

# MATERIAŁY SZKLANE W LEKKIEJ OBUDOWIE

## Część 2



dr inż. Dariusz Kowalski  
Politechnika Gdańska

W cyklu artykułów przedstawiono stosowane w lekkich obudowach materiały szklane i kształtowane z nich wyroby. Przegląd kontynuuje rodzaje szkła pełniącego nie tylko rolę płaskiej przegrody z jej najważniejszą cechą, jaką jest przezierność.

Szko laminowane bezpieczne (VSG) powstaje w wyniku trwałego połączenia ze sobą co najmniej dwóch tafli szkła za pomocą umieszczonej pomiędzy nimi elastycznej i wytrzymałej folii z poliwinylotbutyralu – PVB (rys. 1). Takie połączenie powoduje przekształcenie pojedynczych szyb w element konstrukcyjny, który poza wymaganą przejrzystością posiada wiele istotnych i cennych cech zarówno konstrukcyjnych, jak również związanych z bezpieczeństwem. Do wykonania szkła laminowanego można zastosować wszystkie wcześniej wymienione rodzaje szkła, łącznie z ewentualnymi powłokami, które zostaną wcześniej na nie naniesione. Bezpieczeństwo szkła laminowanego oparte jest na wysokiej wytrzymałości na rozrywanie środkowej warstwy wykonanej z folii PVB oraz jej doskonałej przyczepności do stykającej się z nią powierzchni szkła. W razie zewnętrznego przecięcia kompozytu szklanego w wyniku pchnięcia, uderzenia lub oddziaływania innych sił szkło może pękać, jednak jego fragmenty utrzymają się dzięki przyczepności do warstwy folii PVB. Uszkodzona szyba pozostaje w całości strukturalnej i z reguły jej spękanie nie narusza stateczności przeszklenia pozostającego w obramowaniu. Grubość folii PVB zmienia się w zakresie 0,38÷2,28 mm i jest zależna od przewidzianych zastosowań szkła.

Szyby laminowane produkowane są zgodnie z normą PN-EN 14449 [1] pt. „Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe” oraz serią norm PN-EN 12543 [2]–[7]. W czasie produkcji dwie lub więcej czystych tafli szkła dowolnego rodzaju, zależnie od potrzeb klienta,

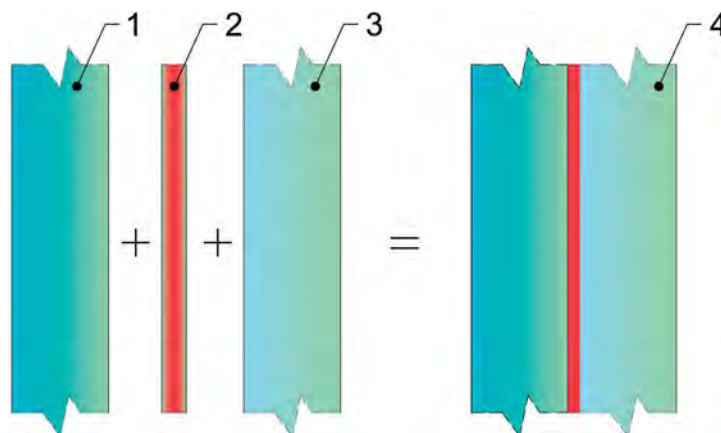
łączonych jest ze sobą za pomocą umieszczonej pomiędzy nimi wytrzymałej i elastycznej warstwy folii wewnętrznej PVB. Powstały zestaw zostaje wstępnie podgrzany do temperatury około 200°C i sprasowany metodą walcowania (zgrzany mechanicznie). Następnie pakiety szkła z folią umieszcza się w autoklawie, gdzie pod ciśnieniem około 10 barów i w temperaturze 130°C w określonym czasie z półprzezroczystego wstępnego zestawu powstaje całkowicie przezroczyste laminowane szkło bezpieczne. Cechy fizyczne, jak i właściwości chemiczne szyb laminowanych są takie same, jak szkieł bazowych, z których zostały one wykonane.

Szko laminowane jako nowy produkt posiada wiele atrakcyjnych cech, które pozwalają je

stosować nie tylko w oknach czy fasadach, ale także jako element konstrukcyjny. Aby szkła laminowane można było stosować w określonych miejscach i w określonych warunkach użytkowych, bada się je według kryteriów normowych na różne oddziaływania. Do takich kryteriów należą:

- **Odporność na atak ręczny** według PN-EN 356:2000 [8] dla szyb przeznaczonych na przegrody antywłamaniowe w celu obniżenia ryzyka włamania i ochrony przed aktami wandalizmu.

