensacji powierzchniowej (rozwój pleśni i grzybów pleśniowych): $f_{Rsi(2D)} \geq f_{Rsi(kryt.)}$, wymaga określenia wartości $f_{Rsi(2D)}$ na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego (2D) t_{min} [$^\circ\text{C}$] oraz wartości $f_{Rsi(kryt.)}$ uwzględniającej parametry powietrza wewnętrznego i zewnętrznego (wilgotność i temperatura powietrza). Wartość maksymalna z 12 miesięcy w odniesieniu do lokalizacji (Bydgoszcz) $f_{Rsi(max)} = f_{Rsi(kryt.)} = 0,785$ (luty). Oznacza to, że w każdym miesiącu roku i dla każdego innych wartości temperatur brzegowych dla uniknięcia kondensacji powierzchniowej $f_{Rsi(2D)}$ powinien być większy od 0,785. Należy podkreślić, że na podstawie przeprowadzonych obliczeń (TABELA 2) w wielu przypadkach połączenia ściany zewnętrznej z oknem wystąpi ryzyko kondensacji powierzchniowej (ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych).

PRZYKŁAD 3. ANALIZA PARAMETRÓW CIEPLNYCH STROPODACHÓW DREWNIANYCH PRZED I PO MODERNIZACJI

W pierwszym etapie obliczeń określono współczynnik przenikania ciepła U_c stropodachu drewnianego (nad poddaszem użytkowym) z ociepleniem pomiędzy krokwiami (RYS. 27).

W analizowanej pości dachowej (stropodachu o konstrukcji drewnianej) zaprojektowano dobrze wentylowaną warstwę powietrza (gr. 3 cm między kontrłatami i gr. 3 cm nad izolacją

Wariant obliczeniowy	Współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej / współczynnik przenikania ciepła stolarki okiennej $U_{(sc)}/U_w$ [W/(m ² ·K)]	Strumień ciepła przepływający przez złącze Φ [W]	Liniový współczynnik sprężenia cieplnego L_{2D} [W/(m·K)]	Liniový współczynnik przenikania ciepła, określony po wymiarach wewnętrznych ψ [W/(m·K)]	Temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu występowania mostka cieplnego (2D) $t_{s,2D}$ [°C]	Czynnik temperaturowy określany na podstawie temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody $f_{Rsi(2D)}$ [-]
wariant I – ściana z cegły gr. 37 cm bez ocieplenia						
I A	1,54/1,75	199,99	3,00	0,147	1,22	0,531
I B	1,54/0,86	93,37	2,33	0,156	1,34	0,533
wariant II – ściana z cegły gr. 37 cm ocieplona od zewnątrz bez węgarka						
II ₍₁₀₎	0,19/0,86	52,65	1,32	0,483	5,76	0,644
II ₍₁₂₎	0,16/0,86	51,91	1,30	0,493	5,83	0,646
II ₍₁₅₎	0,13/0,86	51,15	1,28	0,504	5,90	0,647
II ₍₂₀₎	0,10/0,86	50,49	1,26	0,516	5,97	0,649
wariant III – ściana z cegły gr. 37 cm ocieplona od zewnątrz z węgarkiem						
III ₍₁₀₎	0,19/0,86	35,33	0,88	0,089	15,67	0,892
III ₍₁₂₎	0,16/0,86	34,29	0,86	0,091	15,90	0,898
III ₍₁₅₎	0,13/0,86	33,21	0,83	0,095	16,13	0,903
III ₍₂₀₎	0,10/0,86	32,12	0,80	0,099	16,35	0,909
wariant IV – ściana z cegły gr. 37 cm ocieplona od wewnątrz bez węgarka						
IV ₍₁₀₎	0,19/0,86	48,41	1,21	0,378	-3,38	0,416
IV ₍₁₂₎	0,16/0,86	47,75	1,19	0,389	-3,60	0,410
IV ₍₁₅₎	0,13/0,86	46,88	1,17	0,397	-3,70	0,407
IV ₍₂₀₎	0,10/0,86	46,03	1,15	0,407	-3,77	0,406
wariant V – ściana z cegły gr. 37 cm ocieplona od wewnątrz z węgarkiem						
V ₍₁₀₎	0,19/0,86	35,01	0,88	0,080	7,48	0,687
V ₍₁₂₎	0,16/0,86	33,94	0,85	0,083	7,44	0,686
V ₍₁₅₎	0,13/0,86	32,85	0,82	0,086	7,41	0,685
V ₍₂₀₎	0,10/0,86	31,74	0,79	0,090	7,37	0,684

