

# MATERIAŁY SZKLANE W LEKKIEJ OBUDOWIE

Cechy techniczne i użytkowe szyb

Część 3



dr inż. Dariusz Kowalski  
Politechnika Gdańska

Budowlane szkło płaskie stosowane jako przegrody zewnętrzne może spełniać różne funkcje techniczne i użytkowe, które trzeba wykorzystywać odpowiednio do potrzeb każdej inwestycji, jak również do możliwości technologicznych przemysłu.

Prócz zagadnień wytrzymałościowych i związanych z bezpieczeństwem użytkowania szkła w obiektach, przedstawionych w poprzednich częściach tej serii [1, 2] istotną grupę cech użytkowych stanowią takie zagadnienia, jak m.in. termoizolacyjność, ochrona przed przegrzewaniem pomieszczeń, dźwiękochłonność i ognioodporność przegród szybowych, i wiele innych.

## Termoizolacyjność

Parametr ten jest jednym z podstawowych czynników branych pod uwagę podczas doboru rodzaju oszklenia z uwagi na koszty eksploatacji obiektu zarówno w okresie zimowym, jak i letnim, jak również komfortu termicznego użytkownika pomieszczeń.

Na izolacyjność termiczną szkła wpływ mają takie czynniki, jak: liczba i grubość zastosowanych tafli szkła, liczba gazowych komór międzyszybowych (1, 2 lub 3), rodzaj zastosowanego w nich gazu (powietrze, argon, krypton), rodzaj zastosowanych przeziernych powłok niskoemisyjnych oraz rodzaj obwodowej ramki dystansowej, która jest liniowym mostkiem termicznym. Ciepło przez szybę zespoloną traci się przez:

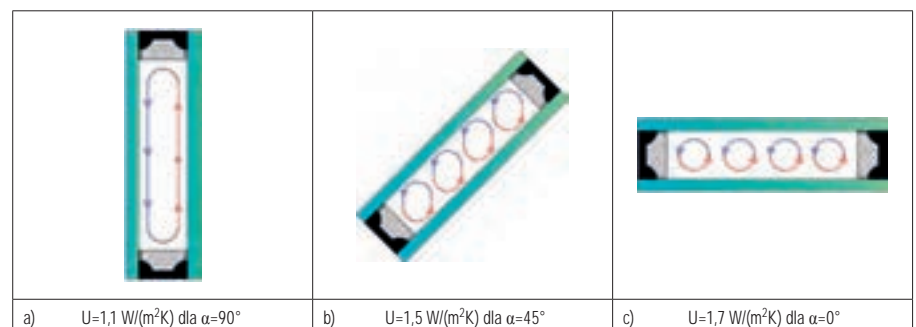
- konwekcję (ruch) gazów zawartych pomiędzy szybami przylegającymi do dwóch różnych ośrodków temperaturowych,
- przewodnictwo cieplne zestawu szybowego i warstwy gazowej usytuowanej pomiędzy dwoma ośrodkami temperaturowymi,
- promieniowanie cieplne (radiację w postaci fali elektromagnetycznej, która przemieszcza się w ośrodku szybowym i jest wypromieniowywana na zewnątrz).

Aż 2/3 energii cieplnej tracone jest z powodu ostatniego z wyżej wymienionych czynników. Zastosowanie przeziernych powłok niskoemisyjnych (Low-E) na powierzchni wewnętrznej jednej z szyb pozwala odbić aż 99% długofalowego promieniowania cieplnego, a tym samym prawie ograniczyć straty z tego tytułu. Powłoki te nie mają żadnego wpływu na dwa pozostałe czynniki powodujące straty. W celu ograniczenia strat w wymienionych zakresach stosuje się gazy szlachetne, które, będąc cięższymi od powietrza, spowalniają ruch konwekcyjny oraz mają lepszy współczynnik przewodności cieplnej (tab. 1.). Dodatkowo optymalizuje się rozstaw szyb poprzez dobór szerokości ramki dystansowej, co ma wpływ na konwekcję. Optymalne wartości szerokości ramek to: 16 mm dla powietrza, 15–18 mm dla argonu i 10–12 mm dla kryptonu.

