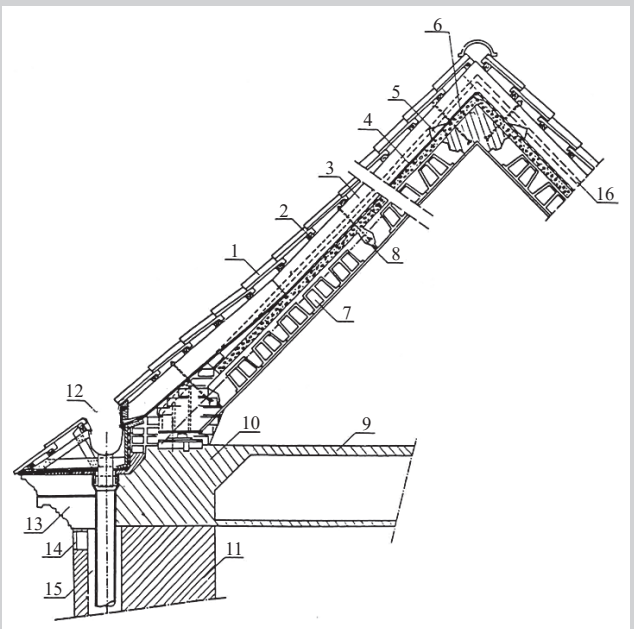
mgr inż. Krzysztof Patoka[1)]

Szkło piankowe w dachu Zamku Królewskiego w Warszawie
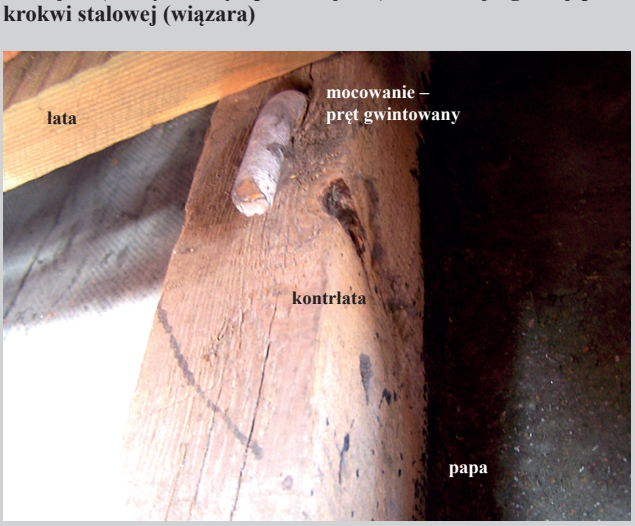
W tym roku obchodzimy 55 rocznicę rozpoczęcia prac zmierzających do odbudowy Zamku Królewskiego w Warszawie. We wrześniu 1971 r. uroczyście położono „pierwszą cegłę". W lipcu 1974, montażem zegara i hełmu na Wieży Zegarowej, zakończono pierwszy etap odbudowy polegający na wykonaniu budowli w stanie surowym. W następnych latach prowadzono prace zmierzające do odtworzenia historycznych wnętrz aż do 31 sierpnia 1984 r., gdy uroczyście udostępniono Zamek publiczności. Jak wiadomo, Zamek był odbudowywany na podstawie przekazów ikonograficznych. Oprócz wszelkich wymiarów zewnętrznych i wewnętrznych, zachowano wymiary i kształt dachów, wież i wieńczących je hełmów. Pierwotnie, poszczególne skrzydła były budowane w różnych okresach historycznych i dlatego mają różną długość i szerokość. Z tego powodu dachy mają różne kąty nachylenia (od 41° do 45°) i różną wysokość kalenic. Wszystkie zostały jednak odbudowane w takim samym systemie materiałowym (rysunek 1 wg [1]).

Konstrukcja jest stalowa, krokwiowo-jętkowa. Jętki dzielą poddasze na dwie kondygnacje. Strop drugiej kondygnacji poddasza opiera się na jętkach. Są tam zamontowane różne instalacje techniczne. Na pierwszej kondygnacji poddasza, oprócz instalacji technicznych, są pomieszczenia socjalne i warsztatowe. Stalowe krokwie wykonano w formie niesymetrycznych blachownic o górnej półce 36 × 220 mm, dolnej półce 18 × 360 mm i środniku 12 × 320 mm. Konstrukcja jest skręcana i spawana. Wypełnieniem między dźwigarami/krokwiami są prefabrykowane płyty ceramiczno-żelbetowe grubości 21 cm (pustaki Ackermana), układane poziomo i mocowane do dolnych półek krokwi za pomocą spawania przez stalowe marki zabetonowane w krótszych bokach prefabrykatów.