TABELA 2. Wyniki obliczeń parametrów fizykalnych analizowanych złączy ścian zewnętrznych

cieplną), co spełnia to kryterium według pkt. 5.3.4. normy PN-EN ISO 6946:2008 [2]; „całkowity opór cieplny komponentu budowlanego zawierającego dobrze wentylowaną warstwę powietrza należy obliczyć, pomijając opór cieplny warstwy powietrza i wszystkich innych warstw między warstwą powietrza a środowiskiem zewnętrznym oraz dodając zewnętrzny opór przejmowania ciepła, odpowiadający powietrzu nieruchomemu; alternatywnie może być zastosowana wartość

Wariant obliczeniowy			Grubość warstwy izolacji [cm]	R_T [(m ² ·K)/W]	U_c [W/(m ² ·K)]
I	wełna mineralna	$\lambda = 0,038 \text{ W/(m·K)}$	18	4,021	0,25
II			20	4,426	0,23
III	styropian	$\lambda = 0,037 \text{ W/(m·K)}$	18	4,093	0,24
IV			20	4,377	0,23
V	pianka poliuretanowa	$\lambda = 0,026 \text{ W/(m·K)}$	18	5,324	0,19
VI			20	5,680	0,18

TABELA 3. Zestawienie wyników obliczeń współczynnika przenikania ciepła dachu drewnianego z ociepleniem pomiędzy krokiewiami

Wariant obliczeniowy			Grubość warstwy izolacji [cm]	R_T [(m ² ·K)/W]	U_c [W/(m ² ·K)]
VII	wełna mineralna	$\lambda = 0,038 \text{ W/(m·K)}$	18 + 5	5,447	0,18
VIII			18 + 10	6,868	0,14
IX			20 + 5	5,910	0,17
X			20 + 10	7,289	0,14
XI	styropian	$\lambda = 0,037 \text{ W/(m·K)}$	18 + 5	5,618	0,18
XII			18 + 10	7,020	0,14
XIII			20 + 5	6,028	0,17
XIV			20 + 10	7,425	0,13
XV	pianka poliuretanowa	$\lambda = 0,026 \text{ W/(m·K)}$	18 + 5	7,442	0,13
XVI			18 + 10	9,486	0,11
XVII			20 + 5	8,010	0,12
XVIII			20 + 10	10,255	0,10

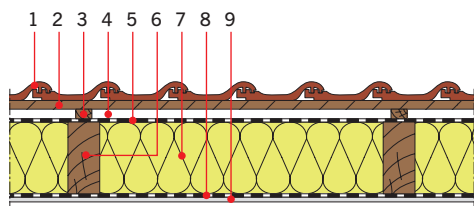
TABELA 4. Zestawienie wyników obliczeń współczynnika przenikania ciepła dachu drewnianego z ociepleniem pomiędzy krokiewiami i pod krokiewiami

R_{si} z Tablicy 1 normy". Obliczenia współczynnika przenikania ciepła U dla przegrody niejednorodnej cieplnie wykonano metodą kresów według PN-EN ISO 6946:2008 [2]. Wyniki obliczeń w zależności od zastosowanego materiału termoizolacyjnego przedstawiono w TABELI 3.

