

Guardian GlasTime

Poradnik techniczny

GlassTime

Poradnik techniczny

Wydawca: Guardian Europe S.à r.l.

Bertrange / Luksemburg

Wydanie: 2022

See
what's
possible®



Przedmowa	3
Kroki milowe	5
1. Szkło bazowe	8
1.1 Zarys historyczny	8
1.2 Szkło float	8
1.2.1 Zabarwienie	10
1.2.2 Właściwości	11
Gęstość Moduł sprężystości podłużnej (Moduł Younga) Emisyjność Wytrzymałość na ściskanie Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu Wytrzymałość na różnicę temperatur Zakres tempera- tury przemiany Temperatura mięknienia Liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej (dylatacja termiczna) Ciepło właściwe Współczynnik przenikania ciepła (U) Kwasoodporność Ługoodpor- ność Odporność na działanie wody Świeże, agresywne substancje zasadowe	
1.3 Powłoki na szkło float	13
1.3.1 Metoda pirolityczna	13
1.3.2 Metoda magnetronowa	14
2. Szyby zespolone	18
2.1 Informacje Ogólne	18
2.2 Produkcja	18
2.3 Uszczelnienie krawędzi	19
2.3.1 Systemy uszczelnienia	19
Uszczelniacz pierwotny Uszczelniacz wtórny	
2.3.2 Ramka dystansowa	20
Stal nierdzewna Połączenia metalu i tworzyw sztucznych Systemy termoplastyczne (TPS)	
2.4 Punkt rosy i kondensacja	21
2.4.1 Kondensacja w przestrzeni międzyszybowej	21
2.4.2 Kondensacja na powierzchni wewnętrznej szyby zespolonej	21
2.4.3 Kondensacja na powierzchni zewnętrznej szyby zespolonej	22
2.5 Wskaźnik oddawania barw	24
2.6 Interferencja	25
2.7 Efekt szyby zespolonej	25

3.	Światło, energia, ciepło	30
3.1	Energia słoneczna	30
3.2	Światło widzialne	32
3.3	Ciepło	32
3.4	Promieniowanie UV	32
4.	Izolacja termiczna	36
4.1	Ekonomia	36
4.2	Ekologia	37
4.3	Dobre samopoczucie	37
4.4	Straty ciepła	38
4.5	Emisyjność	40
4.6	Wartość U – współczynnik przenikania ciepła	40
4.6.1	Współczynnik U_g	41
	Współczynnik U_g dla pochylonych powierzchni szklanych	
4.6.2	Współczynnik U_f	41
4.6.3	Współczynnik Ψ	42
4.6.4	Współczynnik U_w	42
4.7	Gama produktów firmy Guardian przeznaczonych do izolacji termicznej	42
5.	Ochrona przeciwsłoneczna	46
5.1	Ekonomia	46
5.2	Ekologia	46
5.3	Komfort	46
5.4	Przepływ energii przez szkło	47
5.5	Całkowita transmisja energii słonecznej (wartość g)	48
5.6	Współczynnik zacielenia	48
5.7	Selektywność spektralna	48
5.8	Kontrola uzysku ciepła latem	50
5.9	Ochrona przeciwsłoneczna z zastosowaniem szkła	51
5.10	Szkło przeciwsłoneczne jako element architektoniczny	52
5.11	Gama szkła ochrony przeciwsłonecznej SunGuard	53

6.	Ochrona przed hałasem	58
6.1	Wpływ hałasu na człowieka	58
6.2	Rodzaje dźwięku	58
6.2.1	Wartości graniczne	58
6.2.2	Postrzeganie hałasu	59
6.3	Ocena akustyczna dla budynków	60
6.3.1	Ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej (R_w)	60
6.3.2	Wskaźniki korygujące (C , C_{tr})	61
6.4	Właściwości akustyczne przeszkleń	63
6.4.1	Ciężar tafli szkła	64
6.4.2	Budowa szyb zespolonych	64
6.4.3	Wypełnienie gazem	65
6.4.4	Sztywność szkła (oddzielnie dla pojedynczych elementów szklanych)	65
6.5	Oferta szkielek chroniących przed hałasem firmy Guardian	67
7.	Bezpieczeństwo i ochrona	70
7.1	Szkło hartowane	70
7.1.1	Produkcja	70
7.1.2	Właściwości z zakresu fizyki budowli	72
7.1.3.	Wytrzymałość na uderzenie	72
7.1.4	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	72
7.1.5	Test na uderzenie piłką	72
7.1.6	Oddziaływanie ciepła i wytrzymałość na różnicę temperatur	73
7.1.7	Anizotropia (wzór naprężeń)	73
7.1.8	Jakość optyczna	73
7.1.9	Kondensacja na szkłe hartowanym	74
7.1.10	Oznakowanie	74
7.2	Szkło hartowane wygrzewane termicznie – ESG-H	74
7.3	Szkło wzmocnione termicznie (półhartowane)	76
7.3.1	Produkcja	76
7.3.2	Wzór spękania szkła	76
7.3.3	Nośność szczątkowa jako składowa szkła laminowanego	76
7.3.4	Rozciąganie przy zginaniu	77
7.3.5	Wytrzymałość na różnicę temperatur	77
7.4	Szkło laminowane bezpieczne	77
7.4.1	Produkcja	78
7.4.2	Właściwości z zakresu fizyki budowli	79
7.4.3	Nomenklatura szkła laminowanego	80

7.4.4	Bezpieczne aspekty szkła laminowanego	80
	Ochrona przed zranieniem/badanie wahadłem (PN-EN 12600) – bezpieczeństwo pasywne Szyby „antyłamaniowe” (PN-EN 356) – aktywne bezpieczeństwo Badanie spadającą kulą Uderzenie siekierą Szyby kuloodporne (PN-EN 1063) – aktywne bezpie- czeństwo Szyby odporne na eksplozję (PN-EN 13541) – aktywne bezpieczeństwo	
7.5	Bezpieczeństwo poprzez szkło	84
7.5.1	Szkło chroniące przed wypadnięciem	84
	Szklenia na całej wysokości pomieszczenia bez dodatkowego zabez- pieczenia np. poziomą belką (kategoria A) Balustrady liniowo zamo- cowane na dolnej krawędzi (kategoria B) Balustrady z elementem konstrukcyjnym transferującym obciążenie (kategoria C) Szklenie zamocowane liniowo z przebadaną wytrzymałością na uderzenie	
7.5.2	Szklenie nad głową	87
7.5.3	Przeszklenia, po których można chodzić	87
7.5.4	Przeszklenia, na które można wejść w celach konserwacyjnych	88
7.5.5	Nośność szczątkowa	90
7.6	Zalecenia dla określonych zastosowań szkła	90
7.6.1	Przeszklenia pionowe bez ochrony przed wypadnięciem osób	91
7.6.2	Przeszklenia poziome / nad głową	92
7.6.3	Przeszklenia zabezpieczające przed wypadnięciem	94
7.6.4	Przeszklenia w budynkach specjalnego użytku	96
7.6.5	Przeszklenia we wnętrzach bez ochrony przed wypadnięciem osób	98
7.6.6	Przeszklenia we wnętrzach bez ochrony przed wypadnięciem osób	99
7.6.7	Specjalne szkła bezpieczne	101
8.	Przeszklenia budynków	104
8.1	Fasady	104
8.1.1	Funkcje fasad	104
	Fasady ciepłe Zimna fasada Fasada wentylowana – podwójna skóra Typy fasad wentylowanych Systemy interaktywne (pasywne) Ochrona przeciwsłoneczna na warstwie zewnętrznej Kondensacja	
8.1.2	Konstrukcje fasad	111
	Fasada słupowo-ryglowa Fasady strukturalne Definicje Typy fasad strukturalnych Normy europejskie dotyczące szklenia strukturalnego Szkło powlekane w fasadach strukturalnych Fasady mocowane punktowo Fasady membranowe	

8.2	Druk ceramiczny na szkło	120
8.2.1	Metody nakładania druku ceramicznego	121
	Malowanie przy pomocy walca Sitodruk Druk cyfrowy	
8.2.2	Spandrele	122
8.2.3	Emaliowanie krawędzi – Guardian System TEA	124
8.2.4	Druk dekoracyjny	125
8.3	Szkło dekoracyjne	127
8.3.1	Przeniesienie kolorowego wydruku na szkło	127
8.3.2	Dekoracyjne laminowane szkło bezpieczne	128
8.3.3	Kolorowe folie w szkło laminowanym	128
8.3.4	Dekoracyjne szkło laminowane	129
8.4	Gięte szkło architektoniczne	129
8.4.1	Gięcie grawitacyjne	130
8.4.2	Szkło gięte hartowane	131
8.4.3	Możliwe kształty szkła giętego	131
8.4.4	Wymagania	132
8.4.5	Rodzaje szkła odpowiednie do procesu gięcia	132
8.4.6	Określenie kształtu szkła giętego	133
8.4.7	Wymagania szczegółowe	134
	Lokalne zniekształcenia optyczne Zachowanie konturu Wichrowa- tość Przesunięcie krawędzi Przejścia stycznej	
8.4.8	Statyka szkła giętego	135
8.4.9	Gięcie szkła na zimno	137
8.5	Windy szklane	138
8.6	Oddziaływanie z promieniowaniem długofalowym	139
8.6.1	Szklenie tłumiące odbicie promieniowania radaru	139
	Ograniczenie odbicia promieniowania radaru przy użyciu szkła z powłoką SunGuard RD	
8.6.2	Tłumienie promieniowania elektromagnetycznego dużej częstotli- wości (tzw. elektrycznego smogu)	142
8.7	Szkło antyrefleksyjne	144
8.8	Szkło bezpieczne dla ptaków	146
8.8.1	Istota problemu	146
8.8.2	Ocena rozwiązań “bezpiecznych dla ptaków”	147
8.8.3	Rozwiązania zapewniające ptakom lepszą widoczność przeszkleń	149
9.	Normy i wytyczne	154
9.1	Europejskie normy odnoszące się do szkła	154
9.2	Tolerancje dla wymagań normatywnych	156

9.2.1	Szkło bazowe	156
9.2.2	Rozkrój	156
	Informacje ogólne Ubytek możliwy w procesie float Kąty ostre w szkłe hartowanym, laminowanym szkłe bezpiecznym i szybach zespolonych – odcinanie (obszary wyłączone z oceny) Długość, szerokość i prostopadłość	
9.2.3	Obróbka	158
	Jakość obróbki krawędzi Tolerancje standardowe Tolerancje specjalne Specjalne kształty Obróbka krawędzi Obróbka (wycięcia, wcięcia) Narożnik stępiony < 100 x 100 mm Narożnik stępiony Wykrój krawędzi stępionych Standardowe odchyłki przy obróbce ręcznej – wymiary wycięć Standardowe odchyłki przy obróbce CNC – wymiary wycięć Narożnik polerowany – obrabiarka CNC Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wycięcie narożnika szlifowanego Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wycięcie narożnika polerowanego – obrabiarka CNC Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wycięcie krawędzi stępionych, szlifowanych lub polerowanych – obrabiarka CNC Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wiercenie otworów Średnica wierconych otworów Ograniczenie i położenie wierconego otworu Rozmieszczenie wierconych otworów Średnice wierconych otworów stożkowych Średnice wierconych otworów stożkowych w szkłe laminowanym bezpiecznym	
9.2.4	Szkło hartowane, szkło hartowane wygrzewane termicznie, szkło półhartowane	164
	Globalne dystorsje – szkło niepowlekane float Lokalne dystorsje („falistość od wałków”) – szkło niepowlekane float Zalecane minimalne grubości szkła w zależności od wymiarów zewnętrznych szyby	
9.2.5	Szyby zespolone	165
	Uszczelnienia krawędziowe Tolerancje grubości w okolicy krawędzi szyb zespolonych Tolerancje wymiarowe / przesunięcie	
9.2.6	Laminowane szkło bezpieczne	167
	Tolerancje wymiarowe Tolerancje wymiarowe przesunięcia tafli laminatu Tolerancje grubości	
9.3	Krawędzie szkła	168
9.3.1	Typy obrabianych krawędzi	169
9.3.2	Obróbka krawędzi	169
9.3.3	Rodzaje krawędzi i ich zastosowania	170
9.4	Narożniki i łączenie szkła	171
9.4.1	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i sznura dylatacyjnego w zestawach dwuszybowych	171
9.4.2	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i sznura dylatacyjnego w zestawach trzyszybowych	171

9.4.3	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i profilu dylatacyjnego w zestawach dwuszybowych.....	171
9.4.4	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i profilu dylatacyjnego w zestawach trzyszybowych	172
9.4.5	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła w zestawach dwuszybowych stopowanych	172
9.4.6	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła w zestawach trzyszybowych stopowanych	172
9.4.7	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła z profilem dylatacyjnym w zestawach dwuszybowych stopowanych	172
9.4.8	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła z profilem dylatacyjnym w zestawach trzyszybowych stopowanych.....	173
9.5	Wymiarowanie szkła (dobór grubości).....	173
9.6	Uszkodzenia powierzchni szkła	174
9.7	Wytyczne dotyczące oceny jakości wizualnej szkła w budynkach	174
9.7.1	Wizualna jakość szkła powlekanego Wykrywanie wad Warunki badania Warunki ogólne Wady jednorodności oraz plamy Defekty punktowe Kryterium dopuszczalnych defektów szkła powlekanego	174
9.7.2	Wizualna jakość szkła zespolonego Warunki obserwacji Szkło zespolone składające się z dwóch szyb monolitycznych Wady punktowe Pozostałe Wady liniowe / podłużne Pozostałe szyby zespolone (inne od tych składających się z dwóch szyb monolitycznych) Szyby zespolone zawierające szkło hartowane Defekty krawędzi Tolerancja prostoliniowości ramki dystansowej Gięte szyby zespolone Pozostałe aspekty wizualne szyby zespolonej Kolor Różnice koloru w szkłe zespolonym Interferencja Efekt szyby zespolonej Wielokrotne odbicie Anizotropia (opalizowanie) Kondensacja na zewnętrznej powierzchni szkła zespolonego Zwilżalność powierzchni szkła Ocena widocznego przekroju uszczelnienia krawędzi szyby zespolonej Szyby zespolone z wewnętrznymi szprosami	177
9.8	Pęknięcie szkła	183
9.8.1	Pęknięcia termiczne / naprężenia termiczne Wiadomości ogólne Pęknięcia termiczne Czynniki wpływające na pęknięcia termiczne Czynniki wpływające na wytrzymałość szkła i ryzyko pęknięcia termicznego Obliczenia i ocena ryzyka pęknięcia termicznego	184
9.8.2	Typowe spękania szkła.....	187
9.9	Oznakowanie CE.....	190
9.10	Kompatybilność materiałowa	192

9.10.1	Kompatybilność uszczelniaczy ze szkłem powlekany	193
	Typowa szyba zespolona Powłoki SunGuard w szkleniu strukturalnym	
9.10.2	Nakładanie emalii ceramicznej na powlekane szkło	194
	Wymagania dotyczące emaliowania SunGuard w zastosowaniach jako monolityczny spandrel Druk ceramiczny – Ferro System 140 SunGuard HD w kombinacji z emalią ceramiczną na pozycji #1	
9.10.3	Laminowane powlekane szkło architektoniczne	198
9.11	Czyszczenie szkła	200
9.11.1	Wstęp	200
9.11.2	Sposoby czyszczenia	200
	Podczas etapu budowy Podczas etapu użytkowania	
9.11.3	Instrukcja czyszczenia szkła	201
	Informacje ogólne Szkło o specjalnym sposobie wykończenia i szkło powlekane od strony zewnętrznej Dalsze uwagi	
9.12	Transport i składowanie	203
10.	Porównanie produktów	206
10.1	Szkło float	206
10.2	Szklą termoizolacyjne	208
10.3	Szklą kontroli słonecznej	210
10.4	Szkło antyrefleksyjne	227
10.5	Szkło dźwiękoizolacyjne	228
10.6	Szkło bezpieczne	233
11.	Szukaj i znajdź	240
11.1	Oferta usługowa	240
11.1.1	Narzędzia online Guardian Glass Analytics	240
	Kalkulator Parametrów (konfiguracja) Wizualizator szkła (wizualizacje) Asystent Akustyczny (Izolacyjność akustyczna)	
11.1.2	Strona internetowa Guardian Possibilities	241
11.1.3	Wykonywanie obliczeń	241
11.1.4	Wsparcie techniczne klientów	242
11.1.5	Przekazywanie wiedzy	242
11.2	Skorowidz	244
11.3	Skróty, ogólnie	250
11.4	Oznaczenia i symbole z alfabetu greckiego	255

1

Szkło bazowe

2

Szyby zespolone

3

Światło, energia, ciepło

4

Izolacja termiczna

5

Ochrona przeciwsłoneczna

6

Ochrona przed hałasem

7

Bezpieczeństwo i ochrona

8

Przeszklenia budynków

9

Normy i wytyczne

10

Porównanie produktów

11

Szukaj i znajdź

[Zarys historyczny](#) | [Szkło float](#) | [Zabarwienie](#) | [Właściwości](#) | [Powłoki na szkło float](#) | [Metoda pirolityczna](#) | [Metoda magnetronowa](#)

[Informacje Ogólne](#) | [Produkcja](#) | [Uszczelnienie krawędzi](#) | [Systemy uszczelnienia](#) | [Ramka dystansowa](#) | [Punkt rosy i kondensacja](#) | [Kondensacja w przestrzeni międzyszybowej](#) | [Kondensacja na powierzchni wewnętrznej szyby zespolonej](#) | [Kondensacja na powierzchni zewnętrznej szyby zespolonej](#) | [Wskaźnik oddawania barw](#) | [Interferencja](#) | [Efekt szyby zespolonej](#)

[Energia słoneczna](#) | [Światło widzialne](#) | [Ciepło](#) | [Promieniowanie UV](#)

[Ekonomia](#) | [Ekologia](#) | [Dobre samopoczucie](#) | [Straty ciepła](#) | [Emisyjność](#) | [Wartość U – współczynnik przenikania ciepła](#) | [Współczynnik \$U_g\$](#) | [Współczynnik \$U_f\$](#) | [Współczynnik \$\Psi\$](#) | [Współczynnik \$U_w\$](#) | [Gama produktów firmy Guardian przeznaczonych do izolacji termicznej](#)

[Ekonomia](#) | [Ekologia](#) | [Komfort](#) | [Przepływ energii przez szkło](#) | [Całkowita transmisja energii słonecznej \(wartość g\)](#) | [Współczynnik zacielenia](#) | [Selektywność spektralna](#) | [Kontrola uzysku ciepła latem](#) | [Ochrona przeciwsłoneczna z zastosowaniem szkła](#) | [Szkło przeciwsłoneczne jako element architektoniczny](#) | [Gama szkół ochrony przeciwsłonecznej SunGuard](#)

[Wpływ hałasu na człowieka](#) | [Rodzaje dźwięku](#) | [Wartości graniczne](#) | [Postrzeganie hałasu](#) | [Ocena akustyczna dla budynków](#) | [Ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej \(\$R_w\$ \)](#) | [Wskaźniki korygujące \(\$C\$, \$C_{tr}\$ \)](#) | [Właściwości akustyczne przeszklei](#) | [Ciężar tafli szkła](#) | [Budowa szyb zespolonych](#) | [Wypełnienie gazem](#) | [Sztywność szkła](#) | [Oferta szkół chroniących przed hałasem firmy Guardian](#)

[Szkło hartowane](#) | [Szkło hartowane wygrzewane termicznie – ESG-H](#) | [Szkło wzmocnione termicznie \(półhartowane\)](#) | [Szkło laminowane bezpieczne](#) | [Bezpieczeństwo poprzez szkło](#) | [Zalecenia dla określonych zastosowań szkła](#)

[Fasady](#) | [Druk ceramiczny na szkło](#) | [Szkło dekoracyjne](#) | [Gięte szkło architektoniczne](#) | [Windy szklane](#) | [Oddziaływanie z promieniowaniem długofalowym](#) | [Szkło antyrefleksyjne](#) | [Szkło bezpieczne dla ptaków](#)

[Europejskie normy odnoszące się do szkła](#) | [Tolerancje dla wymagań normatywnych](#) | [Krawędzie szkła](#) | [Narożniki i łączenie szkła](#) | [Wymiarowanie szkła \(dobór grubości\)](#) | [Uszkodzenia powierzchni szkła](#) | [Wytyczne dotyczące oceny jakości wizualnej szkła w budynkach](#) | [Pęknięcie szkła](#) | [Oznakowanie CE](#) | [Kompatybilność materiałowa](#) | [Czyszczenie szkła](#) | [Transport i składowanie](#)

[Szkło float](#) | [Szkła termoizolacyjne](#) | [Szkła kontroli słonecznej](#) | [Szkło antyrefleksyjne](#) | [Szkło dźwiękoizolacyjne](#) | [Szkło bezpieczne](#)

[Oferta usługowa](#) | [Narzędzia online Guardian Glass Analytics](#) | [Strona internetowa Guardian Possibilities](#) | [Wykonywanie obliczeń](#) | [Wsparcie techniczne klientów](#) | [Przekazywanie wiedzy](#) | [Skorowidz](#) | [Skróty, ogólnie](#) | [Oznaczenia i symbole z alfabetu greckiego](#)



Elbphilharmonie Hamburg, Hamburg, Niemcy
SunGuard® HD Light Blue 52 | Szyby zespolone gięte w trzech płaszczyznach, emaliowane
oraz laminowane
Architekt: Herzog & De Meuron, Basel | Zdjęcie: © Cordelia Ewerth



Bez szkła świat znajdzie
się pod ścianą.



Przedmowa



Przedmowa / **Guus Boekhoudt**

Vice President Flat Glass Europe
& Managing Director Guardian Europe S.à r.l.

Trudno sobie dziś wyobrazić nasz świat bez materiału budowlanego jakim jest szkło. Od momentu wprowadzenia procesu produkcji szkła float zakres jego zastosowania rozciąga się na wszelkie możliwe dziedziny życia ludzkiego. Z tego wyjątkowego materiału budowlanego korzysta przede wszystkim nowoczesna architektura, tworząc budynki mieszkalne i biurowe, których przejrzystość i rozmach, z zachowaniem funkcji ochronnej, gwarantują odpowiednią otwartość.

Coraz większe zapotrzebowanie na światło słoneczne, bezpieczeństwo oraz oszczędności energetyczne przekłada się na wzrastające zastosowanie szkła w domach i na fasadach budynków. Także projektanci wnętrz coraz częściej rozpatrują zalety tego materiału, aby dostarczyć światło głębiej do wnętrza i podkreślić nasz nowoczesny tryb życia.

Szklane ścianki działowe, kabiny prysznicowe, meble i akcesoria są dla naszego pokolenia całkiem oczywistym składnikiem otoczenia. Technologicznie wysokozaawansowane elementy funkcyjne takie jak szkło do wyświetlaczy czy ekrany fasadowe, stwarzające wysoki komfort obsługi i komunikacji oraz elementy do kolektorów słonecznych i fotowoltaiki, świadczą o szerokim wykorzystaniu szkła w energetyce. Mimo tak olbrzymiego postępu w ostatnich dziesięcioleciach możliwości wykorzystania szkła i jego pochodnych w tworzeniu nowych rozwiązań nie zostały w pełni wyczerpane i pozostają kwestią przyszłości.

Materiałem wyjściowym wszystkich wyżej wymienionych produktów jest szkło float, które w procesach przetwarzania zmienia się w innowacyjne elementy konstrukcyjne i funkcyjne. Nie będzie więc przesadą określenie XXI wieku mianem „GlassTime“, czyli erą szkła. Ten wyjątkowy materiał o tradycji sięgającej 7000 lat, również w tym stuleciu będzie kontynuować swój triumfalny pochód, do którego my wnosimy swój wkład już od ponad ośmiu dekad.

Za pośrednictwem niniejszego opracowania chcielibyśmy przekazać użytkownikom produktów Guardian część naszej wiedzy o szkłe i jego zastosowaniu. Nie ograniczamy się przy tym tylko do kwestii związanych z naszą podstawową działalnością, lecz ukazujemy istotne aspekty produktów przetworzonych, do których dostarczamy szkło jako surowiec bazowy. Pierwsze wydanie, które trzymają Państwo w rękach, z pewnością nie wyjaśni w sposób wyczerpujący wszystkich niuansów, mamy jednak nadzieję, że udzieli odpowiedzi na wiele pytań związanych ze szkłem – zgodnie z tytułem GlassTime.



Kroki milowe

- 1

Guardian Luxguard I / Bascharage

Data uruchomienia: 1981
- 2

Guardian Llodio

Data uruchomienia: 1984
- 3

Guardian Orosháza

Data uruchomienia: 1991
- 4

Guardian Tudela

Data uruchomienia: 1993
- 5

Guardian Flachglas Bitterfeld-Wolfen

Data uruchomienia: 1996
- 6

Guardian Czeszochowa

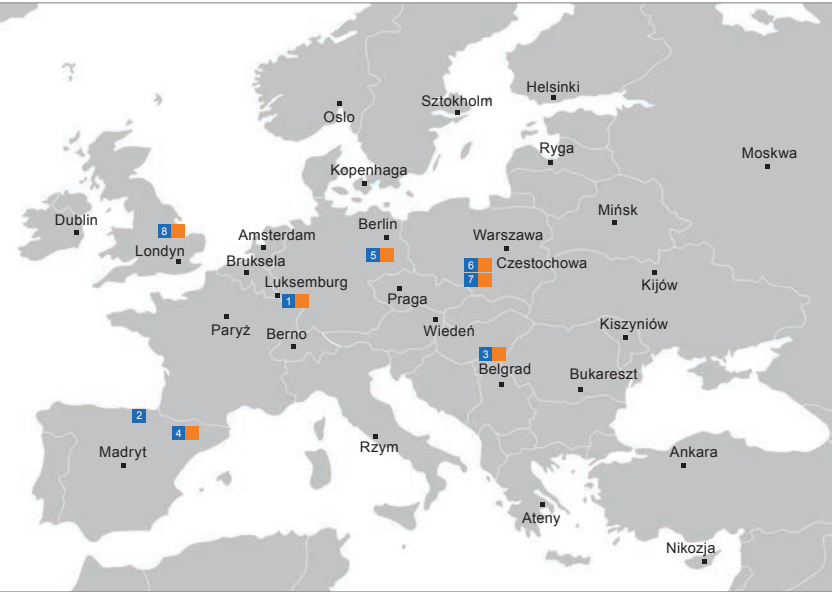
Data uruchomienia: 2002
- 7

Guardian Czeszochowa II

Data uruchomienia: 2020
- 8

Guardian UK Goole

Data uruchomienia: 2003



- Linia float
- Linia powlekania „coater”

Dane z: 2022

Od skromnych początków do globalnego zasięgu

Firma Guardian Industries powstała w 1932 roku pod nazwą Guardian Glass Company, rozpoczynając swoją działalność od produkcji szyb dla przemysłu motoryzacyjnego. Obecnie, Guardian Industries Corporation to globalna firma z siedzibą główną w Auburn Hills, Michigan. Zatrudnia 18000 ludzi i prowadzi swoją działalność w Ameryce Północnej, Europie, Ameryce Południowej, Afryce, Bliskim Wschodzie oraz w Azji. Firma Guardian produkuje wysokowydajne szkła float i powlekane oraz inne produkty ze szkła do zastosowań architektonicznych, mieszkaniowych, wewnętrznych, logistycznych i technicznych, a także wysokiej jakości chromowane i malowane elementy z tworzyw sztucznych dla przemysłu motoryzacyjnego. Wizją firmy Guardian jest stworzenie wartości dla swoich klientów i społeczeństwa poprzez ciągłe doskonalenie swojej działalności i użycie mniejszej ilości surowców. Firma Guardian jest spółką zależną Koch Industries Inc.

W 1970 roku Guardian otworzył pierwszą hutę szkła w Carleton, Michigan, i rozpoczął produkcję szkła płaskiego z wykorzystaniem metody float, polegającej na rozlewaniu stopionej masy szklanej po powierzchni płynnej cyny, tworząc idealnie płaską i równoległą płynącą wstęgę szkła. Guardian był pionierem stosowania tej nowatorskiej metody produkcji szkła na rynku amerykańskim. Obecnie firma posiada na całym świecie 22 linii produkcyjnych typu float oraz 13 zakładów produkujących inne wyroby szklane.

Z myślą o poszukiwaniu dla swoich klientów nowych produktów i wydajnych procesów technologicznych, w 2000 roku Guardian powołał do życia Centrum Naukowo-Technologiczne w Carleton, Michigan, którego zadaniem jest rozwój i opracowywanie nowych rozwiązań technologicznych. Jednostka ta pozwoliła na usprawnienie i rozszerzenie oferty produktowej w segmentach: projektów komercyjnych, mieszkaniowym, wewnętrznym, elektroniki oraz motoryzacyjnym.

Posiadając setki innowacyjnych opatentowanych produktów, jak i najnowocześniejsze zakłady produkcyjne oraz zespół oddanych specjalistów na całym świecie, firma Guardian jest gotowa sprostać wyzwaniom nadchodzących dziesięcioleci. Nasze produkty zdobią domy, budynki i samochody na całym świecie. Osiągnięcie tak wiele w tak krótkim czasie, identyfikując i dopracowując najnowsze wymagania rynku jest dla nas okazją do ciągłego doskonalenia i wyzwaniem, któremu w sposób ciągły stawiamy czoła.

Rozwijająca się Europejska sieć zakładów produkujących szkło i produkty dla przemysłu motoryzacyjnego oraz sieci sprzedaży i logistyczna zapewniają bliskie wsparcie klientom firmy Guardian. Od momentu wejścia na rynek europejski i uruchomienia w roku 1981 fabryki szkła float w Bascharage w Luksemburgu, Guardian objął swoim zasięgiem kolejnych sześciu krajów europejskich, aby w większym stopniu wspierać segmenty: projektów komercyjnych oraz mieszkaniowy, a także przemysł motoryzacyjny.

Obecnie firma Guardian dysponuje w Europie ośmioma liniami float oraz produkuje wysokiej jakości wyroby powlekane z użyciem najnowocześniejszych urządzeń umiejscowionych w sześciu lokalizacjach w całej Europie.



Zdjęcie: © Guardian Częstochowa, Częstochowa (Polska)



Tour Incity, Lyon, Francja | SunGuard® HD Silver 70
Architekt: Valode & Pistre | Zdjęcie: © Stanislas Ledoux

1.	Szkło bazowe	8
1.1	Zarys historyczny	8
1.2	Szkło float.....	8
1.2.1	Zabarwienie	10
1.2.2	Właściwości	11
	Gęstość Moduł sprężystości podłużnej (Moduł Younga) Emisyjność Wytrzymałość na ściskanie Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu Wytrzymałość na różnicę temperatur Zakres temperatury przemiany Temperatura mięknienia Liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej (dylatacja termiczna) Ciepło właściwe Współczynnik przenikania ciepła (U) Kwasoodporność Ługoodpor- ność Odporność na działanie wody Świeże, agresywne substancje zasadowe	
1.3	Powłoki na szkło float.....	13
1.3.1	Metoda pirolityczna	13
1.3.2	Metoda magnetronowa	14



1.1 Zarys historyczny

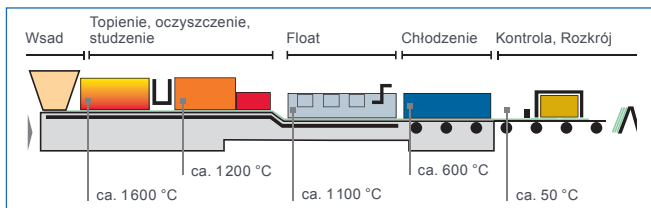
Historia produkcji szkła sięga około 5000 lat przed naszą erą. Znaleźiska w postaci szklanych paciorków z okresu starożytnego Egiptu oraz wczesnych czasów rzymskich świadczą o długiej tradycji technik projektowania i wytwarzania szkła. Przez wieki szkło było produkowane wyłącznie rzemieślniczo przez wydmuchiwanie z zastosowaniem piszczeli szklarskich w formie walców (cholew), a następnie gomółek. W konsekwencji wytwarzano niewielkie ilości szkła w postaci małych szyb, które były stosowane niemalże ekskluzywnie w witrażach kościołów.

Zapotrzebowanie na szkło wzrosło w XVII wieku. Walory tego materiału wykończeniowego, oprócz budowniczych kościołów, dostrzegli również właściciele zamków i kamienic. Jako pierwsi, francuscy szklarze opracowali metodę walcowania, która pozwalała na produkcję tafli szkła o wymiarach 1,20 x 2 m, co wcześniej wydawało się niemożliwe. Faktyczne uprzemysłowienie produkcji szkła nastąpiło dopiero w XX wieku. Technologie początkowo opracowane przez Lubbersa oraz Fourcaulta, a następnie metody Libbey'a-Owensa oraz Pittsburgha umożliwiły masową produkcję szyb o wielkości 12 x 2,50 m.

Wszystkie te metody miały, jednakże jedną istotną wadę: w celu uzyskania nienagannych optycznie i pozbawionych dystorsji tafli szkła, konieczne było szlifowanie i polerowanie obydwóch stron, co było niezwykle czasochłonne i kosztowne.

1.2 Szkło float

Szkło stosowane dzisiaj zarówno w branży motoryzacyjnej, jak i budowlanej, pochodzi z przemysłowych linii produkcyjnych float. Tak zwana metoda float, która osiągnęła swoją najwyższą wartość w roku 1959, zrewolucjonizowała wszystkie rozpowszechnione do tej pory procesy produkcji szkła. Dotychczasowe metody formowania szyb odbywały się poprzez ciągnięcie lub wylanie roztopionego szkła, które następnie musiało zostać poddane obróbce w celu uzyskania poprawnej optycznie jakości. Nowy sposób produkcji opiera się na równomiernym „rozlewaniu” masy szklanej na powierzchni stopionej cyny. Napięcie powierzchniowe ciekłej cyny oraz fakt, że szkło jest tylko w połowie tak gęste jak cyna, powodują, że ciekłe szkło nie przenika do warstwy cyny, lecz równomiernie się rozlewa i unosi na jej powierzchni. Pozwala to na uzyskanie absolutnej płaskorównoległości, która gwarantuje brak zniekształceń i krystaliczną przezroczystość tafli szkła. Redukcja temperatury w obrębie wanny cynowej, z 1000 °C do 600 °C, powoduje zmianę stanu wstęgi szkła, z ciekło-lepkiego w stan stały. Umożliwia to podniesienie wstęgi szkła z powierzchni cyny na końcu procesu.



Proces produkcji szkła float (schemat)

Cyna jest idealnym materiałem formującym, ponieważ dzięki niskiemu ciśnieniu pary pozostaje płynna w trakcie całego procesu formowania szkła. Aby zapobiec utlenianiu się cyny, cały proces przebiega w atmosferze ochronnej składającej się z azotu z dodatkiem wodoru. Formowanie wstęgi szkła w kąpeli cynowej poprzedza etap wcześniejszego stopienia odpowiednich surowców. Proces ten zaczyna się od ich dokładnego dozowania w proporcjach około 60 % piasku kwarcowego, 20 % węgla sodu i siarczanu oraz 20 % wapienia i dolomitu, które najpierw są rozdrabniane i mieszane w wielkich mieszalnikach, tworząc zestaw szklarski. Do pieca podawane jest ok. 80 % zestawu szklarskiego i 20% stłuczki szklanej, gdzie następuje ich stopienie w temperaturze ok. 1600 °C. W taki sposób powstaje szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe zgodne z normą PN-EN 572-2.

Po odgazowaniu stopionej mieszanki, czyli tzw. „sklarowaniu”, ciekła masa szklana wychładza się w części wyrobowej pieca do około 1200 °C, a następnie przepływa przez kanał do wanny cynowej. Proces nieustannego podawania stopionego zestawu umożliwia ciągłe przepływanie stopionej masy szklanej po powierzchni cyny, podobnie jak w przelewającej się wannie, z której równomiernie wypływa dolewana woda. W wannie cynowej powstaje ciągła wstęga szkła o szerokości około 3,50 m, która na końcu procesu jest podniesiona z powierzchni cyny.



Kąpiel cynowa

W odprężarce tunelowej wstęga szkła o początkowej temperaturze ok. 600 °C jest wychładzana w ściśle zdefiniowany sposób do temperatury otoczenia tak, aby w szkłe nie pozostały trwałe naprężenia. Ten etap ma decydujące znaczenie dla późniejszej bezproblemowej obróbki szkła. Na końcu tego odcinka odprężającego liczącego około 250 m wstęga szkła posiada wciąż temperaturę około 50 °C i poddawana jest laserowej kontroli na okoliczność występowania defektów, jak np. wtrącenia, pęcherzyki czy smugi. Są one automatycznie rejestrowane, a szkło pokryte wadami jest następnie eliminowane przy rozkroju.

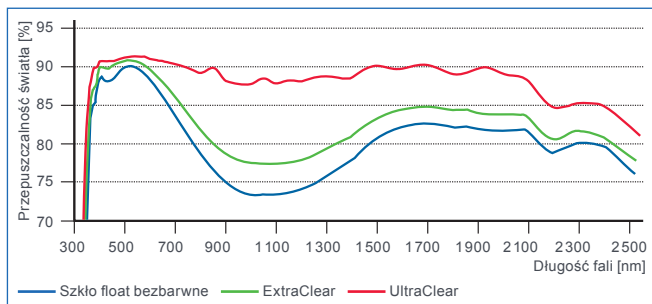


Rozkrój następuje poprzecznie do wstęgi szkła, zazwyczaj w odstępie 6 metrów lub mniejszym. Odcinane są również obie krawędzie, w wyniku czego powstają tafle szkła float o wymiarach 3,21 x 6 m, które są obrabiane zaraz po rozkroju lub odkładane na stojaki do dalszego przetwarzania. Obecnie możliwa jest już produkcja dłuższych tafli, liczących 7 m lub więcej. Przeciętna linia float ma około 600 m długości i wydajność dzienną rzędu 70000 m² szkła o grubości 4 mm.

1.2.1 Zabarwienie

Szkło float posiada lekko zielonkawe zabarwienie, zauważalne przede wszystkim na krawędziach. Spowodowane jest to obecnością tlenku żelaza naturalnie występującego w surowcach. Dobierając jednak surowce o niskiej zawartości tlenku żelaza lub stosując chemiczne metody odbarwienia wytopu, można uzyskać szkło o neutralnej kolorystyce, bardzo białe.

Guardian wytwarza takie szkło pod nazwą Guardian UltraClear™. Najczęściej stosuje się je w wykończeniu wnętrz oraz w specjalnych produktach solarnych. Bazowym szkłem jest natomiast Guardian ExtraClear™, produkt wyróżniający się obniżoną zawartością żelaza. Pod względem zabarwienia (zielonkawy odcień) i właściwości spektralnych, szkło to zawiera się między UltraClear float, a standardowym szkłem Clear float. Ze względu na swoje parametry, szkło float ExtraClear jest idealnym materiałem bazowym dla powłok termoizolacyjnych ClimaGuard® oraz powłok przeciwsłonecznych SunGuard®. Umożliwia poprawę selektywności i neutralności kolorystycznej bez względu na powłokę, szczególnie w przypadku szkieł fasadowych.



Typy i właściwości szkła float

Poza tymi trzema wariantami szkła float możliwa jest jeszcze produkcja szkieł kolorowych, barwionych w masie. Obecność dodatków chemicznych w zestawie szklarskim pozwala wytworzyć szkło zielone, szare, niebieskie, czerwone lub zabarwione na brązowo, w określonych etapach produkcji na linii float. Zmiana koloru masy szklanej wiąże się z istotnym nakładem i zwiększonymi kosztami ze względu na wyższe straty produkcyjne oraz obniżoną wydajność i dlatego jest realizowane wyłącznie w formie specjalnej kampanii produkcyjnej.

1.2.2 Właściwości

Większość produkowanego w dzisiejszych czasach szkła to szkło float, wytwarzane z reguły w grubościach od 2 do 25 mm, w standardowym wymiarze 3,21 x 6 m, przeznaczone do dalszego przetwarzania. Szkło posiada przy tym następujące właściwości fizyczne:

1.2.2.1 Gęstość

Gęstość materiału jest obliczana jako stosunek masy do objętości i jest oznaczana literą „ ρ ”. Dla szkła float wielkość ta wynosi $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$. Oznacza to, że metr kwadratowy szkła float o grubości 1 mm posiada masę równą 2,5 kg.

1.2.2.2 Moduł sprężystości podłużnej (Moduł Younga)

Moduł sprężystości podłużnej (oznaczany literą „E”) jest wielkością określającą własności sprężyste ciała stałego. Opisuje zależność odkształcenia liniowego materiału od naprężenia jakie w nim występuje w zakresie odkształceń sprężystych. Wartość modułu E jest tym wyższa, im wyższy opór materiał stawia podczas odkształcania. Zgodnie z normą PN-EN 572-1, moduł Younga szkła float wynosi $E = 7 \times 10^{10} \text{ Pa}$.

1.2.2.3 Emisyjność

Emisyjność (ϵ) stanowi miarę zdolności danej powierzchni do oddania przyjętego ciepła w formie promieniowania. Podstawę tej miary stanowi stosunek do dokładnie zdefiniowanego tak zwanego „ciała doskonale czarnego”. W przypadku szkła float, obliczona w ten sposób normalna emisyjność wynosi $\epsilon = 0,89$, co oznacza, że 89 % zaabsorbowanego ciepła jest następnie oddawane w formie promieniowania (→ Rozdział 4.5).

1.2.2.4 Wytrzymałość na ściskanie

Jak sama nazwa wskazuje, wielkość ta wyznacza wytrzymałość materiału na obciążenie ściskające. Szkło jest niezwykle odporne na ściskanie, co wyraża się wartością w granicach 700 – 900 MPa. Szkło płaskie może przenieść obciążenie ściskające dziesięciokrotnie wyższe niż obciążenie rozciągające.

1.2.2.5 Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu nie jest parametrem materiałowym, lecz wartością pomiarową, na którą – jak w przypadku wszystkich materiałów kruchych - wpływ mają właściwości powierzchni poddanej naprężeniom rozciągającym. Naruszenia powierzchni zmniejszają ten parametr, dlatego też wartość wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu można zdefiniować tylko statystycznie za pomocą wiarygodnej wartości prawdopodobieństwa pęknięcia. Definicja ta mówi, że prawdopodobieństwo pęknięcia przy naprężeniu zginającym wynoszącym dla szkła float



45 MPa (PN-EN 572-1) może średnio wynosić najwyżej 5 %, bazując na prawdopodobieństwie trafności równym 95 %, wyliczonym metodą statystyczną. Wartość $\sigma = 45$ MPa zmierzona zgodnie z metodą podwójnego pierścienia według PN-EN 1288-2.

1.2.2.6 Wytrzymałość na różnicę temperatur

Zgodnie z normą PN-EN 572, wytrzymałość szkła float na różnicę temperatur w obrębie jednej tafli (ΔT) wynosi 40 K (kelwinów). Oznacza to, że taka różnica temperatur nie wywołuje żadnych skutków. Wyższe różnice prowadzą do powstawania niebezpiecznych naprężeń w przekroju szkła, które mogą doprowadzić do jego pęknięcia. Z tego powodu urządzenia grzewcze powinny być umieszczone w odległości co najmniej 30 cm od przeszklenia. W razie niezachowania takiego odstępu zaleca się zastosowanie bezpiecznego szkła hartowanego ($\rightarrow$ Rozdział 9.8.1). To samo dotyczy również całkowitego, trwałego lub częściowego zacienienia szklenia, na przykład przez statyczne elementy konstrukcyjne lub okoliczną roślinność.

1.2.2.7 Zakres temperatury przemiany

Właściwości mechaniczne szkła float zmieniają się w określonym przedziale temperatur. Zakres ten wynosi między 520 a 550 °C i nie należy go mylić z temperaturą wstępnego hartowania i temperaturą kształtowania, która jest wyższa o około 100 °C.

1.2.2.8 Temperatura mięknięcia

Temperatura mięknięcia dla szkła float wynosi ok. 600 °C.

1.2.2.9 Liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej (dylatacja termiczna)

Parametr ten podaje minimalną zmianę długości szkła float przy określonym wzroście temperatury i ma decydujące znaczenie w przypadku łączenia z innymi materiałami: $9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ zgodnie z ISO 7991 w zakresie temperatur 20 - 300 °C. Ta wartość informuje, o ile rozciągnie się krawędź szkła o długości 1 m, jeśli temperatura wzrośnie o 1 K.

1.2.2.10 Ciepło właściwe

Współczynnik C podaje, jaka ilość ciepła jest potrzebna, aby zmienić temperaturę 1 kg szkła float o 1 K: $C = 800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1.2.2.11 Współczynnik przenikania ciepła (U)

Wartość tę wylicza się zgodnie z PN-EN 673. Dla szkła float o grubości 4 mm wynosi ona 5,8 W/m²K ($\rightarrow$ Rozdział 4.6).