Badanie to przeprowadza się poprzez jednokrotne lub wielokrotne uderzenie kulą stalową o masie 4,11 kg, spadającą swobodnie z określonej wysokości: od 1,5 m do 9 m, na testowane szkło o wymiarach



Rys. 1. Budowa szkła laminowanego (VSG):  
1, 3 – szyba float/ESG/TVG, 2 – folia PVB, 4 – szkło laminowane VSG



Fot. arch. Digital Chematic

110 x 90 cm umieszczone poziomo. Miejsca uderzeń kulą w tafelę szkła ma tworzyć trójkąt równoboczny o boku 13 cm. Wysokość upadku zmienia się w zależności od klasy szkła (tab.). W teście tym kula nie powinna przebić szkła po trzecim/dziewiątym uderzeniu. Dla trzech najwyższych klas badanie przeprowadza się na szkle ustawionym pionowo z użyciem narzędzi typu młot i siekiera o masie 2 kg. Ocenie podlega liczba uderzeń potrzebna do tego, by utworzyć w szybie otwór o wymiarach 40 x 40 cm przyjmowany jako pozwalający na przejście człowieka.

Tabela. Klasy wytrzymałości na atak według PN-EN 356 [8]

Klasa	Sposób badania i jego parametry	Stan szkła
Wysokość i liczba uderzeń kulą		
P1	1.500 mm (3)	nieprzebite
P2	3.000 mm (3)	
P3	6.000 mm (3)	
P4	9.000 mm (3)	
P5	9.000 mm (9)	
Ilość uderzeń młotem / siekierą w celu wykonania otworu 40 x 40 cm		
P6	30	niewykonany
P7	51	
P8	70	

- **Kuloodporność** według PN-EN 1063 [9] jako zabezpieczenie ludzi i mienia przed bezpośrednim ostrzałem z broni różnego kalibru. W tym przypadku szyby ostrzeliwane są jed-

no- lub trzykrotnie z różnego rodzaju broni palnej, o różnej wielkości pocisków, z prędkością wahającą się w granicach 360 ÷ 950 m/s. Ostrzału szyb dokonuje się z odległości 5 i 10 m – w zależności od rodzaju pocisku. Wyróżnia się szkło bezodpryskowe (NS) i odpryskowe (S) w zależności od jego zachowania się pod wpływem uderzenia pocisku. Oznaczenia klas ostrzału BR1 ÷ 7 i SG1 ÷ 2 precyzuje odpowiednia tabela normowa [9].

- **Odporność na siłę eksplozji i zdolność jej tłumienia** zgodnie z normą PN-EN 13541 [10]. Badanie przeprowadza się na próbkach o powierzchni 1 m<sup>2</sup>, a szyby klasyfikuje się między innymi w zależności od wartości ciśnienia fali uderzeniowej (od 50 ÷ 250 kPa) i poziomu wartości impulsu jednostkowego. Oznaczenie klasy tłumienia siły rozsadzania: ER1 ÷ 4. Odporność na eksplozję zapewnia jednocześnie spełnienie wymagań antywłamaniowych dla szyb.
- **Odporność na obciążenia zmęczeniowe** związane z codzienną eksploatacją.
- **Ochrona przed zranieniem.**
- **Ochrona przed wypadnięciem z ram** i elementów mocujących punktowo.
- **Warunki nośności przeszklenia** zlokalizowanego nad głową (przeszklenie odchylone od pionu o więcej niż 10°) – w poszyciach dachowych, świetlikach, gdzie istotnym elementem jest zapewnienie warunku niespadania fragmentów szkła, a już w ogóle całej szyby w przypadku jej uszkodzenia.
- **Określenie warunków poruszania się po szybach** w ramach prowadzenia czynności

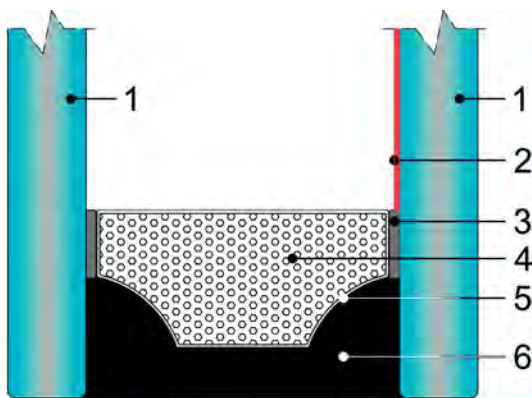
eksploatacyjnych i konserwacji zgodnie np. z niemieckimi przepisami technicznymi TRLV [11] i TRPV [12] czy też częścią norm serii DIN 18008 [13].