Należy zwrócić uwagę, że przy zastosowaniu ocieplenia gr. 18 lub 20 cm jako izolacji między krokiewiami trudno jest spełnić podstawowe kryterium cieplne: $U_c [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \leq U_{C(\max)} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

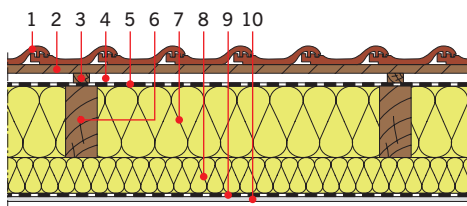
– TABELA 3.

Następnie określono współczynnik przenikania ciepła U_c stropodachu drewnianego (nad poddaszem użytkowym) z ociepleniem pomiędzy krokiewiami i pod krokiewiami (RYS. 28). Wyniki obliczeń zestawiono w TABELI 4. Kolorem jasnozielonym zaznaczono w niej warianty obliczeniowe (rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe dachów drewnianych ocieplonych między krokiewiami i pod krokiewiami), które spełniają podstawowe kryterium cieplne: $U_c [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \leq U_{C(\max)} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.



RYS. 27. Przykładowe zastosowania pianki poliuretanowej w dachach skośnych drewnianych: izolacja cieplna między krokiewkami; rys.: autor

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łąta, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna, 8 – folia paroizolacyjna, 9 – płyta gipsowo-kartonowa



RYS. 28. Przykładowe zastosowania pianki poliuretanowej w dachach skośnych drewnianych: izolacja cieplna między i pod krokiewkami; rys.: autor

1 – dachówka ceramiczna, 2 – łąta, 3 – kontrłata, 4 – szczelina dobrze wentylowana, 5 – folia wysokoparoprzepuszczalna, 6 – krokiew, 7 – izolacja cieplna, 8 – dodatkowa warstwa izolacji cieplnej, 9 – folia paroizolacyjna, 10 – płyta gipsowo-kartonowa

USPRAWNIENIA INSTALACJI W BUDYNKU JAKO PRZYKŁAD DZIAŁAŃ TERMOMODERNIZACYJNYCH

Określając energochłonność budynku, należy uwzględnić także sprawności systemów instalacyjnych budynku wynikające z: regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej ($\eta_{H,e}$), przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej ($\eta_{H,d}$), akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania ($\eta_{H,s}$), wytwarzania ciepła z nośnika energii lub energii dostarczanych do źródła ciepła ($\eta_{H,g}$). Instalacja grzewcza w budynku musi spełniać wymagania przepisów techniczno-budowlanych, a także powinna uwzględniać wiedzę techniczną z zakresu rozwiązań energooszczędnych. Projektowany system powinien być systemem wysokosprawnym. Należy zaplanować wysokosprawne źródła ciepła, dołożyć wszelkich starań w celu obniżenia strat na przesyłach czynnika grzewczego oraz, jeśli występuje zbiornik akumulacyjny, straty na akumulacji powinny być minimalne, a także optymalnie dobrać elementy odpowiedzialne za regulację i wykorzystanie ciepła. Maksymalne możliwe sprawności można uzyskać według [12] m.in. poprzez stosowanie kotłów kondensacyjnych, pomp ciepła o wysokim współczynniku efektywności (COP), odpowiednie prowadzenie przewodów rozprowadzających czynnik grzejny (zwarta instalacja) oraz ich właściwą izolację cieplną, odpowiednią izolację zbiorników buforowych oraz dobranie do specyfiki ich pracy i użytkowania sterowanie ładowaniem i rozładowaniem, niskotemperaturowe systemy grzejne płaszczyznowe, grzejnikowe lub mieszane, stosowanie wysokosprawnych pomp pomocniczych charakteryzujących się niskim poborem mocy (skutkujące małym zużyciem energii pomocniczej).

Wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną (EP) określa efektywność całkowitą budynku i służy do sprawdzenia kryterium w zakresie oszczędności energii według rozporządzenia [1]: $EP \leq EP_{(max)}$. Dotyczy energii zawartej w źródłach, w tym paliwach i nośnikach, niezbędnej do pokrycia zapotrzebowania na energię końcową, z uwzględnieniem dodatkowych nakładów na dostarczenie tej energii do granicy budynku. Wartość współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych w_i przyjmuje się na podstawie danych udostępnionych przez dostawcę tego nośnika energii lub energii. Uzyskanie niskich wartości

wskazuje na nieznaczne zapotrzebowanie i tym samym wysoką efektywność energetyczną budynku. Wprowadzenie odnawialnych źródeł energii (OZE) powoduje możliwość wprowadzenia do obliczeń wskaźnika w_i poniżej 1, a w konsekwencji uzyskanie niskiej wartości wskaźnika EP. Na stronach internetowych niektórzy dostawcy ciepła zamieszczają wartości wskaźnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej. W przypadku braku takich danych przyjmuje się wartości współczynnika w_i określone w rozporządzeniu [13].

Podjęte działania termomodernizacyjne w budynkach istniejących powinny być przeprowadzane na podstawie szczegółowej analizy ich stanu technicznego i cieplnego. Natomiast ocenę jakości prac związanych z dociepleniem przegród zewnętrznych należy przeprowadzać na podstawie badań termowizyjnych. Wyniki i analizy w tym zakresie dla osiedla na Górnym Śląsku zaprezentowano w pracy [14]. Istnieje potrzeba prowadzenia obliczeń i analiz dotyczących podejmowanych działań energooszczędnych na etapie ich projektowania, wykonawstwa oraz eksploatacji budynków.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dobór działań termomodernizacyjnych w istniejących budynkach jest procesem złożonym, obejmującym m.in. zagadnienia materiałów budowlanych, fizyki budowli oraz instalacji budowlanych.

Jakość ciepła obudowy budynku jest oceniana przez określenie wartości współczynników U_c , które wykorzystywane są do dalszych obliczeń w zakresie analizy cieplno-wilgotnościowej przegród i całego budynku (np. współczynnik strat ciepła przez przenikanie H_{tr} [W/K], zapotrzebowanie na energię użytkową EU, energię końcową EK i pierwotną EP [kWh/(m²·rok)]). Należy także podkreślić, że przy dociepleniu przegród zewnętrznych i ich złączy trzeba uwzględniać kryteria w zakresie: izolacyjności cieplnej, kondensacji powierzchniowej i międzywarstwowej, izolacyjności akustycznej, ochrony przeciwpożarowej oraz nośności i trwałości konstrukcji. Niektóre układy warstw materiałowych spełniają wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej ($U_c \leq U_{c(max)}$), jednak po przeprowadzeniu analizy w zakresie wymagań wilgotnościowych, akustycznych lub przeciwpożarowych usytuowanie warstwy izolacji cieplnej w dowolnym położeniu przegrody jest niedopuszczalne.

Istotne staje się także miarodajne określenie parametrów fizykalnych (cieplno-wilgotnościowych) złączy budowlanych, których wartości zależą od usytuowania i grubości materiału termooizolacyjnego oraz położenia stolarki okiennej w ścianie zewnętrznej (TABELA 2). Postępowanie się wartościami przybliżonymi i orientacyjnymi, np. w oparciu o PN-EN ISO 14683:2008 [15], jest nieuzasadnione, ponieważ nie uwzględniają zmiany układów materiałowych oraz rodzaju i grubości izolacji cieplnej. Szczegółowe obliczenia i analizy w zakresie ocieplenia elementów obudowy budynków istniejących przedstawiono m.in. w pracach [6], [16].