1.2.2.12 Kwasoodporność

Tabela: Klasa 1 wg DIN 12116

1.2.2.13 Ługoodporność

Tabela: Klasa 1-2 wg ISO 695

1.2.2.14 Odporność na działanie wody

Tabela: Klasa hydrolityczna 3-5 wg ISO 719

1.2.2.15 Świeże, agresywne substancje zasadowe

Są to substancje, które są wypłukiwane z jeszcze niezwiązanego cementu. Przy zetknięciu z powierzchnią szkła, atakują jego strukturę krzemiano-wo-tlenową. Wówczas zmienia się powierzchnia szkła, ponieważ punkty, w których nastąpił kontakt, stają się bardziej chropowate. Taki proces następuje przy osuszaniu nacieków ługowych i kończy się dopiero po utwardzeniu cementu. Z tego powodu należy unikać kontaktu między alkalicznymi naciekami, a szkłem lub natychmiast je usunąć, spłukując dużą ilością czystej wody (→ Rozdział 9.11).

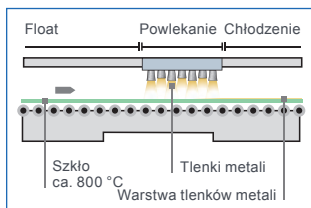
1.3 Powłoki na szkłe float

W przemysłowym powlekaniu szkła float na dużą skalę rozróżnia się zasadniczo dwie technologie. Jedna to chemiczna metoda pirolityczna określana również jako „twarda powłoka”, a druga to proces fizyczny określany jako proces próżniowy lub napyłanie magnetronowe.

Obie metody, w zależności od nanoszonych materiałów, pozwalają na uzyskanie zarówno neutralnego, jak i barwnego odcienia finalnego produktu. Efekty barwne są mniej zauważalne przy obserwacji przez szkło, a bardziej przy odbiciu obrazu na powierzchni szkła. Obie technologie stosowane są dla szkła bazowych i nie należy ich mylić z nanoszeniem materiałów na powierzchnię w procesie rozpylania, walcowania lub drukowania (→ Rozdział 8.2).

1.3.1 Metoda pirolityczna

Ten proces powlekania szkła odbywa się online podczas produkcji na linii float. Na rozgrzaną powierzchnię szkła o temperaturze kilkuset stopni rozpylane są tlenki metali, które zostają zapieczone na powierzchni szkła. Powłoki te są bardzo twarde i odporne, jednakże ze względu na



Metoda pirolityczna (online)

swoją prostą strukturę posiadają bardzo ograniczone właściwości. W celu spełnienia wyższych wymagań, jakie dziś są powszechnie stawiane, stosowane są powłoki wielowarstwowe. Są one wytwarzane w trybie offline, w środowisku próżniowym, metodą napyłania magnetronowego. Z tego powodu Guardian koncentruje się wyłącznie na technologii powlekania zgodnie z poniższym opisem.

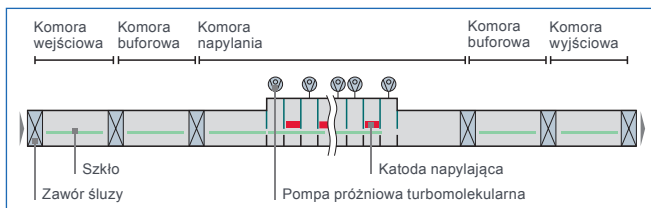


1.3.2 Metoda magnetronowa

Metoda napylania magnetronowego posiada wiele nazw, z których jedna pochodzi z początku stosowania tej technologii, gdy dla odróżnienia od „twardej powłoki” określano ją terminem „miękką powłoka”. Pojęcie to jest obecnie mylące, ponieważ istnieją również niezwykle odporne powłoki magnetronowe, składające się zawsze z kilku bardzo cienkich pojedynczych warstw. Żadna inna technologia nie pozwala na tak równomierne powlekanie szkła i nadanie mu tak doskonałych właściwości optycznych i termicznych.

Materiał napylany na powierzchnię szkła (tzw. target występujący w formie płyty lub rury metalowej) podłączony jest do elektrody o wysokim ujemnym potencjale elektrycznym. Elektroda i target są izolowane elektrycznie od ścian komory próżniowej. Gaz procesowy (argon) jest jonizowany przez silne pole elektryczne (szybkie elektrony).

Przyspieszane jony argonu uderzają w target wybijając z niego cząsteczki materiału, które następnie osiadają na powierzchni szkła. Metale oraz stopy mogą być napylane również w obecności gazów reakcyjnych (np. tlen, azot). Obecnie możliwe jest napylanie metali, tlenków metali oraz azotków metali.



Przekrój linii powlekania w technologii magnetronowej

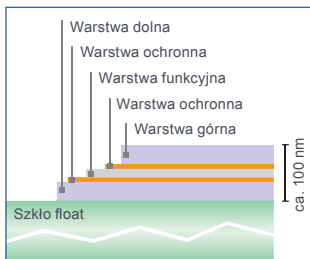
1.3.2.1 Typowa struktura powłoki magnetronowej

Warstwa dolna i górna:

- Materiały dielektryczne wpływające na odbicie, transmisję i barwę powłoki
- Wysoka mechaniczna odporność

Warstwa funkcyjna:

- Np. srebro lub inne metale/stopy
- Odbicie promieniowania o długich i krótkich falach
- Silny wpływ na przenikanie ciepła (współczynnik U), całkowitą transmisję energii słonecznej (wartość g) oraz na transmisję światła widzialnego

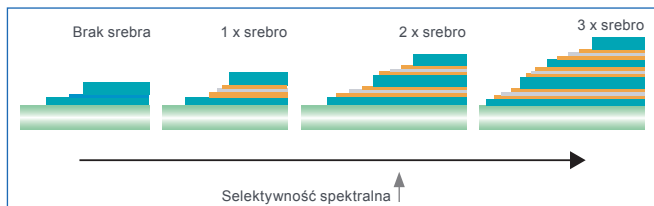


Struktura warstw powłoki High-Performance

Warstwa ochronna:

- Ochrona warstwy funkcyjnej (srebro) przed wpływami mechanicznymi i chemicznymi

Aby zwiększyć spektralną selektywność powłok przeciwsłonecznych, srebrną warstwę funkcjonalną można rozdzielić przez napyłanie warstw dielektrycznych pomiędzy nimi (podwójne i potrójne srebra). Poprawia to stosunek transmisji światła widzialnego i całkowitej transmisji energii słonecznej poprzez zwiększenie przejrzystości.





W Hotel La Vela, Barcelona, Hiszpania | SunGuard® HP Silver 43/31
Architekt: Ricardo Bofill Taller de Arquitectura | Zdjęcie: © courtesy of Ricardo Bofill

2.	Szyby zespolone	18
2.1	Informacje Ogólne	18
2.2	Produkcja	18
2.3	Uszczelnienie krawędzi	19
2.3.1	Systemy uszczelnienia	19
	Uszczelniacz pierwotny Uszczelniacz wtórny	
2.3.2	Ramka dystansowa	20
	Stal nierdzewna Połączenia metalu i tworzyw sztucznych Systemy termoplastyczne (TPS)	
2.4	Punkt rosy i kondensacja	21
2.4.1	Kondensacja w przestrzeni międzyszybowej	21
2.4.2	Kondensacja na powierzchni wewnętrznej szyby zespolonej	21
2.4.3	Kondensacja na powierzchni zewnętrznej szyby zespolonej	22
2.5	Wskaźnik oddawania barw	24
2.6	Interferencja	25
2.7	Efekt szyby zespolonej	25



Na właściwości termoizolacyjne i przeciwsłoneczne nowoczesnych szyb zespolonych wpływa cały szereg czynników i praw fizyki.

2.1 Informacje Ogólne

Aby uzyskać właściwości termoizolacyjne, konieczne jest połączenie przynajmniej dwóch szyb ze szkła float, w tym co najmniej jednej z powłoką niskoemisyjną (Low-E), w szybę zespoloną.

W tym celu, zachowując odpowiedni dystans, skleja się ze sobą dwie lub więcej szyb o danym wymiarze tak, aby się licowały. Powstała w ten sposób hermetycznie zamknięta przestrzeń międzyszybową, wypełniana jest gazem szlachetnym, cięższym od powietrza, który dodatkowo poprawia właściwości termoizolacyjne szyby. Nie panuje tam próżnia, jak często mylnie zakładają laicy.

Szerokość przestrzeni międzyszybowej uzależniona jest od rodzaju zastosowanego gazu szlachetnego. Najczęściej stosuje się argon, rzadziej krypton. Aby osiągnąć optymalną funkcję termoizolacyjną, zastosowanie argonu wymaga zachowania przestrzeni międzyszybowej 15 - 18 mm. W przypadku kryptonu do uzyskania lepszej termoizolacji wystarcza 10 - 12 mm. Stopień wypełnienia gazem zazwyczaj wynosi 90 %. Krypton jest wielokrotnie droższy od argonu, w związku z czym stosuje się go bardzo rzadko.

Ramka dystansowa, trwale utrzymująca odstęp między szybami, ma wpływ na właściwości termoizolacyjne, a tym samym na punkt rosy na krawędzi przeszklenia (→ Rozdział 2.4). W ostatnich dziesięcioleciach standardowo stosowano ramkę dystansową z aluminium, obecnie coraz częściej jest ona zastępowana systemami o niższej przewodności cieplnej (ciepłe ramki dystansowe).

2.2 Produkcja

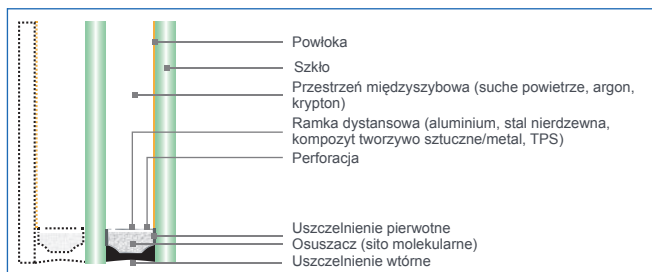
Szyby składowe szyby zespolonej są sklejone ze sobą tworząc tzw. system dwóch barier, w którym ramka dystansowa służy do oddzielenia tafli szkła od siebie, a nieprzerwana warstwa butylu nałożona na jej krawędzie łączy składowe w całość. Wewnętrzne ramki dystansowej wypełnione jest sitem molekularnym, które zapewnia trwale osuszanie przestrzeni międzyszybowej.

Podczas zespalandy najważniejsze jest, aby powlekana strona szyby była skierowana do środka,



w stronę przestrzeni międzyszybowej tj. tak by klejenie nastąpiło właśnie od tej strony. W przypadku niektórych rodzajów powłok konieczne jest wcześniejsze usunięcie powłoki z miejsc, na które nanoszone będzie spoiwo. Służy to poprawie przyczepności szczeliwa do powierzchni i zapewnia ochronę powłoki przed korozją (→ Rozdział 9.10.1). Dzięki temu warstwa funkcyjna jest hermetycznie zamknięta i trwale chroniona. Uszczelnienie butylowe, zwane także uszczelnieniem pierwotnym, zapobiega wnikaniu wilgoci do wnętrza szyby zespolonej oraz ucieczce gazu. Podczas łączenia szyb w specjalnej prasie, do przestrzeni międzyszybowej wprowadzany jest gaz w zdefiniowanej ilości. Ostatnim procesem jest wypełnienie pustej przestrzeni między ramką dystansową, a zewnętrznymi krawędziami szyb tzw. uszczelnieniem wtórnym. Najczęściej jako uszczelnienie wtórne używane są polisiarczki i poliuretany.

W przypadku szklenia strukturalnego lub szyb zespolonych z odstoniętymi krawędziami alternatywą dla wymienionych wyżej uszczelniaczy są silikony odporne na działanie promieniowania ultrafioletowego (→ Rozdział 8.1.2.2).



Standardowa budowa szyby zespolonej

2.3 Uszczelnienie krawędzi

2.3.1 Systemy uszczelnienia

Uszczelnienie obrzeży szyby zespolonej najczęściej składa się z dwóch poziomów:

2.3.1.1 Uszczelniacz pierwotny

- „Taśma klejąca” ekstrudowana na obu bocznych stronach ramki dystansowej.
- Materiał: poliisobutylen (Butyl).
- Dobra adhezja do szkła i ramki dystansowej.
- Zapobiega wnikaniu pary wodnej do przestrzeni międzyszybowej oraz ucieczce z niej gazu.
- Główne uszczelnienie odpowiedzialne za trwałość zespolenia w czasie jego użytkowania.



Materiał stosowany jako uszczelniacz pierwotny(butyl) zapewnia najniższe poziomy przenikania gazów ($< 0,002 \text{ g/m}^2\text{h}$) oraz wilgoci ($< 0,1 \text{ g/m}^2\text{d}$) zgodnie z normą PN-EN 1279-4.

2.3.1.2 Uszczelniacz wtórny

- Skleja połączenie pomiędzy szkłem i ramką dystansową.
- Zapewnia wytrzymałość mechaniczną uszczelnienia krawędzi.
- Chroni uszczelniacz pierwotny przed uszkodzeniami.
- Stanowi dodatkową barierę dyfuzyjną dla gazów.

Następujące materiały są najczęściej używane jako uszczelniacze wtórne:

- Polisiarczek (dwuskładnikowy organiczny polimer)
- Poliuretan (dwuskładnikowy organiczny polimer)
- Hotmelt (jednoskładnikowy organiczny polimer)
- Silikon (jedno- i dwuskładnikowy)

Przenikalność gazów oraz wilgoci wykazywana przez organiczne uszczelniacze jest znacznie niższa niż silikonu.

Uszczelniacze wtórne oparte na polimerach organicznych nie są odporne na działanie promieniowania UV-A i muszą być chronione przed jego działaniem. W każdej szybie zespolonej z krawędziami narażonymi na działanie promieniowania UV jako uszczelniacz wtórny powinien być zastosowany silikon. Ze względu na siłę wiązań chemicznych w ich strukturze, silikony są odporne na działanie promieniowania UV.

2.3.2 Ramka dystansowa

Właściwości termiczne szyby zespolonej odnoszą się do części środkowej tafli bez uwzględnienia wpływu ich krawędzi.

Do niedawna większość szyb izolacyjnych była produkowana z użyciem aluminiowych ramek dystansowych. Rosnące wymagania dotyczące izolacyjności termicznej umożliwiły powstanie alternatywnych rozwiązań, które zdobywają coraz większą popularność w produkcji szyb zespolonych. W międzyczasie ramki dystansowe wykonane z aluminium są coraz częściej wypierane przez inne materiały tzw. „ciepłe ramki dystansowe”.

Liniowy współczynnik transportu ciepła (wartość PSI) wynikający z materiału użytego do produkcji ramki dystansowej bezpośrednio wpływa na współczynnik przenikania ciepła U_w całego okna ($\rightarrow$ Rozdział 4.6.3 oraz 4.6.4).

2.3.2.1 Stal nierdzewna

Najczęstszą alternatywę stanowią cienkościenne profile ze stali szlachetnej charakteryzujące się znacząco niższą przewodnością cieplną niż aluminium. Wytrzymałość mechaniczna i dyfuzyjność tych profili jest porównywalna do parametrów profili aluminiowych.

2.3.2.2 Połączenia metalu i tworzyw sztucznych

Inną opcję stanowią ramki dystansowe z tworzyw sztucznych. Mimo doskonałych właściwości termoizolacyjnych nie posiadają one jednak wystarczającej odporności na dyfuzję gazu, która zapewniałaby prawidłowe działanie szyby zespolonej przez cały okres użytkowania. Dlatego też wprowadzono do użytku ramki kompozytowe składające się z dwóch materiałów: tworzywa sztucznego oraz folii ze stali szlachetnej lub aluminium stanowiącej barierę przed dyfuzją gazu.

2.3.2.3 Systemy termoplastyczne (TPS)

W tym przypadku zwykły profil metalowy jest zastępowany specjalną wytłaczaną substancją plastyczną ze zintegrowanym środkiem osuszającym, która w procesie produkcji umieszczana jest między szybami, a po ostygnięciu gwarantuje wymaganą wytrzymałość mechaniczną i szczelność dyfuzyjną gazów. Różnorodność dostępnych dzisiaj alternatyw wobec zwykłej ramki aluminiowej jest duża. Zapewniają one zbliżoną do siebie redukcję wartości ψ , czyli miary transportu ciepła w okolicy krawędzi szyby ($\rightarrow$ Rozdział 4.6.3).

2.4 Punkt rosy i kondensacja

2.4.1 Kondensacja w przestrzeni międzyszybowej

W dzisiejszych szymbach zespolonych występuje bardzo rzadko, ponieważ przeszklenia są hermetycznie zamknięte oraz wypełnione suchymi gazami. Temperatura punktu rosy w przestrzeni międzyszybowej w nowoczesnej, termoizolacyjnej szymbie zespolonej wynosi około -60°C , a taka temperatura w praktyce się nie zdarza. Kondensacja w przestrzeni międzyszybowej wskazuje na niewłaściwe uszczelnienie krawędzi, brak środka osuszającego we wnętrzu ramki dystansowej lub niewłaściwy proces produkcji szyby zespolonej.

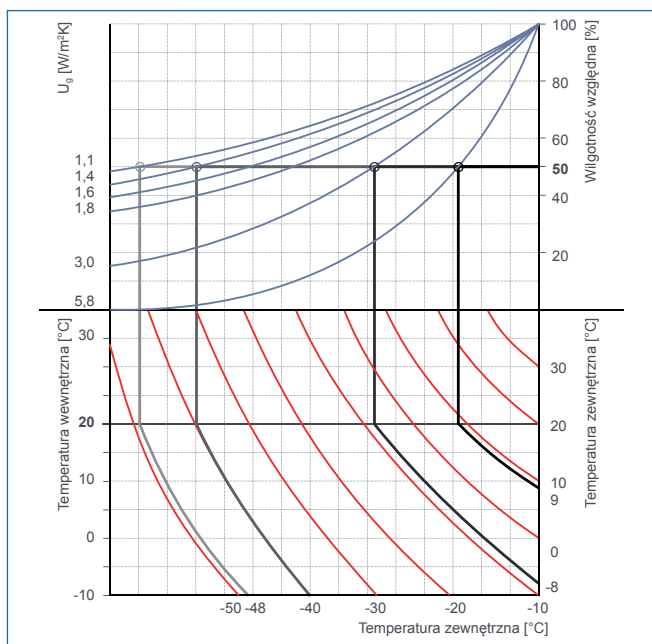
2.4.2 Kondensacja na powierzchni wewnętrznej szyby zespolonej

Występuje w oknach o gorszych parametrach termoizolacyjnych lub wyposażonych w szyby monolityczne. Ciepłe powietrze w pobliżu okna nagle się schładza i wilgoć osadza się na zimnej powierzchni szyby wewnętrznej, ponieważ jej temperatura w zimie często jest niższa niż temperatura punktu rosy powietrza atmosferycznego. W przypadku nowoczesnych produktów ciepłochronnych szymba wewnętrzna jest znacznie cieplejsza, co powoduje, że kondensat tworzy się niezwykle rzadko.

Jeśli wilgotność względna powietrza jest bardzo wysoka (np. podczas gotowania w kuchni, w łazience bądź na pływalni), to szyby częściej pokrywają się kondensatem pary wodnej. W takich przypadkach pomagają regularne wietrzenie pomieszczenia (wymiana powietrza).



Na podstawie wykresu punktu rosy można wyliczyć temperaturę zewnętrzną, w której dojdzie do zaparowania przeszklenia od strony wewnętrznej (= punkt rosy=formowanie się kondensatu pary wodnej).



Wykres punktu rosy

Zilustrowane przykłady
(patrz wykres punktu rosy):

- Temperatura wewnątrz 20 °C
- Wilgotność powietrza wewnątrz 50 %
- Temperatura zewnętrzna wynosi 9 °C

Punkt rosy dla*:

- $U_g = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow 9^\circ\text{C}$
- $U_g = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow -8^\circ\text{C}$
- $U_g = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow -40^\circ\text{C}$
- $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow -48^\circ\text{C}$

* Kondensacja następuje dla wyznaczonych temperatur

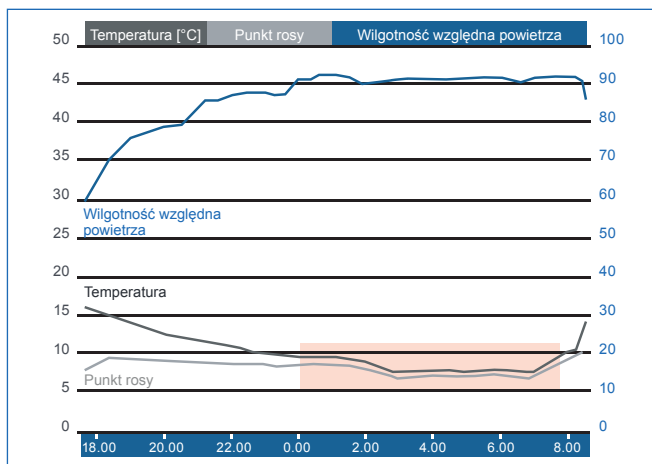
2.4.3 Kondensacja na powierzchni zewnętrznej szyby zespolonej

Zjawisko to zaczęło występować dopiero od momentu, gdy rozpoczęto stosowanie nowoczesnych produktów termoizolacyjnych. Można je obserwować we wczesnych godzinach porannych, gdy wilgotność powietrza na zewnątrz gwałtownie wzrosła w nocy.

Doskonałe właściwości izolacyjne przeszkleń zapobiegają przenikaniu ciepła na zewnątrz, przez co szyba zewnętrzna pozostaje bardzo zimna. Gdy wraz z pierwszymi promieniami słonecznymi temperatura powietrza na zewnątrz rośnie szybciej niż temperatura szyby, to w zależności od usytuowania i otoczenia budynku, na szybach może pojawić się kondensat. Nie stanowi to wady, wręcz przeciwnie, jest to dowód nadzwyczaj dobrej ciepłochronności szyby zespolonej.

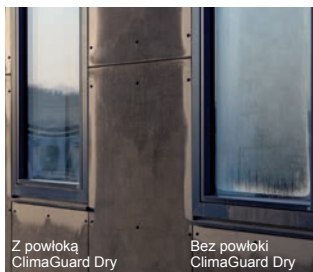
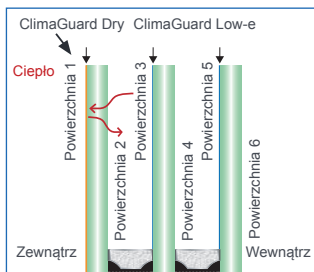
Przeszklenia dwukomorowe oraz okna dachowe znajdujące się w zimnych regionach z podwyższoną wilgotnością wykazują zazwyczaj dużo większą tendencję do kondensacji pary wodnej na zewnętrznej powierzchni.

Przedstawiony na ilustracji wykres pokazuje typowy przypadek kondensacji. W obszarze krytycznym temperatura powietrza atmosferycznego jest zbliżona do temperatury punktu rosy (obszar oznaczony kolorem czerwonym).



Guardian oferuje specjalną powłokę ClimaGuard Dry, która również we wczesnych godzinach rannych zapewnia niczym niezmażony widok przez przeszklenie (→ Rozdział 4.7).

Ciepło odbite od powierzchni #1 (z powłoką ClimaGuard Dry) wraca do środka zespolenia i prowadzi do podwyższenia temperatury tafli zewnętrznej. Przyczynia się to do znacznego ograniczenia tendencji do kondensacji pary wodnej.



2.5 Wskaźnik oddawania barw

Oddawanie barw posiada istotne znaczenie dla komfortu użytkownika pomieszczenia zarówno ze względów estetycznych, jak i psychologicznych. Światło słoneczne padające po przejściu przez określone ciało lub przez nie odbijane zmienia się w zależności od właściwości tego ciała (→ Rozdział 3.2).

Wskaźnik oddawania barw (wartość R_a) opisuje jak zmienia się barwa danego obiektu podczas oglądania go przez przeszklenie. Definiuje on „jakość widmową” szkła podczas transmisji. Wartość ta mieści się w przedziale od 0 do 100. Im wyższy jest wskaźnik oddawania barw, tym naturalniej oddawane są barwy. Wartość R_a wynosząca 100 oznacza, że barwa obiektu oglądanego przez przeszklenie jest identyczna z jego faktyczną barwą.

Indeks oddawania barw > 90 jest oceniany jako bardzo dobry, a > 80 jako dobry. Szkła architektoniczne na bazie bezbarwnych szkła float z reguły posiadają wartość $R_a > 90$, szkła barwione w masie mają najczęściej wartości R_a między 60, a 90.



Wskaźnik oddawania barw wyznacza się według normy PN-EN 410.

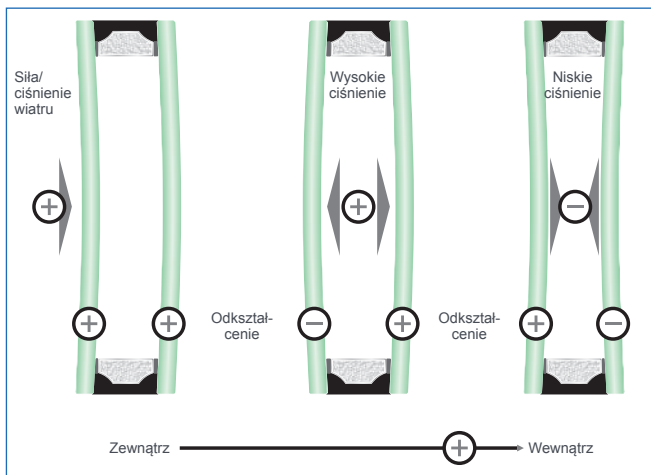
2.6 Interferencja

W wyniku równoległego ustawienia kilku płaskich szyb ze szkła float w określonych warunkach świetlnych na powierzchni szkła mogą pojawić się zjawiska optyczne takie jak np. plamy lub pasy przypominające tęczę, które określane są jako prążki Brewstera. Zjawisko to ma naturę fizyczną i powstaje bardzo rzadko na skutek załamania światła oraz nakładania się fal. Wrażenia te zazwyczaj nie występują podczas obserwacji przez przeszklenie, lecz w odbiciu z zewnątrz. Interferencja nie podlega reklamacji, stanowiąc dowód dobrej jakości w rozumieniu absolutnej równoległości i płaskości zamontowanych szyb ze szkła float (→ Rozdział 9.7.2.8.3).

2.7 Efekt szyby zespolonej

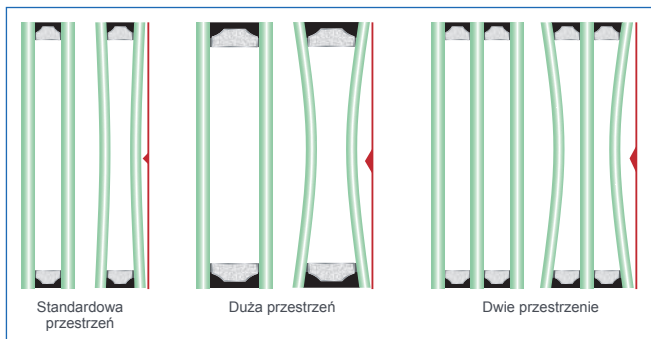
Częścią każdej szyby zespolonej jest co najmniej jedna hermetycznie zamknięta przestrzeń, zwana przestrzenią międzyszybową. Z uwagi na fakt, że przestrzeń ta jest wypełniona powietrzem lub gazem szlachetnym, sąsiadujące ze sobą szyby zachowują się jak membrana – uginają się do środka i na zewnątrz przestrzeni międzyszybowej pod wpływem zmiany wartości ciśnienia atmosferycznego powietrza zewnętrznego.

Przy ekstremalnych zjawiskach atmosferycznych może, mimo równoległości i płaskości pojedynczych szyb, dojść do nieuniknionych odkształceń. Ten efekt może być spowodowany przejściowymi skokami ciśnienia powietrza oraz zależy od rozmiaru i geometrii szyby, szerokości przestrzeni międzyszybowej oraz od struktury szyby zespolonej. W przypadku zestawu trzyszybowego, tafla środkowa pozostaje niemal sztywna, co zwiększa oddziaływanie na pozostałe dwie tafle w porównaniu do zestawu dwuszybowego. Dwie przestrzenie międzyszybowe w szkleniu dwukomorowym zachowują się podobnie jak jedna większa o tej samej całkowitej szerokości. Takie odkształcenia zanikają po ustabilizowaniu się ciśnienia powietrza bez żadnych konsekwencji i nie stanowią wady, świadczą jedynie o szczelności połączenia krawędziowego (→ Rozdział 9.7.2.8.4).



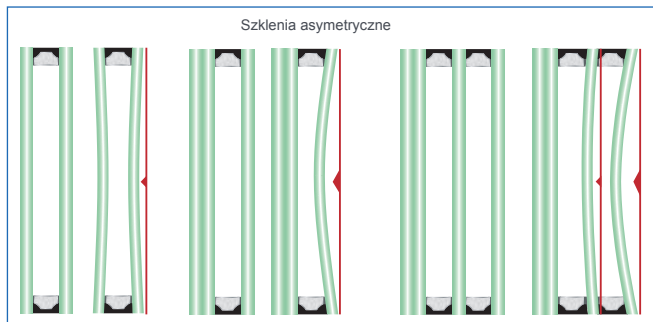
Efekt szyby zespolonej

Ugięcia spowodowane dużymi różnicami ciśnienia (obciążenia klimatyczne) mogą prowadzić do wystąpienia naprężeń na taflach składowych szyby zespolonej oraz w miejscu uszczelnienia. Szczególnie narażone są szyby o budowie asymetrycznej w których szyby cieńsze uginają się bardziej od tych grubszych oraz szkła laminowanego. Problem występuje także w szybach o małych wymiarach, gdzie szkło jest bardziej sztywne i nie może odkształcić się wraz ze wzrostem objętości gazu w przestrzeni międzyszybowej.



Firma Guardian rekomenduje przeprowadzenie analizy wpływu obciążeń klimatycznych na szyby zespolone dwukomorowe o szerokich ramach dystansowych, niekorzystnych wymiarów oraz szkła asymetrycznych.

W przypadku krytycznych wartości obciążeń, szkło powinno być poddane obróbce termicznej. Zaleca się także sprawdzenie głębokości uszczelnienia obrzeża, aby zagwarantować niezbędną odporność mechaniczną uszczelnienia wtórnego szyby zespolonej.





Oliphant, Amsterdam, Niderlandy | SunGuard® SNX 50
Architekt: OZ Architect | Zdjęcie: © Georges De Kinder

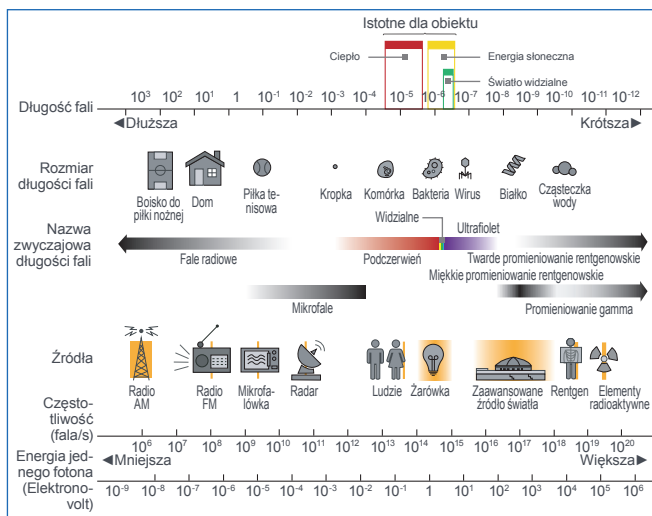
3.	Światło, energia, ciepło	30
3.1	Energia słoneczna	30
3.2	Światło widzialne.....	32
3.3	Ciepło	32
3.4	Promieniowanie UV.....	32



Pojęcia fizyczne jak światło, energia i ciepło opisują określone zakresy spektrum elektromagnetycznego.

Istotny dla szkła architektonicznego, pod względem światła i energii słonecznej, zakres długości fal elektromagnetycznych mieści się w przedziale od 300 do 2500 nm (0,0003 – 0,0025 mm) i uważany jest za promieniowanie krótkofalowe. Ciepło jako promieniowanie długofalowe mieści się w zakresie długości fal od 5000 do 50000 nm (0,005 – 0,05 mm).

Dłuższe fale określa się jako fale radarowe, mikrofałe oraz fale radiowe, natomiast krótsze fale to promieniowanie rentgenowskie oraz gamma.



Spektrum elektromagnetyczne

3.1 Energia słoneczna

Promieniowanie emitowane przez Słońce, które trafia na Ziemię, nazywane jest energią słoneczną. Zakres długości fal został zdefiniowany w drodze międzynarodowej normalizacji (PN-EN 410) w zakresie od 300 do 2500 nm i obejmuje:

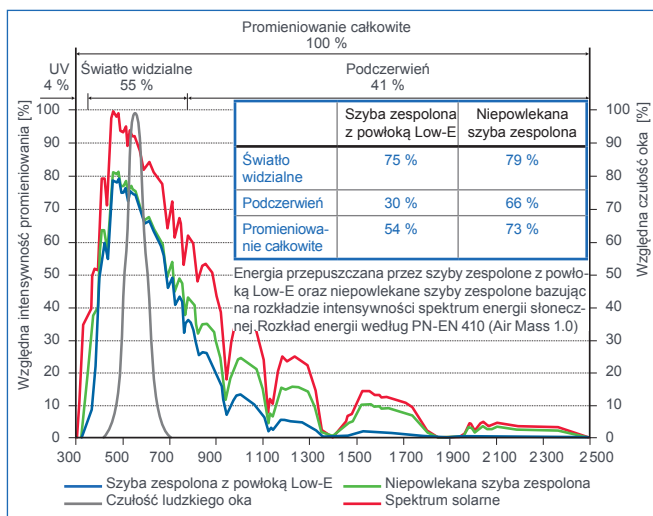
- Promieniowanie ultrafioletowe (UV)
300 ... 380 nm
- Światło widzialne (VIS)
380 ... 780 nm
- Bliskie promieniowanie podczerwone (IR)
780 ... 2500 nm



Energia słoneczna zawiera się w zakresie krótkich fal.

Przyjęta na całym świecie krzywa rozkładu widmowego promieniowania całkowitego (zgodnie z publikacją C.I.E. nr 20) określa intensywność całkowitego promieniowania słonecznego w jego określonych zakresach fal. 52 % tych długości fal jest widoczne a 48 % niewidoczne.

Im mniejsza długość fali, tym więcej energii jest transportowane. Oznacza to, że w widzialnej części promieniowania zawarta jest pokaźna ilość energii. Z tego powodu nie da się oddzielić od siebie światła i energii. Jest to decydujący aspekt dla zastosowania i optymalizacji szkła architektonicznego. Z energii słonecznej w zakresie długości fal promieniowania całkowitego (300 do 2500 nm) i wzajemnego oddziaływania ze szkłem wynikają właściwości, które są bardzo ważne dla charakterystyki szkieł architektonicznych - transmisja energii słonecznej, odbicie, absorpcja oraz całkowita transmisja energii (→ Rozdział 5).



Krzywa rozkładu widmowego promieniowania całkowitego (wg publikacji C.I.E., nr 20)



3.2 Światło widzialne

Wąski zakres spektrum słonecznego, na które reaguje ludzkie oko, określa się jako światło (widzialne). Zakres długości fal zdefiniowany przez Europejską normę PN-EN 410 zawiera się w przedziale 380 nm - 780 nm.

Światło widzialne trafiające w stanie niezalamanym do ludzkiego oka jest odbierane jako światło białe. Składa się ono z widma światła, w którym fale o różnej długości nachodzą na siebie (każda odpowiada zdefiniowanej energii).

Barwa	Długość fali [nm]
Fioletowa	380-420
Niebieska	420-490
Zielona	490-575
Żółta	575-585
Pomarańczowa	585-650
Czerwona	650-780

Gdy światło pada na dany przedmiot, ten absorbuje część tej energii. Szkło natomiast przepuszcza światło, a resztę energii odbija. W zależności od właściwości danego ciała, fale o określonej długości są odbijane oraz absorbowane. Zdrowe oko ludzkie rozpoznaje powstającą w ten sposób barwę. Przy sztucznym oświetleniu, brakujący zakres fal może prowadzić do innej interpretacji barw. Znanym przykładem są niskoprężne lampy sodowe, które ze względu na brak fal o długości odpowiadającej barwie niebieskiej, zielonej i czerwonej powodują, że wszystko ukazuje się w monochromatycznych, żółtawych odcieniach.

3.3 Ciepło

Przez ciepło lub promieniowanie cieplne należy rozumieć zakres długości fal, który nie należy do widma słonecznego. Promieniowanie cieplne składa się ze znacznie dłuższych fal i znajduje się w zakresie dalekiej podczerwieni. W normie PN-EN 673 wyznaczono zakres długości fal między 5000, a 50000 nm.

Wzajemne oddziaływanie z ciepłem determinuje właściwości izolacyjne szkła architektonicznego, a wpływ na to mają przewodnictwo cieplne, promieniowanie i konwekcja. Podstawowym parametrem służącym do oceny właściwości termoizolacyjnych, dla szkła jako materiału budowlanego, jest wartość U_g , czyli współczynnik przenikania ciepła danego przeszklenia (→ Rozdział 4).

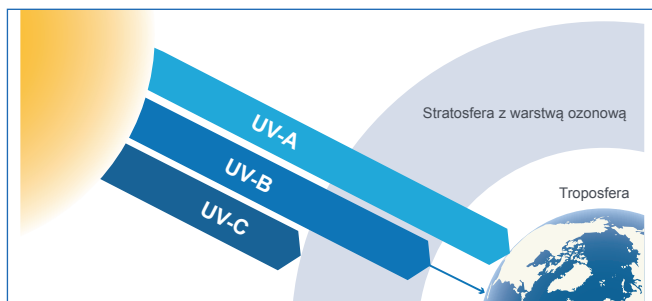
3.4 Promieniowanie UV

W zależności od długości fali, wysokoenergetyczne promieniowanie UV dzieli się na 3 grupy:

UV-C: 100 ... 280 nm (promieniowanie blokowane przez warstwę ozonową atmosfery)

UV-B: 280 ... 315 nm (promieniowanie blokowane przez szkło)

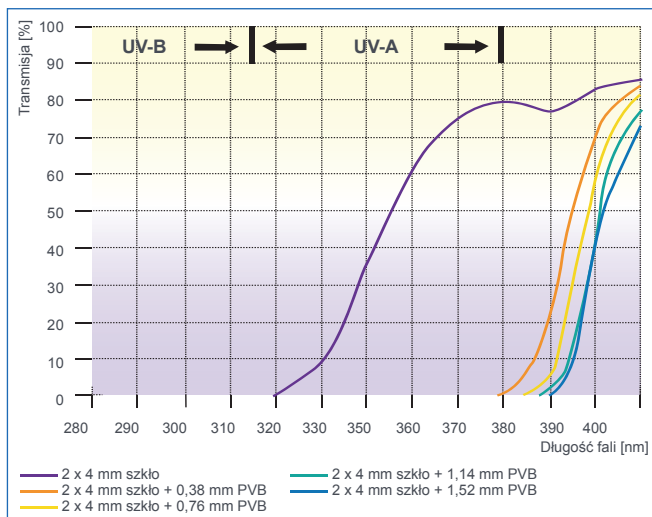
UV-A: 315 ... 380 nm (promieniowanie transmitowane przez szkło do pewnego stopnia)



Gdy promieniowanie UV jest zbyt intensywne, oddziałuje negatywnie nie tylko na skórę człowieka, lecz również na inne elementy (obrazy, meble, uszczelnienia, etc.). Zwykłe szyby zespolone o podwójnej budowie redukują transmisję promieni UV o ponad 50 %, a w połączeniu ze szkłem laminowanym bezpiecznym (→ Rozdział 7.4), promieniowanie jest prawie całkowicie wyeliminowane.

Szklenie	Transmisja UV ISO 9050 [%]
2 x 4 mm szkło	43
2 x 4 mm szkło + 0,38 mm PVB	2,4
2 x 4 mm szkło + 0,76 mm PVB	0,5
2 x 4 mm szkło + 1,14 mm PVB	0,07
2 x 4 mm szkło + 1,52 mm PVB	0,02

Szkło laminowane z folią PVB blokuje promieniowanie UV





Alpine Shelter, Skuta, Słowenia | SunGuard® SN 70/37
Architekt: OFIS architects | Zdjęcie: © Anže Cokl

4.	Izolacja termiczna	36
4.1	Ekonomia.....	36
4.2	Ekologia.....	37
4.3	Dobre samopoczucie	37
4.4	Straty ciepła	38
4.5	Emisyjność	40
4.6	Wartość U – współczynnik przenikania ciepła	40
4.6.1	Współczynnik U_g	41
	Współczynnik U_g dla pochylonych powierzchni szklanych	
4.6.2	Współczynnik U_f	41
4.6.3	Współczynnik Ψ	42
4.6.4	Współczynnik U_w	42
4.7	Gama produktów firmy Guardian przeznaczonych do izolacji termicznej	42



Oszczędność energii to we współczesnym świecie ważne zagadnienie. Termoizolacyjność przeszklonej fasady budynku stanowi istotny aspekt współczesnej architektury. Polepszenie wartości termoizolacji nie może jednak pogarszać przejrzystości przeszkleń, zdobywszy architektonicznej ostatnich trzech dekad. Dlatego opracowano „szklane materiały izolacyjne”, które gwarantują jedyne w swoim rodzaju korzyści ekonomiczne i ekologiczne, zapewniając przy tym również dobre samopoczucie i poczucie komfortu.

4.1 Ekonomia

Dzięki technologicznemu postępowi ostatnich trzech dziesięcioleci udało się opracować linie produkcyjne, które w wydajnych procesach, poprzez nanoszenie ultra cienkich neutralnych powłok udoskonalają zwykłe szkło float, przetwarzając je w niezwykle nowoczesne szkła izolacyjne. Udało się przy tym zoptymalizować emisyjność normalną „ ϵ_n ”, która dla zwykłego szkła float wynosi $\epsilon_n = 0,89$, do około 0,02 lub nawet mniejszej w przypadku powlekanych szkieł termoizolacyjnych.

Ta innowacja i jej realizacja w nowych budynkach to jednak z ekonomicznej perspektywy dopiero pierwsze kroki. Kolejnym krokiem musi być masowe zastosowanie tego nowoczesnego szkła w liczbie milionów metrów kwadratowych przeszklonych powierzchni okien i fasad. Obecnie podczas projektowania i budowy nowoczesnych budynków dzieje się to niemal automatycznie, jednak w kontekście o wiele większych zasobów budowlanych wymaga to jeszcze dużego nakładu pracy tak, by udało się osiągnąć przyjęte, w rozumieniu ekonomii i ekologii, cele klimatyczne.

Korzyści ekonomiczne przy stale rosnących kosztach ogrzewania stanowią przekonujący argument. Sama wymiana szkła amortyzuje się względnie szybko, a użytkownik budynku odczuwa znaczną poprawę samopoczucia i komfortu (→ Rozdział 5.3).

Poniższy wzór daje jedną z możliwości szacunkowego wyliczenia potencjalnego poziomu oszczędności energii po wymianie przeszkleń starego typu na nowoczesne przeszkleń ciepłochronne:

$$E = \frac{(U_a - U_n) \cdot F \cdot G \cdot 1.19 \cdot 24}{H \cdot W} = \frac{I}{HP}$$

E	Oszczędności
U_a	Wartość U istniejącego przeszkleń
U_n	Wartość U przyszłego przeszkleń
F	(Powierzchnia szklenia w m ²)
G	Stopniódzień ogrzewania wg VDI 4710
1.19	Współczynnik konwersji z kilogramów na litry: 1 kg = 1,19 litr oleju opałowego
H	Wartość opałowa paliwa: dla lekkiego oleju opałowego to około 11,8 kWh/kg
W	Współczynnik sprawności systemu ogrzewania: dla kotła na olej opałowy około 0,85
I	Litr
HP	Sezon grzewczy

Izolacja termiczna

4.2 Ekologia

Każdy litr oleju opałowego i metr sześcienny gazu ziemnego, zaoszczędzone w wyniku zastosowania nowoczesnego przeszkleń, redukuje emisję CO₂ i odciąża środowisko naturalne. Zmniejszenie ich zużycia powoduje lepszą ochronę zasobów surowców kopalnych. Ponadto szkło można w stu procentach poddać recyklingowi, ponieważ składa się ono z surowców naturalnych. W używanych na całym świecie programach certyfikacji budynków dla budownictwa ekologicznego i zrównoważonego nie sposób pominąć szkła jako całkowicie naturalnego surowca przyczyniającego się do wyśmienitego bilansu energetycznego.