Dodatkowym elementem wpływającym na globalne straty ciepła przez zestaw szybowy są ramki dystansowe, które coraz częściej są wykonywane z bardziej zaawansowanych materiałów. Odpowiadają one za obwodowe mostki termiczne, ale również za przypadki roszczenia szyb w okresach zimowych w przypadku dużej wilgotności powietrza w pomieszczeniach.

Tabela 1. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla gazów wg PN-EN 12524 [3]

Rodzaj gazu	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(mK)]
Powietrze	1,23	0,025
Argon	1,70	0,017
Krypton	3,56	0,009



Rys. 1. Zmiany sposobu cyrkulacji gazów w strefie międzyszybowej a współczynnik U

Rys. D. Kowalski na postawie [4]



Fot. arch. pewels.com

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż wartości przewodności cieplnej szyb podawane są najczęściej dla przegród pionowych. W przypadku występowania szklanych powierzchni pochylonych lub poziomych współczynniki przenikania ciepła dla tych samych elementów ulegają znacznemu pogorszeniu, co jest związane ze zmianą warunków cyrkulacji gazów w przestrzeni międzyszybowej (rys. 1.).

### Ochrona przed przegrzewaniem pomieszczeń

Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie szkła przeciwsłonecznego, które minimalizuje efekt nagrzewania się pomieszczeń w okresie letnim, ograniczając zarówno efekt cieplarniany, jak i znacznie redukując zapotrzebowanie na energię do ochładzania/klimatyzowania pomieszczeń. Jest to szczególnie ważne w przypadku wielkoformatowych fasad szklanych wystawionych na kierunki działania intensywnej operacji słonecznej.

Szyby termoizolacyjne przepuszczają niemal bez ograniczeń krótkofalowe zakresy promieniowania słonecznego, jednak większa część długofalowego promieniowania ciepłego jest odbijana. Ten efekt umożliwia pozyski-

Współczesne przegrody szklane pozwalają osiągnąć podstawowe wartości izolacyjności akustycznej  $R_w$  w zakresie 36-52 dB, w zależności od konstrukcji przegrody.

W przypadku występowania szklanych powierzchni pochylonych lub wręcz poziomych współczynniki przenikania ciepła dla tych samych elementów ulegają znacznemu pogorszeniu.

wanie z zewnątrz darmowej energii do ogrzewania w chłodnych porach roku, jednakże w lecie prowadzi do przegrzewania pomieszczeń.

Pierwotnym rozwiązaniem na ograniczenie ilości energii dostającej się do pomieszczeń było zastosowanie szkła barwionych w masie (odcienie zielone, brązowe, szare), lecz wraz ze wzrostem grubości istotnie ograniczana była przepuszczalność światła przez przegrody. Poziom redukcji parametru  $L_t$  wynosi wówczas 50-60%. Samo barwienie powodowało zmiany w odbiorze kolorów przy patrzeniu przez szybę. Współczesnym rozwiązaniem tego problemu są powłoki napyłane na szkła, podobnie jak wcześniej opisane powłoki niskoemisyjne (część druga, nr 2 Builder/2017). Powłoki przeciwsłoneczne stosuje się na wewnętrznej powierzchni szyby zewnętrznej, która zazwyczaj dodatkowo jest szybą grubszą. W zależności od potrzeb architektonicznych mogą być stosowane powłoki o niskim odbiciu na zewnątrz, powłoki zwierciadlane lub z barwnym refleksem. Możliwe jest też zastosowanie technologii druku cyfrowego lub sitodruku czy też szkła laminowanego bezpiecznego.

