

prof. nadzw. dr hab. Eur. inż. Tomasz Błaszczński*

Materiały termoizolacyjne stosowane w dachach

Thermo-insulating materials applied in roofs

Streszczenie. Przedstawiono cały wachlarz materiałów termoizolacyjnych, które mogą być zastosowane w dachach zarówno płaskich, jak i stromych: od materiałów tradycyjnych, czyli takich, które były dotychczas stosowane, przez materiały współcześnie preferowane, aż do innowacyjnych, czyli takich, które właśnie wchodzi do praktyki budowlanej. Osobną grupę stanowią materiały ekologiczne, które powinny być preferowane z punktu widzenia budownictwa zrównoważonego i ekologicznego.

Słowa kluczowe: dachy, materiały termoizolacyjne, przewodność cieplna, ekologia.

Abstract. The whole variety of thermo-insulating materials, which can be applied in roofs both flat and steep: from traditional materials, those are actually applied, across contemporary materials, which in a modern manner should be preferred, until innovative materials, which are just taking effect. The separate group of materials makes ecological materials, which should be preferred from the point of sustainable and ecological construction.

Keywords: roofs, thermo-insulating materials, thermal conductance, ecology.

Materiały termoizolacyjne stosowane do ocieplenia dachów płaskich i dachów stromych są dobierane w zależności od konstrukcji zadaszenia, układu warstw oraz sposobu wentylacji. Oprócz najważniejszego parametru, jakim jest przewodność cieplna materiału termoizolacyjnego, należy brać pod uwagę również jego opór dyfuzyjny oraz wytrzymałość mechaniczną. Grubość warstwy izolacji termicznej wynika bezpośrednio z wymagań określonych w rozporządzeniu [1]. W przypadku dachów i stropodachów, maksymalny dopuszczalny współczynnik przenikania ciepła, przy temperaturze wewnątrz pomieszczenia $t_i > 16$ °C, wynosi od 1 stycznia 2014 r. $U = 0,2$ W/m²K. Wymaganie to odnosi się do wszystkich budynków. Pozostałe wymagania przedstawiono w tabeli 1 [1]. Niestety odbiegają one od tych, które powinny obowiązywać w momencie wprowadzania budownictwa prawie zeroenergetycznego, czyli w 2021 r.

Konieczność osiągnięcia odpowiednich wartości współczynnika przenikania ciepła przegrody wpływa bezpośrednio nie tylko na grubość izolacji termicznej, ale również na wybór zastosowanego materiału. Ze względu na zaprezentowane wymagania i konstrukcje dachów nie powinno się już stosować materiałów o współczynniku przewodzenia ciepła większym niż $\lambda = 0,035$ W/mK. Z tego względu istniejące materiały termoizolacyjne można podzielić na cztery grupy: tradycyjne, czyli dotychczas stosowane; współcześnie preferowane; innowacyjne, czyli takie, które właśnie

Tabela 1. Wartości współczynników przenikania ciepła stropodachów i stropów we wszystkich budynkach [1]

Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m ² ·K)]		
	od 1.01.2014 r.	od 1.01.2017 r.	od 1.01.2021 r.
dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami			
$t_i \geq 16$ °C	0,20	0,18	0,15
8 °C $\leq t_i < 16$ °C	0,30		
$t_i < 8$ °C	0,70		

wchodzą na rynek; ekologiczne – preferowane są z punktu widzenia budownictwa zrównoważonego i ekologicznego.

Materiały tradycyjne

Do wykonywania ocieplenia dachów płaskich i stromych wykorzystuje się następujące materiały tradycyjne: wełnę mineralną; polistyren ekspandowany (styropian); polistyren ekstrudowany i poliuretan (PUR i PIR).

Wełnę mineralną otrzymujemy w postaci wełny kamiennej i szklanej. Parametry techniczne wełny mineralnej są ściśle związane z jej strukturą, która może być zaburzona, prostopadła do płaszczyzny płyt, bądź do nich równoległa. Ponadto stosuje się różnego rodzaju dodatki, które nadają wełnie właściwości hydrofobowe lub poprawiają właściwości mechaniczne [2].

Pozyskiwana z naturalnego bazaltu mineralna wełna skalna jest materiałem bardzo często stosowanym jako termoizolacja dachów stromych. Zwykle stanowi ona ocieplenie układane między krokwiami, a także pod krokwiami. Podstawowe właściwości wełny skalnej to:

- odporność na wpływ związków chemicznych;
- duża elastyczność;
- dobra izolacyjność akustyczna;

- bardzo dobra paroprzepuszczalność ($\mu = 1$);
- odporność na wysoką temperaturę;
- niepalność.