LEED jest jednym z wiodących systemów certyfikacji ekologicznej budynków. Skrót ten oznacza „Leadership in Energy and Environmental Design”. Inne znane systemy to DGNB lub BREEM. Budynki wznoszone zgodnie z tymi systemami oszczędniej gospodarują zasobami naturalnymi niż budynki konwencjonalne, ponieważ proces certyfikacji uwzględnia wszystkie etapy użytkowania czy istnienia budynku: począwszy od projektowania i konstruowania, aż po remonty i ewentualny późniejszy demontaż wraz z utylizacją odpadów.

4.3 Dobre samopoczucie

Poza aspektami ekonomicznymi i ekologicznymi ważnym aspektem stosowania szkła w budynkach jest odczuwalna poprawa komfortu w pomieszczeniu mieszkalnym czy biurowym. Termoizolacyjne szkło zamontowane w szybie zespolonej (→ Rozdział 5.3) podwyższa temperaturę wewnętrznej powierzchni przeszkleń. W ten sposób zminimalizowany zostaje odczuwalny dyskomfort w postaci ciągu powietrza w pobliżu przeszkleń.

Typ szkła	Temperatura powietrza zewnętrznego [°C]			
	0	-5	-11	-14
Szyba monolityczna, $U_g = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	+6	+2	-2	-4
Szyba zespolona jednokomorowa, $U_g = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	+12	+11	+8	+7
Szyba zespolona jednokomorowa z powłoką niskoemisyjną, $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	+17	+16	+15	+15
Szyba zespolona dwukomorowa z powłokami niskoemisyjnymi, $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	+18	+18	+17	+17

Temperatura powierzchni przy założeniu temperatury w pomieszczeniu wynoszącej 20°C

Nowoczesne szkło termoizolacyjne podwyższa tę temperaturę do poziomu bliskiego temperaturze wnętrza i umożliwia znaczącą poprawę komfortu mieszkania. O dobrym samopoczuciu decyduje mianowicie różnica temperatur między powietrzem w pomieszczeniu, a przylegającą do niego powierzchnią ścian i okien. Większość ludzi odczuwa pomieszczenie jako szczególnie przytulne, gdy różnice temperatury między ścianą (lub szkłem), a powietrzem w pomieszczeniu wynoszą nie więcej niż 5 °C oraz na wysokości między stopami, a głową nie więcej niż 3 °C.

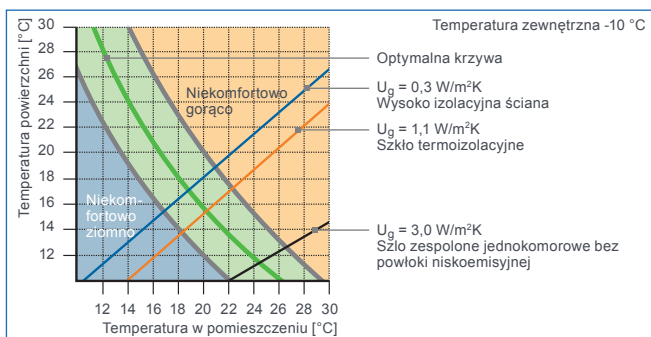
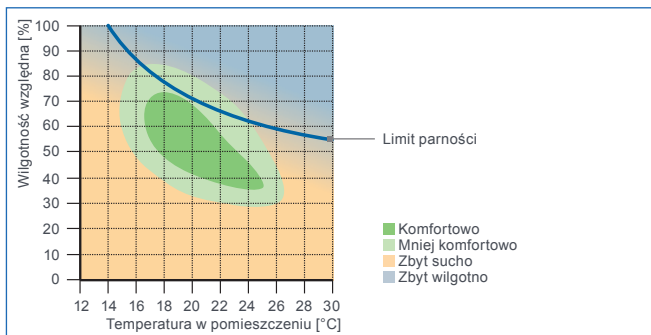


Diagram komfortu zgodnie z Bedford i Liese

Wykres pokazuje, w jakim zakresie człowiek odczuwa powietrze w pomieszczeniu jako komfortowe. Należy przy tym zawsze brać pod uwagę zależność pomiędzy wilgotnością powietrza i temperaturą pomieszczenia. Przy niskiej temperaturze powietrza w pomieszczeniu, wilgotność powinna być wyższa, aby zachować komfort użytkownika. Przy wyższych temperaturach wilgotność powietrza powinna być niższa.



Komfort jako funkcja temperatury pomieszczenia i wilgotności

4.4 Straty ciepła

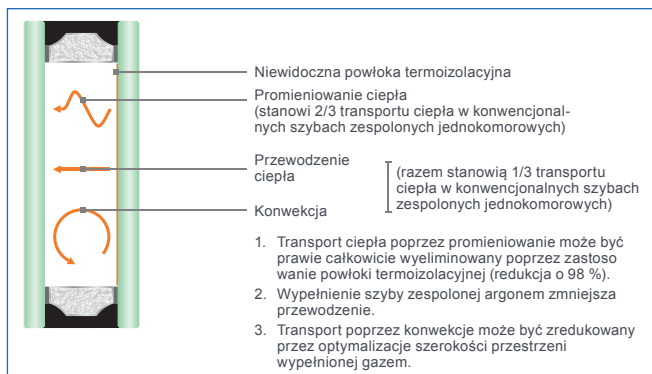
Straty ciepła są wywołane przez trzy mechanizmy: promieniowanie, przewodzenie oraz konwekcję.

Promieniowanie elektromagnetyczne długofalowe jest emitowane przez każde ciało posiadające temperaturę powyżej 0 K . Transfer energii odbywa się na odległość bez przekazywania samego ciała lub medium.

Przewodnictwo jest to transport ciepła w ramach danego medium wywołany różnicą temperatur. W przypadku tego oddziaływania energia zawsze przepływa w kierunku miejsca o temperaturze niższej.

Konwekcja jest to przepływ cząsteczek gazu w przestrzeni międzyszybowej wywołany różnicą temperatur między wewnętrzną, a zewnętrzną taflą szyby zespolonej. Cząsteczki opadają po stronie zimniejszej i wznoszą się po cieplejszej. W konsekwencji gaz cyrkuluje i następuje transport ciepła od miejsca o wyższej temperaturze do miejsca o temperaturze niższej.

Szyba zespolona składająca się z dwóch tafli niepowlekanego szkła float z przestrzenią międzyszybową wypełnioną powietrzem traci około 2/3 ciepła z pomieszczenia poprzez promieniowanie między dwoma taflami szklenia oraz 1/3 poprzez przewodzenie oraz konwekcję.



Straty ciepła w szybie zespolonej jednokomorowej

Skutkuje to występowaniem znacznych różnic między temperaturą wewnętrzną tafli zespolenia, a wysoką temperaturą powietrza w pomieszczeniu w sezonie zimowym. Przekłada się to na ogromne straty spowodowane transportem ciepła od tafli wewnętrznej do zewnętrznej przeszklenia. Nowoczesne szyby zespolone posiadają co najmniej jedną taflę szkła z powłoką niskoemisyjną. Powłoki te mogą posiadać emisyjność mniejszą niż 0,02 (2 %) i być zdolne do odbicia 98 % dostarczanego do nich długofalowego promieniowania cieplnego. Prowadząc do prawie całkowitej eliminacji strat ciepła poprzez promieniowanie. Stanowi to poprawę o około 66 % w porównaniu do tradycyjnych szyb zespolonych. Zastosowanie powłok niskoemisyjnych nie wpływa na przewodzenie ciepła oraz konwekcję w szybie zespolonej. Przewodzenie ciepła może być jednak zmniejszone poprzez wypełnienie przestrzeni międzyszybowej gazem obojętnym, np. argonem. Gazy takie przewodzą ciepło dużo słabiej niż powietrze, a tym samym redukują przepływ ciepła przez szybę zespoloną. Konwekcja natomiast jest zminimalizowana dla ściśle określonej odległości między szybami w szkleniu, zależnej od zastosowanego gazu. Przykładowe wartości to około 16-20 mm dla powietrza, 15-18 mm dla argonu oraz 10-12 mm dla kryptonu.



4.5 Emisyjność

Emisyjność to zgodnie z normą PN-EN 12898 stosunek energii emitowanej przez daną powierzchnię w danej temperaturze do energii emitowanej w tej samej temperaturze przez ciało doskonale czarne (charakteryzuje się ono wartościami normalnej i skorygowanej emisyjności równymi 1,0).

W praktyce skorygowana emisyjność jest wykorzystywana do opisu wymiany energii poprzez promieniowanie między skierowanymi do siebie powierzchniami szkła w zestawach wieloszybowych oraz powierzchni szkła skierowanego do pomieszczenia.

Emisyjność normalna ε_n jest określana poprzez pomiar normalnego spektralnego odbicia R_n z użyciem spektrofotometru w 30 taktach w zakresie długofalowego promieniowania podczerwonego (IR) od 5 do 50 μm zgodnie z poniższym wzorem:

$$R_n = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{i=30} R_n(\lambda_i)$$

Emisyjność normalną obliczamy w następujący sposób:

$$\varepsilon_n = 1 - R_n$$

W celu określenia emisyjności skorygowanej ε dla szkła float oraz szkła powlekanego (wartość wykorzystywana jest do obliczenia parametru U_g przeszkleń) emisyjność normalna ε_n powinna zostać pomnożona przez wartość podaną w normie PN-EN 12898. Emisyjność skorygowana szkła float oraz szkła float z powłoką nie wpływającą na emisyjność wynosi 0,837 (wg PN-EN 673).

4.6 Wartość U – współczynnik przenikania ciepła

Wartość ta opisuje straty ciepła podczas jego transportu przez przegrodę. Określa jak dużo ciepła przechodzi przez 1 m^2 przegrody przy różnicy temperatur między jej dwiema stronami wynoszącej 1 K (przykładowo między wnętrzem pomieszczenia, a ścianą zewnętrzną). Im mniejsza wartość tym lepsza izolacja termiczna.

Jednostką wartości U jest Watt dzielony przez metr kwadratowy razy Kelwin [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$].

Zgodnie z PN-EN-673, zakres widma promieniowania elektromagnetycznego dla rozpatrywanego długofalowego promieniowania podczerwonego mieści się między 5000 a 500000 nm (5-50 μm).

Należy pamiętać, że wartości współczynnika U określone w normach europejskich różnią się od określanych w normach amerykańskich. Musi być to wzięte pod uwagę przy dokonywaniu jakichkolwiek porównań wartości w skali międzynarodowej.

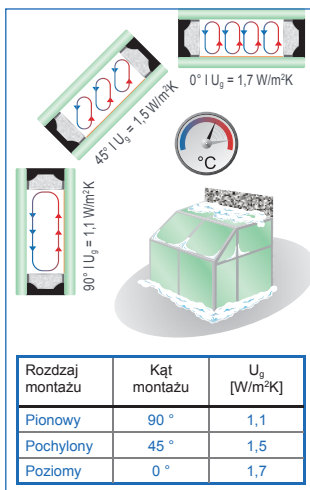
4.6.1 Współczynnik U_g

Parametr U_g jest to współczynnik przenikania ciepła dla oszklenia. Zgodnie z normą europejską PN-EN 673, opisuje przepływ ciepła przez środkową część szyby tzn. bez uwzględnienia strat występujących na jej obrzeżach. Opisuje gęstość w stanie ustalonym szybkości wymiany ciepła na podstawie różnicy temperatur pomiędzy temperaturami otoczenia z obu stron oszklenia. Może być obliczony zgodnie z normą PN-EN 673 albo zmierzony laboratoryjnie zgodnie z PN-EN 674 (metoda osłoniętej płyty grzejnej) przy zastosowaniu znormalizowanych warunków brzegowych. Na wartość współczynnika mają wpływ cztery czynniki: emisyjność powłoki (określana i udostępniana przez producenta szkła), szerokość wypełnionej gazem przestrzeni między szybami, rodzaj użytego do jej wypełnienia gazu oraz jego ilość (w przypadku użycia gazu obojętnego).

Aby dowiedzieć się jakie wartości stosowane są w codziennym życiu warto odnieść się do przepisów obowiązujących w danym kraju – np. DIN 41408-4 jest stosowany w Niemczech.

4.6.1.1 Współczynnik U_g dla pochylonych powierzchni szklanych

Współczynnik U_g jest w większości przypadków określany dla szkła mocowanych pionowo (nachylonych po kątem 90° względem podłoża). Montaż szklenia pod kątem zmienia proces konwekcji w przestrzeni międzyszybowej i podwyższa wartość współczynnika U_g . Im mniejszy kąt między podłożem na szkleniu, tym szybszy obieg gazu w przestrzeni międzyszybowej i większy transport ciepła od wewnętrznej do zewnętrznej szyby. Może to pogorszyć wartość U_g nawet o $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ dla szyby jednokomorowej.



Wpływ montażu na wartość U_g szklenia

4.6.2 Współczynnik U_f

Współczynnik U_f określa transport ciepła przez ramę okienną lub drzwiową. Jego wartość może być wyznaczona na trzy różne sposoby:

- Zmierzona zgodnie z normą PN-EN ISO 12412-2
- Obliczona zgodnie z PN-EN ISO 10077-2
- Przy użyciu definicji z normy PN-EN ISO 10077-1 załącznik D

Wartość nominalna wraz z przepisami krajowymi określa wartość stosowaną w codziennym użytkowaniu.



4.6.3 Współczynnik Ψ

Współczynnik Ψ (psi) określa ilość ciepła traconą przez liniowy mostek termiczny tworzony przez dany element przeszklenia. W odniesieniu do stolarki opisuje wzajemne oddziaływanie szyby zespolonej, wymiarów jej i stolarki, ramki dystansowej, materiału ramy charakteryzując mostek termiczny występujący na danym elemencie. Współczynnik Ψ zależy głównie od materiału, z którego wykonana jest ramka dystansowa. Tak zwane technologie cieplej ramki wykorzystujące stal nierdzewną, materiały kompozytowe plastik-metal albo materiały termoplastyczne mogą znacznie zredukować wartość Ψ . Współczynnik psi nie wpływa na właściwości samej szyby zespolonej, ma on znaczenie dopiero przy jej montażu w danym elemencie stolarki.

4.6.4 Współczynnik U_w

Szyby zespolone są w większości przypadków montowane w oknach. Współczynnik U_w opisuje transport ciepła przez okno. Wartość U_g może być określona na trzy sposoby:

- Odczytana z PN-EN ISO 10077-1, Tab. F1
- Zmierzona zgodnie z PN-EN ISO 12567-1
- Obliczona zgodnie z PN-EN ISO 10077-1 przy użyciu poniższego wzoru:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + \sum(I_g \cdot \Psi)}{A_f + A_g}$$

U_w :	Transport ciepła przez okno
U_f :	Transport ciepła przez ramę (wartość oszacowana)
U_g :	Transport ciepła przez szklenie (wartość nominalna)
A_f :	Powierzchnia ramy
A_g :	Powierzchnia szklenia
I_g :	Obwód oszklenia
Ψ :	Liniowy współczynnik transportu ciepła przez krawędź szklenia

Straty ciepła w obszarze krawędziowym są ważniejsze niż w środku oszklenia, dlatego ramki dystansowe o ulepszonych parametrach termicznych stają się coraz bardziej popularne.

4.7 Gama produktów firmy Guardian przeznaczonych do izolacji termicznej

Szeroka paleta powłok termoizolacyjnych firmy GUARDIAN nanoszonych z reguły na szkło float ExtraClear® pozwala naszym klientom na produkcję nowoczesnych termoizolacyjnych szyb zespolonych.

A oto szczegółowe możliwości szyb zespolonych:

- **ClimaGuard® Premium2**

To obecnie standardowo stosowany produkt w nowoczesnych przeszkleniach jedno i dwukomorowych. Taka szyba zespolona oferuje doskonałą termoizolację przy optymalnej przepuszczalności światła i energii słonecznej.

Dla standardowej jednokomorowej szyby zespolonej wypełnionej argonem osiągamy wartość $U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, zaś dla szyby dwukomorowej – $0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ z zachowaniem optymalnej przepuszczalności światła i energii słonecznej. Dostępna jest wersja produktu przeznaczona do obróbki termicznej i gięcia pod nazwą ClimaGuard® Premium 2 T.

- **ClimaGuard® 1.0+**

Wartość $U_g = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ przy wypełnieniu argonem i budowie dwuszybowej, bez drogiego wypełnienia kryptonem, pozwala na osiągnięcie granicy możliwości fizycznych. Dostępna jest wersja produktu przeznaczona do obróbki termicznej oraz gięcia pod nazwą ClimaGuard® 1.0+ T.

- **Guardian Sun®**

(stosowana w określonych warunkach klimatycznych)

Produkt zoptymalizowany pod względem zmiany pór roku. Posiada znakomite właściwości termoizolacyjne podczas zimnej pogody oraz bardzo dobrą ochronę przeciwsłoneczną w czasie miesięcy letnich. Posiada wersję odpowiednią do obróbki termicznej – Guardian Sun® T.

- **ClimaGuard® Neutral 70**

(stosowana w określonych warunkach klimatycznych i/lub gdzie jest dopuszczona przez regulacje budowlane)

Produkt ten jest bardzo wytrzymały przez co łatwy w obróbce. Został stworzony głównie na potrzeby rynków, gdzie liczy się nie tylko łatwość obróbki, ale też odpowiednio wysoka ochrona przeciwsłoneczna. ClimaGuard® Neutral 70 może być poddawany obróbce termicznej oraz gięciu.

- **ClimaGuard® Dry**

ClimaGuard® Dry to powłoka opracowana specjalnie dla powierzchni #1 w szybie zespolonej (strona zewnętrzna), która w sposób trwały minimalizuje kondensację z zewnątrz w szymbach zespolonych dwukomorowych o bardzo dobrych parametrach termicznych (→ Rozdział 2.4.3) oraz po stronie wewnętrznej szyb monolitycznych stosowanych jako zewnętrzna warstwa w systemach wentylowanych (tzw. druga skóra) (→ Rozdział 8.1.1.3.4). Nie ma to prawie wcale wpływu na wartości spektrofotometryczne oszklenia.

Powłoka musi być poddana obróbce termicznej, aby aktywować jej właściwości.

Wszystkie produkty i odpowiednie dla nich wartości znajdują Państwo w szczegółowych zestawieniach w Rozdziale 10.



Novartis Gehry Building, Bazylea, Szwajcaria | SunGuard® HP Neutral 60/40
Architekt: Gehry Partners LLP | Zdjęcie: © Hans Ege

5.	Ochrona przeciwsłoneczna	46
5.1	Ekonomia.....	46
5.2	Ekologia.....	46
5.3	Komfort.....	46
5.4	Przepływ energii przez szkło	47
5.5	Całkowita transmisja energii słonecznej (wartość g).....	48
5.6	Współczynnik zacielenia.....	48
5.7	Selektywność spektralna	48
5.8	Kontrola uzysku ciepła latem	50
5.9	Ochrona przeciwsłoneczna z zastosowaniem szkła	51
5.10	Szkło przeciwsłoneczne jako element architektoniczny	52
5.11	Gama szkieł ochrony przeciwsłonecznej SunGuard.....	53



Nowoczesna architektura cechuje się przestronnością i przejrzystością. Coraz większe przeszklone elementy fasady powodują, że wnętrze pozornie stapia się ze światem zewnętrznym. W ciągu ostatnich 20 lat trend ten nasilił się przez użycie coraz większych formatów przeszkleń, szczególnie w budynkach o przeznaczeniu biurowym, ale także w budownictwie mieszkaniowym poprzez atria, przeszklone dachy i ogrody zimowe. W budownictwie, styl ten stał się możliwy dopiero dzięki opracowaniu nowoczesnych szkła przeciwsłonecznych. Minimalizują one efekt cieplarniany, który występuje głównie w miesiącach letnich, z powodu niepożądanego nagrzewania się pomieszczeń.

5.1 Ekonomia

Coraz większe powierzchnie okien i elewacji pozwalają dużej ilości światła przeniknąć do wnętrza budynku, unikając nadmiernego korzystania ze sztucznego oświetlenia. Oprócz transmisji światła, jedną z decydujących korzyści stosowania szkła przeciwsłonecznego jest ogromna liczba dostępnych obecnie opcji minimalizacji ilości energii cieplnej przenikającej do budynku, ograniczając znaczne koszty związane z klimatyzacją, gdyż znacznie więcej kosztuje chłodzenie wnętrza budynku niż jego ogrzewanie.

5.2 Ekologia

Wszędzie tam, gdzie oszczędzana jest energia - czy to poprzez zmniejszenie mocy chłodzenia, czy też ilości sztucznego oświetlenia - środowisko również czerpie korzyści. Przeszklenia z powłokami przeciwsłonecznymi przyczyniają się do certyfikacji budynków zgodnie z wymaganiami np. LEED, BREEAM, DGNB lub innymi zatwierdzonymi na całym świecie systemami certyfikacji dla zrównoważonego budownictwa. (→ Rozdział 4.2).

5.3 Komfort

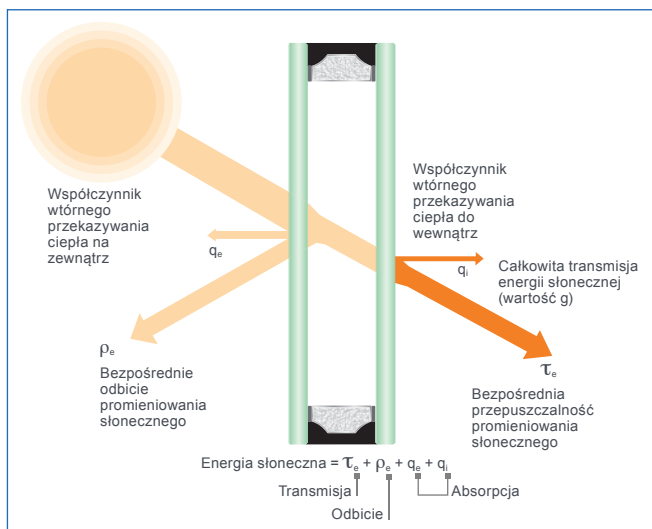
Zarówno mocno wychłodzone wnętrza, jak i przegrzane pokoje są niekomfortowym środowiskiem do przebywania i funkcjonowania. Przegrzewanie pomieszczeń może być spowodowane przenikaniem zbyt dużej ilości energii słonecznej (→ Rozdział 4.3). Podłoga, ściany czy meble absorbują energię słoneczną, a następnie wypromieniowują ją w postaci fal długich. Z tego powodu należy dołożyć wszelkich starań, aby zatrzymać tę energię na zewnątrz w celu osiągnięcia akceptowalnego klimatu w pomieszczeniach - bez użycia klimatyzacji. Wcześniej osiągnano to poprzez wznoszenie budynków przy użyciu nieprzeziernych elementów, które miały tylko niewielkie otwory w ścianach.

Dzisiejszy trend architektoniczny dąży do stworzenia środowiska życia i pracy bliższemu naturze, z otwartymi przestrzeniami. Stawia na coraz większe przeziernie przeszklenia pozwalające dużej ilości światła przeniknąć do wnętrza budynku. Dlatego konieczne jest zrozumienie istotnych parametrów szkła związanych z ochroną przeciwsłoneczną, aby stworzyć funkcjonalne i wygodne wnętrze, a jednocześnie spełnić inne wymagania, takie jak specyfikacje fizyczne budynku oraz osiągnąć efektywność energetyczną.

5.4 Przepływ energii przez szkło

Gdy promieniowanie słoneczne pada na przeszklenie, dochodzi do ich wzajemnego oddziaływania. Część promieniowania jest odbijana bezpośrednio do otoczenia, inna część jest przepuszczana bez przeszkód, a reszta promieniowania jest absorbowana. Suma wszystkich trzech części zawsze daje 100 procent:

$$\text{transmisja} + \text{odbicie} + \text{absorpcja} = 100 \%$$



Przepływ energii słonecznej przez szkło



5.5 Całkowita transmisja energii słonecznej (wartość g)

Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii słonecznej („solar factor” lub wartość g) określa transmisję energii słonecznej przez szkło w postaci promieniowania. Szkło przeciwsłoneczne minimalizuje wartość g poprzez odpowiedni dobór szkła i powłok. Wartość g przezroczystego szkła termoizolacyjnego jest korzystnie wysoka w celu wykorzystania uzysku energii słonecznej do zmniejszenia kosztów ogrzewania w zimnych porach roku (domy pasywne).

Całkowitą transmisję energii słonecznej (wartość g) oblicza się, dodając bezpośrednią transmisję energii słonecznej τ_e (promieniowanie krótkofalowe) i energię w postaci promieniowania długofalowego wypromieniowaną do wnętrza pomieszczenia (spowodowane absorpcją energii słonecznej) q_i zgodnie z PN-EN 410 (2011).

$$g = \tau_e + q_i$$

5.6 Współczynnik zacienienia

Wartość ta służy do obliczeń zapotrzebowania na energię chłodzenia budynku i jest określana również jako współczynnik SC. Jest to stosunek całkowitej transmisji energii słonecznej danego przeszklenia do całkowitej transmisji energii słonecznej szkła float o grubości 3 mm, dla którego wartość g wynosi 87 %.

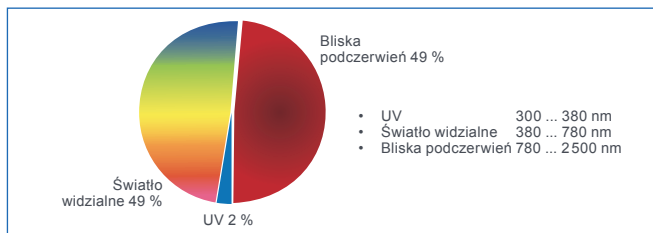
Zgodnie z normą PN-EN 410 (2011):

$$SC = \frac{g_{EN\ 410}}{0,87}$$

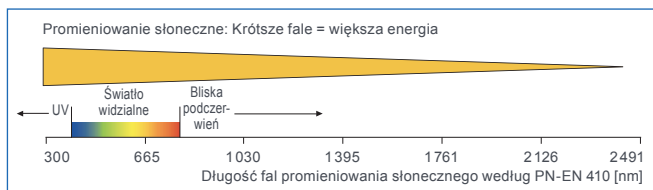
5.7 Selektowność spektralna

Szkło przeciwsłoneczne minimalizuje transmisję energii słonecznej przez szybę, jednocześnie maksymalizując transmisję światła widzialnego. Wskaźnik selektywności „S” oznacza stosunek przepuszczalności światła (τ_v) do całkowitej przepuszczalności energii słonecznej (wartość g) danego przeszklenia.

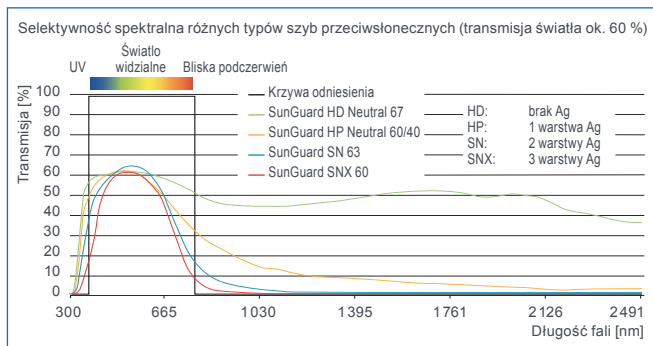
$$S = \frac{\text{przepuszczalność światła } \tau_v}{\text{wartość g}}$$



Z uwagi na fakt, że zakres światła widzialnego jest częścią energii słonecznej oraz nośnikiem prawie 50% promieniowania krótkofalowego, luka między wysoką wartością transmisji światła widzialnego, a niskim współczynnikiem całkowitej transmisji energii słonecznej jest ograniczona.



Najnowsza generacja szkła przeciwsłonecznego Guardian, SunGuard® SNX, przekracza stosunek 2:1, który od dawna uważany był za maksymalną możliwą wartość.

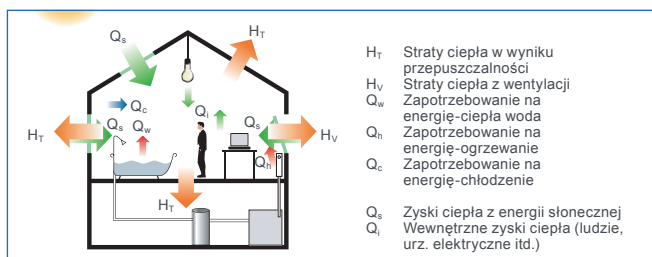




5.8 Kontrola uzysku ciepła latem

Nowoczesne szyby zespolone przepuszczają niemal bez ograniczeń krótkofalowe promieniowanie słoneczne, jednak większa część długofalowego promieniowania ciepłego jest odbijana z powrotem do wnętrza. W chłodnych porach roku umożliwia to pozyskiwanie energii z zewnątrz do ogrzewania budynku.

W lecie może jednak prowadzić do przegrzewania. Oprócz innych źródeł energii (patrz rysunek poniżej), położenie i rozmiar przeszklenia mają decydujące znaczenie. Generalnie przy przeszkleniach wielkopowierzchniowych ukierunkowanych na wschód, zachód, a przede wszystkim na południe, okna lub fasady powinny posiadać szkło z odpowiednią powłoką przeciwsłoneczną.



Ilustracja zapotrzebowania na energię

Wobec przeszkleń wielkoformatowych stawia się określone wymagania z zakresu ochrony cieplnej w porze letniej, wyznacznikiem jest tu współczynnik S określający stopień nagrzewania się pomieszczeń w zależności od udziału powierzchni przeszklonych i rodzaju szkła.

Zgodnie z DIN 4108 obowiązuje następująca zasada:

$$S_{\text{istniejący}} \leq S_{\text{dopuszczalny}}$$

Dopuszczalny współczynnik S energii słonecznej wynika z proporcjonalnych składowych współczynników:

$$S_{\text{dopuszczalny}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6$$

Proporcjonalne składowe współczynniki zależą od:

- S_1 : Wykorzystania budynku (budownictwo mieszkaniowe/komercyjne, strefa klimatyczna, typ konstrukcji, wychładzanie nocą) – patrz DIN 4108-2, tabela 8
- S_2 : Procentowego udziału powierzchni okien
- S_3 : Szkła przeciwsłonecznego
- S_4 : Nachylenia szklenia
- S_5 : Orientacji szklenia
- S_6 : Pasywnego chłodzenia budynku

Współczynnik S wynika z następującego równania:

$$S_{\text{istniejący}} = \frac{\sum_j A_{w,j} \cdot g_{\text{tot},j}}{A_G}$$

$A_{w,j}$: Przeszlony obszar w m^2
 A_G : Powierzchnia pomieszczenia w m^2
 $g_{\text{tot},j}$: Całkowita transmisja energii słonecznej uwzględniająca mechaniczne przesłony, zgodnie z:
- PN-EN ISO 52022-1
- PN-EN ISO 52022-2
- Na podstawie PN-EN 410
- Specyfikacją producenta

G_{tot} określone jest za pomocą następującego równania:

$$g_{\text{tot}} = g \cdot F_c$$

g : Całkowita przepuszczalności energii słonecznej szklenia
 F_c : Współczynnik redukcji dla elementów zacinających

Wartość współczynnika redukcji F_c dla zainstalowanych na stałe systemów zacinających można odczytać w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Szczegółowa metoda wyznaczenia g_{tot} jest podana w PN-EN ISO 52022-2. Sposób ten uwzględnia określone właściwości fizyczne i wzajemne oddziaływanie danego systemu zacinienia i szklenia.

Obliczenia należy przeprowadzić przy użyciu specjalnych narzędzi programowych. Dział Doradztwa Technicznego firmy Guardian może udzielić wsparcia w powyższych kalkulacjach.

5.9 Ochrona przeciwsłoneczna z zastosowaniem szkła

Wczesna produkcja szkła przeciwsłonecznych bazowała na szklach barwionych w masie. W porównaniu do bezbarwnego szkła, zwiększa ono absorpcję promieniowania słonecznego, ale ma również istotny wpływ na przepuszczalność światła widzialnego. W zastosowaniach monolitycznych takie szkło redukuje przepuszczalność energii do około 60 %, a w szybach zespolonych ze szkłem float do około 50 %, przy grubości szkła barwionego 6 mm. Im szkło jest grubsze, tym wyższa jest absorpcja energii i mniejsza transmisja światła. Z reguły stosowane są szkła zielone, szare i brązowe, które ze względu na własne zabarwienie mogą znacznie zmienić sposób odbierania kolorów wnętrza.

Postępy w technologii powlekania szkła zaowocowały znacznie szerszą gamą kolorów, które są również o wiele bardziej neutralne pod względem wpływu na postrzeganie kolorów wewnętrznych.



Nowoczesne przeszklenia przeciwsłoneczne nie bazują na szklach barwionych w masie, lecz na szklach powlekanych, produkowanych metodą napyłania magnetronowego (→ Rozdział 1.3.2). Dostępnych jest wiele wariantów powłok, spełniających wymagania różnych aplikacji. Guardian koncentruje się na napyłaniu magnetronowym, opracowując nowe technologie na potrzeby projektów.

Oprócz rzeczywistej ochrony przeciwsłonecznej, która jest stale doskonała, wiele pracy w zakresie badań i rozwoju jest inwestowanej w optymalizację okresu składowania, przetwarzania oraz odporności szkła na oddziaływanie mechaniczne. Innym typowym kryterium stawianym przy opracowywaniu powłok jest oferowanie wszystkich produktów w wersjach umożliwiających ich laminowanie, hartowanie i gięcie. Dopiero wówczas, uwzględniając również parametry szklenia, uda się sprostać wyzwaniom nowoczesnej architektury.

Szklą przeciwsłoneczne zazwyczaj umieszczane są jako szyba zewnętrzna stroną powlekaną do wewnątrz, w kierunku przestrzeni międzyszybowej (pozycja #2 w szybie zespolonej). Zazwyczaj zastosowane szkło zewnętrzne jest grubsze od wewnętrznego, co zapobiega występowaniu zniekształceń optycznych wywołanych poprzez zmiany ciśnienia (→ Rozdział 2.7). Jeśli przestrzeń międzyszybowa jest szersza niż 16 mm, np. z powodu konieczności zamontowania dodatkowych elementów lub w celu uzyskania odpowiedniego poziomu dźwiękoizolacyjności, efekt ten należy uwzględnić już przy projektowaniu. Wymagania statyczne często powodują konieczność stosowania szkła o większej grubości.

5.10 Szkło przeciwsłoneczne jako element architektoniczny

Poza dużym wyborem różnych powłok przeciwsłonecznych coraz silniejszy jest trend zmierzający do tworzenia efektownych elewacji a tym samym do ciekawych aranżacji szkielec przeciwsłonecznych. W zależności od użytej powłoki można produkować szkła o niskim odbiciu na zewnątrz. Takie szkła mogą tworzyć fasady, które zacierają dostrzegalne granice między wnętrzem a światem zewnętrznym, a mimo to są efektywne energetycznie. Z drugiej strony występują powłoki lustrzane lub z barwnym refleksem, które gwarantują swobodę architektoniczną i umożliwiają realizację nawet najbardziej ekstrawaganckich koncepcji projektowych. Dopasowane kolorystycznie spandele uzupełniają paletę szkielec przeciwsłonecznych (→ Rozdział 8.2.2).

Tak kreatywne aranżacje przeszkleń można realizować indywidualnie dla danego obiektu z uwzględnieniem wszelkich wymogów fizyki budowli.

Możliwe jest też zastosowanie technologii druku cyfrowego lub sitodruku czy też szkła laminowanego bezpiecznego – więcej informacji można znaleźć w rozdziale 8.3.

5.11 Gama szkieleł ochrony przeciwsłonecznej SunGuard®

Bez względu na to, jakie wymagania stawia architektura lub fizyka budowli, szeroka paleta różnorodnych szkieleł SunGuard® oferuje optymalne przejrzyste rozwiązanie.

- **SunGuard® eXtra Selective (SNX)**

SunGuard® eXtra Selective to unikalne połączenie przejrzystości, ochrony przeciwsłonecznej oraz termoizolacyjności. Najważniejszym wyznacznikiem tego produktu jest bardzo wysoki parametr selektywności, tj. stosunek transmisji światła widzialnego do całkowitej transmisji energii słonecznej. „SNX” reprezentuje najnowszą generację szkieleł o selektywności widmowej wynoszącej ponad 2. Wartości wszystkich parametrów technicznych szkieleł są bliskie granicy fizycznych możliwości. Produkt z oznaczeniem „SNX-HT” to wariant przeznaczony do obróbki termicznej.

- **SunGuard® SuperNeutral® (SN)**

Oprócz wysokiego poziomu selektywności widmowej, najważniejszą cechą tej linii produktów, tworzonych na szkiele bazowym float ExtraClear® jest neutralność kolorystyczna, w połączeniu z bardzo niską wartością odbicia światła. W podwójnej szybie zespolonej współczynnik przenikania ciepła U_g wynosi 1,0 W/(m²K) dla różnych wartości transmisji światła.

Każdy z produktów z grupy SunGuard® SuperNeutral® ma swój odpowiednik z oznaczeniem SN-HT, wersją przeznaczoną do obróbki ciepłej.

- **SunGuard® High Performance (HP)**

To linia produktów składająca się z powłok łączących wysoką selektywność z dużym wyborem barw i różnych stopni odbicia. Wszystkie szkieleł z tej grupy można obrabiać termicznie, giąć i nakładać nadruk ceramiczny. Wysoka odporność powłoki sprawia, że wiele szkieleł SunGuard® HP jest kompatybilnych z różnorodnymi materiałami uszczelniającymi stosowanymi w szybach zespolonych. W zestawie dwuszybowym z powłoką SunGuard® HP wartości U_g wynoszą między 1,5 a 1,1 W/(m²K) bez konieczności stosowania dodatkowego szkieleł niskoemisyjnego jako szyby wewnętrznej. Wartości transmisji światła τ_v mieszczą się pomiędzy ok. 60 a 30 %, a wartości g między ok. 50 - 20 %, w zależności od intensywności zabarwienia i stopnia odbicia.



Elbphilharmonie Hamburg, Hamburg, Niemcy
SunGuard® HD Light Blue 52 | Szyby zespolone gięte w trzech płaszczyznach, emaliowane
oraz laminowane
Architekt: Herzog & De Meuron, Basel | Zdjęcie: © Cordelia Ewerth

- **SunGuard® High Durable (HD)**

Zapewniająca najwyższą elastyczność zastosowania i przetwarzania, SunGuard® HD to seria powłok stricte przeciwsłonecznych. Cały zakres możliwych procesów takich, jak laminowanie, obróbka termiczna lub gięcie, może być zrealizowany przy użyciu szkła SunGuard® HD. Powłoki te są kompatybilne z wieloma materiałami i uszczelniaczami. W podwójnym zespoleniu, przy użyciu powłoki ClimaGuard® Premium2 na wewnętrznej szybie, seria SunGuard® HD zapewnia wartość U_g równą $1,1 \text{ W / (m}^2\text{K)}$ przy wartościach transmisji światła widzialnego τ_L w przedziale 10 - 64 % i wartości g od <10 do ok. 50 %. Z uwagi na wysoką trwałość, produkty SunGuard® HD mogą być stosowane jako szklenia monolityczne (powłoka skierowana do wewnętrznej strony konstrukcji).

- **SunGuard® Solar**

Dzięki SunGuard® Solar, Guardian zapewnia szkło stricte przeciwsłoneczne z dużym wyborem barw. Powłoki te można poddać obróbce termicznej, giąć lub nakładać nadruk ceramiczny.

Szczegółowe informacje na temat wszystkich produktów i ich parametrów znajdują się w rozdziale 10.



InterContinental Lublana, Lublana, Słowenia | SunGuard® SN 70/35
Architekt: OFIS architects | Zdjęcie: © OFIS Arhitekti d.o.o

6.	Ochrona przed hałasem	58
6.1	Wpływ hałasu na człowieka	58
6.2	Rodzaje dźwięku	58
6.2.1	Wartości graniczne	58
6.2.2	Postrzeganie hałasu	59
6.3	Ocena akustyczna dla budynków	60
6.3.1	Ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej (R_w)	60
6.3.2	Wskaźniki korygujące (C , C_{tr})	61
6.4	Właściwości akustyczne przeszkleń	63
6.4.1	Ciężar tafli szkła	64
6.4.2	Budowa szyb zespolonych	64
6.4.3	Wypełnienie gazem	65
6.4.4	Sztywność szkła (oddzielnie dla pojedynczych elementów szklanych)	65
6.5	Oferta szkielek chroniących przed hałasem firmy Guardian	67

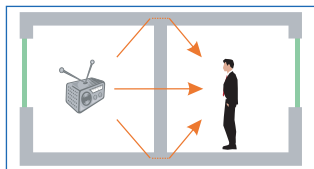


6.1 Wpływ hałasu na człowieka

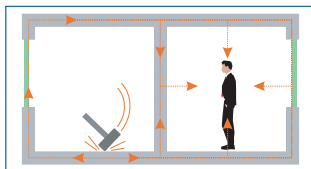
Mobilność i uprzemysłowienie ostatnich dekad przyczyniły się do wzrostu hałasu w naszym środowisku. Stanowi to poważny problem, bowiem ciągły hałas oznacza dla człowieka podwójne niebezpieczeństwo. Z jednej strony dochodzi do niedostrzegalnych uszkodzeń słuchu mogących prowadzić do szumów usznych i niedosłuchu, a w skrajnych przypadkach nawet do zaburzeń psychicznych. Z drugiej strony stałe narażenie na wzmożony hałas może prowadzić do zaburzeń snu i braku koncentracji. Inne możliwe choroby to alergie, schorzenia układu krążenia i nadciśnienie tętnicze, a nawet podwyższone ryzyko zawału serca. Schorzenia spowodowane nadmiernym hałasem nie są tak łatwe do zdiagnozowania jak przykładowe przeziębienie, a ich leczenie wymaga znacząco wyższych nakładów, także wprowadzenia koniecznych zmian w miejscu zamieszkania i bezpośrednim otoczeniu chorego.

6.2 Rodzaje dźwięku

Hałas to mieszanina różnych fal akustycznych, które powstają w wyniku drgań ciał stałych, cieczy lub gazów (powietrza). W zależności od drogi rozprzestrzeniania się mówimy o dźwięku powietrznym lub uderzeniowym.



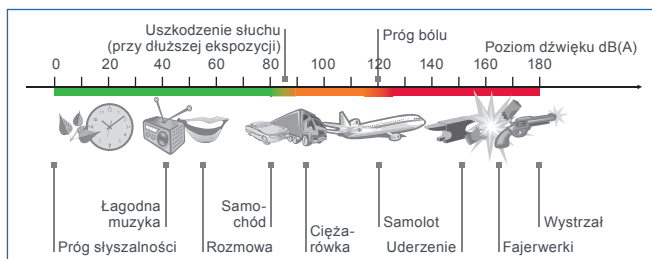
Dźwięk powietrzny



Dźwięk uderzeniowy

6.2.1 Wartości graniczne

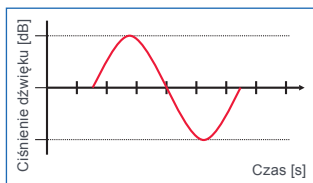
Z reguły dźwięk jest przenoszony przez powietrze jak i ciała stałe. Chwilowe wahania ciśnienia względem średniego ciśnienia atmosferycznego określa się ciśnieniem akustycznym. Mierzy się je w decybelach (dB) i może przyjmować różne wartości: od tykania zegara aż po huk wystrzału.



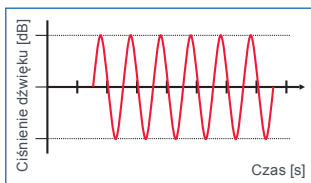
Źródło dźwięku	Przybliżony dystans [m]	Poziom hałasu dB(A)
Szelest liści	1	10
Tykanie zegara	1	20
Łagodna muzyka	1	40
Standardowa mowa	1	50 - 60
Samochód	7	80
Ciężka ciężarówka	7	90
Młot pneumatyczny	7	90 - 100
Syrena policyjna	10	110
Samolot	20	120 - 130
Uderzenie	5	150
Fajerwerki	0	170
Wystrzał	0	180

Źródło dźwięku i odpowiadający mu poziom hałasu

Liczba okresów drgań na sekundę jest określana jako częstotliwość i jest podawana w hercach (Hz). Hałas jak i inne dźwięki składają się z wielu fal o różnych częstotliwościach: niskich lub wysokich.