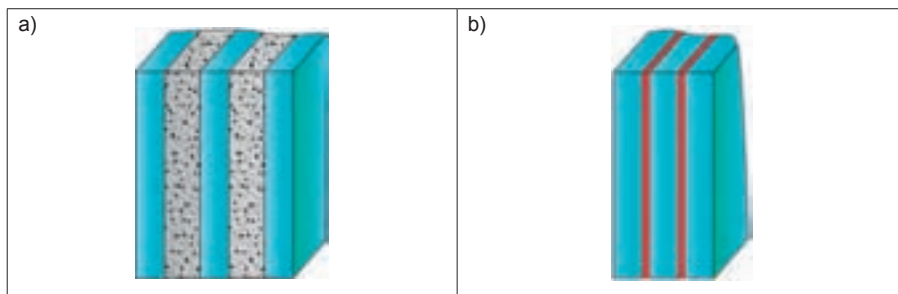
### Dźwiękochłonność przegród szklanych – ważony wskaźnik izolacyjności $R_w$

Przegrody szklane, jako elementy stykające się bezpośrednio z otaczającym budynkiem środowiskiem, muszą zapewnić użytkownikom pomieszczeń odpowiednią ochronę przed hałasem zewnętrznym. Czynnikiem wpływającymi na izolacyjność akustyczną są:

- grubość zastosowanej szyby w przegrodzie, która jest w stanie izolować akustycznie w zakresie 30 ÷ 36 dB przy zmianie grubości szkła w zakresie 2 ÷ 12 mm,
- zwiększenie odstępu szyb w zestawach szyb zespolonych (około 2,5 dB przy każdym skokowym powiększeniu rozmiaru ramki dystansowej wg zasady 12-16-24 mm),



Fot. arch. pewels.com



Rys. 2. Szkło ognioodporne, a) szkło z warstwą żelową ognioochronną, b) szkło z folią ognioochronną

- zastosowanie asymetrycznej budowy układu szyb zespolonych (grubsza szyba zewnętrzna, co daje inną charakterystykę dynamiczną przekazywania drgań pomiędzy taflami szkła),
- zastosowanie szyb laminowanych, które już z samego założenia są cięższe i grubsze, a łącząca poszczególne tafle szkła folia PVB jest dodatkowym elementem tłumiącym drgania (folia ta może jeszcze podlegać dodatkowej modyfikacji).

Współczesne przegrody szklane pozwalają osiągnąć wartości wskaźnika izolacyjności akustycznej  $R_w$  w zakresie  $36 \div 52$  dB, w zależności od konstrukcji przegrody.

### Ognioodporność przegród szybowych

Powszechnie stosowane w budownictwie szkło płaskie typu float jest całkowicie nieodporne, jeśli chodzi o ochronę przed ogniem – pęka przy różnicy temperatury na powierzchni szkła wynoszącej  $> 40^\circ\text{C}$ . Dla pożaru żadnej bariery nie stanowią też tzw. szyby bezpieczne. Szyba laminowana pęka również szybko, jak szkło float i rozrywa się przy temperaturze około  $250^\circ\text{C}$ , kiedy to folia PVB po stopieniu przestaje utrzymywać szklane kawałki na miejscu. Szyby hartowane są bardziej odpor-

ne na wysokie temperatury, jednak nie wyższe niż  $300 \div 350^\circ\text{C}$ .

Niejednokrotnie zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne przegrody budowlane wymagają spełnienia warunków związanych z zapewnieniem wymaganej odporności ogniowej. Rozwiązaniem w tym zakresie jest stosowanie szyb ognioochronnych. Szyby ognioochronne powstają przez połączenie co najmniej dwóch tafli szkła, pomiędzy którymi umieszczona jest przezroczysta warstwa żelowa – szkło typu Pyrobel (rys. 2a). W przypadku oddziaływania ognia, począwszy od temperatury  $120^\circ\text{C}$ , w warstwie żelowej zachodzą reakcje, które powodują zwiększenie objętości materiału i jego stwardnienie. Skutkuje to wzrostem izolacyjności termicznej przegrody przy jednoczesnej pewności, że przegroda nie utraci swojej stateczności. Podczas reakcji żelu na temperaturę szyba całkowicie traci swą przezierność. Obecnie można otrzymać szyby o odporności ogniowej od EI30 do nawet EI120, ocenianej zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 13501-2 [5]. Tego typu szkło jest w stanie spełnić również wymagania nośności ogniowej R. Wraz z oczekiwanym wzrostem wymagań izolacyjnych wzrasta grubość całego zestawu szklanego (liczba zastosowanych tafli szkła oraz liczba i grubość warstw żelo-

wych). Innym ograniczonym co do skuteczności rozwiązaniem jest szkło typu Pyrobelit, które jest szkłem laminowanym z wewnętrzną folią o właściwościach ognioodpornych. Uzyskuje ono jedynie najniższe klasy odporności ogniowej E na poziomie 30 min (rys. 2b).