Wełna mineralna jest sprzedawana w postaci płyt sztywnych (miękkich, półtwardych lub twardych) lub zwojów (miękką), a także w formie prostokątnych arkuszy (mat), w których warstwa wełny pokryta jest jednostronnie lub dwustronnie osnową, a także w postaci tzw. lameli. Mineralna wełna skalna pozwala na osiągnięcie parametrów wymaganych w budownictwie energooszczędnym dopiero po zastosowaniu dwuwarstwowej termoizolacji o łącznej grubości > 30 cm. W tym przypadku uzyskamy współczynnik przenikania ciepła na poziomie $U < 0,13 - 0,15$ W/m²K.

W przypadku stosowania wełny mineralnej należy zawsze pamiętać, że mokra wełna mineralna ma aż 8-krotnie gorsze właściwości termiczne, a w przypadku zamrożenia takiej wełny parametry te spadają aż 32-krotnie. Poza tym wełna mineralna jest średnio odporna na korozję biologiczną, natomiast jest niepalna i pełni funkcję pasywnej ochrony przeciwpożarowej budynku, podnosząc jego bezpieczeństwo pożarowe oraz jest najlepszym izolatorem akustycznym ze wszystkich obecnie stosowanych materiałów termoizolacyjnych.

* Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

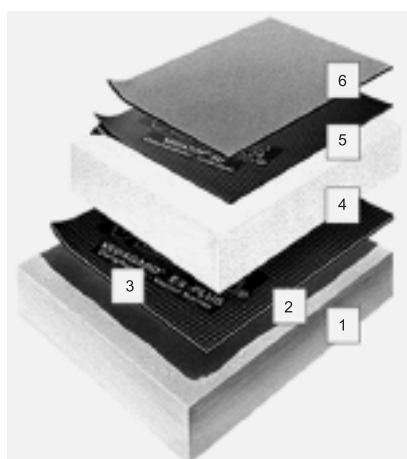
Powszechnie stosowany, jako izolacja termiczna dachów stromych i płaskich, jest również **polistyren ekspandowany, czyli styropian**. Jest on produkowany w odmianach różniących się gęstością objętościową i wytrzymałością na ściskanie. Płyty styropianowe mają boki proste lub wyprofilowane na pióro i wpust. Odmianę styropianu należy dobierać, biorąc pod uwagę miejsce jego stosowania. Styropian jest materiałem samogasnącym. Powinien być zawsze oddzielony od temperatury wyższej niż 80 °C np. szczeliną wentylowaną.

Polistyren ekspandowany jest stosowany również jako izolacja termiczna w dachach płaskich. Musi być to jednak odmiana o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej (EPS 120). Przykładowy przekrój przez dach płaski ocieplony styropianem EPS 120 przedstawiono na rysunku 1. Niestety ze względów ppoż. styropian nie może być stosowany w dachach (szczególnie płaskich) o powierzchni > 2000 m².

Inną odmianą jest **polistyren ekstrudowany XPS**. Różni się on od polistyrenu ekspandowanego przede wszystkim procesem produkcyjnym, dzięki któremu pianka polistyrenowa XPS charakteryzuje się odmienną budową fizyczną i lepszymi właściwościami niż styropian EPS:

- lepszą izolacyjnością termiczną;
- większą wytrzymałością mechaniczną;
- większą odpornością na wilgoć.

Współczynnik przewodzenia ciepła polistyrenu XPS wynosi $\lambda = 0,032 - 0,035$ W/mK. Polistyren ekstrudowany w postaci twardych płyt stosowany jest jako izolacja termiczna: stropodachów płaskich o odwróconym



Rys. 1. Fragment przekroju dachu płaskiego ocieplonego styropianem EPS 120 [3]: 1 – strop; 2 – polimero-bitumiczny preparat gruntujący; 3 – papa paroizolacyjna; 4 – termoizolacja (EPS 120); 5 – samoprzylepna papa podkładowa SBS; 6 – papa nawierzchniowa SBS zgrzewalna

nym układzie warstw; stropodachów z różninością oraz dachów stromych.