Tony basowe (niskie)



Tony wysokie

6.2.2 Postrzeganie hałasu

Zbiór tych częstotliwości w szumie można przedstawić jako spektrum częstotliwości. Spektrum częstotliwości dźwięków, które są słyszalne dla ucha ludzkiego, mieści się w zakresie od 20 do 20000 Hz. Dla ochrony przed hałasem w budownictwie znaczenie ma jednak tylko najwyższy zakres słyszalności, który wynosi około 4 kHz i mocno zanika w obydwu kierunkach. Z tego powodu ocena ochrony przed hałasem uwzględnia przede wszystkim zakres między 100, a 5000 Hz. Izolacja dźwiękowa nie jest przy tym wynikiem funkcji liniowej, lecz logarytmicznej. W ten sposób dwa źródła dźwięku, każde po 80 dB, nie dają „sumy” 160 dB, lecz tylko 83 dB. Dodatkowo dźwięki o wysokiej częstotliwości są silniej odbierane przez ucho człowieka niż dźwięki o niskiej częstotliwości, a więc przy ocenie hałasu uwzględnia się odpowiednio intersubiektywne wrażenie słuchowe, określane w dB(A); przy czym „A” oznacza tu „dostosowany”. Ucho ludzkie odczuwa zatem subiektywnie różnicę +/- 10 dB jako podwojenie głośności lub jej spadek o połowę.



Generalnie zgodnie z wyliczeniem logarytmicznym obowiązuje zależność jak w tabeli:

Tłumienie	Redukcja hałasu [%]
10 dB	50
20 dB	75
30 dB	87,5
40 dB	93,75

$$R_w = 10 \log P_1 / P_2$$

P_1 : Dźwięk przychodzący
 P_2 : Dźwięk wychodzący

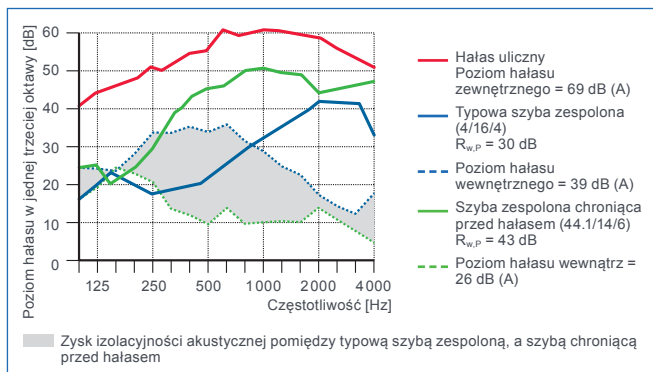
Duża część zamontowanych obecnie szkielek dźwiękoizolacyjnych osiąga izolacyjność akustyczną na poziomie około 40 dB, co oznacza, że szkła te przepuszczają do wnętrza jedynie około 6 % hałasu panującego na zewnątrz.

6.3 Ocena akustyczna dla budynków

Element budowlany (np. szkło), dla którego w specyfikacji podana jest izolacyjność akustyczna w wysokości 40 dB, redukuje zewnętrzny hałas z zakładanych 70 dB do 30 dB w pomieszczeniu i tym samym powoduje zauważalną redukcję hałasu zewnętrznego do ok. 5 %. W rzeczywistości jednak nigdy nie należy rozpatrywać pojedynczego budynku, lecz zawsze całe otoczenie, którego właściwości powinny być wzięte razem pod uwagę przy szacowaniu wartości izolacyjności akustycznej.

6.3.1 Ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej (R_w)

Parametry akustyczne elementów są określane według norm PN-EN 20140, PN-EN ISO 717 i PN-EN ISO 140 i przedstawiane jako R_w w dB. Współczynnik R_w określa się przez pomiar i porównanie z krzywą odniesienia. R_w stanowi przy tym średnią wartość izolacyjności akustycznej dla określonego zakresu częstotliwości.



Porównanie akustycznych właściwości szyb zespolonych – typowej oraz dźwiękoizolacyjnej

Krzywa odniesienia w wykresie pomiarowym badanego przedmiotu jest przesuwana w pionie tak długo, dopóki dolna granica do zmierzonej krzywej nie będzie przekraczana średnio o więcej niż 2 dB. Przekroczenie w górę nie jest uwzględniane. Wartość rzędnych przesuniętej krzywej odniesienia wynosząca 500 Hz odpowiada wówczas średniej wartości izolacyjności akustycznej R_w w dB.

Kolejna norma, uwzględniana w szczególności w Niemczech, to DIN 4109, definiująca poniższe pojęcia:

- R_w = Ważona izolacyjność akustyczna w dB bez przenoszenia dźwięku przez graniczące ze sobą elementy (czyli przykładowo czysta wartość dla szkła)
- R'_w = Ważona izolacyjność akustyczna w dB z uwzględnieniem przenoszenia dźwięku przez graniczące ze sobą elementy (czyli przykładowo okno)
- $R'_{w, res}$ = Wynikowa wartość izolacyjności akustycznej w dB dla całego elementu (np. cała ściana włącznie z oknem składającym się z ramy i szkła wraz z okuciami, zawiasami itp.)
- $R_{w,P}$ = Wartość izolacyjności akustycznej w dB, zbadana na stanowisku kontrolnym
- $R_{w,R}$ = Wartość izolacyjności akustycznej w dB, wartość obliczeniowa
- $R_{w,B}$ = Wartość izolacyjności akustycznej w dB, wartość zbadana na obiekcie budowlanym

6.3.2 Wskaźniki korygujące (C , C_{tr})

Za pomocą ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej można ze sobą porównywać pojedyncze elementy konstrukcyjne, co umożliwia wyliczenie wartości całkowitej. Praktyka pokazała jednak, że w zależności od źródła dźwięku należy dla ważonych wartości izolacyjności akustycznej R_w uwzględnić dodatkowo wskaźniki korygujące, które również zostały zdefiniowane w normie PN-EN 717-1.



NOBU HOTEL, Warszawa, Polska | SunGuard SN 70/37 | Fasada częściowo wykonana ze szkła giętego
Architekt: Medusa Group | Zdjęcie: © Piotr Krajewski FLYPR

Źródło hałasu	Współczynniki korekcyjne dla danego spektrum
Standardowe poziomy częstotliwości hałasu takie jak rozmowy, słuchanie muzyki, radio, telewizja	C
Bawiące się dzieci	
Wagony kolejowe poruszające się ze średnią i wysoką prędkością*	
Podróżowanie autostradą z prędkością powyżej 80 km/h*	
Samoloty wykorzystujące napęd odrzutowy słyszane z bliska	
Zakłady produkcyjne, które przeważnie emitują hałas średnich oraz wysokich częstotliwości	Spektrum 1
Hałas uliczny w centrum miasta	C _{tr}
Dźwięk, który wydają wagony kolejowe poruszające się z małą prędkością	
Śmigłowce	
Samoloty wykorzystujące napęd odrzutowy słyszane z daleka	
Muzyka disco	
Zakłady produkcyjne, które przeważnie emitują hałas niskich częstotliwości	Spektrum 2

Współczynniki korekcyjne dla danego spektrum

* W różnych krajach UE występują metody obliczeniowe służące ustaleniu poziomu hałasu dla pasm oktaowych w hałasie ulicznym i w ruchu szynowym. Można je wykorzystać do porównania ze spektrami 1 i 2.

Te wskaźniki korygujące, widmowe wskaźniki adaptacyjne określane jako C oraz C_{tr}, redukują wartość izolacyjności akustycznej R_w dla określonego elementu konstrukcyjnego, gdy chodzi o źródła hałasu zgodne z tabelą normy PN-EN.

Oznacza to, że dla przykładowego szklenia o parametrach R_w (C, C_{tr}) = 42 (-1; -5)

$$R_w = 42 \text{ dB}$$

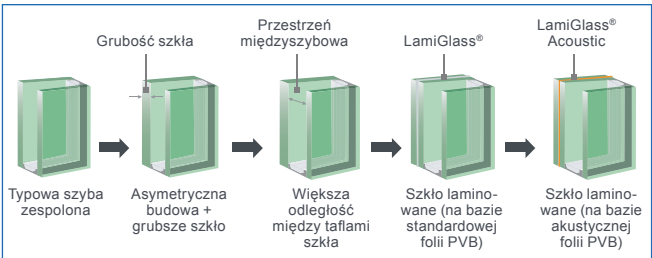
$$R_w + C = 42 - 1 = 41 \text{ dB}$$

$$R_w + C_{tr} = 42 - 5 = 37 \text{ dB}$$

Korekty są oparte na widmach dźwiękowych ważonych A (→ Rozdział 6.2.2)

6.4 Właściwości akustyczne przeszkleń

Wiele parametrów wpływa na właściwości akustyczne przeszkleń.

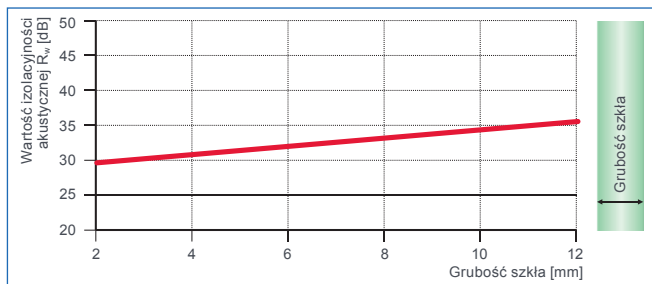


Optymalizacja izolacyjności akustycznej



6.4.1 Ciężar tafli szkła

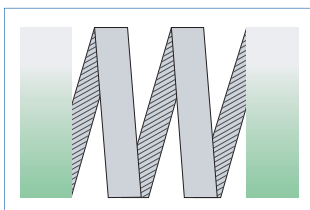
Obowiązuje zasada, że im grubsza jest tafła szkła w przeliczeniu na jej powierzchnię, tym wyższa jest jej izolacyjność akustyczna. Dlatego wraz ze wzrostem grubości szkła wzrasta efektywność izolacji akustycznej.



Wydajność akustyczna jako funkcja grubości szkła

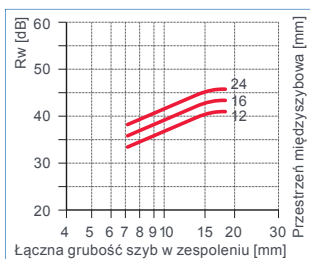
6.4.2 Budowa szyb zespolonych

Zestaw dwuszybowy, czy też trzyszybowy to tak zwany system „Masa-Sprężyna-Masa”. Obydwie tafle szkła (masy) są od siebie oddzielone wypełnieniem z powietrza lub gazu szlachetnego w przestrzeni międzyszybowej (sprężyna). Dźwięk jest prawie całkowicie transmitowany z tafli 1 na tafle 2 poprzez zjawisko rezonansu, jeżeli obie tafle posiadają tę samą grubość. W związku z tym zmiana szklenia pojedynczego na szybę zespoloną składającą się ze szkieł tej samej grubości przynosi niewielkie korzyści.



Szyba zespolona jako system masa – sprężyna – masa (szkło – przestrzeń międzyszybowa – szkło)

Przestrzeń międzyszybowa tłumi drgania zewnętrznego szkła, zanim dotrą one do szkła wewnętrznego. Wraz ze zwiększeniem przestrzeni międzyszybowej efekt ten się nasila, poprawiając izolacyjność akustyczną. Jest to wykonalne jednak w ograniczonym zakresie, ponieważ z jednej strony zmniejsza się izolacyjność termiczna (→ Rozdział 3.3), a z drugiej wzrastają obciążenia klimatyczne.



Wpływ przestrzeni międzyszybowej na wartość R_w

W celu optymalizacji właściwości akustycznych przeszkleń należy projektować ich budowę tak, aby była możliwie jak najbardziej asymetryczna. Prowadzi to do zminimalizowania zjawiska rezonansu poprzez różnicę grubości tafli składowych.



Budowy szyb zespolonych

6.4.3 Wypełnienie gazem

W przeszłości, rodzaj gazu wypełniającego był również uważany za metodę poprawy właściwości akustycznych szyb zespolonych. Używano w tym celu gazu o dużym ciężarze SF₆ celem spełnienia wysokich wymogów akustycznych szklenia. Gaz ten został jednak wycofany z obrotu w Unii Europejskiej od 2007 ze względu na to, że jest on gazem cieplarnianym.

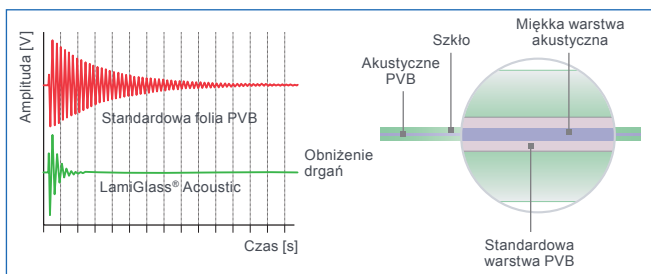
Zgodnie z normą PN-EN 12758 wartość izolacyjności akustycznej zmierzona dla szyby wypełnionej argonem lub powietrzem może być użyta dla tej samej budowy przeszklenia wypełnionej zarówno jednym jak i drugim z wymienionych gazów. Najnowsza wersja wyżej wymienionej normy bierze pod uwagę także wypełnienie kryptonem.

Różnice w izolacyjności termicznej wspomnianych gazów powinny być także wzięte pod uwagę przy wyborze wypełnienia.

6.4.4 Sztywność szkła (oddzielnie dla pojedynczych elementów szklanych)

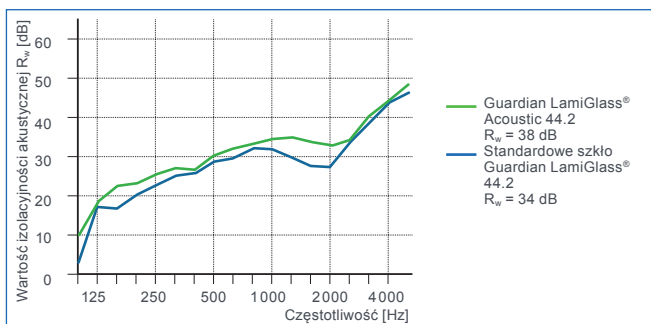
Efekt izolacji akustycznej grubszych, cięższych szkielek można optymalizować jeszcze bardziej, stosując szkło laminowane, w którym warstwa elastycznego tworzywa sztucznego (PVB) używana jest do połączenia ze sobą dwóch pojedynczych tafli szkła. Zostają przy tym zachowane zarówno grubość, jak i ciężar powierzchniowy, szyba staje się jednak bardziej „elastyczna”, co poprawia izolacyjność akustyczną poprzez tłumienie drgań tafli szkła wytwarzanych przez dźwięk.

Celem jeszcze większego usprawnienia właściwości akustycznych szklenia dostępne są na rynku specjalne akustyczne folie PVB. Ich budowa jest wielowarstwowa i składa się ze standardowego materiału PVB połączonego ze specjalnym miękkim akustycznym rdzeniem.



Rozpręgnięcie pojedynczych tafli w szkłe laminowanym

Taka budowa zapewnia utrzymanie poziomu odporności mechanicznej zbliżonego do standardowej międzywarstwy z PVB, jednocześnie znacznie zwiększając właściwości akustyczne.



Porównanie standardowego szkła Guardian LamiGlass® i Guardian LamiGlass® Acoustic

Właściwości akustyczne szkła laminowanego (zwłaszcza wykonanego z użyciem miękkich międzywarstw akustycznych) silnie zależą od temperatury. Międzywarstwa z PVB staje się bardzo sztywna w niskich oraz bardzo miękka w wysokich temperaturach. Im warstwa bardziej sztywna tym gorsze jest tłumienie przez nią dźwięku. Pomiary laboratoryjne współczynnika R_w zgodnie z normą PN-EN 10140-2 wymagają, aby temperatura badanej próbki wynosiła $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Pomiary na placu budowy zgodne z PN-EN 140-5 (R'_w) nie mają sprecyzowanych wymagań odnośnie zarówno temperatury jak i wymiarów szklenia. Z oczywistych względów może to prowadzić do różnic między wynikami pomiarów szklenia na budowie budynku i wynikami otrzymanych w ramach badań laboratoryjnych.

$T < T_{\text{standardowa}} \rightarrow$ gorsza izolacja akustyczna

$T > T_{\text{standardowa}} \rightarrow$ lepsza izolacja akustyczna

Wymiary [mm]	44 dB			50 dB		
	5 °C	20 °C*	40 °C	5 °C	20 °C*	40 °C
1230 x 1480*	42	44	46	44	50	52
640 x 1600	39	44	45	42	47	51
1620 x 1620	40	41	43	43	45	49

Wpływ temperatury i wymiarów na właściwości akustyczne szkła laminowanego chroniącego przed hałasem

* Temperatura i warunki standardowe

Dane: gbd, A-6850 Dornbirn

6.5 Oferta szkła chroniących przed hałasem firmy Guardian

Firma Guardian poddała certyfikacji izolacyjności akustycznej wiele szkła zarówno monolitycznych jak i zespolonych składających się ze szkła float, laminowanego (LamiGlass®) oraz laminowanego szkła chroniącego przed hałasem (LamiGlass® Acoustic) ($\rightarrow$ Rozdział 10).

Ponadto, Guardian posiada własne narzędzie do estymacji właściwości akustycznej przeszkleń Asystent Akustyczny wykonujące estymacje w oparciu o wykonane pomiary akustyczne i stworzone w tym celu modele matematyczne. Narzędzie to jest dostępne na stronie internetowej pod adresem: <https://glassanalytics.guardian.com>.



SAP Frankfurt, Frankfurt, Niemcy | SunGuard® HD Diamond 66 | Fasada z podwójną skórą
Architekt: KSP/Frankfurt | Zdjęcie: © pierer.net

7.	Bezpieczeństwo i ochrona	70
7.1	Szkło hartowane	70
7.1.1	Produkcja	70
7.1.2	Właściwości z zakresu fizyki budowli	72
7.1.3.	Wytrzymałość na uderzenie	72
7.1.4	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	72
7.1.5	Test na uderzenie piłką	72
7.1.6	Oddziaływanie ciepła i wytrzymałość na różnicę temperatur	73
7.1.7	Anizotropia (wzór naprężeń)	73
7.1.8	Jakość optyczna	73
7.1.9	Kondensacja na szkłe hartowanym	74
7.1.10	Oznakowanie	74

7.2	Szkło hartowane wygrzewane termicznie – ESG-H	74
7.3	Szkło wzmocnione termicznie (półhartowane)	76
7.3.1	Produkcja	76
7.3.2	Wzór spękania szkła	76
7.3.3	Nośność szczątkowa jako składowa szkła laminowanego	76
7.3.4	Rozciąganie przy zginaniu	77
7.3.5	Wytrzymałość na różnicę temperatur	77
7.4	Szkło laminowane bezpieczne	77
7.4.1	Produkcja	78
7.4.2	Właściwości z zakresu fizyki budowli	79
7.4.3	Nomenklatura szkła laminowanego	80
7.4.4	Bezpieczne aspekty szkła laminowanego	80
	Ochrona przed zranieniem/badanie wahadłem (PN-EN 12600) – bezpieczeństwo pasywne Szyby „antyłamaniowe” (PN-EN 356) – aktywne bezpieczeństwo Badanie spadającą kulą Uderzenie siekierą Szyby kuloodporne (PN-EN 1063) – aktywne bezpie- czeństwo Szyby odporne na eksplozję (PN-EN 13541) – aktywne bezpieczeństwo	
7.5	Bezpieczeństwo poprzez szkło	84
7.5.1	Szkło chroniące przed wypadnięciem	84
	Szklenia na całej wysokości pomieszczenia bez dodatkowego zabez- pieczenia np. poziomą belką (kategoria A) Balustrady liniowo zamo- cowane na dolnej krawędzi (kategoria B) Balustrady z elementem konstrukcyjnym transferującym obciążenie (kategoria C) Szklenie zamocowane liniowo z przebadaną wytrzymałością na uderzenie	
7.5.2	Szklenie nad głową	87
7.5.3	Przeszklenia, po których można chodzić	87
7.5.4	Przeszklenia, na które można wejść w celach konserwacyjnych	88
7.5.5	Nośność szczątkowa	90
7.6	Zalecenia dla określonych zastosowań szkła	90
7.6.1	Przeszklenia pionowe bez ochrony przed wypadnięciem osób	91
7.6.2	Przeszklenia poziome / nad głową	92
7.6.3	Przeszklenia zabezpieczające przed wypadnięciem	94
7.6.4	Przeszklenia w budynkach specjalnego użytku	96
7.6.5	Przeszklenia we wnętrzach bez ochrony przed wypadnięciem osób	98
7.6.6	Przeszklenia we wnętrzach bez ochrony przed wypadnięciem osób	99
7.6.7	Specjalne szkła bezpieczne	101

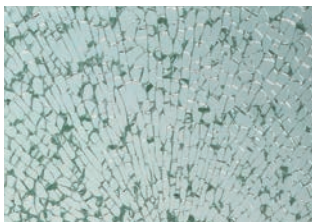


Dany element konstrukcyjny powinien być niezawodny, jeśli ma zapewnić bezpieczeństwo dla jego użytkowników. Fakt ten zauważono już ponad 100 lat temu i po raz pierwszy szkło bezpieczne zastosowano w przemyśle motoryzacyjnym. Dzisiaj oferowana jest cała paleta szkieł bezpiecznych, które w zależności od wymogów można stosować pojedynczo lub w zespoleniu.

W każdej aplikacji, niezależnie od tego, czy dotyczy całkowicie przeszklonych drzwi, pryszniców, części mebli czy wielkoformatowych przeszkleń w miejscach publicznych, w przypadku stłuczenia lub rozbicia, zastosowane szkło nie powinno rozbijać się na elementy o ostrych krawędziach, które mogłyby spowodować poważne obrażenia. Z tego powodu szkło hartowane lub laminowane jest produkowane i dostarczane do klientów w różnej formie w zależności od przeznaczenia.

7.1 Szkło hartowane

Ten rodzaj szkła można produkować zarówno ze zwykłego szkła float, jak i z niemal wszystkich znanych szkieł ornamentowych i odlewanych. Szkło bazowe poddawane jest obróbce termicznej, określanej terminem „hartowanie”, zyskując trzy właściwości. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu jest od czterech do pięciu razy większa niż

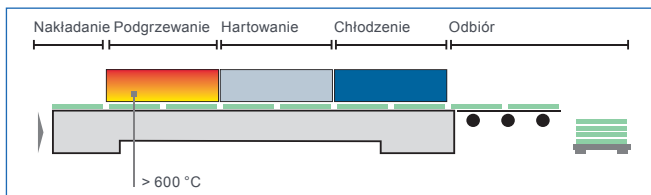


Siatka spękań szkła hartowanego

szkła odprężonego, dzięki czemu szkło hartowane jest w stanie przenieść obciążenia o większych wartościach. Ponadto wzrasta jego odporność na różnice temperatur, co oznacza, że staje się wytrzymalsze zarówno na duże i krótkotrwałe zmiany temperatury, jak również na wyższe różnice temperatur w obrębie jednej szyby. Jeśli mimo wszystko to szkło zawiedzie ulegając przeciążeniu, to rozpada się w sieć luźno związanych kawałków o stępionych krawędziach, które stanowią mniejsze niebezpieczeństwo obrażeń niż stłuczka szklana o ostrych krawędziach.

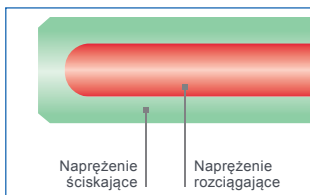
7.1.1 Produkcja

Do pieca hartowniczego trafia tylko przycięte do odpowiedniego rozmiaru szkło, o obrobionych krawędziach i ewentualnie wyciętych otworach lub wycięciach na krawędziach. Szyby są następnie w sposób kontrolowany i równomierny podgrzewane do temperatury około 600 st. C, a następnie „hartowane” poprzez szybkie schładzanie zimnym powietrzem, aż do uzyskania temperatury otoczenia.



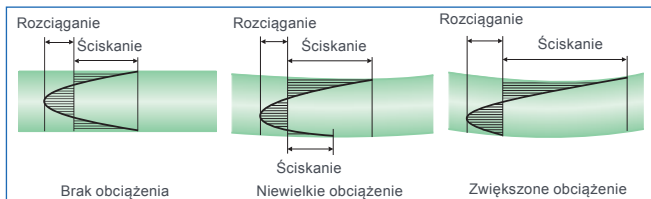
Proces produkcji szkła hartowanego ESG (schemat)

Ten sposób chłodzenia powoduje, że powierzchnia szkła schładza się szybciej niż jego wnętrze, co tworzy w szkłe trwałe rozkład naprężeń. Naprężenia ściskające występujące na powierzchni szkła, gdy poddane siłom zginającym, przesuwają się w stosunku do środka przekroju.

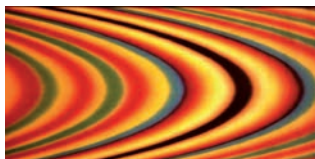


Rozkład naprężeń

Za sprawą rozkładu naprężeń szyba uzyskuje swoje doskonałe właściwości. Wyjaśnia to jednocześnie, dlaczego wszystkie operacje na szybie muszą być wykonane przed hartowaniem. Jeśli rozkład naprężeń zostanie przerwany w wyniku działań mechanicznych takich jak np. wiercenie otworów, spowoduje to pęknięcie całej szyby. Strefy naprężeń można uwidocznnić za pomocą spolaryzowanego światła i stają się zauważalne pod odpowiednim kątem w formie barwnych efektów optycznych.



Rozkład naprężeń ściskających i rozciągających



Strefy naprężeń



7.1.2 Właściwości z zakresu fizyki budowli

Przewodność cieplna, przepuszczalność światła i energii, rozszerzalność termiczna, wytrzymałość na ściskanie i moduł sprężystości podłużnej (moduł Younga) pozostają takie same jak w szkło bazowym, podobnie jak ciężar i izolacyjność akustyczna oraz właściwości chemiczne. Inne parametry ulegają jednak znaczącej zmianie.

7.1.3. Wytrzymałość na uderzenie

Zgodnie z normą PN-EN 12600 (Szkło w budownictwie. Badanie wahadłem. Udarowa metoda badania i klasyfikacji szkła płaskiego) szkło hartowane (ESG) posiada podwyższoną wytrzymałość na uderzenie ciałem miękkim, np. ciało ludzkie. Miejsce zastosowania szkła definiuje wymaganą grubość.

7.1.4 Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu

Szkło hartowane produkowane jest z różnych szkieł bazowych i dodatkowo często powlekane farbami ceramicznymi. Dlatego wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu należy zawsze przyporządkować do konkretnego typu szkła:



- Szkło hartowane ze szkła float
 $\sigma = 120 \text{ MPa}$
- Szkło hartowane ze szkła ornamentowego
 $\sigma = 90 \text{ Mpa}$
- Szkło hartowane z emaliowanego szkła płaskiego, przy czym strona emaliowana podlega naprężeniu rozciągającemu
 $\sigma = 75 \text{ Mpa}$

7.1.5 Test na uderzenie piłką

Na podstawie normy DIN 18032 „Hale sportowe. Nawierzchnie sportowe. Wymagania i badania” przyjmuje się, że szkło hartowane o grubości od 6 mm jest właściwe do wielkopowierzchniowych zastosowań szkła przy budowie hal sportowych i gimnastycznych.



7.1.6 Oddziaływanie ciepła i wytrzymałość na różnicę temperatur

Szkło hartowane może w krótkim czasie wytrzymać temperaturę przekraczającą 300 °C, a w dłuższym okresie wyższe niż 250 °C. Wytrzymałość na różnice temperatur w obrębie jednej powierzchni szkła, przykładowo między środkiem szyby a jej krawędzią, wynosząca 200 K (Kelwinów), jest niezwykle wysoka w porównaniu z wytrzymałością odprężonego szkła float – 40 K.

7.1.7 Anizotropia (wzór naprężeń)

Anizotropia dotyczy zjawiska iryzacji w szkłe hartowanym termicznie występującego na skutek wewnętrznego rozkładu naprężeń w każdej szybie.

Dysze chłodzące wydmuchują powietrze ruchem stałym lub posuwisto-zwrotnym. Obszary chłodzone powietrzem (różnice naprężeń) są zwykle widoczne w spolaryzowanych warunkach oświetleniowych jako układy opalizujących miejsc lub linii. W niektórych warunkach oświetleniowych wzory te można zobaczyć w świetle słonecznym. Zgodnie z PN-EN 12150-1 anizotropie uważana jest za wizualne zjawisko, a nie za defekt.

Najnowocześniejsze linie hartowania są w stanie znacznie ograniczyć efekt anizotropii, dokonując regulacji parametrów pieca i strefy chłodzenia. Ponadto, dostępne są dziś technologie pomiarowe do monitorowania wytrzymałości powierzchni i tendencji do anizotropii.

7.1.8 Jakość optyczna

W procesie produkcyjnym szkło hartowane ESG jest transportowane po rolkach, więc miejscowo mogą wystąpić lekkie zmiany powierzchniowe. Taka falistość, określana jako „falistość od wałków” („roller waves”), jest uwarunkowana fizycznie oraz technologicznie i nie da się jej zapobiec.

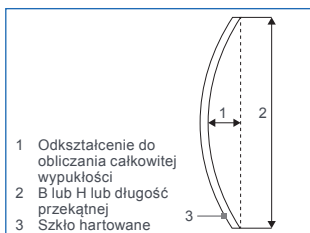
Nowoczesne linie hartowania mogą jednak zminimalizować ten efekt. Oscylacja na rolkach może w wyjątkowych przypadkach spowodować również występowanie punkcików na powierzchni szkła, zwanych wżerami, które mogą być dostrzegalne w niesprzyjających warunkach świetlnych.

Europejska norma dotycząca szkła hartowanego PN-EN 12150-1 opisuje szczegółowe wymagania dotyczące zniekształceń optycznych:

Wypukłość całkowita:

Wywołane naprężenia mogą spowodować wystąpienie lekkiego łuku.

Maksymalna dopuszczalna całkowita wypukłość $\leq 3,0 \text{ mm/m}$ (0,3 % zmierzonej odległości)

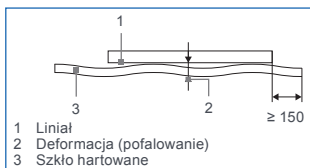




Falistość od wałków:

Gorące szkło przechodzące poziomo przez piec hartowniczy może delikatnie się zniekształcić z uwagi na kontakt z rolkami. Powodem tego jest mięknięcie szkła pod koniec procesu nagrzewania.

Maksymalna dopuszczalna tolerancja $\leq 0,3$ mm na dystansie 300 mm.

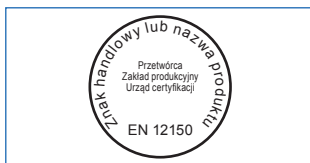


7.1.9 Kondensacja na szkłe hartowanym

Poziom zwilżalności powierzchni szkła hartowanego może się różnić w zależności od wcześniej stosowanych rolek, ssawek czy środków polerskich. Jeśli później na szkłe hartowanym zachodzi kondensacja, ta różnorodna zwilżalność w obrębie jednej powierzchni szkła może się uwidocznąć, ale nie stanowi to wady.

7.1.10 Oznakowanie

Każda szyba ze szkła hartowanego musi być jednoznacznie i trwale oznakowana zgodnie z normą PN-EN 12150.

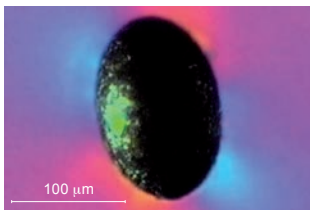


Oznakowanie szkła hartowanego

7.2 Szkło hartowane wygrzewane termicznie – ESG-H

W bazowym szkłe float znajdują się niezwykle małe ilości kryształów siarczku niklu wprowadzane do pieca wraz z mieszką surowców. W normalnie „odprężonym” szkłe float i szkłe ornamentowym nie wywołują one żadnego niepożądanego skutku.

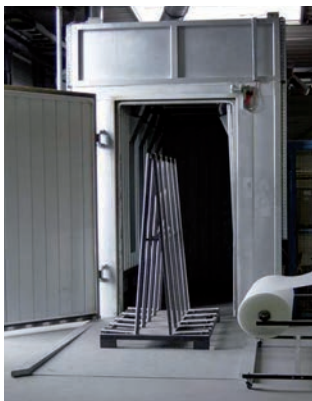
Podczas produkcji szkła hartowanego w wyniku szybszego schłodzenia tafli szkła dochodzi do „zamrożenia” cząsteczek siarczku niklu w skryalizowanej formie wysokotemperaturowej. Przy późniejszym oddziaływaniu ciepła, przykładowo w wyniku absorpcji energii słonecznej, struktura kryształów może się zmieniać, zwiększając objętość i doprowadzić do nagłego pęknięcia szyby w chwili, gdy cząsteczki przekroczą krytyczną wielkość.



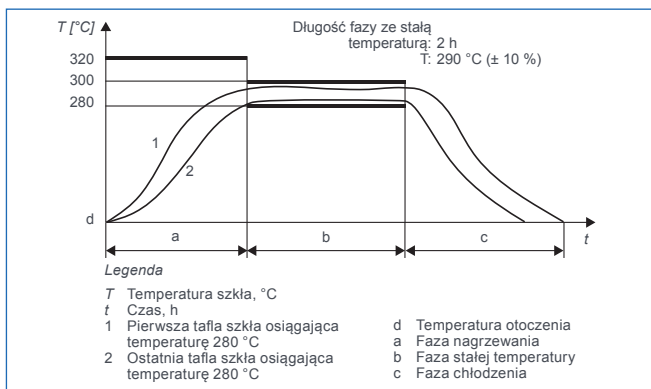
Cząsteczka siarczku niklu w szkłe float

Z tego powodu szyby i przeszklenia bezpieczne, które mogą być wystawione na działanie wysokich temperatur, np. przeszklenia fasadowe, są po wyprodukowaniu poddane testowi wygrzewania tzw. Heat Soak Test (HST).

Test przeprowadzany jest zgodnie z normą PN-EN 14179 i powinien być udokumentowany. Jego celem jest wykrycie w zahartowanym szkłe wtrąceń siarczku niklu (NiS) o krytycznym dla niego znaczeniu. Proces ten polega na umieszczeniu zahartowanego szkła wewnątrz specjalnej komory na okres około dwóch godzin i podnoszeniu temperatury szkła do ok. $290\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\%$ w celu przyspieszenia procesu przemiany fazowej siarczku niklu. W ten sposób szkło zawierające wtrącenia siarczku niklu pęka w komorze wygrzewania, zmniejszając ryzyko ewentualnego pęknięcia po zamontowaniu na fasadzie budynku.



Piec do testów wygrzewania



Proces jest nadzorowany wewnątrz i zewnątrz, i musi zostać trwale udokumentowany dla każdej dostarczonej szyby. Ponadto szyby należy oznakować w widoczny sposób, niezależnie od standardowego oznakowania szkła hartowanego.



Identyfikacja szkła hartowanego wygrzewanego termicznie



7.3 Szkło wzmocnione termicznie (póhartowane)

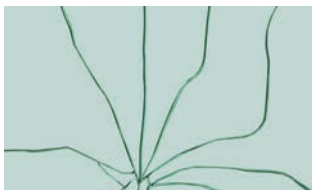
7.3.1 Produkcja

Proces produkcji szkła póhartowanego przebiega podobnie do procesu produkcji szkła hartowanego ESG. Różnią się one jedynie szybkością schładzania szkła, które w przypadku szkła póhartowanego przebiega wolniej. Dzięki temu różnice naprężeń w szkłe są mniejsze. Szkło póhartowane pod względem swoich właściwości plasuje się pomiędzy szkłem float, a szkłem hartowanym. Odzwierciedla się to także w wartościach wytrzymałości na różnice temperatur oraz wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu.

Wolniejsze chłodzenie podczas procesu produkcyjnego znacznie zmniejsza potencjalne ryzyko spontanicznego pęknięcia szkła spowodowanego przez wtrącenia NiS.

7.3.2 Wzór spękania szkła

Obraz pęknięcia przypomina pęknięcie szyby ze szkła float. Rysy pęknięcia rozchodzą się promieniście od miejsca uderzenia do krawędzi szyby.



Wzór spękania szyby wzmocnionej termicznie

Zazwyczaj występowanie „wysp” (większe fragmenty) oraz „cząstek” (małe fragmenty) może być zminimalizowane poprzez odpowiednie dostosowanie parametrów procesu w celu zapewnienia, że po rozbiciu szkło pozostanie w ramie.

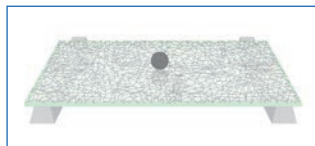
Procedura testu i ograniczenia związane z „wyspami” i „cząstkami” są zdefiniowane w PN-EN 1863-1.

Ważna informacja: monolityczne szkło póhartowane nie jest szkłem bezpiecznym!

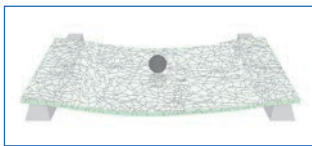
7.3.3 Nośność szczątkowa jako składowa szkła laminowanego

Z uwagi na charakterystykę pęknięcia szkła póhartowanego, która różni się od szkła hartowanego, tafla bezpiecznego szkła laminowanego póhartowanego ma doskonałą nośność szczątkową.

W przypadku uszkodzenia nawet obu tafli póhartowanego szkła laminowanego bezpiecznego, dochodzi do niewielkiego ugięcia szyby, w przeciwieństwie do ugięcia laminowanego szkła bezpiecznego wykonanego ze szkła hartowanego. Z tego powodu szkło wzmacniane termicznie coraz częściej zastępuje szkło hartowane w szkłe laminowanym, gdy wymagana jest zwiększona wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu i na działanie zmiennych temperatur.



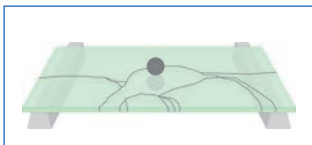
Laminowane szkło bezpieczne składające się z 2 hartowanych szyb - górna tafła uszkodzona



Laminowane szkło bezpieczne składające się z 2 hartowanych szyb - obie tafle uszkodzone



Laminowane szkło bezpieczne składające się z 2 półhartowanych szyb - górna tafła uszkodzona



Laminowane szkło bezpieczne składające się z 2 półhartowanych szyb - obie tafle uszkodzone

7.3.4 Rozciąganie przy zginaniu

- Szkło półhartowane wykonane na bazie szkła odprężonego float
 $\sigma = 70 \text{ MPa}$
- Szkło półhartowane wykonane na bazie szkła szkła ornamentownego
 $\sigma = 55 \text{ MPa}$
- Szkło półhartowane wykonane na bazie szkła szkła emaliowanego, emaliowana strona poddawana rozciąganiu
 $\sigma = 45 \text{ MPa}$

7.3.5 Wytrzymałość na różnicę temperatur

Wytrzymałość szkła półhartowanego na różnicę temperatur (ΔT) w obrębie jednej tafli szkła wynosi 100 K (odprężone szkło float: 40 K). Dzięki temu szkło wzmacniane termicznie nadaje się do każdego zastosowania, w którym występuje podwyższone ryzyko pęknięcia z uwagi na naprężenia termiczne (→ Rozdział 9.8.1).

7.4 Szkło laminowane bezpieczne

Od chwili wynalezienia w 1909 roku, na skutek ciągłej optymalizacji, szkło laminowane bezpieczne jest wyznacznikiem nowoczesnej architektury. Trwałe połączenie dwóch lub więcej pojedynczych szyb z pomocą elastycznej i bardzo odpornej na zerwanie folii z poliwinylbutyralu (PVB) przekształca szkło w wielofunkcyjny element, który poza swoją określoną przejrzystością potrafi także wytrzymać wysokie obciążenia statyczne i przejąć zadania konstrukcyjne. W szkło laminowane bezpieczne można przy tym przerobić wszystkie możliwe szkła płaskie, zarówno zwykłe szkło float, jak i szkło ornamentowe o płaskiej strukturze, szkło powlekane czy z nadrukiem.



Parametr bezpieczeństwa szkła laminowanego oparty jest na niezwykle wysokiej wytrzymałości na rozrywanie warstwy środkowej wykonanej z PVB oraz jej doskonałej przyczepności do sąsiadujących z nią powierzchni szkła. W razie mechanicznego przeciążenia w wyniku pchnięcia, uderzenia lub oddziaływania innych sił, szkło co prawda pęka, jednak jego fragmenty trzymają się warstwy PVB w taki sposób, że z reguły nie narusza to stateczności przeszklenia.

Przeszkłony otwór pozostaje w ten sposób zamknięty, a ryzyko odniesienia obrażeń zostaje bardzo mocno zminimalizowane ze względu na przyczepność odłamków szkła. Zależnie od planowanego zastosowania szkła laminowanego w procesie produkcyjnym między taflami szkła umieszcza się odpowiednią do spełnienia wymaganych klas bezpieczeństwa ilość warstw folii PVB.

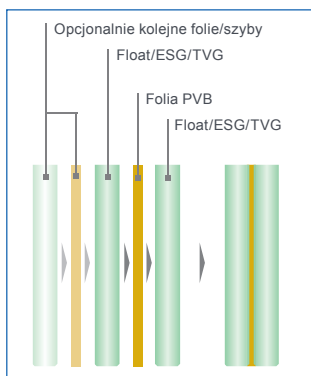
Najczęściej stosowaną folią jest PVB (poliwinylobutyral). Jest wytwarzany przy użyciu 3-etapowej reakcji chemicznej, w której wszystkie pośrednie produkty reakcji są obecne na końcowej folii PVB. W szczególności grupy OH- alkoholu poliwinylowego są niezbędne, aby umożliwić wiązanie z powierzchnią szkła typu float za pomocą mostków H+. Dzięki ilości alkoholu PV producent PVB może dostosować wiązanie między warstwą PVB a szkłem. Ma to zasadnicze znaczenie dla zachowania się końcowego produktu ze szkła laminowanego w przypadku pęknięcia. Dodatkowe plastyfikatory wpływają na sztywność, a tym samym na właściwości mechaniczne i akustyczne.

Inne typy folii wykonane są z materiałów jonoplastycznych oraz EVA (poli(etylen-co-octan winylu)).

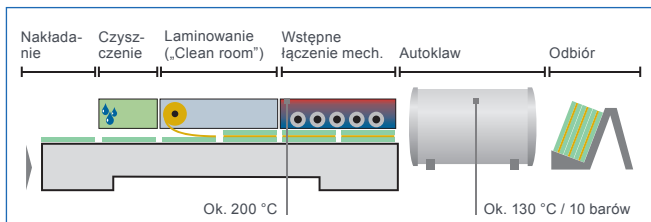
7.4.1 Produkcja

Szkło laminowane bezpieczne produkowane jest zgodnie z normą PN-EN 14449. Dwie lub więcej czystych tafli szkła składanych jest ze sobą, a pomiędzy nimi umieszcza na jest wytrzymała warstwa folii wewnętrznej PVB. Następnie taki „sandwich” zostaje wstępnie podgrzany w temperaturze ok. 200 °C i sprasowany metodą walcowania. Mówi się przy tym o wstępnym zgrzewaniu mechanicznym.

Powstałe w taki sposób półprzezroczyste pakiety szkła z folią ustawione na stojaku, wprowadza się do autoklawu, agregatu grzewczego pod wysokim ciśnieniem, w którym pod ciśnieniem około 10 barów i w temperaturze 130 °C w zdefiniowanym czasie z półprzezroczystego wstępnego laminatu powstaje całkowicie przezroczyste szkło laminowane bezpieczne.



Budowa szyby laminowanej



Proces produkcji szkła laminowanego (schemat)



Produkcja szkła laminowanego – „clean room”

7.4.2 Właściwości z zakresu fizyki budowli

Wytrzymałość na ściskanie, przewodnictwo ciepłe, rozszerzalność termiczna, moduł sprężystości podłużnej (moduł Younga) oraz ciężar powierzchniowy i właściwości chemiczne są podobne do parametrów pojedynczych szkieł bazowych. Także przepuszczalność światła wynika z wartości przetworzonych szkieł bazowych oraz folii PVB. W zależności od grubości szkła laminowanego wynosi ona między 70 % a 90 %.

Optymalizować można zarówno przepuszczalność światła, jak i wskaźnik oddawania barw – przede wszystkim w przypadku grubszych struktur z zastosowaniem większej liczby tafli szkła i warstw folii – poprzez zastosowanie szkła float ExtraClear®, a przede wszystkim szkła float UltraClear™.



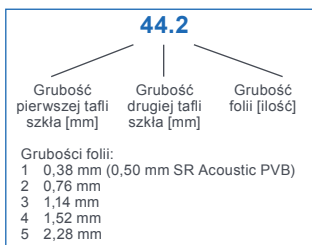
7.4.3 Nomenklatura szkła laminowanego

Nomenklatura szkła laminowanego opisuje jego budowę podając ilość i grubość użytych tafli szkła oraz grubość folii.

Przykład:

Guardian Glass szkło laminowane
44.2

Informacje takie jak „SR” (sound reduction) dla folii akustycznej (np. 44.2 SR) podają dodatkowe właściwości.