Szklane ognioodporne mają mniejszy współczynnik przewodności światła oraz duże wartości współczynnika przenikania ciepła, stąd też w zestawach do zastosowań zewnętrznych stanowią element składowy szyb zespolonych. Przy rozwiązaniach zewnętrznych należy również zwrócić uwagę na zachowanie się materiałów pęczniejących pod działaniem temperatur oraz promieniowania UV.

### Wskaźnik oddawania barw $R_a$

Parametr ten, oznaczany wg normy PN-EN 410 [6], jest istotny dla warunków użytkowania pomieszczeń przez ludzi. Opisuje on, czy i jak zmienia się barwa danego obiektu podczas oglądania go przez określony zespół szyb. Wartość tego wskaźnika mieści się w przedziale  $0-100$ , przy czym wartość 100 oznacza, że barwa obiektu oglądanego przez szyby jest identyczna z jego barwą bez przegrody. Szklane budowlane typu float posiadają najczęściej wartość  $R_a > 90$ , co uznawane jest za wynik bardzo dobry. Dla szkła barwionego w masie mieści się on w granicach  $R_a = 60 \div 90$ .

### Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii g

Współczynnik podaje, jaka część energii promieniowania słonecznego padającego na szybę przenika do pomieszczenia. Wartość tego parametru można regulować poprzez zastosowanie szkieł przeciwsłonecznych, co realizowane jest przez odpowiedni dobór szkła i powłok. Parametr ten ma wpływ na bilans energetyczny pomieszczeń w okresach zimowych, czyli tzw. zysków solarnych.





Powłoki przeciwsłoneczne stosuje się na wewnętrznej powierzchni szyby zewnętrznej, która zazwyczaj dodatkowo jest szybą grubszą. W zależności od potrzeb architektonicznych mogą być stosowane powłoki o niskim odbiciu na zewnątrz, powłoki zwierciadlane lub z barwnym refleksem.

### Wskaźnik selektywności S

Parametr ten stosowany jest w przypadku przeszkleń przeciwsłonecznych, których zadaniem jest ograniczenie ilości energii słonecznej docierającej do pomieszczenia, ale jednocześnie wymagany jest duży udział przechodzącego do pomieszczenia światła, który jest istotny dla funkcjonowania obiektu. Wskaźnik ten jest ilorazem przepuszczalności światła do całkowitej przepuszczalności energii g danego przeszklenia. Im większa wartość S, tym więcej światła dochodzi do pomieszczenia, nie powodując jego nagrzania.

### Stopień przepuszczalność światła L<sub>p</sub>

Parametr ten obrazuje, jaka część światła widzialnego, padającego pod kątem bliskim 90°, jest przepuszczana przez szkło lub zestaw szkła.

### Odbicie światła LR

Odbicie światła to parametr pokazujący, jaka część światła widzialnego, padającego pod kątem bliskim 90°, jest odbijana przez szkło.

### Stopień przepuszczalności promieniowania UV

Parametr istotny dla ludzi (oparzenia słoneczne), jak również odpowiadający za zmianę kolorów elementów wyposażenia oraz starzenie się niektórych materiałów.

### Współczynnik zacienienia

Współczynnik zacienienia b używany jest do obliczenia zapotrzebowania na energię do chłodzenia budynku. Współczynnik ten jest określa-

ny jako iloraz współczynnika przepuszczalności energii g danego przeszklenia do wartości tego współczynnika dla bezbarwnego szkła float o grubości 3–4 mm bez żadnych powłok funkcyjnych, a którego wartość wynosi 0,87.

### Współczynnik odbicia energii słonecznej ER

Parametr ten opisuje, jaka część promieniowania słonecznego, padającego pod kątem bliskim 90°, jest odbijana przez szkło z powrotem do atmosfery.

### Współczynnik absorpcji energii słonecznej EA

Parametr ten pokazuje, jaka część promieniowania słonecznego, padającego pod kątem bliskim 90°, jest pochłaniana przez szkło.