Całokształt działań termomodernizacyjnych budynków powinien obejmować także usprawnienie lub wymianę elementów instalacji szczególnie centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz wprowadzenie odnawialnych źródeł energii (OZE). Takie kompleksowe podejście do dostosowania budynków do wymagań w zakresie oszczędności energii ($EP \leq EP_{(max)}$) i ochrony cieplnej budynków ($U_c \leq U_{c(max)}$) sprawia, że wartość wskaźnika zapotrzebowania budynku na energię pierwotną (EP) jest stosunkowo niska, a emisja CO₂ (E_{CO2}) do atmosfery jest maksymalnie ograniczona.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285).
2. PN-EN ISO 6946:2008, „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
3. PN-EN ISO 13370:2008, „Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metoda obliczania”.
4. P. Gaciek, „Metody docieplenia budynków na starych systemach ociepleń”, „Wyzwania współczesnego budownictwa w dziedzinie izolacji” – materiały konferencyjne, Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2012.
5. „Ocieplenie na ocieplenia – zalecenia dotyczące renowacji istniejącego systemu ETCS”, Stowarzyszenie na Rzecz Systemów Ociepleń, wydanie I, Warszawa 2012.
6. M. Wesołowska, K. Pawłowski, „Aspekty związane z dostosowaniem obiektów istniejących do standardów budownictwa energooszczędnego”, praca wydana w ramach projektu finansowanego ze środków funduszy norweskich i środków krajowych, Agencja Reklamowa TOP, Włocławek 2016.
7. M. Wesołowska, K. Pawłowski, P. Rożek, „Modernizacja poddaszy użytkowych”, „IZOLACJE” 11/12/2019, s. 34–43.
8. Program komputerowy TRISCO-KOBRU 86, PHYSIBEL c.V, Belgia.
9. PN-EN ISO 10211:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe”.
10. 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”.
11. K. Pawłowski, „Projektowanie przegród zewnętrznych w świetle aktualnych warunków technicznych dotyczących budynków. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączy”, Grupa MEDIUM, Warszawa 2016.
12. „Poradnik w zakresie poprawy charakterystyki energetycznej budynków”, Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Warszawa 2016.
13. Rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 6 września 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (DzU z 2019 r. poz. 1829).
14. A. Ostańska, „Increasing The Energy Efficiency of Dwelling Houses: Case Study of Residentia; Quarter in Upper Silesia, Poland”, „Budownictwo i Architektura” 18(1)/2019, s. 23–32.
15. PN-EN ISO 14683:2008, „Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne”.
16. M. Wesołowska, P. Szczepaniak, K. Pawłowski, A. Kaczmarek, „Zagadnienia fizyczne w termomodernizacji i remontach obiektów budowlanych”, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2019.

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI ukończył kierunek budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Pracuje w Katedrze Budownictwa Zrównoważonego na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska UTP w Bydgoszczy. Przedmiotem jego zainteresowań badawczych jest kształtowanie zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie ciepłno-wilgotnościowym. Jest autorem i współautorem 9 monografii i ponad 100 artykułów w zakresie budownictwa ogólnego, budownictwa zrównoważonego, fizyki budowli i materiałów budowlanych. Posiada uprawnienia do wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i lokali.

JÓZEF MACECH, EKSPERT TECHNICZNY STOWARZYSZENIA PRODUCENTÓW SILIKATÓW „BIAŁE MUROWANIE”

AKUSTYKA W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM WEDŁUG WT 2021

Ochrona przed hałasem i drganiami została zapisana w najważniejszych aktach prawnych, regulujących kwestie budownictwa, gdzie wymieniana jest wśród wymagań, jakie powinny spełniać obiekty budowlane. Oznacza to, że izolacyjność akustyczna ścian jest nie mniej istotna niż nośność konstrukcji, energooszczędność czy bezpieczeństwo pożarowe. W związku z tym, w dobie rosnących wymagań wobec izolacyjności cieplnej budynków, a co za tym idzie konieczności zwiększania grubości stosowanych do ocieplenia materiałów, powstaje pytanie, czy grubsza warstwa ocieplenia ma wpływ na akustykę?

W Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 (CPR – *Construction Products Regulation*) [1], a w konsekwencji i w polskim prawie budowlanym [2, 3] określono siedem podstawowych wymagań, które powinny spełniać obiekty budowlane. Są to:

- » nośność i stateczność,
- » bezpieczeństwo pożarowe,
- » higiena, zdrowie i środowisko,
- » bezpieczeństwo użytkowania i dostępność obiektów,
- » **ochrona przed hałasem,**
- » **oszczędność energii i izolacyjność cieplna,**
- » zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych.