- **Stabilność szczątkowa** dla przegród szklanych pionowych, które przez określony czas od uszkodzenia powinny pozostawać na swoim miejscu.
- **Nośność szczątkowa** dla przegród montowanych nad głową, które w warunkach uszkodzenia szyby muszą przez określony czas przenosić co najmniej ich ciężar własny. Jak wynika z przedstawionego spektrum badań, szkło laminowane staje się materiałem o wszechstronnych możliwościach, a liczba kombinacji rodzaju stosowanych rodzajów szyb, ich grubości, grubości i liczby warstw folii PVB oraz nanoszonych powłok jest wprost nieograniczona, co umożliwi spełnienie wielu kryteriów użytkowych i technologicznych ocze-kiwanych we współczesnych obiektach.

### Szyby zespolone

Powstanie szyb zespolonych jest odpowiedzią przemysłu szklarskiego na potrzebę dostarczenia budownictwu wyrobów szklanych przeziernych o wyższych właściwościach termoizolacyjnych niż te, które daje pojedyncza tafła szkła. Hermetyczne zespolenie ze sobą co najmniej dwóch szyb z odstępem wypełnionym gazem szlachetnym cięższym od powietrza: argonem lub znacznie droższym kryptonem, znacznie poprawia właściwości termiczne. Szerokość komory uzależniona jest od rodzaju stosowanego gazu: 15 ÷ 18 mm dla argonu (najczęściej stosuje się ramki o szerokości 16 mm)





Rys. 2. Budowa szyby zespolonej:

1 – szyba, 2 – powłoka funkcyjna (np. niskoemisyjna), 3 – uszczelnienie pierwotne z butylu, 4 – sito molekularne, 5 – ramka dystansowa, 6 – uszczelnienie wtórne

i 10÷12 mm dla kryptonu. Przestrzeń w szybie zespolonej wypełniona jest w około 90% gazem szlachetnym, resztę stanowi powietrze (rys. 2).

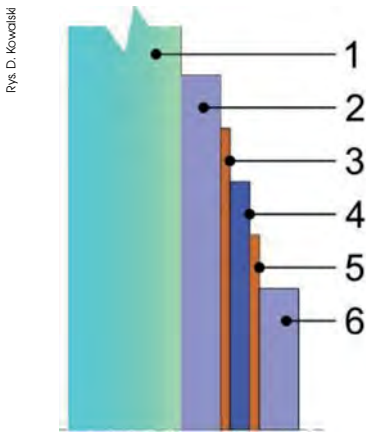
Szyba zespolona powstaje z połączenia co najmniej dwóch tafli szkła płaskiego, łączonych za pośrednictwem obwodowej ramki dystansowej. Szyby klei się do ramek za pomocą butylu, który występuje w postaci uszczelki butylowej, uszczelniającej połączenie ramki z szybą. Po obwodzie zewnętrznym przestrzeń pomiędzy szybami a ramką wypełniana jest wtórnym uszczelnieniem wykonanym z polisulfidu lub poliuretanem. W przypadku eksploatacji szyby bez zakrycia krawędzi szybowych stosowany jest silikon odporny na promieniowanie UV. Wadą tego ostatniego rozwiązania jest niska szczelność silikonu na dyfuzję gazów, przez co szyby takie często wypełniane są jedynie powietrzem, a nie gazami szlachetnymi.

Elementem decydującym o wysokiej termizolacyjności szyb zespolonych są ramki dystansowe, które mogą być wykonane z aluminium, ze stali nierdzewnych czy też coraz częściej z tworzyw sztucznych w połączeniu z foliami metalowymi lub z tworzyw termoplastycznych (ramki ciepłe). Takie działanie ma na celu ograniczenie wpływu obwodowego mostka termicznego, jaki występuje przy elementach z metalu usytuowanego na obwodzie szyby zespolonej (liniowy współczynnik przenikania ciepła w miejscu mostków termicznych). Ramki dystansowe, oprócz zadania przypisanego im w samej nazwie, są miejscem, gdzie umieszczany jest środek osuszający (sito molekularne) przestrzeni międzyszybową, odpowiadający za brak zjawisk związanych z wykropleniem się wody wewnątrz zestawu szybowego.