W tabeli 2 zestawiono minimalną grubość izolacji termicznej z różnych odmian wełny mineralnej oraz polistyrenu, jaką należy zastosować w dachach stromych, aby spełnić wymagania dotyczące izolacyjności termicznej, stawiane standardowym budynkom oraz budynkom energooszczędnym. Trzeba się liczyć z tym, że styropian jest mało odporny na różnego rodzaju gryzonie, a szczególnie myszy, które na zimę często zakładają w nim swoje siedliska.

Rozwój technologii produkcji materiałów izolacyjnych na bazie poliuretanu zawocował stworzeniem sztywnej pianki poliizocyjanurowej (PIR), która charakteryzuje się dużą stabilnością i odpornością

Tabela 2. Minimalna grubość izolacji termicznej w dachach stromych

Rodzaj stropodachu	Materiał termoizolacyjny	Minimalna grubość termoizolacji [cm]	
		budynki standardowe $U = 0,20$ W/m ² K	budynki energooszczędne $U = 0,15$ W/m ² K
Termoizolacja ponad krokiewiami	płyty twarde z wełny mineralnej $l = 0,039$ W/mK	20	27
	płyty XPS 200, $l = 0,036$ W/mK	19	23
Termoizolacja między i pod krokiewiami	płyty miękkie z wełny mineralnej $l = 0,042$ W/mK	22*	36*
	styropian EPS 50, $l = 0,042$ W/mK	26*	32*
Termoizolacja pod krokiewiami	płyty twarde i półtwarde z wełny mineralnej, $l = 0,039$ W/mK	20	27
	styropian EPS 70, $l = 0,040$ W/mK	20	25

*grubość izolacji z uwzględnieniem wpływu krokwi na izolacyjność cieplną przegrody

na nacisk oraz działanie niemal wszystkich budowlanych substancji chemicznych, a także dużą trwałością. Sztywna pianka PIR osiąga lepsze wartości izolacyjne ($\lambda = 0,022 - 0,026$ W/mK) od pozostałych stosowanych w budownictwie tradycyjnych materiałów termoizolacyjnych. Poza tym, w przypadku płyt termoizolacyjnych PIR, klasyfikacja w zakresie reakcji na ogień wynosi B-s1, d0; B-s2, d0 i B-s3, d0, co zgodnie z polskimi przepisami jest tożsame z określeniem niezapalne i niekapiące. Dodatkowo oznacza to klasyfikację NRO (nierozprzestrzeniający ognia). Odporność ogniowa w przypadku zastosowania w dachach płyt PIR wynosi REI 15 i REI 30 w zależności od rodzaju dachu.

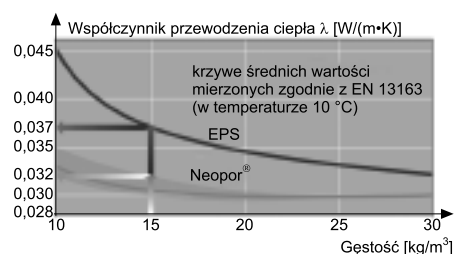
Materiały współczesne

W ostatnich latach pojawiły się na polskim rynku nowe produkty termoizolacyjne: Neopor i pianka rezolowa.

Neopor® to czarny granulatu polistyrenu (EPS) zawierający cząstki grafitu, które absorbują i odbijają promieniowanie podczerwone (rysunek 2). Jego komórki są wy-

pełnione powietrzem [4]. Płyty wykonane z Neoporu mają współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,030$ W/mK, są wodoodporne; charakteryzują się dużą dyfuzją pary wodnej i dużą stabilnością wymiarową.

Kilka lat temu na polskim rynku izolacji pojawiła się **plyta termoizolacyjna z rdze-**



Rys. 2. Krzywe średnich wartości λ styropianu EPS i Neoporu [4]

niem ze sztywnej pianki rezolowej na bazie fenoli [5]. Współczynnik przewodzenia ciepła λ rdzenia izolacyjnego płyt z pianki rezolowej wynosi 0,020 W/mK, przy grubości izolacji ≥ 45 mm. Bardzo dobrą izolacyjność termiczną uzyskują płyty z pianki rezolowej dzięki zamkniętej budowie komórkowej. Budowa taka sprawia również, że pianka rezolowa jest odporna na przenikanie i pochłanianie wilgoci. Stosowana w dachach pianka rezolowa jest obustronnie pokryta welonem szklanym bądź okładziną z aluminium lub jednostronnie płytą g-k. Płyty z pianki rezolowej są sztywne, lekkie (ich masa nie przekracza 35 kg/m³), nie zawierają freonów (CFC i HCFC). Charakteryzują się wytrzymałością na ściskanie **100 kPa przy 10% odkształceniu względnym** i gwarantują dobrą ochronę przeciwpożarową.