Szczegółowe wymagania dotyczące akustyki, określa rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [4], które przywołuje normowe wartości wskaźników [5–7]. Zgodnie z rozporządzeniem, od stycznia 2021 roku wzrosną wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych z obecnie obowiązujących $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ do $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Dodatkowo wyższe będą wymagania dla łącznego zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną (*EP*). Najważniejszymi konsekwencjami tym zmian będą zwiększenie roli materiałów izolujących ciepłnie oraz zastosowanie lub zwiększenie zastosowania dla istniejących źródeł energii odnawialnej.

WIĘKSZE WYMAGANIA DOTYCZĄCE ENERGOOSZCZĘDNOŚCI A AKUSTYKA

Zmiana poszczególnych wymagań podstawowych nie ma bezpośredniego wpływu na inne wymagania podstawowe. Nie oznacza to jednak, że mogą pojawić się problemy z zapewnieniem

poszczególnych warunków. W tym artykule będą analizowane korelacje pomiędzy zmianami izolacyjności cieplnej a zmianami izolacyjności akustycznej przegród lub obiektów budowlanych oraz dodatkowe efekty związane ze zwiększonym stosowaniem odnawialnych źródeł energii. Przytoczone przykłady dotyczą wyłącznie budownictwa mieszkaniowego. Ochrona przed hałasem zależy od:

- » projektu architektonicznego obiektu budowlanego,
- » rodzaju zastosowanych materiałów konstrukcyjnych, elewacyjnych, do izolacji cieplnej, przeciwwilgociowej oraz akustycznej,
- » jakości zastosowanych materiałów,
- » sposobu połączenia wyżej wymienionych materiałów, kolejności warstw,
- » dokładności wykonawstwa,
- » ewentualnych świadomych lub nieświadomych błędów wykonawczych (dodatkowe puszki, bruzdy),
- » sposobu użytkowania, konserwacji i remontów.

Na etapie projektowania określone są podstawowe drogi przenoszenia hałasu zarówno powietrznego, jak i uderzeniowego. Jest to zjawisko trwałe dla obiektu budowlanego aż do jego recyklingu. Zastosowanie i wybór materiałów konstrukcyjnych, elewacyjnych, izolacyjności cieplnej, izolacyjności przeciwwilgociowej oraz izolacyjności akustycznej odbywa się zazwyczaj jednorazowo podczas wznoszenia. Czasami można jeszcze doposażyć istniejący obiekt w niektóre materiały, np. izolacyjności cieplnej czy izolacyjności akustycznej. Niesie to jednak za sobą duży nakład kosztów i nie zawsze może przyczynić się do poprawy właściwości użytkowych budynku. Rodzaj i jakość stosowanych materiałów ma znaczący wpływ na ochronę przed hałasem. Powszechnie wiadomo, że materiały ciężkie, takie jak silikat czy klinkier, dobrze izolują akustycznie. Styropian zazwyczaj pogarsza izolacyjność akustyczną. Wełna mineralna, w zależności od ułożenia włókien, może poprawić właściwości akustyczne przegrody, ale może je też pogorszyć. Sposób łączenia materiałów konstrukcyjnych może nasilić boczne przenoszenia dźwięków, poprzez powstałe w trakcie prac wykonawczych mostki akustyczne, albo tłumić rozprzestrzenianie fal dźwiękowych. Bardzo duże znaczenie ma dokładność wykonawstwa połączeń poszczególnych materiałów – każda nieciągłość, każda szczelina czy otwór mogą w znaczący sposób obniżyć izolacyjność akustyczną przegrody. Błędy wykonawcze zawsze pogarszają ochronę przed hałasem i, co ciekawe w przypadku akustyki, często popełniane są świadomie. Popełniają je projektanci, projektując przy ścianie międzymieszkaniowej sypialnię i łazienkę lub przewidując w takiej ścianie bruzdy, kanały i puszki elektryczne. Błędy pogarszające akustykę popełniają również wykonawcy, świadomie naruszając ścianę międzymieszkaniową dodatkowymi instalacjami. Istotne jest to, że błędy popełniają sami użytkownicy, naruszając już w trakcie użytkowania warstwę izolującą akustycznie.