### Powłoki na szkło

Szko okienne może być pokrywane różnego rodzaju powłokami w celu poprawienia parametrów przegrody szklanej, jak również z powodów architektonicznych – po to, by nadać szkłu określoną kolorystykę czy też grafikę. W przypadku powłok funkcyjnych wyróżnia się powłoki nanoszone metodą:

- Pirolytyczną, która polega na rozpyleniu tlenków metali na gorącą powierzchnię szkła (800°C), przez co zostają one zapieczone w powierzchni szkła; w ten sposób powstaje prosta jednofunkcyjna powłoka o ograniczonych właściwościach.
- Magnetotronową, która polega na nakładaniu kilku warstw powłoki spełniających różne funkcje: np. powłoka funkcyjna ze srebra i chromoniklu odpowiadająca za odbicie promieniowania podczerwonego zarówno w zakresie krótkich, jak i długich fal. Ma ona silny wpływ na współczynnik przenikania ciepła U, współczynnik przepuszczalności energii g oraz przepuszczalność światła  $L_t$ . Kolejne dwie warstwy zapewniają ochronę przed wpływami mechanicznym i chemicznymi, zaś warstwy wewnętrzne odpowiadają za odbicie, transmisję światła i barwę powłoki oraz za odporność mechaniczną (rys. 3). Tak złożona powłoka o grubości zaledwie 100 nm cechuje się dużym wpływem na ostateczne parametry przegród szklanych.



Rys. 3. Warstwowa budowa powłoki wykonanej metodą magnetotronową:

1 – szyba, 2 – warstwa dolna, 3 – warstwa ochronna, 4 – warstwa funkcyjna, 5 – warstwa ochronna, 6 – warstwa górna

Rys. D. Kowalski

Aspekt kolorystyczny szkła stosowanego w fasadach (np. nieprzeźerne spandrelle montowane w pasach międzyszybowych) zapewniany jest przez nanoszenie farb na powierzchnię szkła metodą walcowania lub sitodruku, które następnie podlegają wypaleniu w trakcie procesu hartowania szyb. Stosowane są również folie transferowe pokrywające szyby, które łączą się ze szkłem w procesie hartowania lub są umieszczane pomiędzy warstwami folii PVB, co gwarantuje odpowiednie zespolenie w procesie laminowania. Do nanoszenia rysunku na folie stosowana jest technika druku cyfrowego. Zabiegami, które można dodatkowo zastosować na szkło, są piaskowanie lub wytrawianie przy pomocy kwasów. Szyby pokrywane powłokami malarskimi, jak i z wtopionymi grafikami, mogą stanowić elementy składowe szyb zespolonych. Do powłok funkcyjnych nanoszonych na szkło należy zaliczyć warstwy odpowiadające za samooczyszczenie się szyb w warunkach normalnej eksploatacji, a także powłoki antyrefleksyjne. ■

**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.

### Literatura

- [1] PN-EN 14449:2008 Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe – Ocena zgodności wyrobu z normą.
- [2] PN-EN ISO 12543-1:2011 Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe – Część 1: Definicje i opis części składowych.
- [3] PN-EN ISO 12543-2:2011 Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe – Część 2: Bezpieczne szkło warstwowe.
- [4] PN-EN ISO 12543-3:2011 Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe – Część 3: Szkło warstwowe.
- [5] PN-EN ISO 12543-4:2011 Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe – Część 4: Metody badań odporności.
- [6] PN-EN ISO 12543-5:2011 Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe – Część 5: Wymiary i wykończenie obrzeża.
- [7] PN-EN ISO 12543-6:2011 Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe – Część 6: Wygląd.
- [8] PN-EN 356:2000 Szkło w budownictwie – Szyby ochronne – Badania i klasyfikacja odporności na ręczny atak.
- [9] PN-EN 1063:2002 Szkło w budownictwie – Bezpieczne oszklenia – Badanie i klasyfikacja odporności na uderzenie pocisku.
- [10] PN-EN 13541:2012 Szkło w budownictwie – Bezpieczne oszklenia – Badanie i klasyfikacja odporności na siłę eksplozji.
- [11] TRLV: Przepisy techniczne dotyczące stosowania przeszkleń podpartych liniowo, sierpień 2006, DIBt Official Communication 3/2007.
- [12] TRPV: Przepisy techniczne w zakresie projektowania, oceny i montażu obiektów budowlanych i ich elementów, sierpień 2006, DIBt Communication 3/2007.
- [13] DIN 18008 Szkło w budownictwie – Zasady projektowania i wykonania.

### Skróty:

VSG – niem. *VerbundSicherheitsGlas* – szkło bezpieczne warstwowe  
 ESG – niem. *Einscheiben SicherheitsGlas* – szkło hartowane  
 ESG-H – niem. *Heißgelagertes Einscheiben Sicherheitsglas* – szkło hartowane poddane obróbce termicznej  
 TVG – niem. *Teilvorgespanntes Glas* – szkło wzmacniane termicznie