Na tak przygotowanych płytach ceramicznych przymocowano podczas prefabrykacji termoizolację z czarnego szkła piankowego o grubości 12 cm. Po zamontowaniu płyt, na wierzchu szkła piankowego przyklejono papę perforowaną, na której ułożona jest zasadnicza izolacja połaci dachowej w postaci dwóch warstw papy na lepiku. Do płaszczyzny utworzonej z prefabrykowanych płyt przymocowane zostały krokwie za pomocą kotew (osadzonych w żebrach żelbetowych na stykach płyt), pełniące funkcję kontrłat (fotografie 1 i 2). Na krokwiach ułożono łaty, na których zamocowano dachówki ceramiczne typu holenderki. Początkowo dachówki pochodziły z cegielni k. Peplina (już nieistniejąca), ale w latach 1998–2005 wymieniono je na zakładkową dachówkę ceramiczną Sinfonie firmy Creaton.



Rys. 1. Przekrój zaczerpnięty z projektu, prezentujący przyjęty system materiałowy na wszystkich odtwarzanych dachach Zamku Królewskiego w Warszawie. Przekrój poprzeczny konstrukcji dachu: 1) dachówki ceramiczne; 2) łaty drewniane 47 × 63 mm; 3) krokwie drewniane w funkcji kontrłat; 4) trzy warstwy papy zgrzewalnej (pierwsza perforowana); 5) wywietrznik wentylacyjny z papy; 6) szkło piankowe, czarne 120 mm; 7) płyty prefabrykowane ceramiczno-żelbetowe (typu Akerman); 8) śruby stalowe kotwiące krokwie (kontrłaty); 9) strop żelbetowy, skrzynkowy; 10) wieniec żelbetowy stropu poddasza; 11) mur zewnętrzny podłużny, ściana nośna; 12) koryto ściekowe z rynną miedzianą; 13) gzyms kamienny; 14) kratka wentylacyjna z wnęki rury spustowej; 15) wnęka rury spustowej; 16) lokalizacja górnej półki krokwi stalowej (wiązara)



Fot. 1. Odkrywka kontrolna (wykonana w ramach [1]) pokazuje kontrłatę/krokiew mocowaną do połaci za pomocą gwintowanych prętów, które w tym miejscu były zagięte

[1)] Rzeczoznawca Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Materiałów Budowlanych; patoka.k54@gmail.com



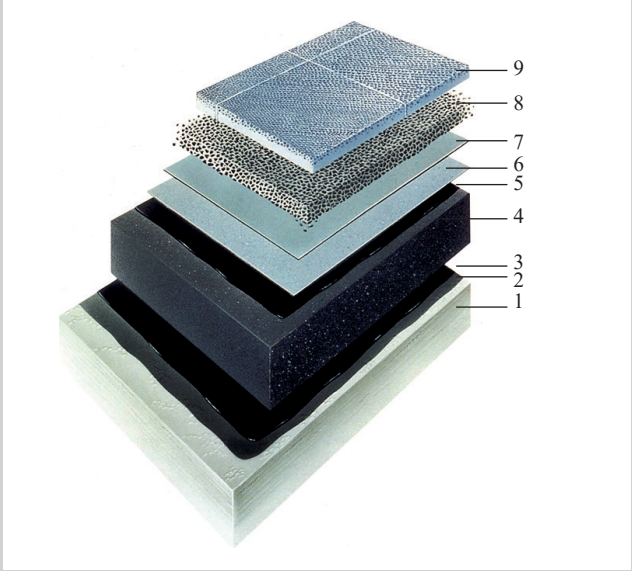
Fot. 2. Odkrywka w innym miejscu pokazuje kontrłatę/krokiew mocowaną do połaci za pomocą gwintowanych prętów z nakrętką i podkładką mocującą

Najważniejsze parametry materiałów termoizolacyjnych stosowanych w dachach, podawane przez producentów oraz w normie PN-EN 12524:2003 [2]

Termoizolacja	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego μ
Wełna mineralna	0,032 – 0,039	1,2 – 1,5
OK PUR (otwartokomórkowy)	0,035 – 0,038	2 – 6,5
ZK PUR (zamkniętokomórkowy)	0,021 – 0,025	25 – 65
PIR (bez okładzin)	0,021 – 0,025	30 – 60
EPS – styropian	0,031 – 0,042	20 – 50
XPS – polistyren ekstrudowany	0,030 – 0,040	50-250
Drewno (sosna/świerk)	0,13 – 0,18	20 – 50
Czarne szkło spienione (ZK)	0,070	∞