7.4.4 Bezpieczne aspekty szkła laminowanego

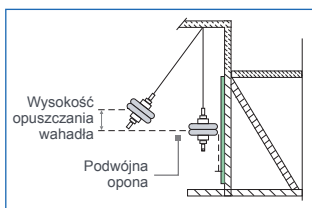
7.4.4.1 Ochrona przed zranieniem/badanie wahadłem (PN-EN 12600) – bezpieczeństwo pasywne

Aby zasymulować uderzenie ciałem ludzkim, norma europejska opisuje test wahadła dla szkła do budynków. Spełnienie tych wymagań jest warunkiem dla bezpiecznego szkła laminowanego.

Klasyfikacja	Wysokość opuszczania wahadła [mm]
3	190
2	450
1	1200

Klasyfikacja według pęknięcia szkła: α (β) φ

- α : Największa wysokość opuszczania wahadła - brak pęknięcia lub pęknięcie według punktu 4a lub 4b „Wymagania testowe”
- β : Typy spekania (A = typowe dla odprężonego szkła float, B = typowe dla szkła laminowanego, C = typowe dla szkła hartowanego)



φ : Największa wysokość opuszczania wahadła - brak pęknięcia lub pęknięcie według punktu 4a „Wymagania testowe”

Najwyższa klasyfikacja: 1(B)1 → dla szkła laminowanego 33.2 lub 55.1 lub grubszego

Szklą przebadane zgodnie z PN-EN 12600 są wymienione w rozdziale 10.6 tabela 22.

7.4.4.2 Szyby „antywłamaniowe” (PN-EN 356) – aktywne bezpieczeństwo

7.4.4.2.1 Badanie spadającą kulą

Przeszklenia opóźniające włamanie są badane przy pomocy stalowej kuli o wadze 4,11 kg i średnicy dziesięciu centymetrów. W celu zróżnicowania klas wytrzymałości kula ta jest zrzucana kilkakrotnie z różnych wysokości na określone miejsca na badanej próbce. Wynika z tego następująca specyfikacja:



Klasa wytrzymałości według PN-EN 356	Wysokość (liczba uderzeń kulą) [mm]	Odpowiednie szkło laminowane
P1 A	1 500 (3)	66.1, 44.1 SR, ...
P2 A	3 000 (3)	33.2, 33.2 SR, 44.2, 44.2 SR, 66.2, 66.2 SR, ...
P3 A	6 000 (3)	44.3, ...
P4 A	9 000 (3)	33.4, 44.4, 44.4 SR, 66.4, 66.4 SR, ...
P5 A	9 000 (9)	44.6, 44.6 SR, 55.6, 66.6, ...

Lista odpowiednich budów szkła laminowanego pokazuje, że sama grubość warstwy pośredniej określa poziom bezpieczeństwa oszklenia.

Testowane szyby zgodnie z PN-EN 356 (spadek kuli) wymieniono w rozdziale 10.6, tabela 23.

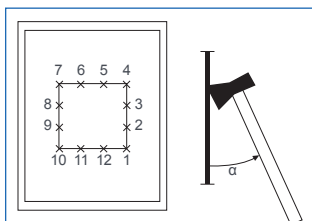
7.4.4.2.2 Uderzenie siekierą

Inną metodę testową stosuje się dla wyższych klas w celu spełnienia rosnących wymagań w zakresie bezpieczeństwa i ograniczenia możliwości włamania. W zależności od klasy odporności, szkło testowe powinno wytrzymać określoną liczbę uderzeń w tym samym miejscu mechanicznie napędzaną siekierą o masie 2 kg. Po osiągnięciu określonej liczby uderzeń maksymalny dozwolony rozmiar otworów wynosi $\leq 400 \times 400$ mm.





Klasa wytrzymałości według PN-EN 356	Liczba uderzeń siekierą	Odpowiednie szkło laminowane
P6 B	30	44.8, 66.8
P7 B	51	Szkła laminowane z wieloma foliami
P8 B	70	



Testowane szyby zgodnie z PN-EN 356 (test siekiery) wymieniono w rozdziale 10.6, tabela 24.

7.4.4.3 Szyby kuloodporne (PN-EN 1063) – aktywne bezpieczeństwo

Bezpieczeństwo ludzi i dóbr materialnych względem bezpośredniego ostrzału z broni różnego kalibru z różnych odległości reguluje norma PN-EN 1063. Do każdej badanej szyby strzela się w warunkach temperatury pokojowej trzykrotnie w określonym układzie trafień. Kula nie może przebić szkła. Przy zastosowaniu takiego rodzaju przeszkleń, dla których w przypadku ataku ludzie mogą znaleźć się bezpośrednio za przeszkleniem, dodatkowo rozróżnia się szkło „bezodpryskowe” (NS) oraz „odpryskowe” (S).



Kaliber	Typ pocisku		Waga [g]	Klasa ostrzału		Odległość wystrzału [m]	Prędkość [m/s]
				Odpryskowe	Nieodpryskowe		
.22 LR	L/RN	Pocisk zaokrąglony z ołowiu	2.6 ± 0.10	BR1-S	BR1-NS	10	360 ± 10
9 mm x 19	VMR/Wk	Pocisk pełnopłaszczowy z grotem spłaszczonym z miękkim rdzeniem	8.0 ± 0.10	BR2-S	BR2-NS	5	400 ± 10
.357 Magn.	VMKS/Wk	Pocisk pełnopłaszczowy z grotem stożkowym z miękkim rdzeniem	10.25 ± 0.10	BR3-S	BR3-NS	5	430 ± 10
.44 Magn.	VMF/Wk	Pocisk pełnopłaszczowy z grotem spłaszczonym z miękkim rdzeniem	15.55 ± 0.10	BR4-S	BR4-NS	5	440 ± 10

Kaliber	Typ pocisku		Waga [g]	Klasa ostrzału		Odległość wyrzutu [m]	Prędkość [m/s]
				Odpryskowe	Nieodpryskowe		
5.56 x 45	FJ/PB/SCP 1	Pocisk pełnopłaszczowy z grotem stożkowym z miękkim rdzeniem z wkładką stalową	4.0 ± 0.10	BR5-S	BR5-NS	10	950 ± 10
7.62 x 51	VMS/Wk	Pocisk pełnopłaszczowy z grotem spiczastym z miękkim rdzeniem	9.45 ± 0.10	BR6-S	BR6-NS	10	830 ± 10
7.62 x 51	VMS/Hk	Pocisk pełnopłaszczowy z grotem spiczastym z twardym rdzeniem	9.75 ± 0.10	BR7-S	BR7-NS	10	820 ± 10
Shotgun 12/70*	Brenneke		31.0 ± 0.50	SG1-S*	SG1-NS*	10	420 ± 20
Shotgun 12/70	Brenneke		31.0 ± 0.50	SG2-S	SG2-NS	10	420 ± 20

* Badanie na podstawie pojedynczego strzału

Wszystkie oferowane do takich zastosowań typy szkła laminowanego posiadają budowę wielowarstwową i asymetryczną, a więc również zapewniają też doskonały efekt „antyłamaniowy”.

Testowane szyby zgodnie z PN-EN 1063 (kuloodporne) są wymienione w rozdziale 10.6, tabela 25.

7.4.4.4 Szyby odporne na eksplozję (PN-EN 13541) – aktywne bezpieczeństwo

Ten wymóg europejski dla szkła w budownictwie wyznacza kwalifikację oraz warunki badania dla przeszkleń bezpiecznych tłumiących siłę eksplozji. Klasyfikacja obowiązuje tylko dla badanej próbki o wymiarze około 1 m². Również w tym przypadku sklasyfikowane typy szkła zapewniają jednocześnie doskonały efekt „antyłamaniowy”.

Klasyfikacja	Właściwości płaskiej fali uderzeniowej Minimalne wartości		
	Maks. ciśnienia odbitej fali uderzeniowej (Pr) [kPa]	Poz. impulsu jednostkowego (i+) [kPa x ms]	Okres poz. fazy uderzenia (t+) [ms]
ER 1	50 ≤ Pr < 100	370 ≤ i+ < 900	≥ 20
ER 2	100 ≤ Pr < 150	900 ≤ i+ < 1500	≥ 20
ER 3	150 ≤ Pr < 200	1500 ≤ i+ < 1500	≥ 20
ER 4	200 ≤ Pr < 250	2200 ≤ i+ < 3200	≥ 20

Według PN-EN 13 541

Testowane szyby zgodnie z PN-EN 13541 (odporne na wybuch) wymieniono w rozdziale 10.6, tabela 26.



7.5 Bezpieczeństwo poprzez szkło

7.5.1 Szkło chroniące przed wypadnięciem

Zastosowanie elementów ze szkła w strefach zagrożonych wypadnięciem wiąże się z koniecznością wypełnienia konkretnych parametrów. W przypadku takich zastosowań chodzi o elementy szklane od prostych balustrad i ogrodzeń, aż po przeszklenia na całej wysokości pomieszczenia, które są instalowane na wysokości ponad jednego metra od podłoża. W Niemczech obowiązuje norma DIN 18008, część 4. Bazuje ona na standardach ujednoliconych w całej Europie, które w przyszłości będą obowiązywać we wszystkich krajach UE. Te ustawowe przepisy regulują szczegółowo rodzaj szkła i jego strukturę w zależności od obszaru zastosowania. Dopuszczalne są przeszklenia odbiegające od tych uregulowań, należy je jednak poddać indywidualnemu badaniu i podlegają one urzędowemu dopuszczeniu (→ Rozdział 7.6).

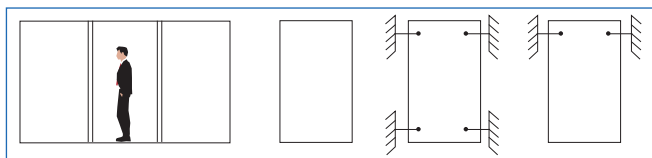
Zgodnie z DIN 18008-4, w zależności od rodzaju konstrukcji, szklenie chroniące przed wypadnięciem dzieli się na kilka kategorii (A, B i C).

Główne wymagania są następujące:

- Konfiguracja laminatu zależy od kategorii szklenia.
- Przeszklenia o różnych budowach i wymiarach wymagają przeprowadzenia testów w celu zweryfikowania odporności na uderzenie (przetestowane szklenie wymieniono w tabeli B.1 w DIN 18008) – patrz rozdział 7.5.1.4.
- Ogólna zasada dla szkła laminowanego: grubości tafli jednego laminatu nie mogą się od siebie różnić o więcej niż 1,7 (np.: 4 mm + 6 mm, 5 mm + 8 mm, 6 mm + 10 mm itp.).

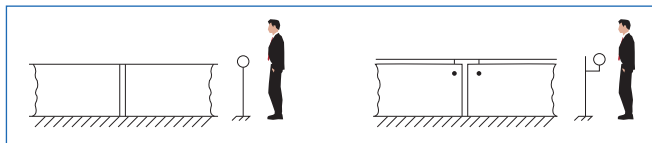
7.5.1.1 Szklenia na całej wysokości pomieszczenia bez dodatkowego zabezpieczenia np. poziomą belką (kategoria A)

- Pojedyncze szkło musi się składać z laminowanego szkła bezpiecznego.
- W szybie zespolonej szkło od strony uderzenia powinno składać się z laminowanego szkła bezpiecznego, hartowanego szkła lub laminowanego hartowanego szkła.
- Co najmniej jedna tafla zespolenia musi być szkłem laminowanym bezpiecznym.
- W podwójnym zespoleniu, szkło odprężone float może być usytuowane za szkłem hartownym, znajdującym się od strony uderzenia, jeśli hartowane szkło nie pęknie podczas testu wahadłem.



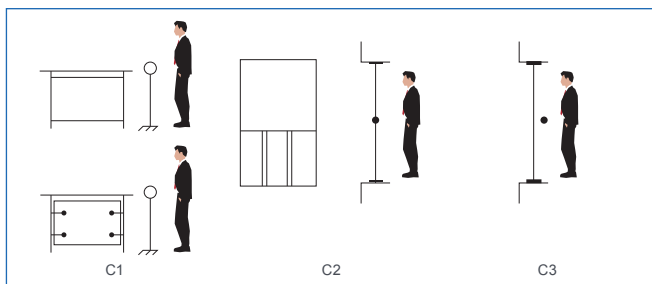
7.5.1.2 Balustrady liniowo zamocowane na dolnej krawędzi (kategoria B)

- Poszczególne tafle szkła połączone są ze sobą za pomocą poręczy.
- Poręcz może być umieszczona na górnej krawędzi lub zamocowana za pomocą pochwyty (podpora punktowa) zgodnie z DIN 18008-3.
- W przypadku awarii, obciążenie zostaje przekazane sąsiadującej tafli.
- Tylko laminowane szkło bezpieczne może być użyte.



7.5.1.3 Balustrady z elementem konstrukcyjnym transferującym obciążenie (kategoria C)

- Wypełnianie poniżej lub za elementem konstrukcyjnym.
- Wszystkie szyby podparte liniowo kategorii C1 i C2 mogą składać się z monolitycznego szkła hartowanego - we wszystkich innych przypadkach laminowane szkło bezpieczne jest obowiązkowe.
- Zespolenia kategorii C1 i C2: dla strony uderzenia reguły takie same jak dla kategorii A, pozostałe szyby zgodnie z DIN 18008 część 2 (reguły dla szklenia podpartego liniowo) i część 3 (przeszklenie podparte punktowo).
- Kategorię C3 należy traktować jak kategorię A biorąc pod uwagę dozwolone rodzaje szkła.





7.5.1.4 Szklenie zamocowane liniowo z przebadaną wytrzymałością na uderzenie

Konfiguracje szkła wymienione poniżej mogą być zastosowane bez przeprowadzania dodatkowych testów. W przypadku podwójnego zespolenia można zastosować dodatkowe szklenie hartowane lub hartowane wygrzewane termicznie w budowach szklenia przedstawionych w wierszach 1, 2, 3, 4, 7, 8, 20 i 28.

Kategoria	Typ	Podparcie liniowe	Szerokość [mm]		Wysokość [mm]		Budowa szklenia - od strony uderzenia	Rząd
			min.	maks.	min.	maks.		
A	Szyba zespolona	Wszystkie strony	500	1300	1000	2500	8 hartowane+4 float/0,76 PVB/4 float	1
			1000	2000	500	1300	8 hartowane+4 float/0,76 PVB/4 float	2
			900	2000	1000	3000	8 hartowane+5 float/0,76 PVB/5 float	3
			1000	2500	900	2000	8 hartowane+5 float/0,76 PVB/5 float	4
			1100	1500	2100	2500	5 float/0,76 PVB/5 float+8hartowane	5
			2100	2500	1100	1500	5 float/0,76 PVB/5 float+8hartowane	6
			900	2500	1000	4000	8 hartowane+6 float/0,76 PVB/6 float	7
			1000	4000	900	2500	8 hartowane+6 float/0,76 PVB/6 float	8
			300	500	1000	4000	4 hartowane+4 float/0,76 PVB/4 float	9
			300	500	1000	4000	4 float/0,76PVB/4 float+4hartowane	10
	Szyba monolityczna	Wszystkie strony	500	1200	1000	2000	6 float/0,76 PVB/6 float	11
			500	2000	1000	1200	6 float/0,76 PVB/6 float	12
			500	1500	1000	2500	8 float/0,76 PVB/8 float	13
			500	2500	1000	1500	8 float/0,76 PVB/8 float	14
			1000	2100	1000	3000	10 float/0,76 PVB/10 float	15
			1000	3000	1000	2100	10 float/0,76 PVB/10 float	16
			300	500	500	3000	6 float/0,76 PVB/6 float	17
C1 i C2	Szyba zespolona	Wszystkie strony	500	2000	500	1100	6 hartowane+4 float/0,76 PVB/4 float	18
			500	1500	500	1100	4 hartowane+4 float/0,76 PVB/4 float	19
		2 strony - podparcie górą i dołem	1000	bel.	500	1100	6 hartowane+5 float/0,76 PVB/5 float	20
	Szyba monolityczna	Wszystkie strony	500	2000	500	1100	5 float/0,76 PVB/5 float	21
		2 strony - podparcie górą i dołem	1000	bel.	500	800	6 float/0,76 PVB/6 float	22
			800	bel.	500	1100	5 hartowane/0,76 PVB/5 hartowane	23
			800	bel.	500	1100	8 float/1,52 PVB/8 float	24
		2 strony - podparcie boków	500	800	1100	1100	6 float/0,76 PVB/6 float	25
			500	1100	800	1100	6 hartowane/0,76 PVB/6 hartowane	26
			500	1100	800	1100	8 float/1,52 PVB/8 float	27

Kategoria	Typ	Podparcie liniowe	Szerokość [mm]		Wysokość [mm]		Budowa szklenia - od strony uderzenia	Rząd
			min.	maks.	min.	maks.		
C3	Szyba zespolona	Wszystkie strony	500	1500	1000	3000	6 hartowane+4 float/0,76 PVB/4 float	28
			500	1300	1000	3000	4 float/0,76 PVB/4 float+12 hartowane	29
	Szyba monolityczna	Wszystkie strony	500	1500	1000	3000	5 float/0,76 PVB/5 float	30

Tabela B1 (DIN 18008-4): konfiguracje szklenia odporne na uderzenie

7.5.2 Szklenie nad głową

Każde zastosowanie szkła, które odchyła się o $\pm 10^\circ$ od pionu, uważane jest za przeszklenie nad głową. W przypadku takich przeszkleń poza zazwyczaj działającymi siłami wiatru i obciążeniami klimatycznymi dochodzi jeszcze obciążenie śniegiem i ciężarem własnym. W związku z tym, do takich szkiele należy podchodzić inaczej niż do szkiele zamontowanych w pionie. Ważne jest by, w przypadku usterki przeszklecia, nie spadały żadne odpryski czy fragmenty szkiele. Aktualnie, norma DIN 18008, część 2 reguluje wymagania dotyczące zastosowania takich szkiele w Niemczech. Jest to co prawda norma krajowa, bazująca jednak na standardach europejskich, które z czasem powinny być stosowane we wszystkich krajach UE.

Zasadniczo w przypadku przeszkleń nad głową dopuszcza się stosowanie jako dolnej szyby w szybie zespolonej lub w przypadku przeszklecia monolitycznego wyłącznie szkiele laminowanego bezpiecznego z minimalną grubością folii wynoszącą 0,76 mm. Wymogi statyczne mogą naturalnie stawiać materiałom jeszcze wyższe wymagania.

7.5.3 Przeszklenia, po których można chodzić

Szklenia te są wystawiane na regularny ruch ludzi. Typowe obciążenia dla takiego zastosowania to obciążenia od ciężaru człowieka. Wymagania dotyczące projektowania określone są w 5 części normy DIN 18008.

Typowe zastosowania to: schody, platformy, szklane mosty lub przeszklecia ekspozycji.

Dopuszczalne typy szkiele o sprawdzonej wytrzymałości na uderzenie pokazano w tabeli B.1 (DIN 18008 część 5).

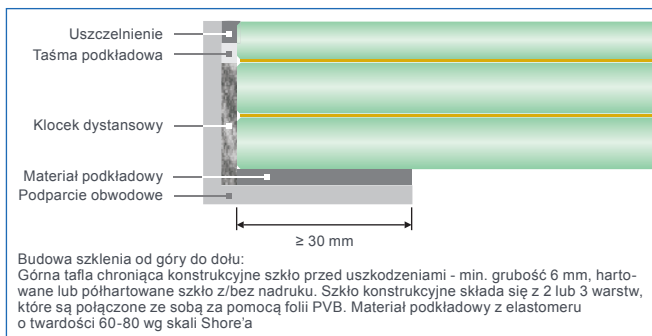


Długość maks. [mm]	Szerokość maks. [mm]	Budowa szkła laminowanego ^a	Min. podparcie [mm]
1500	400	8 HSG ^c /1,52 PVB/10 FG ^b /1,52 PVB/10 FG ^b	30
1500	750	8 HSG ^c /1,52 PVB/12 FG ^b /1,52 PVB/10 FG ^b	30
1250	1250	8 HSG ^c /1,52 PVB/10 HSG ^c /1,52 PVB/10 HSG ^c	35
1500	1500	8 HSG ^c /1,52 PVB/12 HSG ^c /1,52 PVB/12 HSG ^c	35
2000	1400	8 HSG ^c /1,52 PVB/15 FG ^b /1,52 PVB/10 FG ^b	35
^a Od góry ^b Szkło float ^c Szkło wzmocnione termicznie			

Tabela B1 (DIN 18008-5): szklenie podparte liniowo na wszystkich krawędziach, regularnie dostępne dla ruchu pieszego o sprawdzonej odporności na uderzenie oraz nośności resztkowej

Główne wymagania dotyczące projektu poziomego szklenia:

- Powierzchnia górnego szkła musi posiadać powłokę antypoślizgową.
- Szkło takie musi być utwardzone w podporze (brak możliwości poślizgu lub podniesienia).
- Budowa szklenia: szkło laminowane co najmniej trójwarstwowe.
- Maksymalne obciążenie od człowieka podczas typowego użytkowania: 5 kN/m² (obciążenie pionowe).
- Sztywność na zginanie podkonstrukcji.
- Materiał podkładowy z elastomeru o twardości 60 - 80 wg skali Shore'a.
- Podpory szerokości co najmniej 30 mm.



7.5.4 Przeszklenia, na które można wejść w celach konserwacyjnych

Są to przeszklenia przeznaczone do krótkotrwałego dostępu specjalnie przeszkolonego personelu w celach konserwacyjnych. Wymagania są zdefiniowane w DIN 18008 część 6 i zwykle mają zastosowanie do konstrukcji podpartych liniowo i punktowo.

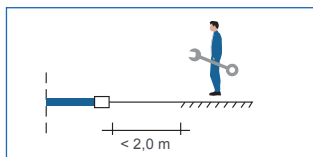
Konstrukcja przeszklenia powinna:

- Zapobiegać wypadnięciu ludzi przez nienaruszone szyby.
- Zapobiegać wypadnięciu ludzi przez uszkodzone szyby.
- Zapewnić bezpieczeństwo osób znajdujących się poniżej uszkodzonych szyb.

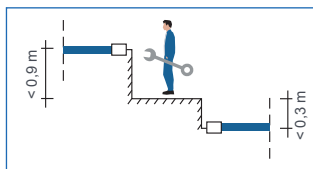
Wymagania rozróżniają szklenie, po których można chodzić lub nie, ale ze względu na pochyłość konieczne jest zabezpieczenie przed wypadnięciem.

Przeszklenie pionowe lub pochylone na tym samym poziomie co platforma robocza lub droga ruchu musi uwzględniać ochronę przed wypadnięciem. Należy wziąć pod uwagę następujące scenariusze:

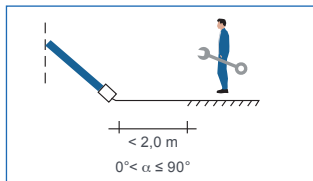
- Odległość do szklenia $< 2\text{ m}$



- Szklenie na różnych poziomach:
 $< 0,9\text{ m}$ powyżej poziomu oraz
do $0,3\text{ m}$ poniżej poziomu



- Szklenie pochyle



Zatwierdzone typy szyb (o charakterystyce przeszklenia poziomego zgodnie z DIN 18008 część 2) to:

- Laminowane szkło bezpieczne składające się wyłącznie ze szkła pękającego na duże kawałki (szkło float lub szkło wzmacniane termicznie).
- Zbrojone szkło nie jest uważane za szkło chroniące przed wypadnięciem!
- Górna szyba szkła izolacyjnego (strona uderzenia) musi być bezpieczna w przypadku stłuczenia (tylko szkło laminowane bezpieczne lub szkło całkowicie hartowane).

W obliczeniach statycznych należy uwzględnić obciążenie punktowe o masie 150 kg rozłożone na obszarze o wymiarach $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ($= 1,5\text{ kN} / \text{m}^2$) pośrodku szyby.



7.5.5 Nośność szczątkowa

Stabilność reszkowa odnosi się do właściwości zainstalowanego elementu szklanego, który pozostaje w nienaruszonym stanie przez określony, ograniczony czas bez wywierania żadnego nacisku. Dotyczy to wyłącznie przeszkleń pionowych. W przypadku przeszkleń montowanego nad głową wymagana jest nośność szczątkowa, ponieważ w razie usterki szyba musi udźwignąć ciężar własny w zdefiniowanym czasie. Wymagania i sytuacje związane z montażem zawsze wyznaczają rodzaj zastosowanego przeszkleń, dlatego poniższe tabele (→ Rozdział 7.6) powinny umożliwić szerokie spojrzenie na kwestie możliwych zastosowań szkła.

7.6 Zalecenia dla określonych zastosowań szkła

Szczegółowe wymagania dotyczące struktury i wymiarowania szkła wynikają z poszczególnych zbiorów zasad i nie są tu szczegółowo przytaczane. Jeśli występują dodatkowe wymagania, na przykład z zakresu ochrony przeciwpożarowej lub wymagania specyficzne dla danego obiektu, to należy ich również przestrzegać.

Opierając się na wiedzy praktycznej, poniższe zalecenia mogą częściowo wykraczać poza wymagania ustawowe.

Legenda poniższych tabeli:

Kolor	Objaśnienie
	Minimalny wymagany rodzaj szkła
	Zalecany rodzaj szkła
	Alternatywny rodzaj szkła
	Niedopuszczalny rodzaj szkła

Kolory

Skrót	Objaśnienie
EG	Szkło pojedyncze
MIG	Szyby zespolone wieloszybowe
abZ	Ogólne dopuszczenie nadzoru budowlanego
ZiE	Zgoda indywidualna
TG	Szkło hartowane
TG-H	Szkło hartowane wygrzewane termicznie
HSG	Szkło wzmacniane termicznie
LSG	Szkło laminowane bezpieczne

Użyte skróty

7.6.1 Przeszklenia pionowe bez ochrony przed wypadnięciem osób

Zastosowanie	Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
				Float	TG ²	HSG	
Okno powyżej wysokości balustrady 							
Witryna 							Ze względu na brak odpowiednich przepisów zaleca się minimalną grubość szkła laminowanego 12 mm. Poprawka do normy DIN 18008-1: swobodnie dostępne przeszklenia pionowe do 0,8 m muszą zawierać szkło odporne na pękanie od strony uderzenia.
Przeszklenie na równi z podłogą ³ 							Np. drzwi balkonowe, drzwi wejściowe (przeszklenia antywłamaniowe patrz rozdział „Specjalne szkło bezpieczne”). Poprawka do normy DIN 18008-1: swobodnie dostępne pionowe przeszklenia do 0,8 m muszą zawierać szkło z zachowaniem bezpiecznej odporności na pękanie po stronie uderzenia.
Ekran akustyczny 							DIN 18008-2, ZTV-Lsw 06 Monolityczne szkło wzmacniane termicznie musi być podparte na 4 krawędziach.
Drzwi szklane 							Zasady BG „Placówki handlowe (BGR 202) lub ArbStättV mit ASR 10/5.
Okładzina ścian zewnętrznych 							DIN 18516-4 Zastosowanie szkła laminowanego tylko z abZ lub ZIE



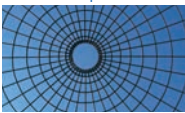
Zastosowanie		Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
					Float	TG ²	HSG	
Szklenie strukturalne³ 	Wewnętrzna skóra							ETAG 002 „Structural Sealant Glazing Systems (SSGS)”
	Zewnętrzna skóra							
Fasada mocowana punktowo 	EG							Zgodnie z abZ lub ZIE Uwaga: wg DIN 18008-3 tylko szkło laminowane ze szkła hartowanego lub póhartowanego!
	MIG							

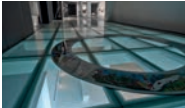
¹ **Uwaga!** Według DIN 18008-2: szkło hartowane niewygrzewane termicznie stosować tylko do wysokości montażu nad powierzchnią komunikacyjną < 4 m i żadne osoby nie mogą przebywać bezpośrednio pod przeszkleniem, w przeciwnym razie należy stosować TG-H!

² **Uwaga!** LSG z 2 x TG nie posiada nośności szczątkowej. Należy w sposób szczególnie przestrzegać warunków montażu.

³ Szkło stosowane według rozdz. 7.6.4 ma priorytet.

7.6.2 Przeszklenia poziome / nad głową

Zastosowanie		Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
					Float	TG ²	HSG	
Światliki 								Tylko mieszkania i pomieszczenia podobnego użytku (np. pokoje hotelowe i pomieszczenia biurowe) z powierzchnią w świetle (wewnętrzny wymiar ramy) < 1,6 m ² , w przeciwnym razie patrz: przeszklenie poziome.
Przeszklenia poziome 	Górne							DIN 18008
	Dolne							Możliwe inne szkła, jeśli w wyniku określonych działań wykluczony jest upadek większych fragmentów szkła na powierzchnie komunikacyjne (np. przy pomocy siatek o wielkości oczka < 40 mm).
Szklany daszek 								DIN 18008-2 DIN 18008-3: tylko szkło laminowane ze szkła hartowanego lub póhartowanego.

Zastosowanie	Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
				Float	TG ²	HSG	
Lamele szklane 							DIN 18008-2 DIN 18008-3: tylko szkło laminowane ze szkła hartowanego lub półhartowanego. DIN 18008-5: Uchwyty zaciskowe są niedopuszczalne.
Szkło, po którym można chodzić 							DIN 18008-5 Górna szyba z trzech tafli ze szkła hartowanego lub półhartowanego; Należy zapewnić wystarczające zabezpieczenie przed poślizgnięciem; Opcjonalna budowa: ZIE.
Szkło, na które można wchodzić 							Z reguły wymaga się ZIE. Mniejsze wymogi niż dla szkła, po którym można chodzić.

- ¹ **Uwaga!** Według DIN 18008-2: szkło hartowane niewygrzewane termicznie stosować tylko do wysokości montażu nad powierzchnią komunikacyjną < 4 m i żadne osoby nie mogą przebywać bezpośrednio pod przeszkleniem, w przeciwnym razie należy stosować TG-H!
- ² **Uwaga!** LSG z 2 x TG nie posiada nośności szczątkowej. Należy w sposób szczególny przestrzegać warunków montażu.



7.6.3 Przeszklenia zabezpieczające przed wypadnięciem

Zastosowanie		Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
					Float	TG ²	HSG	
Przeszklenie na wysokość pomieszczenia  (Kategoria A według DIN 18008-4)	EG							DIN 18008-4
	MIG							Obowiązuje dla szyby od strony ataku lub dla szyby najbardziej narażonej na skutki ataku; szyba od strony odwrotnej do ataku jest dowolna; Jeśli od strony odwrotnej do ataku jest szyba laminowana, to od strony ataku musi być szkło hartowane lub szkło laminowane bezpieczne.
Balustrady liniowo zamocowane na dolnej krawędzi  (Kategoria B według DIN 18008-4)								DIN 18008-4 Szyba laminowana ze szkła float tylko z abZ lub ZiE.
Balustrady podparte liniowo  (Kategoria C według DIN 18008-4)								DIN 18008-4 Jeśli mocowanie liniowe nie jest zastosowane na wszystkich krawędziach, należy zastosować szkło laminowane. Wolne krawędzie muszą być zabezpieczone przez konstrukcję barierki lub sąsiadujące szyby przed przypadkowymi uderzeniami.
Balustrady podparte punktowo  (Kategoria C1 według DIN 18008-4)								DIN 18008-4 Zabezpieczenie krawędzi nie jest wymagane.
Balustrady podparte punktowo  (Nieregulowane przez DIN 18008-4)								Zgodnie z abZ lub ZiE Wolne krawędzie muszą być zabezpieczone przez konstrukcję barierki lub sąsiadujące szyby przed przypadkowymi uderzeniami; Można stosować szkło hartowane, jeśli jest dopuszczone przez abZ.

Zastosowanie		Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
					Float	TG ²	HSG	
Szklenie poniżej bariery chroniącej przed wypadnięciem  (Kategoria C2 według DIN 18008-4)	EG							DIN 18008-4; Jeśli mocowanie liniowe nie jest zastosowane ze wszystkich stron, należy zastosować LSG.
	MIG							Obowiązuje dla szyby od strony ataku lub dla szyby najbardziej prawdopodobnie narażonej na skutki ataku; szyba od strony odwrotnej do ataku jest dowolna; Jeśli od strony odwrotnej do ataku jest szkło laminowane, to od strony ataku musi być szkło hartowane lub szkło laminowane bezpieczne.
Szklenie na wysokość pomieszczenia z elementem konstrukcyjnym transferującym obciążenie  (Kategoria C3 według DIN 18008-4)	EG							Element konstrukcyjny transferujący obciążenie na wysokości zgodnej z prawem budowlanym.
	MIG							Obowiązuje dla szyby od strony ataku lub dla szyby najbardziej prawdopodobnie narażonej na skutki ataku; szyba od strony odwrotnej do ataku jest dowolna; Jeśli od strony odwrotnej do ataku jest szkło laminowane, to od strony ataku musi być szkło hartowane lub szkło laminowane bezpieczne.
Fasada z podwójną skórą 	Wewnętrzna skóra ³							Wewnętrzna fasada bez ochrony przed wypadnięciem osób, zaleca się uzgodnienie z organem nadzoru budowlanego niższej instancji i z inwestorem.
	Zewnętrzna skóra							Zewnętrzna fasada przejmuje zadanie ochrony przed wypadnięciem osób. DIN 18008 zgodnie z kategorią A lub C.
Szyby windy 								DIN 18008-4 i PN-EN 81
Balkon francuski³ 								Element od strony przeszklenia odwrotnej do możliwego uderzenia całkowicie przejmuje zadanie ochrony przed wypadnięciem osób.

¹ **Uwaga!** Według DIN 18008-2: szkło hartowane niewygrzewane termicznie stosować tylko do wysokości montażu nad powierzchnią komunikacyjną < 4 m i żadne osoby nie mogą przebywać bezpośrednio pod przeszkleniem, w przeciwnym razie należy stosować TG-H!

² **Uwaga!** LSG z 2 x TG nie posiada nośności szcawkowej. Należy w sposób szczególnie przestrzegać warunków montażu.

³ Szkło stosowane według rozdz. 7.6.4 ma priorytet.



7.6.4 Przeszklenia w budynkach specjalnego użytku

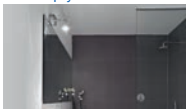
Zastosowanie	Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
				Float	TG ²	HSG	
Biuro, ściany lub drzwi ze szkła 							ArbStattV GUV-I 8713
Hole wejściowe/wejścia 							Zasady BG „Punkty handlowe” (BGR 202) lub ArbStatt z ASR 10/5.
Szkoła 							GUV-V S 1; do wysokości 2 m szkło bezpieczne lub wystarczająco osłonięte.
Przedszkole 							GUV-SR 2002; do wysokości 1,5 m szkło bezpieczne lub wystarczająco osłonięte.
Szpital/placówka opiekuńcza 							Zgodnie z KhBauVO dla określonych stref (np. w klatkach schodowych) i przy specjalnym użytkowaniu (np. oddziałów specjalistycznych dla dzieci) BGI/ GUV-I 8681.
Pasaż handlowy 							Zasady BG „Punkty handlowe” (BGR 202).
Handel detaliczny 							ArbStattV Zasady BG „Punkty handlowe” (BGR 202) lub wystarczająca osłona.

Zastosowanie	Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
				Float	TG ²	HSG	
Parking wielopoziomowy 							ArbStatTV aneks 1.7 (4) ASR 8/4 i ASR 10/5
Dworzec autobusowy 							ArbStatTV aneks 1.7 (4) ASR 8/4 i ASR 10/5
Pływalnia 							GUV-R 1/111, DIN 18361; do wysokości 2 m szkło bezpieczne lub wystarczająco osłonięte. Na basenach sportowych dodatkowo test na uderzenie piłką (piłka wodna) zgodnie z DIN 18032-3.
Hala sportowa 							DIN 18032-1; do wysokości 2 m równa powierzchnia, zamknięte i bezodpryskowe; Test na uderzenie piłką według DIN 18032-3.
Hala do squasha 							Elementy ze szkła tylnej ściany muszą być wykonane ze szkła hartowanego o grubości co najmniej 12 mm.

- ¹ **Uwaga!** Według DIN 18008-2: szkło hartowane niewygrzewane termicznie stosować tylko do wysokości montażu nad powierzchnią komunikacyjną < 4 m i żadne osoby nie mogą przebywać bezpośrednio pod przeszkleniem, w przeciwnym razie należy stosować TG-H!
- ² **Uwaga!** LSG z 2 x TG nie posiada nośności szczątkowej. Należy w sposób szczególnie przestrzegać warunków montażu.



7.6.5 Przeszklenia we wnętrzach bez ochrony przed wypadnięciem osób

Zastosowanie	Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
				Float	TG ²	HSG	
Szkło, po którym można chodzić/ schody ze szkła 							Wymagane ZIE TRLV, lista przepisów budowlanych; dopuszczalne naprężenia jak dla przeszkleń horyzontalnych według TRLV; szkło laminowane z foliami PVB o minimalnej grubości nominalnej = 1,5 mm.
Kabina prysznicowa 							PN-EN 14428/A1
Drzwi szklane 							ArbStattV z ASR 10/5 ewentualnie zasady BG „Punkty handlowe” (BGR 202).
Szyba do drzwi 							ArbStattV z ASR 10/5 ewentualnie zasady BG „Punkty handlowe” (BGR 202).
Ścianka działowa biura 							ASR 8/4
Wiatrołapy 							Zasady BG „Punkty handlowe” (BGR 202) lub ArbStattV z ASR 10/5.

¹ **Uwaga!** Według DIN 18008-2: szkło hartowane niewygrzewane termicznie stosować tylko do wysokości montażu nad powierzchnią komunikacyjną < 4 m i żadne osoby nie mogą przebywać bezpośrednio pod przeszkleniem, w przeciwnym razie należy stosować TG-H!

² **Uwaga!** LSG z 2 x TG nie posiada nośności szczątkowej. Należy w sposób szczególny przestrzegać warunków montażu.

7.6.6 Przeszklenia we wnętrzach bez ochrony przed wypadnięciem osób

Zastosowanie	Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
				Float	TG ²	HSG	
Opóźnienie włamania 							PN-EN 1627
Opóźnienie włamania – spadanie kuli 							PN-EN 356 wytyczna VdS 2163
Opóźnienie włamania – uderzenie młotkiem i siekierą 							PN-EN 356 lub EH wytyczna VDS
Szyby kuloodporne 							PN-EN 1063, PN-EN 1522
Tłumienie siły wybuchu 							PN-EN 13541, PN-EN 13123

¹ **Uwaga!** Według DIN 18008-2: szkło hartowane niewygrzewane termicznie stosować tylko do wysokości montażu nad powierzchnią komunikacyjną < 4 m i żadne osoby nie mogą przebywać bezpośrednio pod przeszkleniem, w przeciwnym razie należy stosować TG-H!

² **Uwaga!** LSG z 2 x TG nie posiada nośności szczątkowej. Należy w sposób szczególny przestrzegać warunków montażu.



Hounslow Civic Centre, Londyn, Wielka Brytania | SunGuard® SNX 60
Architekt: Sheppard Robson Architects | Zdjęcie: © Rubin & Sampford Photography

7.6.7 Specjalne szkła bezpieczne

Zastosowanie	Float	TG ¹	TG-H	LSG składające się z			Uwagi
				Float	TG ²	HSG	
Szklane żebra 							Wymagane ZIE
Konstrukcje całkowicie szklane 							Wymagane ZIE
Specjalne konstrukcje szklane 							Wymagane ZIE

¹ **Uwaga!** Według DIN 18008-2: szkło hartowane niewygrzewane termicznie stosować tylko do wysokości montażu nad powierzchnią komunikacyjną < 4 m i żadne osoby nie mogą przebywać bezpośrednio pod przeszkleniem, w przeciwnym razie należy stosować TG-H!

² **Uwaga!** LSG z 2 x TG nie posiada nośności szczątkowej. Należy w sposób szczególny przestrzegać warunków montażu.

Odpowiednie szkła Guardian i ich możliwe kombinacje odpowiadające w/w zakresom zastosowań znajdują się w rozdziale 10.



Innsbruck University - Architecture Faculty, Innsbruck, Austria
SunGuard® HD Light Blue 52 | Fasada wentylowana, powłoka na zewnętrznej formacie systemu
Architekt: ATP Architects and Engineers | Zdjęcie: © pierer.net

8.	Przeszklenia budynków	104
8.1	Fasady	104
8.1.1	Funkcje fasad	104
	Fasady ciepłe Zimna fasada Fasada wentylowana – podwójna skóra Typy fasad wentylowanych Systemy interaktywane (pasywne) Ochrona przeciwsłoneczna na warstwie zewnętrznej Kondensacja	
8.1.2	Konstrukcje fasad	111
	Fasada słupowo-ryglowa Fasady strukturalne Definicje Typy fasad strukturalnych Normy europejskie dotyczące szklenia strukturalnego Szkło powlekane w fasadach strukturalnych Fasady mocowane punktowo Fasady membranowe	
8.2	Druk ceramiczny na szkłe	120
8.2.1	Metody nakładania druku ceramicznego	121
	Malowanie przy pomocy walca Sitodruk Druk cyfrowy	
8.2.2	Spandrele	122
8.2.3	Emaliowanie krawędzi – Guardian System TEA	124
8.2.4	Druk dekoracyjny	125

8.3	Szkło dekoracyjne	127
8.3.1	Przeniesienie kolorowego wydruku na szkło	127
8.3.2	Dekoracyjne laminowane szkło bezpieczne	128
8.3.3	Kolorowe folie w szkłe laminowanym	128
8.3.4	Dekoracyjne szkło laminowane	129
8.4	Gięte szkło architektoniczne	129
8.4.1	Gięcie grawitacyjne	130
8.4.2	Szkło gięte hartowane	131
8.4.3	Możliwe kształty szkła giętego	131
8.4.4	Wymagania	132
8.4.5	Rodzaje szkła odpowiednie do procesu gięcia	132
8.4.6	Określenie kształtu szkła giętego	133
8.4.7	Wymagania szczegółowe	134
	Lokalne zniekształcenia optyczne Zachowanie konturu Wichrowatość Przesunięcie krawędzi Przejścia stycznej	
8.4.8	Statyka szkła giętego	135
8.4.9	Gięcie szkła na zimno	137
8.5	Windy szklane	138
8.6	Oddziaływanie z promieniowaniem długofalowym	139
8.6.1	Szklenie tłumiące odbicie promieniowania radaru	139
	Ograniczenie odbicia promieniowania radaru przy użyciu szkła z powłoką SunGuard RD.	
8.6.2	Tłumienie promieniowania elektromagnetycznego dużej częstotliwości (tzw. elektrycznego smogu)	142
8.7	Szkło antyrefleksyjne	144
8.8	Szkło bezpieczne dla ptaków	146
8.8.1	Istota problemu	146
8.8.2	Ocena rozwiązań "bezpiecznych dla ptaków"	147
8.8.3	Rozwiązania zapewniające ptakom lepszą widoczność przeszkleń	149



Od wieków szkło jako materiał budowlany montowano głównie w otworach okiennych. Schyłek XX wieku to początek olbrzymich zmian w zakresie zastosowania szkła w budownictwie. Dziś szkło montujemy na fasadach tworząc całe przeszklone powierzchnie.

Do tak szerokiego zastosowania szkła na fasadzie przyczynił się rozwój nauki, technologii, a także architektury. Kluczową rolę w projektowaniu fasad odgrywają przede wszystkim funkcjonalność i estetyka. Jednym z głównych parametrów, który ma wpływ na wizualny odbiór fasady jest wartość odbicia światła widzialnego od szkła. W zależności od wartości odbicia fasada może sprawiać wrażenie lustra bądź pozostawać neutralna wobec otoczenia. Zmiana światła dziennego ze względu na panującą aurę, zmieniające się położenie Słońca, barwa nieba oraz zmiany pór roku mają wpływ na refleksyjność fasady. Również oświetlenie wewnątrz budynku oddziałuje na jej wygląd. Dodatkowym zagadnieniem w projektowaniu fasad jest odpowiedni dobór nieprzezroczystych elementów szklanych zakrywających konstrukcję budynku, czyli spandrelu do przeszkleń przeziernych. Mogą one bowiem zarówno harmonizować z częścią przezierną, jak i stanowić wyraźny i zamierzony kontrast kolorystyczny fasady.

Dopasowanie kolorystyczne przeziernych i nieprzeziernych elementów fasady jest możliwe tylko do pewnego stopnia, ponieważ na odbiór barwy szyby przeziernej ma zawsze wpływ znajdujące się za nią pomieszczenie oraz charakterystyka światła w jego wnętrzu. Podstawową funkcją fasady jest ochrona budynku przed czynnikami atmosferycznymi. Jednakże w dzisiejszych czasach bierze się pod uwagę również dodatkowe funkcje. Odpowiedni dobór szkła na fasadzie daje możliwość pozyskiwania darmowej energii słonecznej lub poprawia ochronę przeciwsłoneczną fasady latem (→ Rozdział 5). Przy projektowaniu fasady pod względem konstrukcyjnym, szkło musi być traktowane na równi z innymi stosowanymi materiałami tj. beton, stal czy aluminium.