JAK SPEŁNIĆ JEDNOCZEŚNIE ODPOWIEDNIE PARAMETRY ENERGOOSZCZĘDNOŚCI I AKUSTYKI?

Analizując zagadnienie tytułowe, należy określić sposoby uzyskania lepszych parametrów izolacyjności cieplnej w budownictwie mieszkaniowym oraz dodatkowe efekty związane ze zwiększonym zapotrzebowaniem na korzystanie z odnawialnych źródeł energii. Podstawowym rozwiązaniem jest zwiększenie grubości warstwy izolującej cieplnie. Jak wspomniano wyżej, niektóre materiały termoizolacyjne, tak jak na przykład styropian, mogą pogarszać izolacyjność akustyczną przegrody.

Wpływ ten jest niewielki, wynosi bowiem około 1–2 dB przy małych grubościach murów od 12 do 18 cm, ale wzrasta do około 2–4 dB przy grubościach przegrody powyżej 20 cm. Należy to uwzględnić przy projektowaniu nowo wznoszonych obiektów budowlanych, a także docieplaniu istniejących. Korzystne i bezpieczne będzie projektowanie i wykonawstwo z materiałów, które dobrze izolują zarówno ciepnie, jak i akustycznie, czyli na przykład zastosowanie wełny mineralnej.

Kolejnym sposobem na osiągnięcie lepszych parametrów jest zastosowanie materiałów lepiej izolujących ciepnie. W przypadku przegrody zewnętrznej to okna i drzwi są najczęściej miejscem pogarszającym izolacyjność zarówno cieplną, jak i akustyczną. Analizując związek pomiędzy właściwościami cieplnymi a izolacyjnością akustyczną szyb zespolonych można zauważyć, że w przypadku występujących na rynku zestawów szybowych nie występuje korelacja między izolacyjnością cieplną a akustyczną. Zestawy o słabych parametrach cieplnych, gdzie $U = 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, mogą mieć dobre właściwości izolacyjności akustycznej na poziomie $R_{A2} > 40 \text{ dB}$. Mogą też występować w tej grupie zestawy o niskiej izolacyjności akustycznej na poziomie $R_{A2} < 30 \text{ dB}$. Również wśród zestawów o dobrej izolacyjności cieplnej, gdzie $U = 0,7 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ można znaleźć zestawy o izolacyjności akustycznej w zakresie $R_{A2} = 30\text{--}40 \text{ dB}$. Wynika to stąd, że przenikanie ciepła konkretnego układu szybowego zależy przede wszystkim od liczby komór czy sposobu wypełnienia komór (powietrze lub gaz szlachetny), a także innych czynników (np. powłoki niskoemisyjne).

Warto zwrócić również uwagę na sposób konstruowania podłóg i sufitów. Te elementy konstrukcji nie mają otworów poza przejściami instalacji. Przejścia te muszą być bardzo starannie zabezpieczone zarówno w zakresie izolacyjności cieplnej, jak i akustycznej. W pozostałych aspektach należy, podobnie jak przy murach, uwzględnić możliwość pogorszenia izolacyjności akustycznej wraz ze wzrostem izolacyjności cieplnej. Dodatkowo, z uwagi na poziomy charakter przegrody budowlanej, stosuje się większą grubość warstwy izolującej ciepnie.

Oprócz poprawienia współczynnika przenikania ciepła U dla konkretnej przegrody w budownictwie mieszkaniowym, należy jeszcze od 1 stycznia 2021 r. w nowo wznoszonych lub modernizowanych obiektach budowlanych zmniejszyć zużycie energii pierwotnej. Większość możliwości zwiększenia roli OZE i spełnienia powyższego warunku nie wpływa na ochronę przed hałasem.