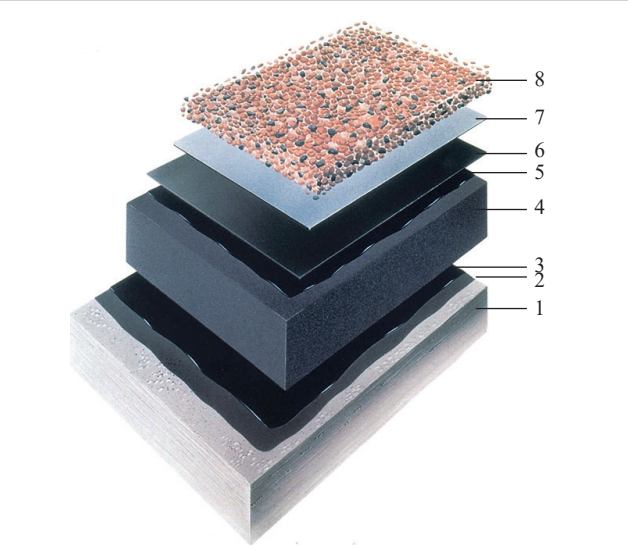
Należy podkreślić, że system materiałowy, w którym termoizolacją dachu jest czarne szkło spienione, należy do rzadkości, ale jednocześnie jest godny polecenia, szczególnie w obiektach o takiej funkcji i takim znaczeniu, jak Zamek Królewski. Zamkniętokomórkowe szkło spienione (czarne) jest moim zdaniem najlepszą termoizolacją przeznaczoną do typowych zastosowań w budownictwie mieszkaniowym i publicznym (tabela). Mam na uwadze, przede wszystkim bardzo dobrą izolacyjność w przypadku pary wodnej i wszelakich innych form wilgoci, co w połączeniu z duża odpornością mechaniczną tworzy dobrą barierę przed wszystkimi negatywnymi oddziaływaniami atmosferycznymi i eksploatacyjnymi. Szkło piankowe jest trudno uszkodzić w ten sposób, aby te uszkodzenia powodowały zwiększoną penetrację wody we wszystkich jej formach. Najgroźniejsze jest oczywiście zamarzanie wody, jaka dostanie się do wnętrza płyt z pianki, ale aby nastąpiła taka penetracja, to uszkodzenia płyt musza być głębokie i niekontrolowane, co występuje bardzo rzadko. Ważne jest również to, że wszelkie uszkodzenia warstwy papy osłaniającej piankę (rysunki 1÷3) jest bardzo łatwo naprawić, ponieważ poza bitumem (lepikiem) istnieje wiele różnych produktów naprawczych typu kleje, kity itp. powłoki. Doskonałym tego przykładem jest dach Zamku Królewskiego, który ma już długi okres eksploatacji (od 1974 r.) i kilka remontów za sobą. W tym dachu w kilku miejscach należało wzmocnić układ drewnianego podkładu (krokwi w funkcji kontrłat) dodatkowymi łatami lub większymi kantówkami, które zamocowano do podłoża gwoździami uszczelnianymi bitumem. Takich dodatkowych elementów jest dużo wokół rynny ukrytej w połaciach dachu (rysunek 1, fotografia 3). Szkło piankowe znakomicie spełnia funkcję mocnego podłoża w przypadku takich dodatkowych mocowań. Jak widać na rysunku 1 i fotografiach 1 i 2, mocowanie krokwi/kontrłat jest bardzo proste i polega na użyciu do tego celu prętów przechodzących przez termoizolację i zakotwionych w płytach typu Ackerman wypełniających metalowe ramy więźby. Te połączenia są uszczelnione na poziomie warstwy hydroizolacyjnej (warstwy wstępnego krycia), wykonanej z papy. Takie proste połączenia dają wiele możliwości pewnego i trwałego wykonania podłoża w pokryciach.

Ma to bardzo ciekawy kontekst związany ze współczynnikiem: przenikania ciepła **U** [W/(m^2·K)] dachu. Z obliczeń wykonanych w ramach [1] wynika, że współczynnik przenikania ciepła przegrody pokazanej na rysunku 1 wynosi (bez poprawek) **U** = 0,43–0,46 [W/(m^2·K)], a to wg współczesnych wymagań oznacza zbyt małą termoizolacyjność. W przypadku, gdy uwzględnimy, że taki system materiałów nie zmienia się z czasem, ponieważ nie podlega zawilgoceniu, to współczesne wymagania stają się mniej istotne z kilku powodów. Pierwszym jest intencja ustawodawcy, który



Rys. 2. Proponowany przez producenta pap zgrzewalnych system dachów płaskich dociążonych, w którym jest papa odporna na przerost korzeni: 1) podłoże betonowe; 2) preparat gruntujący; 3) bitum (gorący lepik); 4) szkło piankowe czarne; 5) bitum (gorący lepik); 6) papa podkładowa PYE PV 200; 7) papa odporna na korzenie; 8) warstwa żwiru; 9) płyty wykładziny zewnętrznej