8.1 Fasady

Projektując fasadę szklaną budynku należy uwzględnić dwa podstawowe czynniki: jej funkcję i konstrukcję.

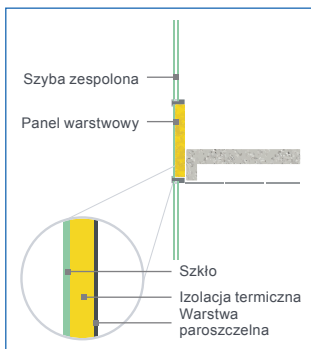
8.1.1 Funkcje fasad

Funkcja fasady opisuje sposób w jaki “pracuje” zewnętrzna przeszklona powierzchnia budynku. Zasadniczo wyróżniamy trzy rodzaje fasad:

8.1.1.1 Fasady ciepłe

Ciepła fasada to system, gdzie za nieprzezierną taflą szklaną, chroniącą przed wpływami atmosferycznymi znajduje się izolacja cieplna (np. z wełny mineralnej) wraz z elementem paroszczelnym umieszczonym od strony pomieszczenia, tworząc panel szklany (element o strukturze warstwowej).

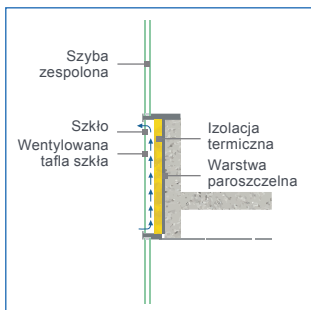
Panel ten jest montowany w konstrukcji fasady pod przezręczystymi szybami zespolonymi jako jedna całość i mocowany na przykład za pomocą listew dociskowych. Szczelność zapobiegająca dyfuzji pary do panelu zapewnia odpowiednie uszczelnienie listew na krawędziach. W ten sposób zarówno nieprzezroczyste jak i przezroczyste elementy pełnią nie tylko funkcję oddzielenia pomieszczenia od zewnętrznego środowiska, a co za tym idzie ochrony przed warunkami atmosferycznymi, lecz również mogą posiadać inne dodatkowe role takie jak: izolacja cieplna, akustyczna i ewentualnie ochrona przeciwpożarowa. Ze względów konstrukcyjnych te nieprzezroczyste panele wymagają czterostronnego obramowania w konstrukcji słupowo-ryglowej.



Odpowiednimi rodzajami szklenia do tego zastosowania są: monolityczne emaliowane szkło float lub emaliowane szkło z powłoką z grupy SunGuard HD (→ Zobacz rekomendacje firmy Guardian dla spandrel w rozdziale: 10).

8.1.1.2 Zimna fasada

Zimne fasady mają długą tradycję w budownictwie. Panel podokienny posiada dwuwarstwową konstrukcję, gdzie warstwa zewnętrzna pełni funkcję ochronną i estetyczną. Jest to szyba wentylowana, dzięki czemu odprowadzane jest nagromadzone ciepło i wilgoć. Szyba ta jest zazwyczaj wykonana ze szkła przeciwśrocinowego lub czystego szkła float, aby dopasować ją kolorystycznie do przezroczystych okien. Mamy wiele możliwości mocowania tego typu fasad, od mocowania po obwodzie, z dwóch stron, aż po mocowanie punktowe. Za izolację cieplną fasady odpowiadają panele ściennie znajdujące się za nieprzezroczystymi szklanymi elementami (spandrelami).



Odpowiednimi rodzajami szklenia do tego zastosowania są: monolityczne emaliowane szkło float lub emaliowane szkło z powłoką z grupy SunGuard HD (→ Zobacz rekomendacje firmy Guardian dla spandrel w rozdziale: 10).



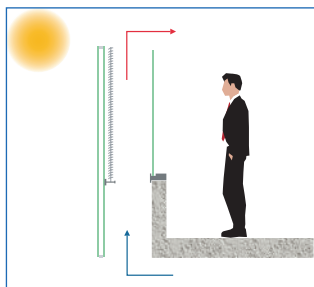
8.1.1.3 Fasada wentylowana – podwójna skóra

Fasady wentylowane są konstrukcjami bardzo innowacyjnymi. Ich zalety w połączeniu z wieloma innymi funkcjami są wielorakie. Zaliczają się do nich w szczególności optymalizacja w odniesieniu do zarządzania energią budynku, izolacja cieplna oraz akustyczna i przede wszystkim możliwość zmiany selektywności wynikającej z opcji umieszczenia elementów przeciwsłonecznych w przestrzeni między skórami fasady. Ostatnim, ale nie najmniej ważnym czynnikiem jest możliwość zapewnienia wentylacji i poprzez to zwiększenie komfortu użytkowania budynku.

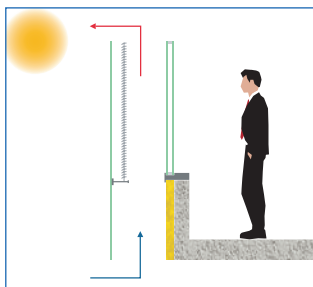


Süddeutscher Verlag, Monachium, Niemcy
SunGuard® HD Neutral 67 | Fasada typu podwójna skóra, powłoka laminowana do folii PVB w szkłe laminowanym
Architekt: GKK | Photo: © GKK+Architekten, Oliver Kuhn, Zdjęcie Claus Graubner

8.1.1.3.1 Typy fasad wentylowanych



System aktywny



System interaktywny

Istnieją dwa rodzaje systemów wentylowanych – aktywne oraz interaktywne (pasywne). Systemy aktywne składają się z zewnętrznej warstwy wykonanej przy pomocy szczelnej szyby zespolonej i znajdującej się za nią wentylowanej przestrzeni. Wymiana powietrza jest wymuszona przez wymienniki znajdujące się wewnątrz budynku. W zimie ma to zasadniczą zaletę – pozwala zaoszczędzić energię konieczną do zapewnienia ogrzewania poprzez wymianę ciepła. Jako zewnętrzna skóra stosowane jest w tym rozwiązaniu typowe szkło używane także do produkcji szyb zespolonych.

Szczególnym typem systemu wentylowanego jest tzw. “Closed Cavity Façade” (CCF)(fasady z zamkniętą przestrzenią). W systemie tym występuje oddzielna przestrzeń pomiędzy zewnętrzną, a wewnętrzną skórą fasady, która nie jest hermetycznie zamknięta. Suche i czyste powietrze jest ciągle dostarczane do przestrzeni, aby zapobiegać formowaniu się kondensacji. Zaletą tego systemu są przede wszystkim zmniejszone wydatki na czyszczenie oraz utrzymanie fasady.

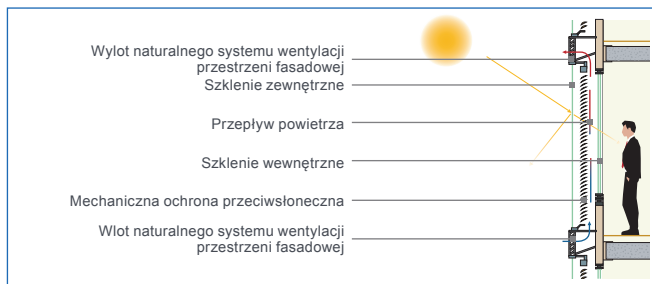
8.1.1.3.2 Systemy interaktywne (pasywne)

Systemy interaktywne są najbardziej popularne wśród rodzajów fasad wentylowanych. Wymiana powietrza następuje pomiędzy przestrzenią między skórą fasady, a środowiskiem zewnętrznym. Naturalna konwekcja jest wywołana poprzez otwory wentylacyjne, zazwyczaj zlokalizowane poniżej oraz powyżej szkła zewnętrznego. Wykonanie podwieszanej drugiej skóry przed konwencjonalną bryłą budynku jest również możliwe w tym systemie, tak jak i wmontowanie w fasadę okien typu skrzynkowego ze stałą lub ruchomą zewnętrzną szybą.

Zadaniem systemu jest odbicie części krótkofalowego promieniowania podczerwonego bezpośrednio przez szkło zewnętrzne, aby zminimalizować nagrzewanie się przestrzeni wewnątrz fasady, a tym samym całego budynku.



Zastosowanie powłok jest w realizacji tego celu bardzo skuteczne, szczególnie w połączeniu z dodatkową mechaniczną ochroną przeciwsłoneczną, umieszczoną w przestrzeni między skórą fasady. Ich użycie powoduje osiągnięcie akceptowalnej wartości współczynnika g nawet, gdy żaluzje są częściowo lub całkowicie podniesione. Dynamiczna selektywność, którą można osiągnąć w ten sposób czyni system wentylowany szczególnie atrakcyjnym.



Konstrukcja interaktywna (pasywna)

W systemach pasywnych szklenie wewnętrzne jest standardową szybą zespoloną jedno- lub dwukomorową, natomiast dla zewnętrznej monolitycznej warstwy używa się zazwyczaj szkła laminowanego (często wykonanego ze szkła wzmacnianego termicznie). Jego nośność szczątkowa zapewnia maksymalne bezpieczeństwo w przypadku pęknięcia.

8.1.1.3.3 Ochrona przeciwsłoneczna na warstwie zewnętrznej

Zastosowanie przezroczystej powłoki przeciwsłonecznej na zewnętrznej tafli systemu podlegającej wentylacji przyczynia się do zmniejszenia całkowitej transmisji energii słonecznej systemu poprzez odbicie krótkofalowego promieniowania słonecznego przez zewnętrzną szybę konstrukcji zanim wniknie ona do jej środka. Porównując do rozwiązań bez użycia powłok przeciwsłonecznych stosowanie mechanicznych systemów zacielenia może zostać w ten sposób ograniczone lub nawet żaluzje mogą pozostać przez cały czas użytkowania podniesione. Użytkownik jest też w stanie operować żaluzjami w sposób bardziej efektywny (podnieść je całkowicie lub częściowo opuścić) bez ryzyka przegrzewania pomieszczenia. Do środka dostaje się więcej światła słonecznego, a użytkownicy mogą dłużej cieszyć się pięknymi widokami zewnętrznymi. Może się to przyczynić do znacznego wzrostu poczucia komfortu w pomieszczeniach budynku.

Powłoka skierowana w stronę wentylowanej przestrzeni fasady powinna charakteryzować się odpornością mechaniczną oraz być odpowiednia do zastosowań jako szkło pojedyncze. Przykładem może być rodzina produktów SunGuard HD (High Durable).

Rozwiązanie takie oferuje wiele możliwości, w tym wraz z użyciem szerokiej gamy dostępnych międzywarstw takich jak Sentry Glass Plus lub EVA pozwala spełnić wszelkie wymagania dotyczące wytrzymałości mechanicznej, zgodności komponentów jak i klasyfikacji pod względem bezpieczeństwa.

W przypadku zastosowania szkła z powłoką skierowaną do międzywarstwy musi ona być kompatybilna z materiałem międzywarstwy oraz certyfikowana zgodnie z odpowiednimi normami odnośnie do kwestii bezpieczeństwa.

Powodami zastosowania powłoki SunGuard HD skierowanej do międzywarstwy mogą być redukcja odbicia światła na zewnątrz budynku oraz wyższa transmisja światła słonecznego, co prowadzi po zwiększenia selektywności.

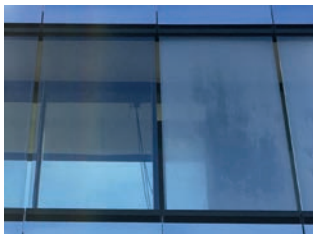
Użycie powłoki SunGuard HD wraz z międzywarstwami PVB absorbującymi promieniowanie słoneczne może prowadzić do dalszej poprawy właściwości przeciwsłonecznych i wraz z tym selektywności zewnętrznej wentylowanej tafli szkła.

Odpowiednie kombinacje szkła laminowanego z powłokami rodziny SunGuard HD oraz foliami PVB do zastosowania w systemach wentylowanych znajdują Państwo w katalogu (→ Rozdział 10).

8.1.1.3.4 Kondensacja

W zależności od usytuowania budynku jak i niekorzystnych warunków klimatycznych może wystąpić zjawisko kondensacji pary wodnej na wewnętrznej stronie zewnętrznej szyby pasywnych systemów wentylowanych. Zazwyczaj zdarza się to rankiem wiosną oraz jesienią. Zjawisko to może przyczynić się do znacznego zakłócenia widoku z wnętrza budynku.

Rozwiązaniem tego naturalnego zjawiska są powłoki antykondensacyjne takie jak Guardian „ClimaGuard Dry”. Odpowiednio zaprojektowana, wytrzymała mechanicznie powłoka jest naniesiona na zewnętrzną taflę szkła co ogranicza kondensację. Konieczne jest rozważenie zastosowania takiej powłoki już na etapie projektowania budynku, ponieważ nie jest możliwe naniesienie powłoki po zamontowaniu szklenia na fasadzie.



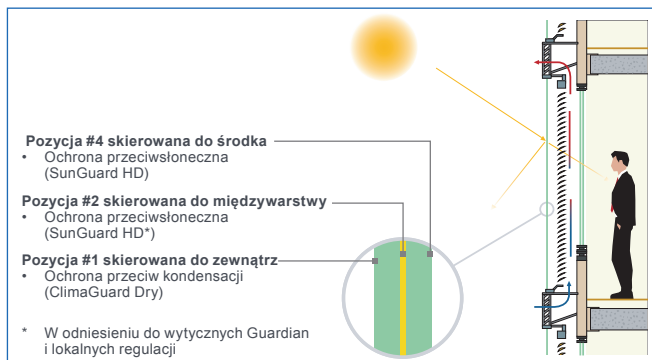
Z lewej: konstrukcja wyposażoną w powłokę ClimaGuard Dry ograniczającą kondensację, z prawej: typowy przypadek kondensacji pary wodnej na wewnętrznej stronie zewnętrznej tafli okna w systemie wentylowanym.



BGL BNP Paribas, Luksemburg, Luksemburg
ClimaGuard® Dry | Fasada typu podwójna skóra, powłoka antykondensacyjna na stronie zewnętrznej
Architekt: M3 Architectes | Zdjęcie: © Frank Weber

Powłoka antykondensacyjna powinna być umieszczona na pozycji #1 szkła zewnętrznego (licząc od zewnątrz) aby zapewnić jej możliwie najlepszą funkcjonalność.

Badania przeprowadzone w rzeczywistych warunkach pokazały, że rozwiązanie to prowadzi do nieznacznego podwyższenia temperatury zewnętrznej powierzchni szklenia w porównaniu z niepowlekaną szybą. To właśnie wspomniany wzrost temperatury znacząco zmniejsza występowanie zjawiska kondensacji. W przypadku niepowlekannej szyby, kondensacja pary wodnej może utrzymywać się wiele godzin. Zupełnie inaczej jest w przypadku zastosowania powłoki – w tych samych warunkach zewnętrznych szkło pozostaje wolne od niechcianych kropli wody.



Zastosowanie powłok funkcyjnych na zewnętrznej tafli systemów interaktywnych(pasywnych).

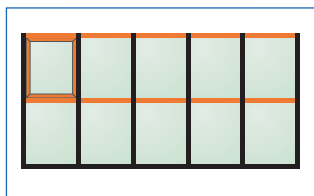
8.1.2 Konstrukcje fasad

Poza funkcjonalnością samego szkła znaczenie ma również sposób jego montażu.

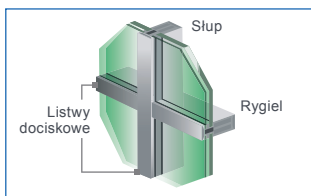
8.1.2.1 Fasada słupowo-ryglowa

Tak jak dawniej, tak i dziś większość fasad szklanych realizuje się w konstrukcji słupowo-ryglowej. Słupy przenoszące obciążenie biegną od fundamentu aż po dach budynku w ustalonych, obliczonych statycznie i technicznie wykonalnych odstępach. Słupy te są na stałe zakotwione w konstrukcji budynku i przenoszą na nią wszystkie oddziałujące obciążenia. Do słupów tworzących „poła podłużne” przymocowane są poziome rygle (w określonej ilości), które przenoszą na nie ciężar szkła.

Po pozycjonowaniu szkła i dokładnym ułożeniu podkładek podszybowych, na słupach oraz na ryglach przykręcane są listwy dociskowe, które mocują elementy szklane i je uszczelniają. Słupy i rygle wyposażone są w system otworów odprowadzających wilgoć z wnętrza ściany na zewnątrz. Wykończenie optyczne stanowią z reguły listwy kryjące montowane na klipsach, które są dostępne w niemal wszystkich odcieniach. Fasady te są najczęściej wyposażone w system gumowych uszczelek.



Fasada słupowo-ryglowa



Ten rodzaj fasady składa się ze słupów (pionowe kształtowniki znajdujące się między taflami szkła) i rygli lub poprzeczek (kształtowniki poziome znajdujące się pomiędzy taflami szkła).

Na rynku dostępnych jest wiele systemów, które są wykonane w wersjach od wąskich po szerokie, w zależności od tego, jaka optyka i funkcja wymagana jest dla fasady. Z reguły bardzo wąskie profile nie posiadają funkcji otwieranego okna, dlatego też stosuje się je w wentylowanych lub klimatyzowanych budynkach, aby nie przełamywać delikatnego wzoru ich siatki. Konstrukcje słupowo-ryglowe to sprawdzone systemy, które można stosować bez konieczności uzyskania dodatkowych aprobat zgodnie z prawem budowlanym.

8.1.2.2 Fasady strukturalne

8.1.2.2.1 Definicje

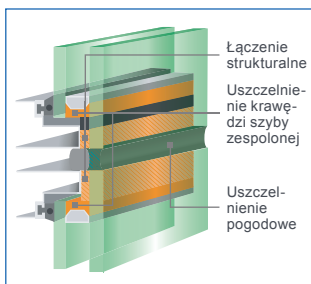
Fasada strukturalna jest to technologia polegająca na mocowaniu specjalnych szyb zespolonych do konstrukcji ramy fasady za pomocą strukturalnego kleju silikonowego. System ten tworzy konwencjonalną ścianę osłonową. Z zewnątrz widoczne są tylko szkło oraz odporny na oddziaływania klimatyczne uszczelniacz.

Główne cechy łączenia przy pomocy silikonu strukturalnego:

- Metoda łączenia odpowiednia do zastosowanego materiału.
- Brak zmian w mikrostrukturze poszczególnych elementów (np. tak jak w przypadku spawania).
- Możliwość przenoszenia obciążeń.
- Brak lokalnych wzrostów naprężeń w wyniku przeniesienia sił przez płaski obszar połączenia.
- Odporność silikonu na starzenie (adhezja, odporność na promieniowanie UV, odporność na działanie temperatury).
- Bezpieczne przy ekstremalnych obciążeniach mechanicznych (takich jak np. trzęsienia ziemi, trąby powietrzne, eksplozje, itp.).

Typowy system uszczelnienia stosowany w szkleniu strukturalnym składa się z:

- Klejenia strukturalnego zapewniającego statycznie skuteczne połączenie.
- Uszczelnienia krawędzi szyby zespolonej przystosowanego do przeniesienia obciążeń wiatrem oraz ciężaru własnego.
- Uszczelnienia pogodowego.



Silikony strukturalne charakteryzują się wyższą wartością modułów Kriehoffa oraz Younga dla kompensacji oraz przenoszenia:

- Obciążeń dynamicznych (ssanie i parcie wiatru, obciążenie ruchem ulicznym).
- Obciążeń statycznych (ciężar własny oraz obciążenie śniegiem).
- Różnic w rozszerzalności termicznej łączonych materiałów takich jak szkło oraz aluminium.

Jako że szklenie strukturalne umieszczone jest zazwyczaj przed podkonstrukcją ściany osłonowej, żadne profile nie zakrywają i nie chronią materiałów uszczelniających przed szkodliwym działaniem promieniowania UV. Z tego powodu wymagana jest wysoka odporność uszczelniania na działanie tego promieniowania. Najczęściej stosowane uszczelniacze do szyb zespolonych zbudowane z polimerów organicznych (m.in. poli-siarczki i poliuretany) zawierają w swojej budowie wiązania chemiczne węgiel-węgiel oraz węgiel-tlen, które nie są odporne na promieniowanie w zakresie UV-A. Wiązania chemiczne ulegają zniszczeniu, powodując utratę właściwości mechanicznych i chemiczną degradację uszczelniacza. Wiązania krzem-tlen występujące w strukturze silikonów posiadają znacznie wyższą odporność na działanie promieniowania z zakresu UV-A.

W porównaniu do polimerów organicznych uszczelniacze silikonowe wykazują właściwości hydrofobowe oraz są bardziej elastyczne.

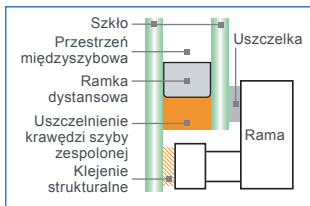


Burj Khalifa, Dubai, Zjednoczone Emiraty Arabskie
SunGuard® HD Silver 20 | Realizacja użyciem silikonu strukturalnego
Architekt: Skidmore, Owings & Merrill LLP

8.1.2.2.2 Typy fasad strukturalnych

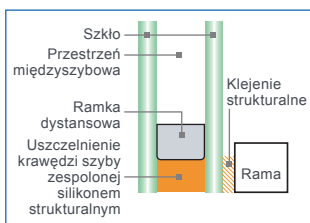
Szklenie strukturalne stopowane:

- Łączenie strukturalne między szkłem, a podkonstrukcją wykonaną z metalu (np., aluminium, stal nierdzewna) lub innych materiałów.
- Silikony o wysokim module sprężystości.
- Przenoszenie obciążeń strukturalnych przez taflę zewnętrzną szklenia.



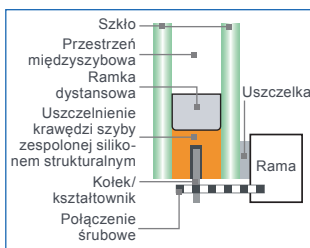
Szklenie strukturalne zespolone:

- Łączenie strukturalne między szkłem, a podkonstrukcją.
- Strukturalne uszczelniacze do szyb zespolonych.
- Silikony o wysokim module sprężystości.
- Silikony strukturalne używane do uszczelnienia strukturalnych szyb zespolonych nie powinny być nigdy używane jako kleje do szklenia strukturalnego!
- Przenoszenie obciążeń strukturalnych przez taflę zewnętrzną i wewnętrzną szklenia.



Szklenie półstrukturalne:

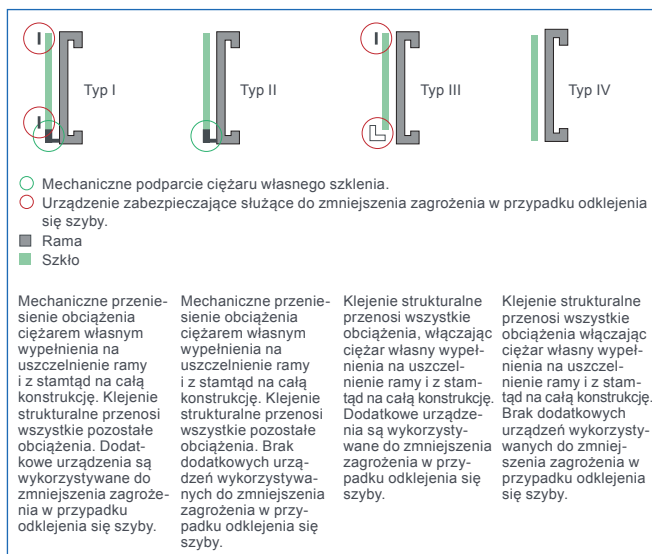
- Strukturalne uszczelniacze do szyb zespolonych.
- Połączenie mechaniczne między uszczelnieniem (u-kształtownik), a podkonstrukcją.
- Silikony o wysokim module sprężystości.
- Przenoszenie obciążeń strukturalnych przez uszczelnienie krawędzi szklenia.





8.1.2.2.3 Normy europejskie dotyczące szklenia strukturalnego

- ETAG 002 Systemy oszklenia ze spoiwem konstrukcyjnym.
- PN-EN 13 022 Szkło w budownictwie – Oszklenia ze szczeliwem konstrukcyjnym.
 - Część 1: Wyroby szklane do systemów oszkleń ze szczeliwem konstrukcyjnym dla podpartych lub niepodpartych oszkleń pojedynczych lub zespolonych.
 - Część 2: Zasady montażu.
- PN-EN 15 434 Szkło w budownictwie – Norma wyrobu dla szczeliw konstrukcyjnych i/lub szczeliw odpornych na ultrafiolet (do stosowania w oszkleeniach ze szczeliwem konstrukcyjnym i/lub izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem).
- PN-EN 1279 Szkło w budownictwie – Izolacyjne szyby zespolone.
- DIN 18 008 Szkło w budownictwie – Zasady projektowania i budowy.



Kategorie szklenia strukturalnego zgodnie z ETAG 002

8.1.2.2.4 Szkło powlekane w fasadach strukturalnych

Zgodnie z ETAG 002-1 wielofunkcyjne szkło powlekane nie posiadające zezwolenia jednostki notyfikowanej na zastosowanie jako szklenie monolityczne (np. SunGuard HP, SunGuard SN oraz SunGuard SNX), a także szkło z powłoką niskoemisyjną (rodzina powłok ClimaGuard) nie jest odpowiednie do zastosowania w szkleniu strukturalnym.

W przypadku takiego zastosowania, wyżej wymienione powłoki powinny być usunięte w miejscu klejenia. Wybrane powłoki z rodziny SunGuard HD są odpowiednie do zastosowania jako szkło monolityczne i mogą być wykorzystywane w szkleniu strukturalnym.

W większości przypadków zastosowania szklenia z łączeniem strukturalnym powinno zostać zbadane i zatwierdzone. Jeżeli wymagana jest certyfikacja dla szklenia strukturalnego zgodnie z ETAG 002-1 bardzo prosimy o kontakt przedstawicielami działu technicznego firmy Guardian celem uzyskania szczegółowych informacji dotyczących szkieł oraz kombinacji uszczelniacz-szkło sprawdzonych na zgodność z wymaganiami ETAG-002-1.

Inną możliwością zastosowania wysoce wydajnego architektonicznego szkła powłokowego (SunGuard HP, SN, SNX) bez konieczności ich usuwania w fasadach strukturalnych jest „System Guardian TEA”. Jest to innowacyjny system nakładania emalii bezpośrednio na powlekaną powierzchnię szkła. Po wypaleniu powłoka jest całkowicie rozpuszczona, a na szkło pozostaje tylko emalia. Technika ta została pozytywnie przetestowana i zaaprobowana dla większości szkieł firmy Guardian SunGuard w wersji przeznaczonej do hartowania. Powierzchnia emalii jest bardzo stabilna mechanicznie oraz chemicznie, a także jednolita optycznie i pozwala na uzyskanie pożądanej adhezji w zastosowaniach strukturalnych. System Guardian TEA jest przebadany i certyfikowany dla wielu dostępnych komercyjnie uszczelniaczy strukturalnych zgodnie z ETAG 002-1. Celem uzyskania szczegółowych informacji bardzo proszę o kontakt z firmą Guardian (→ Rozdział 8.2.3).

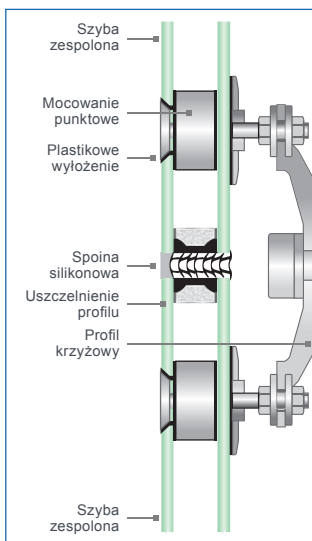


8.1.2.3 Fasady mocowane punktowo

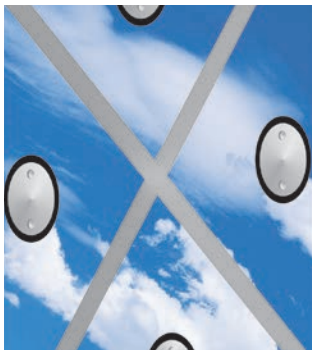
Ta technologia wykonywania fasad bazuje na pojedynczych uchwytach, rozmieszczonych punktowo. Reakcje od obciążeń działających na szkło przekazywane są do najczęściej ruchomo umocowanej głowicy uchwytu punktowego, która poprzez metalowe połączenie przenosi siły do podkonstrukcji.

W klasycznej metodzie śruby kotwowe przechodzące przez przeszklenie, ułożone w elastycznych tulejach (aby wykluczyć kontakt metalu ze szkłem) są zaopatrzone w talerze, które umożliwiają ich zamocowanie. Uchwyty talerzowe wystają poza powierzchnię. Alternatywnie można zastosować stożkowe otworowanie przez szkło, których stabilne połączenie uzyskuje się za pomocą specjalnych uchwytów wyłącznie za sprawą docisku na powierzchnie stożkowego otworu. Taka forma umożliwia uzyskanie fasad o gładkich powierzchniach bez wystających elementów. Kolejnym rozwiązaniem jest mocowanie szkła laminowanego poprzez przytwierdzenie tylko jednej szyby, a powierzchnia zewnętrzna pozostaje gładka (bez otworów). Przeszklenia do tego typu konstrukcji są zawsze wymiarowane z uwzględnieniem dopuszczalnego odkształcenia szyb oraz elastyczności mocowania. Naprężenia powstające w wyniku działających obciążeń są przenoszone poprzez uchwyty na konstrukcję nośną.

Szczeliny pomiędzy pojedynczymi szklanymi elementami fasad są uszczelniane masami odpornymi na promieniowanie UV. Tego rodzaju fasady można wykonywać zarówno ze szkła monolitycznych jak i z szyb zespolonych. W tym drugim przypadku przyłga jest wentylowana przez odpowiednie systemy otworowania i umożliwia odprowadzanie kondensatu. W niektórych krajach (np. Niemcy) zgodnie z prawem budowlanym fasady mocowane punktowo zaliczają się do „nieure-



Fasada mocowana punktowo

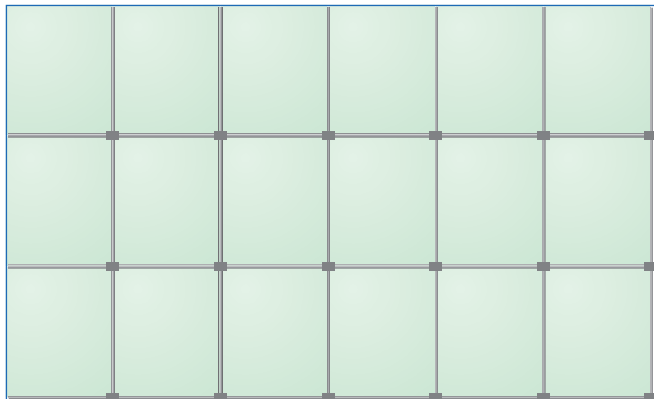


Fasada mocowana punktowo
Łączenie narożne - wizualizacja

gulowanych“ produktów budowlanych i dlatego wymagają indywidualnej zgody na całą konstrukcję.

8.1.2.4 Fasady membranowe

Ten wariant punktowego mocowania fasady został opracowany w nieodległej przeszłości. W tym przypadku cała powierzchnia fasady jest jedynie rozpięta na siatce stalowych lin z podziałem zgodnym z rozmiarem szyb, podobnie jak w rakiecie tenisowej.

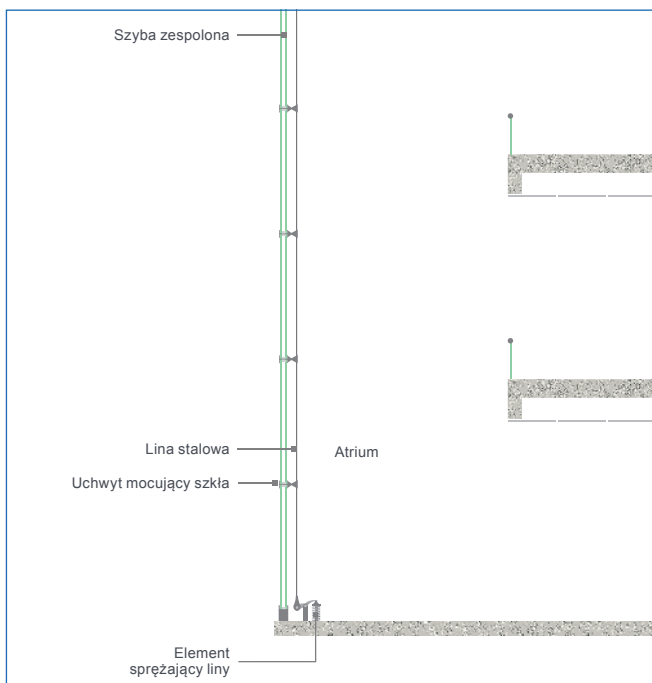


Fasada membranowa, widok od strony konstrukcji

Liny poziome i pionowe w miejscach przecięcia są łączone zaciskami, które równocześnie służą jako uchwyty dla szyb fasadowych w czterech narożnikach. Elementy szklane nie muszą być nawiercane. Obciążenia działające na fasadę są przenoszone na liny stalowe poprzez zaciski mocujące, a stamtąd na stabilną konstrukcję ramową. W wyniku uszczelnienia krawędzi sąsiadujących szyb, w sposób podobny jak w przypadku fasad mocowanych punktowo, sieć lin zostaje ukryta za krawędzią szkła i umożliwia nieograniczone spojrzenie poprzez fasadę pozornie pozbawianą podkonstrukcji. Mocowanie elementów szklanych w narożnikach bez konieczności ich wiercenia pozwala uniknąć kumulowania się naprężeń i umożliwia w ten sposób większą swobodę przy wymiarowaniu.



Fasada membranowa
Łączenie narożne - wizualizacja



Fasada membranowa

Wstępne naprężanie lin jest przeprowadzane celem sprawdzenia, czy powierzchnia fasady pod obciążeniem ulegnie odkształceniu z zachowaniem wszystkich funkcji, zanim szczytowe obciążenia zostaną przeniesione przez pionowe liny do fundamentu i ramy dachu. Konstrukcja ta zawsze wymaga uzyskania indywidualnego dopuszczenia.

8.2 Druk ceramiczny na szkłe

Farby ceramiczne (emalie) zostały opracowane do ich nanoszenia oraz wypalania na powierzchni sodowo-wapniowego szkła float. W trakcie procesu hartowania szkła, emalia jest stapiana i trwale łączy się z powierzchnią szkła tworząc kolorową ceramiczną warstwę.

Standardowa emalia składa się z mieszanki drobno zmielonych drobin szkła i pigmentu nadającym emalii kolor. Całość połączona jest przy pomocy wodnych lub olejowych rozpuszczalników. W zależności od sposobu nakładania skład roztworu może się znacząco różnić.

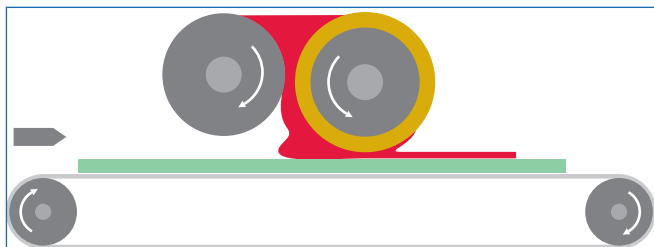
Farby ceramiczne mogą być nakładane przy użyciu wielu różnych technik. Wśród nich można wyróżnić: sitodruk, malowanie walcem, druk cyfrowy, napyłanie, malowanie kurtynowe oraz nanoszenie ręczne.

Farba po nałożeniu jest poddawana procesowi suszenia. Następnie topi się ona podczas wypalania w temperaturze od 500 do 650 °C i łączy z powierzchnią szkła. Otrzymujemy w ten sposób powłokę ceramiczną odporną na działanie czynników mechanicznych, chemicznych oraz promieniowania UV.

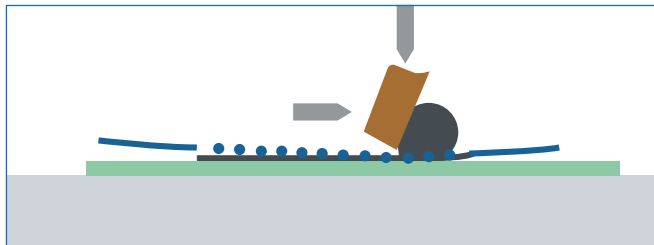
8.2.1 Metody nakładania druku ceramicznego

8.2.1.1 Malowanie przy pomocy walca

Emaliowanie przy użyciu techniki walca pozwala na precyzyjne dostosowanie grubości i jednolite nałożenie warstwy farby. Ze względu na stosunkowo grubą warstwę nałożonej farby technika ta zapewnia jej niską przeświecalność i jednolity wygląd. Technologia ta jest odpowiednia do pokrywania dużych powierzchni szkła (np. przy produkcji spandrelli) oraz malowania obwodowego. Metoda jest najbardziej efektywna dla pokrywania dużych ilości szkła.



8.2.1.2 Sitodruk



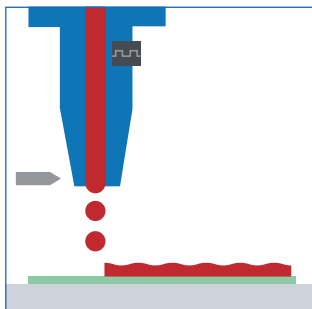
Nakładanie farb ceramicznych metodą sitodruku posiada wieloletnią historię. Emalia jest przeciskana za pomocą rakla przez otwarte części sita na szkło. Proces zaczyna się od przygotowania sita. Przy pomocy specjalnych technik optycznych tworzone są na sicie miejsca otwarte (miejsca w których ma być pomalowane szkło) oraz zamknięte (tzw. maska, czyli miejsca, które mają pozostać niezamalowane). Otwarte sekcje siatki tworzą wzór, który zostanie naniesiony na szkło z użyciem farby o wybranym kolorze.



Metoda ta umożliwia zarówno nanoszenie odpowiednich wzorów na szkło jak i pokrywanie większych powierzchni farbą. Grubość warstwy jest precyzyjnie kontrolowana poprzez zamiany parametrów sita. Także zużycie farby jest niższe w porównaniu do innych metod jej nakładania. Technologia ta jest odpowiednia do dużych ilości powtarzalnych wymiarów szklenia oraz do malowania dekoracyjnego oraz obwodowego. Wadą tej metody są duże koszty przygotowania i utrzymania sit.

8.2.1.3 Druk cyfrowy

Druk cyfrowy jest relatywnie nową technologią przeznaczoną do umieszczenia na powierzchni szkła obrazów oraz wzorów. W skład rozwiązania wchodzi drukarka cyfrowa, farba ceramiczna przeznaczona do druku cyfrowego oraz oprogramowanie do obróbki obrazów cyfrowych.



Drukarka wyposażona jest w głowice z dyszami oraz stabilizatorem atramentu (zapewnia natychmiastowe suszenie kropli) pozwalające w czasie jednego programu na nanoszenie obrazu składającego się z wielu różnych kolorów farby. Element piezoelektryczny bardzo precyzyjnie wypuszcza pojedyncze krople tuszu. Atrament do drukarki cyfrowej jest dostarczany do niej przy pomocy bardzo cienkich dysz.

Zaletą tej metody jest szeroka możliwość modyfikacji nanoszonego obrazu oraz niskie wydatki na produkcję i utrzymanie sit.

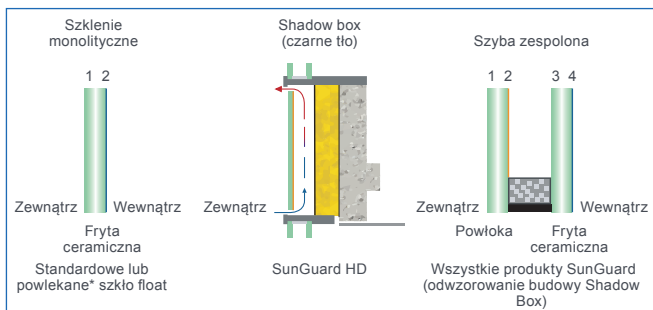
8.2.2 Spandrelle

Spandrelle są przeszkleniami, które maskują elementy wewnętrzne budynku takie jak kolumny, stropy, systemy klimatyzacji oraz wentylacji, przewody elektryczne, instalacja wodno-kanalizacyjna itp. Zazwyczaj są one zlokalizowane między częściami przeziernymi szklenia na każdym piętrze budynku.

Ściany osłonowe i szklenia strukturalne bardzo często wymagają użycia spandrel w celu osiągnięcia zaplanowanej przez projektanta wizji budynku. Kolor spandrela może zarówno współgrać jak i kontrastować z częścią przezierną fasady. Musi być on poddany procesowi hartowania celem zminimalizowania ryzyka pęknięcia termicznego (→ Rozdział 9). Firma Guardian posiada wieloletnie doświadczenie w zastosowaniu szkła typu spandrel i może służyć pomocą architektom i właścicielom budynków w osiągnięciu pożądanego wyglądu przy jednoczesnym zminimalizowaniu ryzyka pęknięcia termicznego oszklenia.

Kiedy na części przeziernie budynku wybrane zostało szkło o wysokiej transmisji światła widzialnego lub jego niskim zewnętrznym odbiciu, dobranie pasującego koloru spandrela może przysporzyć wielu trudności. Światło dzienne ma ogromny wpływ na postrzeganie zabarwienia części przeziernych oraz spandrelu umieszczonych na fasadzie budynku. Przykładowo w pogodny słoneczny dzień fasada zdaje się posiadać większy refleks poprawiając efekt dopasowania spandrelu do przeziernego szkła. W dni bardziej zachmurzone kontrast między tymi rodzajami szklenia może być bardziej widoczny. Firma Guardian rekomenduje przygotowanie prototypu szklenia fasadowego (tzw. mock-up) celem dopasowania i akceptacji najbardziej pożądanego sposobu wykonania części nieprzeziernej do każdego oddzielnego projektu.

Spandrel może być wykonany na bazie nieprzeziernego szkła monolitycznego niepowlekane lub powlekane* (zdjęcie z lewej), nieprzeziernego szkła monolitycznego z powłoką refleksyjną (zdjęcie w środku) lub stanowić szybę zespoloną zawierającą powłokę przeciwsłoneczną na szybie zewnętrznej i nieprzeziernie niepowlekane szkło od strony wewnętrznej (zdjęcie z prawej).



Rodzaje budowy spandrelu

Refleksyjne szkła powlekane SunGuard Solar oraz HD pozwalają na nałożenie farby ceramicznej bezpośrednio na ich powlekaną powierzchnię w zastosowaniach jako monolityczne spandrele. Jest to rozwiązanie ekonomiczne oraz odpowiednie do wielu zastosowań. Jeżeli wymagane dopasowanie kolorów nie może być zrealizowane przy użyciu szkła monolitycznego, rozważyć należy zastosowanie szyby zespolonej.

* możliwe do zastosowania produkty są wymienione w rozdziale 10.3

Dla dużych projektów wskazane jest wykonanie próbki szklenia w rzeczywistym formacie (tzw. mock-up) celem sprawdzenia dopasowania kolorów między częściami przeziernymi oraz nieprzeziernymi fasady.

→ Rozdział 10.3 zawiera rekomendacje do zastosowania powłok SunGuard w różnych rodzajach konstrukcji typu spandrel.



8.2.3 Emaliowanie krawędzi – Guardian System TEA

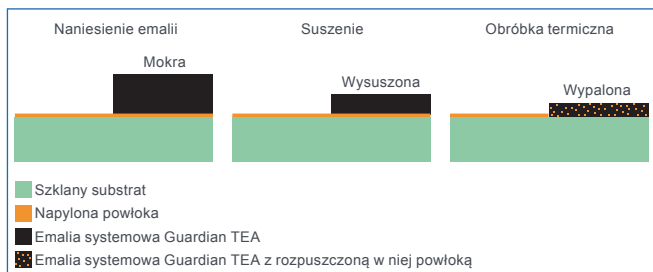
W wielu sytuacjach, nowoczesna architektura wymaga zastosowania szkła częściowo lub obwodowo pokrytego emalią. Przykładami takich sytuacji są:

- Szklenia strukturalne.
- Narożniki całoszklane.
- Szklenia dachowe stepowane.
- Okna żaluzjowe (lamelowe).
- Żebra szklane.
- Okna uchylne górą oraz boczne w fasadach całoszkłanych.

W większości przypadków emaliowanie krawędziowe szyb powlekanych jest realizowane w ramach produkcji pod konkretny wymiar. Proces ten posiada kilka wad m. in. dodatkowe procesy przetwórcze, możliwe problemy jakościowe, długi czas produkcji.