Materiały innowacyjne

Jednym z najciekawszych innowacyjnych materiałów izolacyjnych są **maty aerozelowe**, w których powietrze jest ograniczone krzemionkowym szkieletem tak, że

powstaje bardzo duża liczba porów. Mogą one stanowić nawet 99,8% objętości materiału. Ważna jest jednak również wielkość tych porów, gdyż są one na tyle małe, że wpływ konwekcji i promieniowania jest minimalny [6].

Aerożel krzemionkowy ma najniższą przewodność cieplną ze wszystkich znanych substancji (nie licząc próżni), a aerożel węglowy wchłania promieniowanie podczerwone (czyli ciepło z promieni słonecznych), zapewniając jednocześnie dostęp naturalnego światła. Czysty aerożel na bazie krzemionki ma następujące zalety:

- $\lambda = 0,014 - 0,016 \text{ W/mK}$;
- bardzo dobrą izolacyjność akustyczną (fale dźwiękowe rozchodzą się w tym ośrodku z prędkością tylko 100 m/s);
- całkowitą niepalność i nietoksyczność;
- odporność na wysoką temperaturę (zachowuje swoje właściwości do temperatury 500 °C, a temperatura topnienia wynosi 1200 °C);
- bardzo dużą powierzchnię właściwą dochodzącą do 1000 m²/g;
- absorbuje energię uderzeniową;
- dużą wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie (wytrzymuje nacisk na gładką powierzchnię 2000 razy większy od jego ciężaru właściwego).

Aerożelem o najmniejszej gęstości jest krzemionkowa nanopianka (1 kg/m³). Dla porównania gęstość powietrza jest szacowana na 1,2 kg/m³ (w temperaturze 20 °C przy ciśnieniu 1 atm). Wadami czystego aerożelu są: duża kruchość i mała odporność na skręcanie i ścinanie oraz uderzenia. Obecnie dostępne na polskim rynku materiały na bazie aerożelu mają postać granulatu, mat oraz płyt. Maty aerożelowe mogą być stosowane jako izolacja termiczna w dachach stromych. Niestety wciąż jest to materiał bardzo drogi, aby można było mówić o powszechnym stosowaniu w budownictwie [6]. Jedne z pierwszych badań laboratoryjnych nad polskim aerożelem rozpoczęto w Instytucie Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej [7].

Innym innowacyjnym materiałem termoizolacyjnym są **izolacje próżniowe VIP** – *Vacuum Insulated Panel*, które w porównaniu z tradycyjnymi materiałami izolacyjnymi charakteryzują się 10-krotnie lepszym współczynnikiem, a w porównaniu z PUR aż 6-krotnie lepszym [8, 9]. Proces produkcji polega na zamknięciu płyty z porowatego materiału w szczelnym opakowaniu z wielowarstwowej folii nieprzepuszczalnej dla powietrza i pary wodnej. Przewidywana trwałość płyt VIP to ok. 60 lat. Mają one

jednak jedną podstawową wadę: muszą być przygotowywane na miarę i zabezpieczone przed uszkodzeniem, gdyż uszkodzony panel traci swoje właściwości. Przy ciśnieniu w panelu VIP wynoszącym 1 hPa, współczynnik λ panelu uwzględniający starzenie wynosi 0,007 W/(m·K), a w przypadku jego uszkodzenia, czyli przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym (1013,25 hPa), 0,020 W/(m·K).

Kolejnym ciekawym materiałem innowacyjnym jest produkowana przez firmę Rockwool **aerowetna**, zwana Aerorock [10 – 12], będąca połączeniem mineralnej wełny skalnej oraz aerożelu. Płyty z aerowełny przeznaczone do ocieplania dachów stromych i montowane pod krokiewiami charakteryzują się współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda = 0,019 \text{ W/mK}$. Oferowane przez firmę Rockwool płyty mają grubość 30 oraz 50 mm i z jednej strony są wykończone płytą gipsowo-kartonową grubości 10 mm. Obecnie ze względu na cenę stosowane są głównie do poprawienia termoizolacyjności obiektów już istniejących. Miejmy jednak nadzieję, że w krótkim czasie materiał ten stanie się ogólnie dostępny i zrewolucjonizuje rynek tradycyjnych materiałów termoizolacyjnych.