Kolektory słoneczne wykorzystywane najczęściej do podgrzewania wody nie emitują dźwięków, jedynie pompa obiegowa może być źródłem niewielkiego hałasu. Zazwyczaj pracuje bardzo cicho, a dodatkowo jest ona umieszczona w pomieszczeniu technicznym. Podobnie, instalacje fotowoltaiczne nie stanowią źródła hałasu.

Energia pozyskiwana z wiatru może być źródłem hałasu, czasami nawet bardzo groźnego. Dotyczy to jednak wytwarzanych przez duże generatory wiatrowe infradźwięków, ale przepisy prawa bronią budownictwo mieszkaniowe przed tym zjawiskiem, ustanawiając strefy ochronne. Natomiast małe elektrownie wiatrowe, które bez pozwolenia mogą być mocowane do konstrukcji budynku, mogą być źródłem hałasu przenoszonego na konstrukcję budynku. Dotyczy to urządzeń, które wystają nie więcej niż 3 metry ponad najwyższy punkt budynku. W praktyce dotyczy to urządzeń o mocy do 1 kW. Podczas montażu takiego urządzenia do konstrukcji należy zastosować bardzo dobre mocowanie dźwiękochłonne.

Podsumowując, zwiększenie wymagań wobec izolacyjności cieplnej budynków nie ma i nie powinno mieć bezpośredniego wpływu na wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej w budynkach mieszkalnych. Problemy mogą się jednak pojawić, zwłaszcza w związku z koniecznością zastosowania grubszej warstwy materiału termoizolacyjnego, czy montażu np. instalacji fotowoltaicznej lub małych elektrowni wiatrowych. Jednak problemy tego typu powinny być rozwiązywane już na etapie projektowania budynku.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG (OJ L 88, 4.4.2011, s. 5–43).
2. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 – Prawo budowlane (DzU 1994 nr 89, poz. 414).
3. Ustawa o wyrobach budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 r. (DzU 2004 nr 92, poz. 881).
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 marca 2009 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2009 nr 56, poz. 461 z późniejszymi zmianami).
5. PN-B-02151-2:2018-01, „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach”.
6. PN-B-02151-3:2015-10, „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych”.
7. PN-B-02151-5:2017-10, „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 5: Wymagania dotyczące budynków mieszkalnych o podwyższonym standardzie akustycznym oraz zasady ich klasyfikacji”.

JÓZEF MACECH jest absolwentem Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, specjalność: Technologia Materiałów Budowlanych. Od 1986 r. pracuje w Przedsiębiorstwie Produkcji Materiałów Budowlanych Niemce SA, zajmując kolejno stanowiska: kierownika laboratorium, kierownika kontroli jakości, kierownika produkcji. Aktualnie zajmuje stanowisko pełnomocnika ds. jakości i doradcy technicznego klienta. Reprezentuje PPMB Niemce SA oraz Stowarzyszenie „Białe murowanie” w komitetach technicznych Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Jest członkiem Stowarzyszenia Producentów Siliikatów „Białe murowanie”, biorąc udział w pracach grupy roboczej ds. technicznych oraz pełniąc funkcję eksperta technicznego.

Austrotherm Sp. z o.o.

ul. Chemików 1, 32-600 Oświęcim
tel.: 33 844 70 33-36, faks: 33 844 70 43
o.klient@austrotherm.pl
www.austrotherm.pl

**Hurtownia Styropianu PHU LINGO**

ul. Gdyńska 25, 58-100 Świdnica
tel.: 51 536 16 62
bok@hurtowniastyropianu.pl
www.hurtowniastyropianu.pl

HurtowniaStyropianu.pl

STAHLTON Polska Sp. z o.o.

ul. Henryka III 16A lok. 7
55-011 Siechnice
tel.: + 48 71 317 79 22
www.stahlton.pl

st▲**hlton**

Do ściągnięcia **bezpłatne e-booki**



wejdź na:

IZOLACJE.com.pl

budownictwo | przemysł | ekologia