Emalie ceramiczne mogą pokrywać kompatybilne z nimi powłoki, ale często wiąże się to ze zmianą koloru gotowego produktu w porównaniu do zakładanego.

Firma Guardian we współpracy z firmą Ferro opracowała nową technologię druku ceramicznego na szkłe powłokowym „System Guardian TEA” (TEA od angielskiego True Edge Application). Odpowiednio zaprojektowana emalia jest przeznaczona do nakładania bezpośrednio na powłokę. W trakcie procesu obróbki termicznej (wypalania emalii) powłoka zostaje całkowicie rozpuszczona. Emalia systemu TEA łączy się ze szkłem za pomocą silnych wiązań (porównywalnych do występujących w połączeniu typowej emalii ze szkłem). Po zakończeniu procesu chłodzenia, materiał, z którego składa się powłoka jest całkowicie wbudowany w strukturę emalii (bardzo podobnie do cząsteczek pigmentu w standardowej emalii). Ten opatentowany system pozwala na przeprowadzenie emaliowania obwodowego wraz z usunięciem powłoki w jednym kroku.



Proces produkcji w systemie Guardian TEA

Emalia systemu TEA może być nakładana za pomocą walca lub sitodrukiem. Większość szkła powłokowych Guardian SunGuard oraz Guardian ClimaGuard w wersji przeznaczonej do obróbki termicznej oraz szkło antyrefleksyjne Guardian Clarity są kompatybilne z emalią systemu TEA. Zgodność ta potwierdzona jest certyfikatem przez jednostkę notyfikowaną.

Emalia systemu TEA jest także odpowiednia i certyfikowana do zastosowania w szkleniu strukturalnym. W celu uzyskania informacji na temat zbadanych kombinacji powłok i uszczelnaczy bardzo prosimy o kontakt z Centrum Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

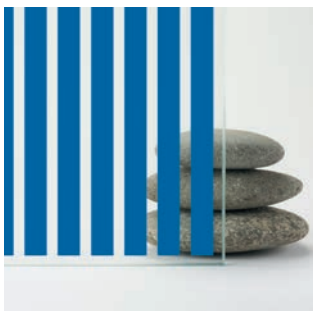
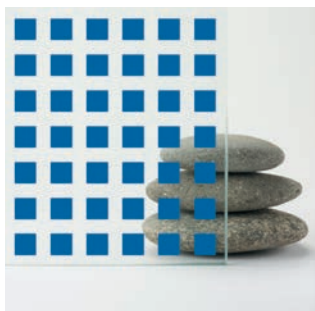


La Casa del Desierto, Gorafe, Hiszpania
SunGuard® SNX 60 I Z emaliowaniem
w systemie Guardian TEA I Architekt: OFIS
architects I Zdjęcie: © Gonzalo Botet

8.2.4 Druk dekoracyjny

Nowoczesna architektura cechuje się poszukiwaniem nowatorskich rozwiązań nie tylko dla szkła emaliowanego, ale i szyb przeziernych. Żaden inny materiał konstrukcyjny nie oferuje takich możliwości jak szkło. Nadrukiem może w dzisiejszych czasach być zarówno wzór lub symbol na szkłe jak i nawet cała ilustracja. Tego typu szkło może znaleźć zastosowanie w wielu miejscach: nowoczesnych apartamentach, biurach, restauracjach i hotelach. Przykładem może być projektowanie ścianek działowych – zastosowanie szkła dekoracyjnego pozwala tutaj na zachowanie balansu między podziałem i łączeniem przestrzeni zachowując indywidualny charakter wnętrza. Szkła wyposażone w takie elementy dekoracyjne posiadają wysokie walory estetyczne jak i ochronę przeciwsłoneczną, a ponadto gwarantują jednocześnie spójność i trwałość kolorów. W połączeniu ze szkłem kontroli słonecznej rozwiązanie to oferuje szerokie możliwości projektowania nowoczesnych fasad szklanych pod względem wizualnym.

Zazwyczaj stosowanymi technikami nakładania są sitodruk oraz druk cyfrowy (→ Rozdział 8.2.1).



Istnieje wiele wartych rozważenia możliwości tworzenia szyb dekoracyjnych ze szkłem powłokowym:

1. Druk pomiędzy powierzchnią szkła, a powłoką (#2)

- Odpowiedni dla powłok nieprzeznaczonych do procesu obróbki termicznej.
- Wymaga produkcji pod wymiar.
- Brak zmiany koloru w obserwacji z zewnątrz budynku.
- Ma wpływ na właściwości solarne i termiczne powłoki.
- Wymaga dodatkowych kroków w procesie produkcji.
- Możliwe problemy jakościowe.
- Możliwe problemy logistyczne oraz związane z czasem realizacji.

2. Nadruk na powłoce (#2)

- Możliwe użycie tylko szkła przeznaczonych do obróbki termicznej.
- Powłoki muszą być kompatybilne z emalią.
- Wysoka elastyczność procesu.
- Zmiana koloru w obserwacji z zewnątrz budynku.
- Strata właściwości termicznych w miejscach nałożenia emalii.

3. Nadruk (#1) i powłoka (#2) na przeciwległych powierzchniach tafli szkła

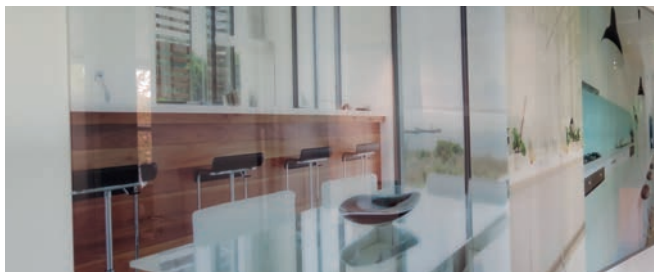
- Należy zastosować emalię przeznaczoną do stosowania na powłoki #1 (na zewnątrz budynku).
- Możliwe zastosowanie tylko powłok o wysokiej odporności mechanicznej (takich jak powłoki z rodziny SunGuard HD).
- Zalecane testy możliwości wykonania w firmie przetwórczej.
- Wysoka elastyczność procesu.
- Brak zmiany koloru.

8.3 Szkło dekoracyjne

Poza procesem emaliowania istnieje kilka innych sposobów produkcji szkła dekoracyjnego.

8.3.1 Przeniesienie kolorowego wydruku na szkło

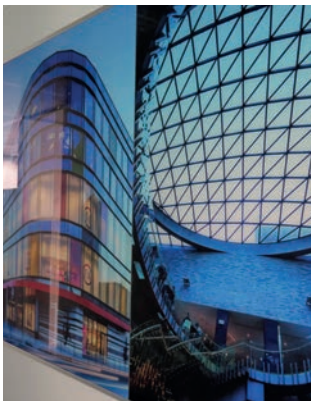
Przeniesienie druku jest alternatywą do wykonania wielokolorowego druku na szkłe w porównaniu do jednokolorowego sitodruku. Kolorowa emalia ceramiczna jest przenoszona przy pomocy druku cyfrowego na warstwy specjalnego materiału (rodzaj specjalnej folii lub papieru), powielając w ten sposób wielokolorowe motywy. Nadrukowany materiał jest umieszczany na powierzchni szkła przed procesem hartowania. W trakcie procesu hartowania materiał ulega spaleni u bez pozostawienia resztek, a wydrukowy na nim motyw pozostaje i łączy się ze szkłem. Za pomocą tej metody można nanosić na szkło różnego rodzaju wzory jak i tworzyć ilustracje posiadające tę samą jakość co kolorowe zdjęcia.





8.3.2 Dekoracyjne laminowane szkło bezpieczne

Z pomocą takiej samej metody druku cyfrowego, jednakże z zastosowaniem innych składników farb i folii, porównywalnych z popularną kiedyś fotograficzną techniką diapozytywów, produkowane są wielkowymiarowe ilustracje. Wprowadzane są one między folie PVB szkła laminowanego bezpiecznego i sprasowywane. Mimo umieszczenia dodatkowego materiału międzywarstwy szkło laminowane bezpieczne zachowuje swoje doskonałe właściwości (→ Rozdział 7.4). Jako że używane farby i folie są odporne na działanie światła i promieniowania ultrafioletowego, powstaje w ten sposób indywidualnie wykonana szyba dekoracyjna z długim okresem użytkowania.



8.3.3 Kolorowe folie w szkłe laminowanym

Ta sama technologia laminowania daje szeroki wybór najróżniejszych folii kolorowych, których łączenie umożliwia uzyskanie dowolnego koloru w szkłe laminowanym. Można uzyskać zarówno barwne szkło laminowane o pełnej przezierności jak i szkło nieprzezierne, jednocześnie spełniające funkcje bezpieczeństwa. Folie te są odporne na działanie promieni UV, dzięki czemu utrzymany jest ich kolor.



8.3.4 Dekoracyjne szkło laminowane

Tego rodzaju szkła laminowane, wytwarzane są z udziałem lanej żywicy lub folii z materiału EVA (poli(etylen-co-octan winylu)) umieszczanej między dwiema szybami. W żywicy można umieścić elementy dekoracyjne, jak na przykład plecionkę z drutu lub inne płaskie akcesoria, które nadają powstającemu w ten sposób produktowi unikalny efekt dekoracyjny. Takie szkła laminowane nie stanowią jednak szkła bezpiecznych w rozumieniu przepisów prawa i wolno je montować jako szkło bezpieczne tylko wtedy, gdy zostanie to odpowiednio udokumentowane zgodnie z prawem budowlanym.



8.4 Gięte szkło architektoniczne

W dzisiejszych czasach architekci i projektanci chętnie przełamują linie proste, narożniki i krawędzie miękkimi zaokrągleniami. Dzięki temu poza zaokrąglonymi elementami wyposażenia ze szkła w mieszkaniach i miejscu pracy powstają również gięte fasady.



ING Hoofdkantoor, Amsterdam, Niderlandy
SunGuard® SN 70/35 | Szyby zespolone dwukomorowe na bazie szyb giętych hartowanych
Architekt: Benthem + Crouwel architects | Zdjęcie: © Georges De Kinder



8.4.1 Gięcie grawitacyjne

W przypadku szkła budowlanego z reguły stosuje się metodę termicznego gięcia grawitacyjnego. Już w połowie XIX wieku w Anglii opracowano technologię gięcia szkła architektonicznego funkcjonującą do dziś, która została jedynie nieznacznie zmodyfikowana.

W tym celu płaska szyba jest układana na odpowiedniej formie i podgrzewana w piecu do temperatury 550 do 620 °C. Po osiągnięciu temperatury mięknięcia prosta szyba w wyniku działania grawitacji powoli opada do formy i przyjmuje jej kształt. Powolne wychładzanie bez naprężeń własnych pozwala na wyprodukowanie szkła odprężonego, które później będzie można poddać dalszej obróbce.

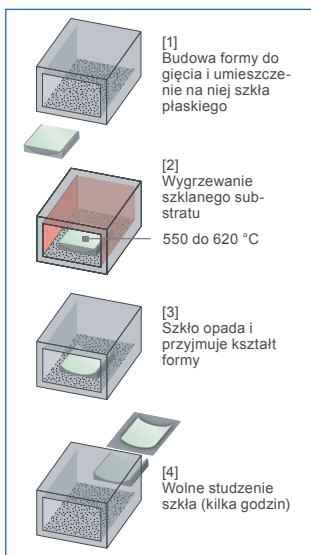
Zalety procesu gięcia grawitacyjnego szkła są następujące:

- Dobra jakość wizualna (brak pofalowania od rolek).
- Brak zjawiska anizotropii.
- Szeroka gama kształtów (zarówno cylindrycznych jak i wielopłaszczyznowych).
- Możliwe jest wykonanie zarówno kształtów wypukłych jak i wklęsłych z użyciem szkła powłokowego.

Wyzwaniem jest długi czas produkcji (nagrzewanie pieca, utrzymywanie temperatury, odprężanie). Musi być to wzięte pod uwagę przy ustalaniu możliwości produkcyjnych zakładu oraz czasu dostawy.

Szkło gięte grawitacyjne nie jest zaliczane do szkła bezpiecznego (brak możliwości hartowania oraz wzmacniania termicznego szkła)! Jeżeli wymagane jest zastosowanie szkła bezpiecznego tafle szkła giętego grawitacyjnie mogą zostać poddane procesowi laminowania następującemu po gięciu.

Warunkiem jest to, aby wszystkie tafle, które mają zostać później poddane procesowi laminowania, zostały umieszczone na tej samej formie w ramach jednego procesu gięcia. Zapewnia to identyczny kształt laminowanych tafli i przyczynia się do uniknięcia naprężeń w gotowym szkłe laminowanym i co za tym idzie, zmniejszenia prawdopodobieństwa delaminacji.



Proces gięcia grawitacyjnego

8.4.2 Szkło gięte hartowane

Podczas procesu obróbki termicznej szkło może zostać poddane procesowi gięcia wraz z procesem hartowania lub wzmacniania termicznego. Proces odbywa się przy użyciu zbliżonego oprzyrządowania do tego używanego do obróbki termicznej szkła płaskiego.



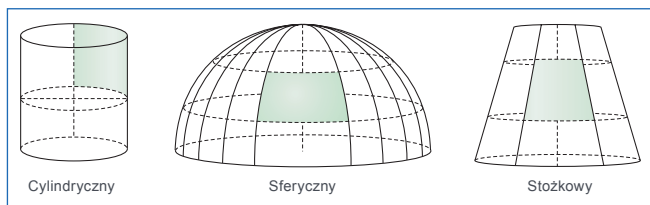
Po procesie wygrzewania w piecu, miękkie szkło jest mechanicznie gięte w elastycznej komorze studzenia podczas procesów hartowania i ochładzania.

Czas procesu gięcia szkła jest porównywalny do hartowania lub wzmacniania termicznego szkła płaskiego.

Głównym mankamentem tego sposobu gięcia jest występowanie zjawiska anizotropii oraz wad optycznych wynikających z procesu hartowania szkła. Możliwe jest wykonanie tylko kształtów cylindrycznych o jednej wartości promienia oraz w przypadku szkła powłokowego tylko kształtów wklęsłych (hartowanie może odbywać się tylko powłoką skierowaną ku górze).

8.4.3 Możliwe kształty szkła giętego

W przypadku szkieł giętych rozróżnia się przeszklenia lekko wygięte z promieniem krzywizny wynoszącym ponad dwa metry i mocno wygięte z mniejszym promieniem krzywizny. Ponadto można je podzielić na szkła gięte cylindrycznie i sferycznie. Gięcie cylindryczne to gięcie wokół jednej osi, gięciem sferycznym nazywa się gięcie wokół dwóch osi.



Wybrane kształty szkieł giętych

Szkło float może być gięte z wykorzystaniem wszystkich tych metod. Dla bezpiecznego szkła hartowanego i szkła półhartowanego ze względu na technologię produkcji stosuje się gięcie cylindryczne.

Odnośnie do najmniejszych możliwych promieni gięcia obowiązuje następująca reguła: dla szkieł o grubości < 10 mm promień do około 100 mm, a dla szkieł o grubości > 10 mm około 300 mm. Wartości te zależą od możliwości przetwórcy szkła i powinny być omówione we wstępnej fazie realizacji projektu architektonicznego.



8.4.4 Wymagania

Zasadniczo szkło gięte nie podlega regulacji prawnej, musi jednak sprostać tym samym wymogom pod względem funkcjonalności (np. termoizolacja, ochrona przeciwsłoneczna i akustyczna) oraz spełnić te same przepisy prawa budowlanego (m.in. ochrona przed wypadnięciem osób i wymagania dotyczące obciążeń), co elementy ze szkła płaskiego.

Aby to udokumentować i otrzymać zezwolenie na zamontowanie szkieł giętych, producent musi uzyskać każdorazowo lokalne dopuszczenie elementu budowlanego lub Europejskie Dopuszczenie Techniczne ETA (European Technical Approval). Obecnie brak jest w Europie bardziej szczegółowych norm dla szkieł giętych, jednakże za każdym razem należy udokumentować ich pełną przydatność do użycia. Dostępna jest norma międzynarodowa ISO 11485 „Szkło w budownictwie – Szkło gięte”. Opisuje ona terminologię i definicje w części pierwszej oraz zagadnienia jakościowe w części drugiej.

8.4.5 Rodzaje szkła odpowiednie do procesu gięcia

Generalnie wszystkie rodzaje szkła przeznaczone do obróbki termicznej mogą podlegać procesowi gięcia. Jednakże szkła z powłokami funkcjonalnymi podlegają pewnym restrykcjom. W celu określenia ograniczeń związanych z konkretną powłoką funkcjonalną należy wykonać wiele testów i prób określających możliwe do wykonania kształty, promienie gięcia oraz możliwość zastosowania określonej techniki gięcia.

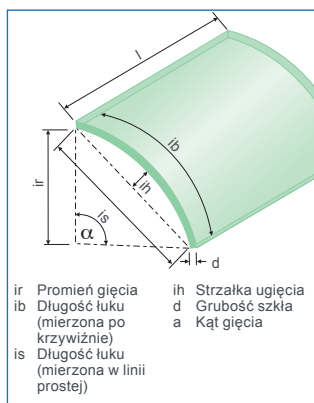
Większość rodzajów powłok firmy Guardian nadaje się do procesu gięcia grawitacyjnego i gięcia z hartowaniem lub posiada swoją odrębną wersję przeznaczoną specjalnie do procesu gięcia. Dotyczy to wszystkich rodzajów szkieł kontroli słonecznej SunGuard, hartowanej wersji powłoki termoizolacyjnej ClimaGuard oraz powłoki antyrefleksyjnej Clarity.

Obecnie w większości przypadków istnieje możliwość zastosowania wybranego szkła zarówno w częściach płaskich fasady budynku, jak również w wygiętych. Pozwala to na zachowanie spójnego wyglądu całej fasady oraz umożliwia realizację śmiałych wizji architektonicznych.

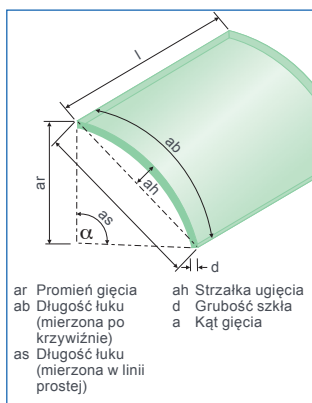
Aby uzyskać więcej informacji na temat ograniczeń, zrealizowanych projektów oraz firm przetwórczych współpracujących w zakresie gięcia bardzo prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

8.4.6 Określenie kształtu szkła giętego

Do określenia kształtu szkła giętego potrzebne są dokładne dane wymiarowe. Należą do nich poza grubością szkła i wysokością szyby, względnie szerokością zabudowy, także co najmniej dwie z pięciu wielkości zdefiniowanych na poniższym rysunku. Należy przy tym zawsze zwrócić uwagę na to, że z wyjątkiem kąta rozwarcia wszystkie dane odnoszą się do tej samej powierzchni (wklęsła = wewnątrz, wypukła = zewnątrz).

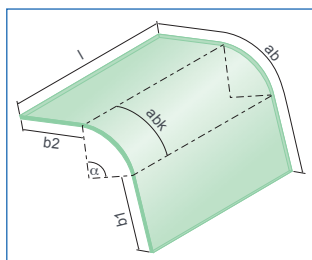


Wymiary wewnętrzne



Wymiary zewnętrzne

Standardowe gięcie to wersja cylindryczna, do której odnoszą się również te definicje. Wszystkie pozostałe formy geometryczne, jak gięcie sferyczne, trzeba zwymiarować na podstawie dokładnego rysunku w taki sposób, żeby dało się jednoznacznie określić kształt i wielkość. Trzeba na przykład odrębnie przedstawić przedłużenie form cylindrycznych (b_1 , b_2).



Łuk z prostoliniowymi przedłużeniami



8.4.7 Wymagania szczegółowe

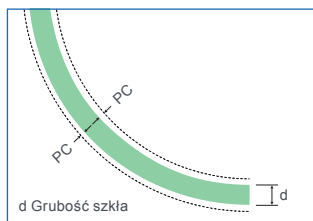
Wobec szkiele giętych przyjmuje się tolerancje i poniższe założenia techniczne dla poszczególnych form gięcia, których należy bezwzględnie przestrzegać.

8.4.7.1 Lokalne zniekształcenia optyczne

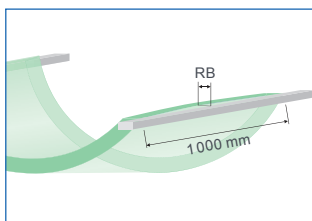
W przypadku giętego szkła hartowanego i półhartowanego miejscowe zniekształcenia mogą odbiegać od limitów obowiązujących dla szkiele płaskich, ponieważ geometria szkła, jego wielkość i grubość mogą mieć na nie większy wpływ niż w przypadku wersji płaskiej. W każdym przypadku należy je wcześniej uzgodnić z producentem.

8.4.7.2 Zachowanie konturu

Zachowanie konturu opisuje dokładność samego gięcia. Powinno się ono mieścić w zakresie tolerancji ± 3 mm w odniesieniu do konturu zadanego, aby można było bez problemu kontynuować przetwarzanie szkła (Guideline on thermally curved glass for building applications – Wytyczne dla termicznie giętego szkła budowlanego – BF-Bulletin 009).



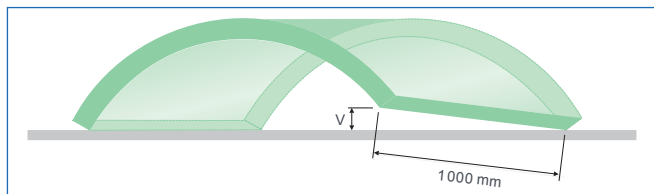
Zachowanie konturu (PC)



Prostoliniowość wysokości krawędzi (RB)

8.4.7.3 Wichrowatość

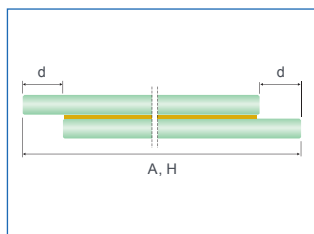
Pojęcie wichrowatości opisuje dokładność płaskorównoległości krawędzi końcowych lub niewygiętych brzegów. Również w tym przypadku nie należy po gięciu przekroczyć maksymalnej odchyłki ± 3 mm na metrze bieżącym krawędzi szkła.



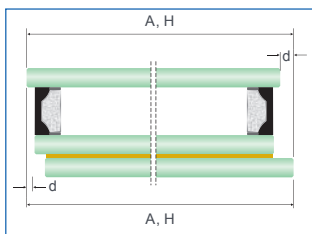
Wichrowatość (V)

8.4.7.4 Przesunięcie krawędzi

Odnosząc się do specyfikacji parametrów płaskich szkiele laminowanych i szyb zespolonych, przesunięcie krawędzi w wersjach giętych może wykraczać poza przyjęte tolerancje. Dlatego też wskazane jest wcześniejsze uzgodnienie wielkości możliwego przesunięcia z producentem.



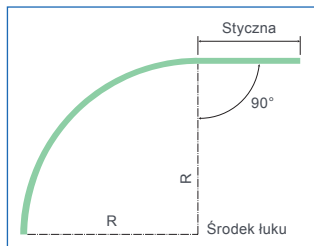
Przesunięcie w szkiele laminowanym
(d-wysokość)



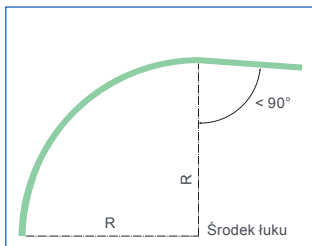
Przesunięcie w szkiele zespolonym
(d-wysokość)

8.4.7.5 Przejścia stycznej

Styczna to linia prosta, która rozpoczyna się w określonym punkcie krzywizny. Jest ona prostopadła do promienia gięcia krzywizny. Bez przejścia krzywizny z w styczną w tym miejscu pojawi się załamanie, które w szkiele jest co prawda możliwe, ale nie zalecane. W punkcie załamania powstają z reguły wyższe tolerancje niż przy przejściach stycznej.



Z przejściem stycznej



Bez przejścia stycznej

8.4.8 Statyka szkiele giętego

Zasadniczo odkształcenia i naprężenia giętego przeszklenia można obliczyć za pomocą metody elementów skończonych. Krzywizna może przy tym, w zależności od warunków mocowania szkiele monolitycznych, oddziaływać pozytywnie, czyli w kierunku cieńszych szkiele. W przypadku szyb zespolonych efekt ten występuje w mniejszym stopniu, ponieważ krzywizna szkiele podwyższa sztywność tafli, a tym samym mogą zadziałać niezwykle wysokie obciążenia klimatyczne.



Evolution Tower, Moskwa, Federacja Rosyjska
SunGuard® HP Neutral 60/40 | „Skręcona” fasada zbudowana z szyb zespolonych
wygiętych na zimno
Architekt: Tony Kettle | Zdjęcie: © Olga Alexeyenko

Należy na to zwrócić szczególną uwagę, gdy elementy posiadają przedłużenie styczne przy zagięciu. Konsekwencją może być głębsze uszczelnienie krawędzi, które później ma wpływ na montaż szkła.

8.4.9 Gięcie szkła na zimno

Technika ta pozwala projektantom na tworzenie ciągłych powierzchni szklanych o gładkich przejściach (w porównaniu do struktur segmentowych). Pozwala na efektywne kosztowo wykonanie giętej fasady szklanej.

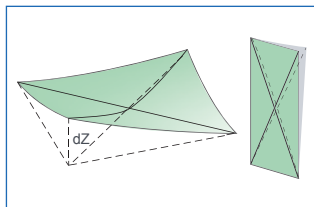
Termin gięcie na zimno odnosi się do wykonania giętych elementów tworzących ścianę kurtynową i ich zaszklanie w miejscu produkcji lub do płaskich szyb zespolonych montowanych na placu budowy do wygiętej podkonstrukcji. Konieczne jest przeprowadzenie procesu hartowania wszystkich szkieł montowanych tą metodą, ponieważ większa odporność na zginanie szkła poddanego obróbce termicznej pozwala na trwałe jego kształtowanie bez powodowania uszkodzeń.

Ograniczenia promienia szkieł zależą od stopnia ściskania powierzchni. Minimalny dopuszczalny promień jest dużo większy niż dla szkła giętego termicznie i wynosi zazwyczaj kilka metrów. Parametrem najczęściej używanym do opisu szkła giętego na zimno jest przemieszczenie „dZ” (patrz rysunki poniżej)

Kształtowanie szkła może odbywać się poprzez:

- Dociskanie przy pomocy listew maskujących.
- Uszczelnienie strukturalne pomiędzy szkłem a konstrukcją wsporczą.
- Nadanie kształtu podczas procesu produkcji cienkiego laminowanego szkła (gięcie z laminowaniem).

Przy wymiarowaniu głębokości uszczelnienia szyby zespolonej należy wziąć pod uwagę trwałe naprężenia przyłożone do elementów giętych na zimno, a także obszar zastosowanego silikonu strukturalnego, jeśli zostanie on nałożony na wstępnie ukształtowaną podkonstrukcję.



Gięte na zimno prostokątne tafle szkła z przemieszczeniem dZ



Przemieszczenie dZ, szyba zespolona przed umieszczeniem w giętej podkonstrukcji

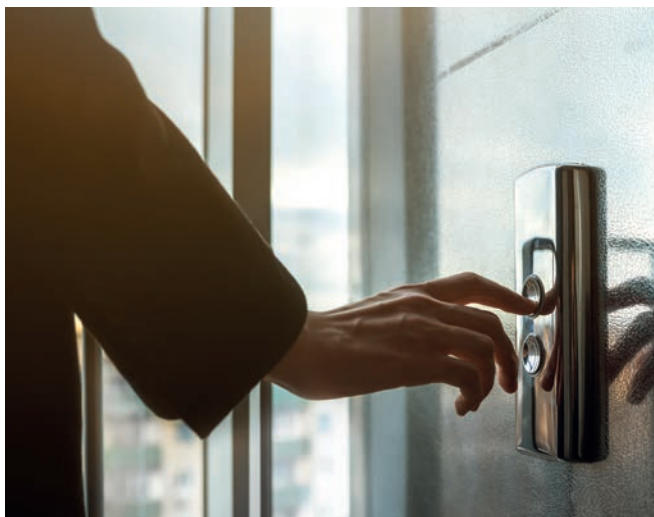


8.5 Windy szklane

Nowością dzisiejszej architektury są windy wykonane w całości ze szkła, które dają użytkownikom poczucie unoszenia się w powietrzu. Zarówno szyby windowe, jak i same kabiny są wykonane z elementów szklanych. Oczywiście jest, że takie konstrukcje muszą spełnić cały szereg wymagań z zakresu bezpieczeństwa i mechaniki. Wymagania te reguluje w większości europejska dyrektywa dotycząca dźwigów 95/16 WE 7/99 oraz norma PN-EN 81 02/99.

W uzupełnieniu do ww. przepisów istnieją także przepisy krajowe, jak na przykład prawo budowlane poszczególnych krajów. Od ścian szybu dźwigowego wymaga się stateczności dla siły 300N działającej na powierzchnię 5 cm². Stałe ściany kabiny wyciągowej, mocowane ze wszystkich stron, w zależności od wielkości stawiają różnorodne wymagania w odniesieniu do właściwości stosowanego szkła laminowanego bezpiecznego. W przeszkleniach przechodzących od podłogi po sufit na wysokości 0,90 - 1, 10 m należy uwzględnić poręcz, która nie może być podparta przez szkło.

Drzwi natomiast podlegają wymaganiom, które zależą od mocowania, mechaniki i rozmiarów. Dźwigi ze szkła zawsze stanowią produkt specjalny, który musi być realizowany wspólnie z wszystkimi zainteresowanymi stronami. Wszystkie szklane elementy dźwigu należy trwale oznakować w widoczny sposób.



8.6 Oddziaływanie z promieniowaniem długofalowym

Fasady szklane ugruntowały swoją pozycję jako elementy kształtujące styl większości biur, hoteli oraz budynków mieszkalnych. Aby spełniły one wymagania efektywności energetycznej, są wyposażone w powłoki funkcyjne. Powłoki te posiadają w swojej budowie warstwy złożone z cennych metali oraz ich związków, które przyczyniają się do redukcji nadmiernego nagrzewania się pomieszczeń w lecie oraz strat ciepła zimą.

Powłoki funkcyjne charakteryzują się wysokim przewodnictwem elektrycznym dzięki czemu oddziałują z promieniowaniem elektromagnetycznym. Jako warstwa funkcyjna srebro charakteryzuje się wysoką refleksyjnością dla promieniowania podczerwonego krótko- oraz długofalowego. Przyczynia się to do osiągania przez nie fantastycznych właściwości w odniesieniu do ochrony przeciwsłonecznej i przed stratami ciepła. Poza tym pożądanym efektem warstwy te posiadają także bardzo dużą wartość współczynnika odbicia w zakresie promieniowania mikrofalowego. Promieniowania z tego zakresu używają między innymi systemy: mobilnej komunikacji, bezprzewodowego Internetu, nawigacji oraz radary na lotniskach.

8.6.1 Szklenie tłumiące odbicie promieniowania radaru

Zakłócenia występują także z powodu wysokiego odbicia przez przegrody szklane budynków. Jest to tzw. propagacja wielodrogowa fal radiowych, która może powodować znaczne zakłócenia w systemach komunikacji. Wśród nich między innymi w radarowych systemach



kontroli ruchu lotniczego. Przykładowo urząd odpowiedzialny w Niemczech za kontrolę ruchu powietrznego Deutsche Flugsicherung (DFS), wykorzystuje wtórne systemy radarowego nadzoru (SSR) w zakresie mikrofal (ok. 1,1 GHz) na lotniskach i w wybranych lokalizacjach, aby zapewnić możliwie najszersze monitorowanie przestrzeni powietrznej. Sygnał z radaru określa kierunek statku powietrznego na podstawie jego tożsamości, wysokości, prędkości itp. Odpowiedź statku powietrznego może zostać odbita od dużych powierzchni (np. wysokich budynków) skutkując powieleniem sygnału. Taki powielony sygnał dotrze do radaru z zupełnie innego kierunku niż sygnał pierwotny. Takie fikcyjne cele mogą spowodować błędne określenie pozycji samolotu lub w przypadku zwielokrotnienia sygnału, nawet przeciążenie odbiornika.



Henninger Turm, Frankfurt, Niemcy
SunGuard® RD 60 | Szkło tłumiące promieniowanie radaru posiadające własności przeciwsłoneczne
Architekt: Meixner Schlüter Wendt (Frankfurt/M.) | Zdjęcie: © Frank Weber

W związku z powyższym kontrola lotów wymaga, aby budynki, które znajdują się w określonej odległości i położeniu oraz posiadające odpowiednią wielkość były zaprojektowane i wykonane z materiałów charakteryzujących się tłumieniem odbicia promieniowania radaru.

Uprawnieni eksperci opracowują specjalne wymagania dotyczące tego typu projektów. Generalnie wymaga się odpowiedniego poziomu osłabienia odbicia fal radiowych, padających pod zakładanym kątem przez elementy budynku.

Właściwości tłumiące szkła zależą w dużym stopniu od jego struktury. Pojedyncze tafle szkła o standardowych grubościach charakteryzują się jedynie minimalnym tłumieniem. W przypadku tradycyjnych szyb zespolonych, poprawa również jest niewielka. Najbardziej problematyczna sytuacja, jak opisana powyżej dotyczy szkła z powłokami przeciwsłonecznymi oraz termoizolacyjnymi zawierającymi metale funkcyjne. To właśnie one powodują niechciane, czasem nawet całkowite, odbicie fal radiowych.

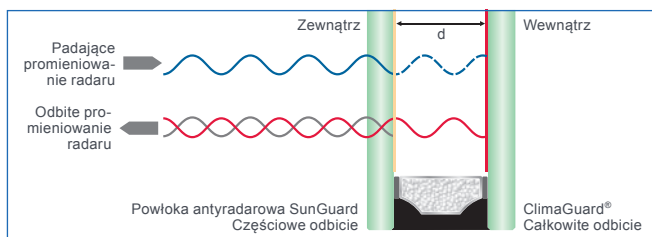
W konsekwencji najczęściej współcześnie stosowane szyby z powłokami przeciwsłonecznymi oraz niskoemisyjnymi nie mogą być stosowane bez wcześniejszych pomiarów w miejscach, gdzie wymagane jest organicznie odbicia promieniowania radaru.

8.6.1.1 Ograniczenie odbicia promieniowania radaru przy użyciu szkła z powłoką SunGuard RD.

Powłoka SunGuard® RD została zaprojektowana w celu ograniczenia odbicia fal radiowych przy pomocy zjawiska przesunięcia fazowego. Powłoka jest „półprzepuszczalna” dla promieniowania radaru i umieszczona jest na zewnętrznej tafli szyby zespolonej. Sygnał szczątkowy jest całkowicie odbijany od wewnętrznej tafli szkła wyposażonej w powłokę niskoemisyjną zawierającą w swojej budowie warstwę srebra. Zachodzi zjawisko nakładania się fali odbitych od obu powłok. Jako że długość fali promieniowania wykorzystywanego przez radary jest zbliżona do grubości tafli szkła w zespoleniu, stopień nakładania jak i w konsekwencji zachodzące przesunięcie fazowe może zostać zoptymalizowane, zależnie od kąta padania promieniowania, przy pomocy odpowiednio dobranych grubości szyb składowych oraz przestrzeni międzyszybowych.

Zachodzi zależność:

$$d = f(\lambda_{\text{Radar}} \text{ and } \angle_{\text{Radar}})$$



Wygaszenie poprzez zjawisko przesunięcia fazowego

Zewnętrzną powłokę należy skalibrować pod względem jej właściwości elektrycznych, aby umożliwić przeniknięcie dokładnie zmierzonej objętości wiązki promieniowania i, w połączeniu z odbiciem wstecznym drugiej powłoki, osiągnąć maksymalne możliwe wygaszenie.

W oparciu o dane topograficzne oraz wymagania przewidziane w opinii wydanej przez ekspertów, dobrana zostaje odpowiednia budowa szyby zespolonej. Budowa ta jest unikalna dla danego projektu i wykazuje wynikające z niej niepowtarzalne właściwości tłumienia. Zależność zmniejszenia odbicia do wartości tłumienia wyrażone jest w skali logarytmicznej (przykładowe wartości w tabeli).

Tłumienie [dB]	Redukcja [%]
5	ok. 38
10	ok. 90
15	ok. 97
20	ok. 99



We współpracy z niezależnymi konsultantami oraz firmami projektowymi, firma Guardian zapewnia wsparcie w trakcie wstępnego doboru szyb ograniczających odbicie promieniowania radaru. Wiąże się to z matematycznym określeniem budowy szyb zespolonych, które spełniają wymagania dotyczące tłumienia wiązki promieniowania radaru (radar wtórny).

Typowa budowa jest widoczna w tabeli 16 (→ Rozdział 10.3)

Ten wstępny dobór nie może zastąpić ostatecznej konfiguracji szklenia dobranej w oparciu o pomiary i oceny eksperta, które należy uzyskać dla każdego konkretnego projektu, w którym wymaga się tłumienia odbicia promieniowania radaru.

W celu pozyskania większej ilości informacji bardzo prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

8.6.2 Tłumienie promieniowania elektromagnetycznego dużej częstotliwości (tzw. elektrycznego smogu)

W celu zapewnienia wysokiej wydajności i jakości usług mobilnych, do przesyłania sygnału wykorzystuje się promieniowanie o wysokiej częstotliwości. Zwiększona ilość urządzeń doprowadziła do ogromnego użycia tych sygnałów w dzisiejszych czasach. Wielu ludzi obawia się zwiększonej ekspozycji na promieniowanie, a w szczególności montowanych nadajników sygnałów telefonii komórkowej w bliskiej odległości od miejsca zamieszkania.

Pojęcie „smogu elektrycznego” pojawiło się w latach siedemdziesiątych poprzedniego wieku i oznacza zanieczyszczenie środowiska promieniowaniem elektromagnetycznym.

Promieniowanie elektromagnetyczne jest odbijane przez powierzchnie przewodzące prąd elektryczny lub elementy zewnętrzne budowli. Tam, gdzie elementy nie przewodzą prądu elektrycznego dużą rolę odgrywa absorpcja (np. grubość betonowych elementów strukturalnych).

Ekranowanie elektromagnetyczne jest zawsze względne i zależy od rodzaju sygnału źródłowego oraz jego mocy (gęstość promieniowania wyrażana w $\mu\text{W}/\text{m}^2$).

Jako że ekranowanie elektromagnetyczne jest trudne do określenia przy użyciu metod obliczeniowych, właściwości tłumienia wielu materiałów budowlanych (w tym szyb zespolonych jedno- oraz dwukomorowych) zostały zbadane na Uniwersytecie Bundeswehr w Monachium przy współpracy z Dr. Moldan.

Promieniowanie wysokiej częstotliwości jest bardzo efektywnie tłumione przez szkło z powłoką niskoemisyjną o rezystancji powierzchniowej $< 5 \text{ Ohm}$ (takie jak ClimaGuard Premium 2, ClimaGuard 1.0+, a także szkła z ochroną słoneczną SunGuard HP, SN i SNX).

Dla szyb dwukomorowych z dwiema powłokami ClimaGuard/SunGuard osiąga się tłumienie wysokich częstotliwości w przybliżeniu 34 dB dla częstotliwości 900 MHz (GSM900) oraz ok. 34 - 38 dB dla częstotliwości zbliżonej do 1900 MHz (GSM1800, DECT, UMTS).

W przypadku szyby jednokomorowej z jedną powłoką ClimaGuard osiąga się tłumienie ok. 25 dB dla częstotliwości 900 MHz oraz ok. 28 dB dla 1900 MHz. W ostatnim czasie przeprowadzono badania wpływu przenoszących relatywnie wysoką energię fal nowej technologii 5G na nowoczesne przeszklenia dwukomorowe. Wykazały one jeszcze większą wartość tłumienia wynoszącą od 60 do 70 dB dla przedziału częstotliwości zbliżonego do 60 GHz.

Tłumienie jest określane przez wartość tzw. „współczynnika tłumienia”. Określa on wartość, o którą będzie zmniejszony sygnał elektromagnetyczny, który przechodzi przez dany element konstrukcyjny budynku. Jednostką współczynnika jest decybel (dB). Jako że funkcja jest logarytmiczna zachodzi zależność przedstawiona w tabeli poniżej:

Współczynnik tłumienia [dB]	Obniżenie transmisji [%]
10	90,00
20	99,00
30	99,90
40	99,99

Zależność obniżenia transmisji promieniowania elektromagnetycznego od współczynnika tłumienia

Częstotliwość [MHz]	Jej zastosowanie	Tłumienie w szybie jednokomorowej (1 x low-e) [dB]	Tłumienie w szybie dwukomorowej (2 x low-e) [dB]
900	GSM 900 (D-network)	ok. 25	ok. 34
1900	DECT, UMTS	ok. 28	ok. 34 - 38
2500	WLAN, LTE	ok. 30	ok. 35 - 40

Dane opierają się na pomiarach wykonanych zgodnie z normą IEEE 299-1997 na określonych próbkach szkła (źródło: Uniwersytet Bundeswehr, Dr. Pauli, Dr. Moldan) i mogą się różnić w szczególnych sytuacjach montażowych. Wielkość przestrzeni międzyszybowej w szybie zespolonej, a także zastosowane powłoki mogą prowadzić do nieco innych wyników.

Współczynnik tłumienia i związane z nim obniżenie transmisji promieniowania elektromagnetycznego w określonym jego zakresie widoczne powyżej pokazują jak niewielki poziom sygnału jest odbierany za efektywnym energetycznie przeszkleniem.

W celu poprawy transmisji promieniowania w zakresie wysokich częstotliwości powłoki mogą być klasyfikowane poprzez specjalne metody (przy użyciu lasera lub odpowiednich emalii ceramicznych). Ta segmentacja wpływa na tworzenie się w powłokach o wysokiej przewodności elektrycznej prądów wirowych, które odpowiedzialne są za odbijanie promieniowania.



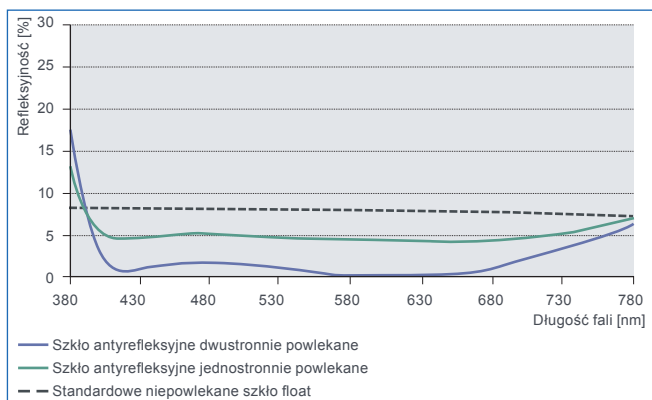
Jednak, jeżeli wymagane jest podwyższenie transmisji należy wziąć pod uwagę, że jedynie kompleksowe rozwiązania mogą przynieść oczekiwany skutek. W związku z tym w każdej rozpatrywanej sytuacji brane pod uwagę muszą być całe okna oraz elementy fasadowe wraz z odpowiadającymi im profilami oraz połączeniem ze ścianą budynku.

8.7 Szkło antyrefleksyjne

Mimo wysokiej przejrzystości nowoczesnych przeszkleń, przezierność w zależności od kąta obserwacji i padania światła z reguły jest zakłócona przez odbicie światła padającego z jaśniejszego otoczenia do ciemniejszego wnętrza. Szczególnie w przypadku witryn sklepowych obniża to możliwość oglądania obiektów za przeszkleniem w wyniku refleksów i odbicia lustrzanego.



CFL Control Tower, Dudelange, Luksemburg
Guardian Clarity™ | Szkło powlekane antyrefleksyjne
Zdjęcie: © Frank Weber



Powierzchnia standardowego szkła float odbija w przybliżeniu 4 % światła widzialnego. Oznacza to, że dwie powierzchnie odbijają 8 %, a szyba jednokomorowa 16 %.

Powłoki antyrefleksyjne, których przekładem jest powłoka Guardian Clarity, są w stanie znacznie obniżyć refleksyjność powierzchni szkła. Powłoka umieszczona na obu powierzchniach tafli szkła obniża jej refleksyjność do wartości poniżej 1 %.

Produkt	Transmisja światła widzialnego [%]	Odbicie światła widzialnego [%]
Szkoło Guardian Clarity dwustronnie powlekane na UltraClear 4 mm	98	<1
Szkoło float Guardian UltraClear 4 mm	91	8

Dla bardzo wysokich wymagań związanych z ograniczeniem odbicia wszystkie powierzchnie szklenia powinny być wyposażone w powłoki antyrefleksyjne, gdyż nawet jedna powierzchnia bez powłoki podwyższy odbicie światła widzialnego o 4 %.