### Bezpośrednia przepuszczalność energii słonecznej ET

Bezpośrednia przepuszczalność energii słonecznej to parametr pokazujący, jaka część promieniowania słonecznego, padającego pod kątem bliskim 90°, jest bezpośrednio przepuszczana przez szkło.

### Podsumowanie

Budowlane szkło płaskie stosowane jako przegrody zewnętrzne może spełniać różne funkcje techniczne i użytkowe, które trzeba wykorzystywać odpowiednio do potrzeb każdej inwestycji, jak również do możliwości technologicznych przemysłu. Wiele rodzajów szkieł

i rozwiązań konstrukcyjnych na nim opartych występuje na rynku pod nazwami własnymi poszczególnych producentów, co utrudnia ich porównanie, stąd też w razie potrzeb należy analizować poszczególne parametry techniczne oraz użytkowe szkła i powstających z nich przegród.

Wiele dodatkowych parametrów, jakie muszą spełnić szyby stosowane w systemach elewacyjnych, zostało przedstawionych w poprzednich publikacjach zamieszczonych na łamach tego czasopisma [7]–[10].

### Inne rodzaje szkła w fasadach budynków

Szkło nie pełni jedynie roli płaskiej przegrody z jej najważniejszą cechą, jaką jest przezierność. Szkło występuje również w postaci znanych od dawna kształtek szklanych typu luksfery, pustaki szklane, panele i płyty szklane Vitrolit [11]. Stosowane jest jako materiał ściśle izolacyjny, np. w formie wełny szklanej, która produkowana jest w postaci mat lub płyt mogących mieć zastosowanie w izolacji ścian wentylowanych. ■

**Abstract.** Glass materials and products used in lightweight claddings are presented in the paper. The characteristic parameters and technological differences that occur in manufacturing are presented. The parameters defining the properties of walls made of glass are discussed.

W cyklu artykułów (nr 1–3 Builder/2017) przedstawiono stosowane w lekkich obudowach materiały szklane i kształtowane z nich wyroby. Omówiono charakterystyczne parametry i różnice technologiczne występujące w produkcji wyrobów szklanych przeziernych. Przedstawiono parametry definiujące właściwości przegród wykonanych ze szkła.

### Literatura

- [1] D. Kowalski, "Materiały szklane w lekkiej obudowie" cz. 1. Builder, vol. 234, nr 1, s. 106-109, 2016
- [2] D. Kowalski, "Materiały szklane w lekkiej obudowie" cz. 2. Builder, vol. 235, nr 2, s. 62-64, 2016
- [3] PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane -- Właściwości cieplno-wilgotnościowe -- Tabełacyjne wartości obliczeniowe.
- [4] GlassTime Podręcznik o szkle. Częstochowa: Guardian Industries Corp.
- [5] PN-EN 13501-2+A1:2010 – Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków -- Część 2: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej
- [6] PN-EN 410:2011 Szkło w budownictwie -- Określanie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia.
- [7] E. Urbańska-Galewska, D. Kowalski, „Lekka obudowa. Część 1: Klasyfikacje i wymagania,” Builder, vol. 227, nr 6, s. 86–89, 2016.
- [8] E. Urbańska-Galewska, D. Kowalski, „Lekka obudowa. Część 2: Bezpieczeństwo pożarowe,” Builder, vol. 228, nr 7, s. 114–116, 2016.
- [9] E. Urbańska-Galewska, D. Kowalski, „Lekka obudowa. Część 3: Wymagania funkcjonalno-użytkowe,” Builder, vol. 229, nr 8, s. 80–84, 2016.
- [10] E. Urbańska-Galewska, D. Kowalski, „Lekka obudowa. Część 4: Układy konstrukcyjne,” Builder, vol. 233, nr 10, s. 106-110, 2016.
- [11] E. Urbańska-Galewska, D. Kowalski, „Systemy i rozwiązania elementów lekkiej obudowy.” WPPK 2016: Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych: Konstrukcje metalowe, posadzki przemysłowe, lekka obudowa, nisztownia, Katowice-Szczyrk: PZITB o/Katowice, s. 213–306, 2016.