Rys. archiwum VEDAG



Rys. 3. Proponowany przez producenta pap zgrzewalnych system dachów płaskich dociążonych, z warstwą żwiru: 1) podłoże betonowe; 2) preparat gruntujący; 3) bitum (gorący lepik); 4) szkło piankowe czarne; 5) bitum (gorący lepik); 6) papa podkładowa V3E; 7) papa nawierzchniowa; 8) warstwa żwiru *Rys. archiwum VEDAG*

określa w WT 2017 [3] maksymalną wartość współczynnika przenikania ciepła $\mathbf{U_{C(max)}}$ [W/(m²·K)], którego dopuszczalna wartość **obliczeniowa** wynosi od 2021 r. w przypadku dachów $\mathbf{U_{C(max)}}$ = 0,15 W/(m²·K). Należy podkreślić, że jest to wartość **obliczeniowa** wg metody zawartej w normach PN-EN ISO 6946:2017 [4] i PN EN ISO 14683:2017 [5]. Celem ich obligatoryjnego stosowania, opisanym w tych normach, jest porównywanie projektowanych konstrukcji, aby uzyskać optymalny układ materiałowy o określonych parametrach teoretycznych. Często popełnianym błędem jest jednak obliczanie współczynnika przenikania ciepła U na podstawie **deklarowanych** wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ poszczególnych materiałów budowlanych podawanego przez producentów, natomiast należy wykorzystywać wartości obliczeniowe określone w normie PN-EN 12524:2003 [2]. Przy takiej niepoprawnej praktyce w obliczeniach współczynnika U stosuje się deklarowane współczynniki przewodzenia ciepła **λd** [W/(m·K)] termoizolacji wyznaczone w stanie suchym. Wynika to z konieczności stosowania jednakowych parametrów pomiarowych wszystkich badanych materiałów. Wartość deklarowana powinna służyć kontroli jakości produkcji i określać wartość odpowiadającą warunkom laboratoryjnym. W rzeczywistości wilgotność stosowanych materiałów termoizolacyjnych jest zdecydowanie większa i zależna od warunków panujących na budowie, a następnie w eksploatacji oraz od cech użytej termoizolacji. W związku z tym bardzo ważna jest zależność współczynników przewodzenia ciepła **λ** [W/(m·K)] od ilości wody zawartej w materiałach termoizolacyjnych. Okazuje się, że przy zawilgoceniu na poziomie 1% objętościowy wełna mineralna zwiększa przewodność cieplną do 0,07 W/(m²·K), a czarne szkło piankowe (zamknięto-komórkowe) ma ten parametr na stałym poziomie. Ta różnica może mieć duży wpływ na koszty energii zużywanej na ogrzewanie budynków. Tego nie da się pominąć przy praktycznym porównywaniu, ale nie jest zauważalne przy obligatoryjnych wyliczeniach współczynnika $U_{C(max)}$ [W/(m²·K)].



Fot. 3. Skrzydło Zamku Królewskiego w Warszawie. Wszystkie połacie na Zamku mają rynny ukryte (jak na rys. 1) wykonane z miedzi i ogrzewane kablami grzewczymi

W tym kontekście, wadą pozorną jest wysoka cena szkła piankowego, ponieważ jego zalety tworzą podczas eksploatacji duży potencjał ekonomiczny i zapewniają zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych. Z tego powodu, już od dawna w wielu krajach UE budynki mają dachy wykonane zgodnie z promowanymi przez producentów systemami materiałowymi pokazanymi na rysunkach 2 i 3. Ogromną zaletą tak wykonanych dachów płaskich są ich wielorakie możliwości wykorzystania. Szkło piankowe jest tak wytrzymałe, że na dachach mogą być parkingi, intensywne dachy zielone, miejsca rekreacyjne itp. Uważam, że w Polsce warto przypomnieć o tak dobrej termoizolacji piankowej.

Literatura

[1] Karolak D, Patoka K. „Ekspertyza Techniczna w zakresie określenia przyczyn występujących przecieków w części pomieszczeń w budynku Zamku Królewskiego w Warszawie oraz ewentualnych nieprawidłowości w wykonaniu pokrycia dachowego". SITPMB 2011.

[2] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe. Tabelaryczne wartości obliczeniowe.

[3] Wytyczne Techniczne 2017. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa[1)] z 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

[4] PN-EN ISO 6946:2017-10 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

[5] PN EN ISO 14683:2017-09 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.

Partner działu:

swisspor Polska sp. z o.o.

Właściciel nowej marki dachówek swissporTON

www.swissporTON.pl

swissporton