Materiały ekologiczne

Izolacje z włókien naturalnych mogą być stosowane w postaci luźnych granulatów lub uformowane (za pomocą środków wiążących najczęściej pochodzących z recyklingu) w elastyczne, półsztywne lub sztywne panele. Do takich wyrobów należą: korek; bawełna; konopie; len; kokos; wełna; lekkie włókna drzewne; celuloza; tkaniny lub ubrania z recyklingu; glony; łupiny orzechów; kaczany z kukurydzy; słoma; korki od butelek pochodzące z recyklingu (w formie granulatu) itp.

Maty izolacyjne z konopi charakteryzują się przewodnością cieplną podobną do styropianu i wełny mineralnej, są łatwe w obróbce oraz samogasnące. Ze względu na paroprzepuszczalność, montaż w konstrukcji jest podobny do montażu płyt z wełny mineralnej.

Ekologicznym i przyjaznym środowisku systemem izolacyjnym są **maty z włókna drzewnego**. Współczynnik przewodzenia ciepła tego materiału termoizolacyjnego jest również podobny do współczynników charakteryzujących tradycyjne materiały. Duża zdolność do akumulowania wilgoci przez włókna powoduje, że dobrze znoszą one kontakt z wilgocią, a co za tym idzie – charakteryzują się dużą trwałością. Maty

z włókna drzewnego służą przede wszystkim do izolowania dachów stromych. Układane są między krokiewiami, szczelnie wypełniając wolne przestrzenie. Możliwy jest jednak ich montaż również na stropie nieużytkowanego poddasza oraz jako izolacja ścian budynków szkieletowych.

Coraz powszechniej stosuje się termoizolację z **wełny owczej**, która jest bardzo skutecznym izolatorem termicznym, a przy tym jej termoizolacyjność nie spada nawet po kondensacji pary wodnej. Jest wykonywana z odpadów wełnianych pochodzących z produkcji dywanów oraz przemysłu tekstylnego i dostępna zarówno w formie rolek, jak i mat. Wełna ma zdolność do absorbowania znacznej ilości skondensowanej pary wodnej (nawet do 40% swojej wagi), mimo tego pozostaje sucha. Wraz z absorpcją wilgoci, wełna ogrzewa się, zmniejszając ryzyko dalszej kondensacji. Ma też wyjątkową zdolność do absorbowania gazów, takich jak formaldehyd, dwutlenek azotu, dwutlenek siarki, wiążąc je na stałe. Izolacja z wełny owczej charakteryzuje się długą żywotnością. Testy wytrzymałości wykazały, że przewidywany cykl jej życia wynosi ponad 100 lat. Kolejną propozycją są **maty termoizolacyjne z bawełny**, powstające najczęściej z odpadów przemysłowych podanych recyklingowi. Jako środek zmniejszający ich palność stosuje się jedynie kwas borowy.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2013 r. poz. 926.
- [2] Stropodachy niewentylowane, Zeszyt 2.2, Dachy płaskie, Rockwool, 2009.
- [3] Błaszczczyński T., Dachy. Podstawy projektowania i wykonawstwa. DWE, Wrocław, 2014.
- [4] Buduj i modernizuj z Neopor, BASF, 2012.
- [5] Kielar P., Płyty termoizolacyjne z rdzeniem ze sztywnej piany fenolowej, Izolacje, nr 11/12, 2010.
- [6] Izolacja aerożelowa na tle izolacji tradycyjnych, ekspertbudowlany.pl.
- [7] Błaszczczyński T., Ślosarczyk A., Morawski M., Synthesis of silica aerogel by supercritical drying method, Procedia Engineering, Elsevier, 57, 2013.
- [8] Zimmermann M., Bertschinger H., High Performance Thermal Insulation Systems – Vacuum Insulated Products (VIP), EMPA, Dubendorf, 2001.
- [9] Erb M., Vacuum Insulation – Panel Properties and Building Applications, IEA/ECBCS Annex 39, 2005.
- [10] Aerorock ID, Innendämmsystem, Rockwool, 2012.
- [11] Aerorock UD, Untersparren-Verbundplatte, Rockwool, 2012.
- [12] Aerorock UD, Untersparrendämmung, Rockwool, 2012.