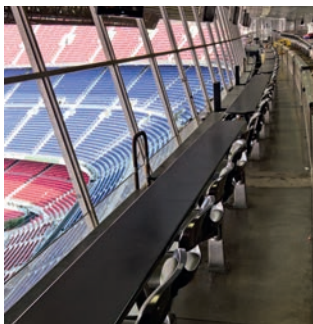
Powłoka antyrefleksyjna Clarity jest w standardzie nakładana na szkło bazowe odżelazione UltraClear i jest dostępna w wersji powlekanej jedno- oraz dwustronnie. Można ją poddawać obróbce termicznej do szkła hartowanego lub wzmacnianego termicznie oraz może być poddawana procesowi gięcia grawitacyjnego jak i gięcia z hartowaniem (→ Rozdział 8.4).

Dane charakteryzujące typowe budowy szkła pojedynczych oraz zespołów zawierających powłokę Clarity wraz z połączeniem jej z innymi powłokami funkcjonalnymi znajdują Państwo w → rozdziale 10.4.



Powłoka Guardian Clarity jest szczególnie przydatna w zastosowaniach jako przeszklenie:

- Witryn sklepowych.
- Wystaw w sklepach i muzeach.
- Ochronne dla obrazów i innych dzieł wystawianych w galeriach sztuki.
- Pomieszczeń sterowania.
- Przejść architektonicznych.
- Wież sterowania ruchem lotniczym.
- Stadionów.
- Stacji Benzynowych.
- Salonów samochodowych.
- Lobby hotelowych.
- Restauracji.
- Tarasów widokowych na najwyższych piętrach budynków.



8.8 Szkło bezpieczne dla ptaków

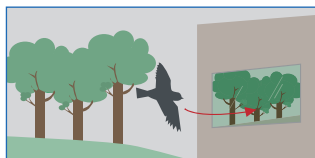
8.8.1 Istota problemu

Użycie szkła architektonicznego charakteryzującego się przejrzystością i refleksyjnością może wpływać na postrzeganie środowiska zewnętrznego.

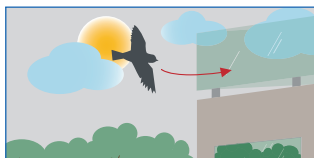
Ptaki (w przeciwieństwie do ludzi) nie są w stanie odbierać odbitych obrazów na powierzchni szkła jako odbicia. W związku z tym, dochodzi do częstych kolizji ptaków ze szkłem, które jest postrzegane przez nie jako zachmurzone niebo, drzewo lub inne elementy środowiska naturalnego.

Przeziernie szklenia są także niebezpieczne, jako że ptaki nie są w stanie postrzegać ich jako stałych obiektów i uderzają w szkło próbując przelecieć do miejsca znajdującego się za nim. Zwłaszcza dotyczy to szklanych korytarzy, okien znajdujących się jedno za drugim, ścian balkonów oraz narożników całoszklanych.

Uderzenie z pełną prędkością często powoduje śmierć ptaków. Problem zaczyna być coraz poważniejszy, ponieważ miasta rozwijają się i coraz więcej fasad budynków wykonanych jest ze szkła. Władze państwowe i inwestorzy w centralnej Europie i Ameryce Północnej zauważyły problem i co za tym idzie, wielu producentów szkła opracowało produkty i technologie mogące poprawić sytuację.



Odbicia



Przejrzystość

8.8.2 Ocena rozwiązań “bezpiecznych dla ptaków”

Kiedy projektanci oraz użytkownicy budynków dostrzegli problem związany z kolizjami ptaków ze szkłem przemysł zaczął opracowywać szklenia mogące zminimalizować ten efekt. Jednak w tym czasie nie istniały żadne regulacje prawne pozwalające na ocenę skuteczności tzw. rozwiązań bezpiecznych dla ptaków.

Pierwszym krokiem było opracowanie normy Austriackiej ONR 191040. Norma ta jako pierwsza opisuje ocenę efektywności rozwiązań bezpiecznych dla ptaków. System oceny szklenia opiera się na teście z użyciem specjalnego „tunelu przelotowego”. Dwie szyby są umieszczane obok siebie na końcu tunelu: jedna jest szybą referencyjną, a druga wyposażona jest w rozwiązanie bezpieczne dla ptaków. Określona ilość ptaków jest wypuszczana i leci w kierunku szkła. W celu uniknięcia rzeczywistej kolizji ptactwa ze szkłem umieszcza się przed nim specjalną sieć, w którą ptaki są wyłapywane.

Aby uznać szklenie za bezpieczne dla ptaków, mniej niż 10 % testowanych ptaków powinno zdecydować się na lot przez testowane szkło wyposażone w środki ochronne. Wartość ta została uznana za odpowiednią przez ornitologów z Szwajcarii, Austrii, Niemiec oraz Stanów Zjednoczonych. Opierając się na eksperymentach z udziałem tysięcy ptaków zostały wyznaczone cztery kategorie efektywności rozwiązań:

- A Bardzo skuteczne < 10 %.
- B Ograniczone 10 % do 20 %.
- C Słabe 20 do 45 %.
- D Nieskuteczne > 45 %.

Temat ochrony ptaków jest dzisiaj przedmiotem wielu dyskusji w branży. Wiedza na temat zachowań ptaków jak i odpowiednie produkty szklane są nieustannie rozwijane.



Centrum Południe | Wrocław, Polska | SunGuard SN 70S
Architekt: APA WOJCIECHOWSKI SP.Z O.O. | Zdjęcie: © fotografia Maciej Lulko

8.8.3 Rozwiązania zapewniające ptakom lepszą widoczność przeszkleń

Generalnie zachodzi ogólna zależność: im wyższy jest kontrast tym lepiej. Na dużych przeszkleniach bez obramowania bardziej odpowiednie jest niższe odbicie, jako że krajobraz jest przez nie mniej widoczny. Wysokie odbicie może wręcz prowadzić do zakłócenia postrzegania nieprzezroczystych znaków. Obecnie przyjęte jest, że jeśli wartość odbicia światła widzialnego nie przekracza 15 % (także w odniesieniu do szyb zespolonych dwukomorowych), szyb nie trzeba dodatkowo znakować. Organizacje takie jak BUND (Niemcy), stacja ornitologiczna Sempach (Szwajcaria) oraz Minergie Certification (Szwajcaria) rekomendują odbicie zewnętrzne na poziomie poniżej 15 % jako „niskie cenowo i rozsądne rozwiązanie”, pozwalające na niezakłócony widok. Organizacja Minergie twierdzi, że generalnie odpowiednią wartością dla okien jest „maksymalnie 15 % (najlepiej 12 %), zwłaszcza jeżeli przed szkłem znajdują się drzewa lub krzewy”. Fasada powinna być znakowana lub odbicie powinno zostać ograniczone do poziomu poniżej 15 %. Naroża szklane o wielkości 2 m lub większe powinny być zawsze znakowane niezależnie od wartości odbicia.

Aby spełnić bardziej restrykcyjne wymagania, szklenie powinno zostać dodatkowo oznaczone przynajmniej na pozycji #2. Rozwiązaniem idealnym, jeżeli stosowane są powłoki przeciwsłoneczne SunGuard oraz termoizolacyjne ClimaGuard, jest emalia w „Systemie TEA” dla druku ceramicznego czarnych znaków bezpośrednio na powłoce (→ Rozdział 8.2.3). Jako że, emalia rozpuszcza powłokę (niwelując jej odbicie) można osiągnąć maksymalny kontrast, kiedy obserwacja prowadzona jest od strony zewnętrznej.

Odpowiednie do rozwiązania powłoki wraz z podkreśleniem ich niskiej wartości odbicia zewnętrznego znajdują Państwo w → rozdziale 10.3.

Dla każdego rodzaju oznakowania maksymalna odległość między znakami nie powinna przekraczać 10 cm, a średnica pojedynczego znaku (np. punktu) nie powinna być mniejsza niż 8 mm. Nie jest ważny stopień pokrycia, lecz maksymalny kontrast podczas obserwacji szklenia od zewnątrz!

Konstrukcje newralgiczne (np. narożniki, ściany szklane, balkony, tarasy szklane) wymagają oznaczenia na pozycji #1. Zgodnie z obecnym stanem wiedzy w Europie, oznaczenie widoczne w świetle UV jest uznawane za „słabo nadające się” lub nawet „nieskuteczne”.



Conarg Offices, Bukareszt, Rumunia | SunGuard® SN 63
Architekt: Colbax | Zdjęcie: © Arthur Tintu

9.	Normy i wytyczne	142
9.1	Europejskie normy odnoszące się do szkła	154
9.2	Tolerancje dla wymagań normatywnych	156
9.2.1	Szkło bazowe	156
9.2.2	Rozkrój	156
	Informacje ogólne Ubytek możliwy w procesie float Kąty ostre w szkłe hartowanym, laminowanym szkłe bezpiecznym i szybach zespolonych – odcinanie (obszary wyłączone z oceny) Długość, szerokość i prostopadłość	
9.2.3	Obróbka	158
	Jakość obróbki krawędzi Tolerancje standardowe Tolerancje specjalne Specjalne kształty Obróbka krawędzi Obróbka (wycięcia, wcięcia) Narożnik stępiony < 100 x 100 mm Narożnik stępiony Wykrój krawędzi stępionych Standardowe odchyłki przy obróbce ręcznej – wymiary wycięć Standardowe odchyłki przy obróbce CNC – wymiary wycięć Narożnik polerowany – obrabiarka CNC Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wycięcie narożnika szlifowanego Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wycięcie narożnika polerowanego – obrabiarka CNC Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wycięcie krawędzi stępionych, szlifowanych lub polerowanych – obrabiarka CNC Odchyłka standardowa Odchyłka specjalna Wiercenie otworów Średnica wierconych otworów Ograniczenie i położenie wierconego otworu Rozmieszczenie wierconych otworów Średnice wierconych otworów stożkowych Średnice wierconych otworów stożkowych w szkłe laminowanym bezpiecznym	
9.2.4	Szkło hartowane, szkło hartowane wygrzewane termicznie, szkło półhartowane	164
	Globalne dystorsje – szkło niepowlekane float Lokalne dystorsje („falistość od wałków”) – szkło niepowlekane float Zalecane minimalne grubości szkła w zależności od wymiarów zewnętrznych szyby	
9.2.5	Szyby zespolone	165
	Uszczelnienia krawędziowe Tolerancje grubości w okolicy krawędzi szyb zespolonych Tolerancje wymiarowe / przesunięcie	
9.2.6	Laminowane szkło bezpieczne	167
	Tolerancje wymiarowe Tolerancje wymiarowe przesunięcia tafli laminatu Tolerancje grubości	
9.3	Krawędzie szkła	168
9.3.1	Typy obrabianych krawędzi	169
9.3.2	Obróbka krawędzi	169
9.3.3	Rodzaje krawędzi i ich zastosowania	170

9.4	Narożniki i łączenie szkła	171
9.4.1	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i sznura dylatacyjnego w zestawach dwuszybowych	171
9.4.2	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i sznura dylatacyjnego w zestawach trzyszybowych	171
9.4.3	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i profilu dylatacyjnego w zestawach dwuszybowych	171
9.4.4	Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i profilu dylatacyjnego w zestawach trzyszybowych	172
9.4.5	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła w zestawach dwuszybowych stopowanych	172
9.4.6	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła w zestawach trzyszybowych stopowanych	172
9.4.7	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła z profilem dylatacyjnym w zestawach dwuszybowych stopowanych	172
9.4.8	Narożnik całkowicie wykonany ze szkła z profilem dylatacyjnym w zestawach trzyszybowych stopowanych	173
9.5	Wymiarowanie szkła (dobór grubości)	173
9.6	Uszkodzenia powierzchni szkła	174
9.7	Wytyczne dotyczące oceny jakości wizualnej szkła w budynkach	174
9.7.1	Wizualna jakość szkła powlekanego	174
	Wykrywanie wad Warunki badania Warunki ogólne Wady jednorodności oraz plamy Defekty punktowe Kryterium dopuszczalnych defektów szkła powlekanego	
9.7.2	Wizualna jakość szkła zespolonego	177
	Warunki obserwacji Szkło zespolone składające się z dwóch szyb monolitycznych Wady punktowe Pozostałe Wady liniowe / podłużne Pozostałe szyby zespolone (inne od tych składających się z dwóch szyb monolitycznych) Szyby zespolone zawierające szkło hartowane Defekty krawędzi Tolerancja prostoliniowości ramki dystansowej Gięte szyby zespolone Pozostałe aspekty wizualne szyby zespolonej Kolor Różnice koloru w szkłe zespolonym Interferencja Efekt szyby zespolonej Wielokrotne odbicie Anizotropia (opalizowanie) Kondensacja na zewnętrznej powierzchni szkła zespolonego Zwilżalność powierzchni szkła Ocena widocznego przekroju uszczelnienia krawędzi szyby zespolonej Szyby zespolone z wewnętrznymi szprosami	

9.8	Pęknięcie szkła	183
9.8.1	Pęknięcia termiczne / naprężenia termiczne	184
	Wiadomości ogólne Pęknięcia termiczne Czynniki wpływające na pęknięcia termiczne Czynniki wpływające na wytrzymałość szkła i ryzyko pęknięcia termicznego Obliczenia i ocena ryzyka pęknięcia termicznego	
9.8.2	Typowe spękania szkła	187
9.9	Oznakowanie CE	190
9.10	Kompatybilność materiałowa	192
9.10.1	Kompatybilność uszczelniaczy ze szkłem powlekany	193
	Typowa szyba zespolona Powłoki SunGuard w szkleniu strukturalnym	
9.10.2	Nakładanie emalii ceramicznej na powlekane szkło	194
	Wymagania dotyczące emaliowania SunGuard w zastosowaniach jako monolityczny spandrel Druk ceramiczny – Ferro System 140 SunGuard HD w kombinacji z emalią ceramiczną na pozycji #1	
9.10.3	Laminowane powlekane szkło architektoniczne	198
9.11	Czyszczenie szkła	200
9.11.1	Wstęp	200
9.11.2	Sposoby czyszczenia	200
	Podczas etapu budowy Podczas etapu użytkowania	
9.11.3	Instrukcja czyszczenia szkła	201
	Informacje ogólne Szkło o specjalnym sposobie wykończenia i szkło powlekane od strony zewnętrznej Dalsze uwagi	
9.12	Transport i składowanie	203



Konsekwencją szybkiego rozwoju szkła jako materiału budowlanego i konstrukcyjnego są oczywiście coraz surowsze i obszerniejsze regulacje dotyczące jego stosowania. Kwestie stosowania i badania szkła w budownictwie zostały uregulowane w normach europejskich. Ponadto istnieje wiele krajowych rozporządzeń i wytycznych stosowanych w zależności od potrzeb. Bez względu na regulacje dotyczące badania i stosowania szkła należy przestrzegać także zachowania parametrów danego typu szkła wpływających na funkcjonalność i trwałość wyrobu tak, jak to przedstawiono we wcześniejszych rozdziałach.

9.1 Europejskie normy odnoszące się do szkła

Do najważniejszych międzynarodowych norm dotyczących badania i stosowania szkła w budownictwie należą:

PN-EN 81	Przepisy bezpieczeństwa dotyczące budowy i instalowania dźwigów
PN-EN 101	Płytki i płyty ceramiczne; oznaczanie twardości powierzchni wg skali Mohsa
PN-EN 356	Szkło w budownictwie – szyby ochronne – badania i klasyfikacja odporności na ręczny atak
PN-EN 410	Szkło w budownictwie – określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia
PN-EN 572	Szkło w budownictwie – podstawowe wyroby ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego
PN-EN 673	Szkło w budownictwie – określenie współczynnika przenikania ciepła (wartość U) – metoda obliczeniowa
PN-EN 674	Szkło w budownictwie – określenie współczynnika przenikania ciepła „U” – metoda osłoniętej płyty grzejnej
PN-EN 1063	Szkło w budownictwie – bezpieczne oszklenia – badanie i klasyfikacja odporności na uderzenie pocisku
PN-EN 1096	Szkło w budownictwie – szkło powlekane
PN-EN 1279	Szkło w budownictwie – szyby zespolone izolacyjne
PN-EN 1363	Badania odporności ogniowej
PN-EN 1364	Badania odporności ogniowej elementów nienośnych
PN-EN 1522/1523	Okna, drzwi, żaluzje i zasłony – kuloodporność
PN-EN 1627 - 1630	Okna, drzwi, żaluzje i zasłony – odporność na włamanie
PN-EN 1748	Szkło w budownictwie – podstawowe wyroby specjalne
PN-EN 1863	Szkło w budownictwie – termicznie wzmocnione szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe
PN-EN 10204	Wyroby metalowe – rodzaje dokumentów kontroli
PN-EN 12150	Szkło w budownictwie – termicznie hartowane bezpieczne szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe
PN-EN 12207	Okna i drzwi – przepuszczalność powietrza – klasyfikacja
PN-EN 12208	Okna i drzwi – wodoszczelność – klasyfikacja
PN-EN 12412	Ciepłe właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji – określenie współczynnika przenikania ciepła metodą skrzynki grzejnej
PN-EN 12488	Szkło w budownictwie – wytyczne dotyczące oszklenia – systemy oszklenia i wymogi oszklenia
PN-EN 12600	Szkło w budownictwie – badanie wahadłem
PN-EN 12758	Szkło w budownictwie – oszklenie i izolacyjność od dźwięków powietrznych

PN-EN 12898	Szkło w budownictwie – określenie emisyjności
PN-EN 13022	Szkło w budownictwie – oszklenie ze szczeliwem konstrukcyjnym
PN-EN 13123, 1 - 2	Okna, drzwi i żaluzje – odporność na wybuch
PN-EN 13501	Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków
PN-EN 13541	Szkło w budownictwie – bezpieczne oszklenia – badanie i klasyfikacja odporności na siłę eksplozji
PN-EN 14179	Szkło w budownictwie – termicznie wygrzewane hartowane bezpieczne szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe
PN-EN 14449	Szkło w budownictwie – szkło warstwowe i bezpieczne szkło7 warstwowe
PN-EN 15434	Szkło w budownictwie – norma wyrobu dla szczeliw konstrukcyjnych i/ lub szczeliw odpornych na ultrafiolet
PN-EN 15651	Kity stosowane do połączeń niestrukturalnych w budynkach i przejściach dla pieszych
prPN-EN 16612	Szkło w budownictwie – Wyznaczanie metodą obliczeniową nośności normalnie obciążonych tafli szklanych
DIN 18008-1	Glass in building – Design and construction rules Terms and general bases
DIN 18008-2	Glass in building – Design and construction rules Linearly supported glazing
DIN 18008-3	Glass in building – Design and construction rules Point fixed glazing
DIN 18008-4	Glass in building – Design and construction rules Additional requirements on barrier glazing
DIN 18008-5	Glass in building – Design and construction rules Additional requirements for walk-on glazing
DIN 18008-6	Glass in building – Design and construction rules Additional requirements for walk-on glazing in case of maintenance procedures and for fall-through glazing
PN-EN 20 140	Akustyka – pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych
PN-EN ISO 140- 3	Akustyka – pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – część 3: Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami
PN-EN ISO 717-1	Akustyka – ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych
PN-EN ISO 1288, 1 - 5	Szkło w budownictwie – określanie wytrzymałości szkła na zginanie
PN-EN ISO 9050	Szkło w budownictwie – określenie przenikalności światła, bezpośredniej przenikalności światła słonecznego, łącznej przenikalności energii słonecznej i przenikalności promieniowania ultrafioletowego oraz innych czynników wpływających na oszklenie
PN-EN ISO 10077	Ciepne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji
PN-EN ISO 12543	Szkło w budownictwie – szkło warstwowe i bezpieczne szkło warstwowe
PN-EN ISO 13788	Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja między-warstwowa – metody obliczania



9.2 Tolerancje dla wymagań normatywnych

Przyjęte tolerancje są regulowane przez aktualnie obowiązujące normy. Normy te nie są, jednakże w niektórych przypadkach wystarczające. W poniższym rozdziale przedstawiono zatem przypadki opisane w normach, lecz budzące wątpliwości lub pominięte w nich. Przypadki te podzielono na dwie kategorie:

- Standardowe tolerancje
Standardowe tolerancje to tolerancje, które można zapewnić podczas normalnego toku produkcji.
- Specjalne tolerancje
Specjalne tolerancje mogą być realizowane podczas produkcji z dodatkowymi środkami ostrożności i muszą być ustalane indywidualnie dla każdego przypadku.

9.2.1 Szkło bazowe

Normatywnie szkło bazowe definiuje norma PN-EN 572.

Norma ta zawiera maksymalne odchylenia nominalnej grubości różnych wyrobów szklanych. Co więcej, definiuje również wymogi jakościowe oraz wymogi wad optycznych i wizualnych wyrobów ze szkła bazowego.

Stosuje się tolerancje nominalnej grubości widoczne w tabeli obok.

W przypadku odchyień maksymalnych brak jest zróżnicowania między tolerancją standardową a specjalną.

Grubość nominalna [mm]	Odchylenie maksymalne [mm]
2	$\pm 0,2$
3	$\pm 0,2$
4	$\pm 0,2$
5	$\pm 0,2$
6	$\pm 0,2$
8	$\pm 0,3$
10	$\pm 0,3$
12	$\pm 0,3$
15	$\pm 0,5$
19	$\pm 1,0$

Tab. 1: Maksymalne tolerancje grubości szkła

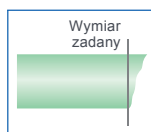
9.2.2 Rozkrój

Stosuje się również normę PN-EN 572 oraz ogólne wymiary długości i przyjmuje odchylenia długości krawędzi $\pm 0,2$ mm/m.

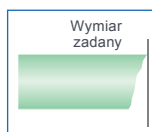
9.2.2.1 Informacje ogólne

Ewentualne pęknięcie skośne krawędzi uzależnione jest od grubości i jakości szkła bazowego.

Czynniki te należy wziąć pod uwagę przy podawaniu informacji na temat tolerancji, np. wymiary szkła mogą się zmieniać wraz z podniesioną krawędzią o podwójną wartość pęknięcia skośnego.



Rys. 1: Naddatek



Rys. 2: Ubytek

W przypadku elementów nieprostokątnych mogą przy odpowiednich kątach wystąpić tolerancje wymienione w tabeli 2a (podobne jak w przypadku odcinania). Geometria szkła pozostaje niezmieniona.

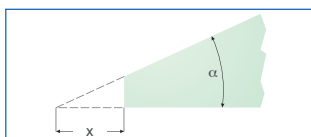
Grubość szkła [mm]	Wartość maksymalna [mm]
2, 3, 4, 5, 6	$\pm 1,0$
8, 10	$\pm 1,5$
12	$\pm 2,0$
15	$\pm 2,0$
19	$+ 5,0 / - 3,0$

Tab. 2: Tolerancja wartości pęknięć skośnych

9.2.2.1.1 Ubytek możliwy w procesie float

α	x [mm]
$\leq 12,5^\circ$	-30
$\leq 20^\circ$	-18
$\leq 35^\circ$	-12
$\leq 45^\circ$	-8

Tab. 2a: Odcinanie



Rys. 3: Odcinanie

9.2.2.1.2 Kąty ostre w szkłe hartowanym, laminowanym szkłe bezpiecznym i szybach zespolonych – odcinanie (obszary wyłączone z oceny)

Producenci szkła zastrzegają sobie prawo do odcięcia krawędzi zgodnie z tabelką 2b z uwagi na aspekty technologiczne. W przypadku braku takiego cięcia wymiary przedstawione w tabeli 2b będą traktowane jak obszary wyłączone z oceny. Możliwe będą zatem nierówności zarówno krawędzi (np. naddatki) jak również powierzchni, niestanowiące podstawy do reklamacji.

Odcięcie krawędzi o kącie $> 25^\circ$ jest równoznaczne z ubytkiem. Wartości tolerancji wymienionych w rozdziale 9.2.3.1.4, w Tabeli 6 nie należy dodawać do podanych w Tabelach 2a i 2b.

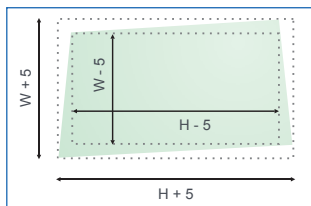
α	x [mm]
$\leq 12,5^\circ$	-65
$\leq 20^\circ$	-33

Tab. 2b: Odcinanie

9.2.2.2 Długość, szerokość i prostopadłość

Na podstawie wymiarów nominalnych: długości (H) i szerokości (W), szyba musi pasować do prostokąta, który powiększono o wartość górnego wymiaru granicznego i pomniejszono o wartość dolnego wymiaru granicznego.

Boki tych prostokątów muszą leżeć równolegle względem siebie i posiadać wspólny środek (zob. rys. 4). Prostokąty te opisują jednocześnie granice prostopadłości. Limity odchyłek dla nominalnych wymiarów długości (H) i szerokości (W) wynoszą ± 5 mm.



Rys. 4: Kanciastość



9.2.3 Obróbka

Tolerancje są zależne od rodzaju obróbki krawędzi. Dodatkowo obowiązują normy PN-EN 14179 oraz wymogi krajowe, np. w Niemczech norma DIN 1249, część 11.

9.2.3.1 Jakość obróbki krawędzi

(→ Rozdział 9.3.2)

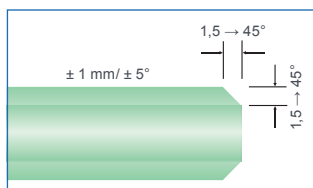
9.2.3.1.1 Tolerancje standardowe

Rozróżnia się następujące rodzaje obróbki krawędzi szkła: stępienie, szlifowane i polerowane. Utworzono zatem dwie klasy tolerancji:

- Dla krawędzi stępianych obowiązuje tolerancja uwzględniająca pęknięcia skośne (→ Rozdział 9.2.2).
- Dla krawędzi szlifowanych/polerowanych stosuje się wartości przedstawione w poniższej tabeli:

Długość krawędzi [mm]	Grubość ≤ 12 mm [mm]	Grubość = 19 mm [mm]
≤ 1000	± 1,5	± 2,0
≤ 2000	± 2,0	± 2,5
≤ 3000	+ 2,0 / - 2,5	± 3,0
≤ 4000	+ 2,0 / - 3,0	+ 3,0 / - 4,0
≤ 5000	+ 2,0 / - 4,0	+ 3,0 / - 5,0
≤ 6000	+ 2,0 / - 5,0	+ 3,0 / - 5,0

Tab. 3: Tolerancje standardowe



Rys. 5: Obróbka krawędzi

Odchylenia wymiaru przekątnej wynikają z $\sqrt{w^2 + h^2}$

Przykład:

Szyba: Wys. x szer. = 1000 x 3000 mm

Co daje: Wymiar dodatni: $\sqrt{1,5^2 + 2,0^2} = +2,5$ mm
Wymiar ujemny: $\sqrt{1,5^2 + 2,5^2} = -2,9$ mm

Z tego wynika: Odchylenie wymiaru przekątnej: + 2,5 / - 3,0 mm

9.2.3.1.2 Tolerancje specjalne

W tabeli 4 podano tolerancje, które można zachować przy podwyższonym nakładzie pracy. Dodatkowy nakład pracy wynika z konieczności dokładnego zmierzenia pierwszej szyby. Nieobrobione szyby należy pociąć ponownie.

Długość krawędzi [mm]	Grubość ≤ 12 mm [mm]	Grubość = 15 i 19 mm [mm]
≤ 1000	+ 0,5 / - 1,5	+ 0,5 / -1,5
≤ 2000	+ 0,5 / -1,5	+ 0,5 / -2,0
≤ 3000	+ 0,5 / -1,5	+ 0,5 / -2,0
≤ 4000	+ 0,5 / -2,0	+ 0,5 / -2,5
≤ 5000	+ 0,5 / -2,5	+ 0,5 / -3,0
≤ 6000	+ 1,0 / -3,0	+ 1,0 / -3,5

Tab. 4: Tolerancje specjalne

9.2.3.1.3 Specjalne kształty

Poniższe tabele dotyczą szkła o grubości 15 i 19 mm:

Długość krawędzi			
Standardowe [mm]		Specjalne (CNC) [mm]	
≤ 1000	± 2,0		+ 1,0 / - 1,0
≤ 2000	± 3,0		+ 1,0 / - 1,5
≤ 3000	± 4,0		+ 1,0 / - 2,0
≤ 4000	± 5,0	≤ 3900	+ 1,0 / - 2,5
≤ 5000	+ 5,0 / - 8,0	≤ 5000	+ 2,0 / - 4,0
≤ 6000	+ 5,0 / - 10,0	≤ 6000	+ 2,0 / - 5,0

Tab. 5: Tolerancje, formy specjalne

9.2.3.1.4 Obróbka krawędzi

α	x [mm]
≤ 12,5°	- 15
≤ 20°	- 9
≤ 35°	- 6
≤ 45°	- 4

Tab. 6: (Legenda rys. 3, rozdział 9.2.2.1.1)

9.2.3.2 Obróbka (wycięcia, wcięcia)

Do obróbki zalicza się wycinanie narożne, powierzchniowe i krawędziowe szyby. Położenie i wymiary dotyczące obróbki, o ile nie są standardowe, należy ze względów technologicznych ustalać za każdym razem indywidualnie. W przypadku wycinania narożnego i krawędziowego należy zachować minimalny promień określony przez narzędzie obrabiarki. Tolerancje położenia otworów są identyczne jak przy obróbce krawędzi szkła.

9.2.3.2.1 Narożnik stępiony < 100 x 100 mm

Standardowe odchylenie ± 4 mm



9.2.3.2.2 Narożnik stępiony

Standardowe odchylenie ± 4 mm w odniesieniu do położenia / wymiarów

9.2.3.2.3 Wykrój krawędzi stępionych

9.2.3.2.3.1 Standardowe odchyłki przy obróbce ręcznej – wymiary wycięć

Długość wycięcia [mm]	Odchylenie [mm]
≤ 1000	$\pm 6,0$

Tab. 7: Odchylenie wycięcia, krawędź stępiana ręcznie

9.2.3.2.3.2 Standardowe odchyłki przy obróbce CNC – wymiary wycięć

Uwaga: Minimalny wymiar w przypadku promieni wewnętrznych: 15 mm

Długość wycięcia [mm]	Odchylenie [mm]
≤ 2000	$\pm 4,0$
≤ 3400	$\pm 4,0$
≤ 6000	$\pm 5,0$

Tab. 8: Odchylenie wycięcia, krawędź stępiana obrabiarką CNC

9.2.3.2.4 Narożnik oszlifowany

Odchylenie standardowe ± 2 mm

(Narożnik $< 100 \times 100$ mm, w przeciwnym razie forma specjalna)

Odchylenie specjalne $\pm 1,5$ mm

Produkcja obrabiarką CNC.

9.2.3.2.5 Narożnik polerowany – obrabiarka CNC

9.2.3.2.5.1 Odchyłka standardowa

Odchyłka standardowa ± 2 mm

(Narożnik $< 100 \times 100$ mm, w przeciwnym razie forma specjalna)



Fig. 6: Forma specjalna

9.2.3.2.5.2 Odchyłka specjalna

Odchyłka $\pm 1,5$ mm

9.2.3.2.6 Wycięcie narożnika szlifowanego

9.2.3.2.6.1 Odchyłka standardowa

W zależności od grubości szkła minimalny odstęp przy promieniach wewnętrznych:

≤ 10 mm: R 10

≤ 12 mm: R 15

Odchyłka wymiaru ± 2 mm

Odchyłka położenia ± 3 mm

9.2.3.2.6.2 Odchyłka specjalna

Minimalny wymiar przy promieniach wewnętrznych: 17,5 mm; odchyłka 1,5 mm. Obróbka specjalna obrabiarką CNC.

9.2.3.2.7 Wycięcie narożnika polerowanego – obrabiarka CNC

Minimalny wymiar przy promieniach wewnętrznych: 17,5 mm

9.2.3.2.7.1 Odchyłka standardowa

Odchyłka ± 2 mm

9.2.3.2.7.2 Odchyłka specjalna

Odchyłka $\pm 1,5$ mm

9.2.3.2.8 Wycięcie krawędzi stępionych, szlifowanych lub polerowanych – obrabiarka CNC

9.2.3.2.8.1 Odchyłka standardowa

Minimalny wymiar przy promieniach wewnętrznych: 17,5 mm

Długość wycięcia [mm]	Odchylenie [mm]
< 500	$\pm 2,0$
≤ 1000	$\pm 3,0$
≤ 2000	$\pm 3,0$
≤ 3400	$\pm 4,0$

Tab. 9: Odchylenie wycięcia, krawędź szlifowana lub polerowana obrabiarką CNC

9.2.3.2.8.2 Odchyłka specjalna

Minimalny wymiar przy promieniach wewnętrznych: 17,5 mm

Odchyłka $\pm 1,5$ mm



9.2.3.3 Wiercenie otworów

Tolerancje położenia otworów przy obróbce są takie same jak tolerancje przy obróbce krawędzi.

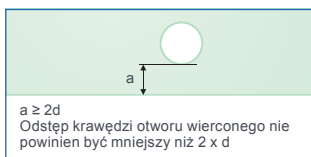
9.2.3.3.1 Średnica wierconych otworów

Średnica otworu $\varnothing$ nie powinna być mniejsza niż grubość szkła. W przypadku mniejszych średnic konieczna jest konsultacja z producentem.

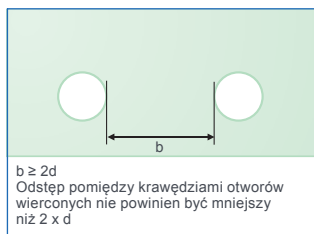
9.2.3.3.2 Ograniczenie i położenie wierconego otworu

Położenie wierconego otworu (krawędzi otworu) w odniesieniu do krawędzi szkła, narożników szkła oraz kolejnego otworu jest zależne od następujących parametrów:

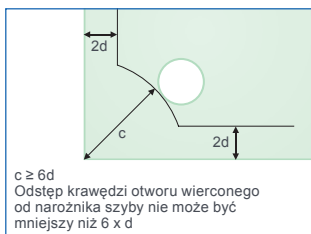
- Grubości szkła (d).
- Średnicy otworu.
- Kształtu szyby.
- Liczby otworów.



Rys. 7: Odległość wierconego otworu od krawędzi szkła



Rys. 8: Odległość między sąsiadującymi otworami wierconymi



Rys. 9: Zależność między otworem wierconym a narożem szkła (szyby)

Nominalna średnica $\varnothing$ [mm]	Odchylenie [mm]
$4 < \varnothing < 20$	$\pm 1,0$
$20 < \varnothing < 100$	$\pm 2,0$
$\varnothing > 100$	Zapytanie do przetwórcy

Tab. 10: Odchylenia średnic wierconych otworów

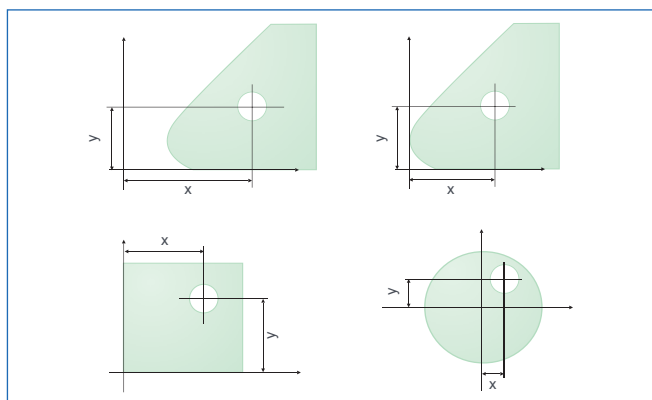
9.2.3.3.3 Tolerancja rozmieszczenia wierconych otworów

Tolerancja rozmieszczania poszczególnych otworów przypisana jest według szerokości (W) i długości (H) szklenia przedstawionych w tabeli 11.

Wymiary nominalne W lub H [mm]	Odchylenie [mm]	
	Nominalna grubość ≤ 12	Nominalna grubość > 12
≤ 2000	$\pm 2,5$ (technologia pozioma)	$\pm 3,0$
	$\pm 3,0$ (technologia pionowa)	
$2000 < W \text{ lub } H \leq 3000$	$\pm 3,0$	$\pm 4,0$
> 3000	$\pm 4,0$	$\pm 5,0$

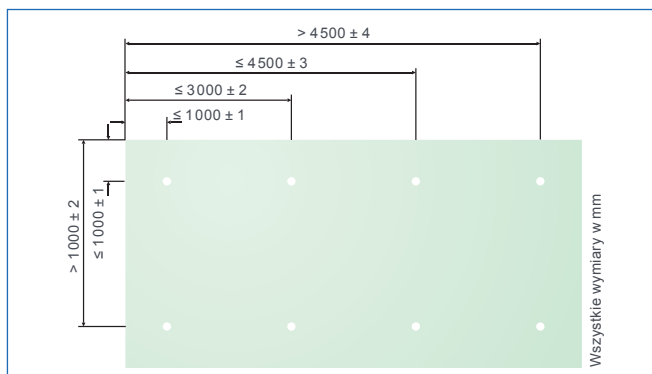
Tab. 11

Pozycja wierconych otworów określana jest za pomocą współrzędnych prostokątnych (osie XY) od punktu odniesienia do środka otworu. Punktem odniesienia jest istniejący narożnik lub zdefiniowany punkt stały. Położenie wierconych otworów (X, Y) określane jest jako ($x \pm$ odchyłka, $y \pm$ odchyłka), gdzie x i y stanowią wymagane odstęp.



Rys. 10: Położenie otworu

9.2.3.3.4 Rozmieszczenie wierconych otworów



Rys. 11: Położenie wierconych otworów

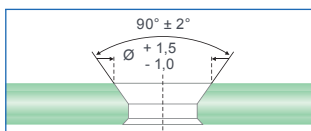


9.2.3.3.5 Średnice wierconych otworów stożkowych

Średnica:

≤ 30 mm: ± 1 mm

> 30 mm: ± 2 mm



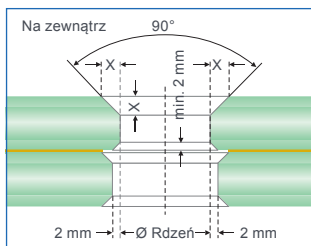
Rys. 12: Odchylenia wymiarów wierconego otworu stożkowego

9.2.3.3.6 Średnice wierconych otworów stożkowych w szkłe laminowanym bezpiecznym

Przy wierceniu cylindrycznym otworu w szybie przeciwnieległej średnica musi być o 4 mm większa niż średnica rdzenia otworu z wpustem.

$$X = \frac{\varnothing \text{ otworu} - \varnothing \text{ rdzenia}}{2}$$

Minimalna grubość szklenia
= X + 2 mm



Rys. 13: Odchylenia wymiarów wierconego otworu stożkowego w szkłe laminowanym bezpiecznym

9.2.4 Szkło hartowane, szkło hartowane wygrzewane termicznie, szkło półhartowane

Regulacje dotyczące powyższych rodzajów szkła zawarte są w następujących normach:

PN-EN 1250-1/-2 dla szkła hartowanego.

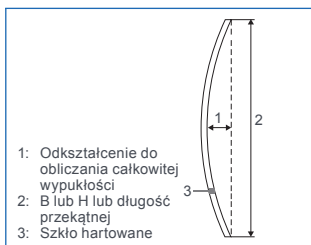
PN-EN 14179 dla szkła hartowanego poddanego obróbce HST.

PN-EN 1863 dla szkła wzmocnionego termicznie.

9.2.4.1 Globalne dystorsje – szkło niepowlekane float

Wywołane naprężenia mogą spowodować wystąpienie lekkiego łuku.

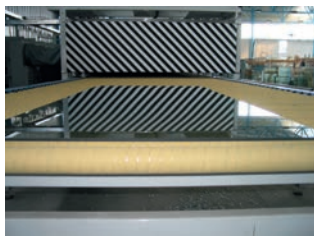
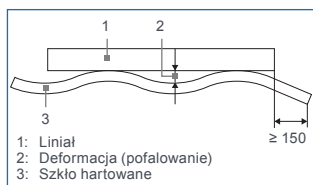
Standardowo 0,3 % odcinka mierzonego. Zasadniczo należy je sprawdzić przy krawędziach i na przekątnej, przy czym żadna z mierzonych wartości nie może przekraczać 0,3 % odcinka mierzonego.



W przypadku formatów kwadratowych o stosunku boków 1:1 i 1:1,3 oraz przy niewielkiej grubości szkła ≤ 6 mm, w wyniku procesu hartowania szkła dochodzi do większego odchylenia od linii prostej niż w przypadku wąskich formatów prostokątnych.

9.2.4.2 Lokalne dystorsje („falistość od wałków”) – szkło niepowlekane float

Gorące szkło przechodzące poziomo przez piec hartowniczy może delikatnie się zniekształcić z uwagi na kontakt z rolkami. Powodem tego jest mięknięcie szkła pod koniec procesu nagrzewania.



Maksymalna dopuszczalna tolerancja $\leq 0,3$ mm na dystansie 300 mm. Pomiaru dokonuje się, zachowując minimum 25 mm odstępu od krawędzi.

9.2.4.2.1 Zalecane minimalne grubości szkła w zależności od wymiarów zewnętrznych szyby

W związku z termicznym procesem hartowania zaleca się stosowanie minimalnych grubości szkła w zależności od jego wymiarów, bez analizowania technicznych wymogów dotyczących stosowania.

Min. grubość szkła [mm]	Maks. wymiary tafli [mm]
4	1000 x 2000
5	1500 x 3000
6	2100 x 3500
8	2500 x 4500
10	2800 x 5000
12	2800 x 5900

Tab. 12: Maksymalne wymiary tafli w odniesieniu do grubości szkła

9.2.5 Szyby zespolone

Obowiązują następujące standardy:
 PN-EN 1279-1 ... -6 (szkło izolacyjne)
 PN-EN 1096-1 (szkło powlekane)
 uzupełnione o wymogi krajowe.



9.2.5.1 Uszczelnienia krawędziowe

Uszczelnienia krawędziowe wykonywane jest zgodnie ze specyfikacjami systemowymi producenta. Maksymalny wymiar dla szerokości uszczelnienia wynosi $\pm 2,5$ mm.

9.2.5.2 Tolerancje grubości w okolicy krawędzi szyb zespolonych

Pomiar należy wykonać przy każdym narożniku i pośrodku krawędzi między zewnętrznymi powierzchniami szyby. Zmierzone wartości muszą być określone z dokładnością do 0,1 mm i nie mogą różnić się od grubości podanych przez producenta szyby zespolonej o więcej niż wartości podane w tabeli 13. W przypadku tolerancji grubości szyb zespolonych z kilkoma przestrzeniami międzyszybowymi należy:

- Określić tolerancje dla każdej struktury składającej się ze szkła/prze-strzeni międzyszybowej/ szkła zgodnie z tabelą 13.
- Podnieść te wartości do kwadratu.
- Zsumować wartości kwadratu.
- Wyciągnąć pierwiastek kwadratowy.

	Pierwsza szyba*	Druga szyba*	Odchylenia od grubości szyb zespolonych [mm]
a	Szkło odpęźnione	Szkło odpęźnione	$\pm 1,0$
b	Szkło odpęźnione	Szkło hartowane lub wzmocnione termicznie**	$\pm 1,5$
c	Szkło odpęźnione, hartowane lub wzmocnione termicznie grubość ≤ 6 mm	Szkło laminowane z foliami*** Grubość całkowita ≤ 12 mm	$\pm 1,5$
	Inne przypadki		$\pm 2,0$
d	Szkło odpęźnione	Szkło ornamentowe	$\pm 1,5$
e	Szkło hartowane lub wzmocnione termicznie	Szkło hartowane lub wzmocnione termicznie	$\pm 1,5$
f	Szkło hartowane lub wzmocnione termicznie	Kompozyt szkło/tworzywo sztuczne****	$\pm 1,5$
g	Szkło hartowane lub wzmocnione termicznie	Szkło ornamentowe	$\pm 1,5$
h	Kompozyt szkło/tworzywo sztuczne	Kompozyt szkło/tworzywo sztuczne	$\pm 1,5$
i	Kompozyt szkło/tworzywo sztuczne	Szkło ornamentowe	$\pm 1,5$

* Grubości szyb stanowią wartości nominalne.

** Bezpieczne szkło hartowane termicznie, szkło wzmacniane termicznie lub chemicznie.

*** Szkło laminowane lub laminowane bezpieczne składające się z dwóch szyb z odpęźnionego szkła float (maksymalna grubość odpowiednio 12 mm) i umiejscowionej między nimi warstwy z folii z tworzywa sztucznego. W przypadku szkła laminowanego lub laminowane go bezpiecznego o zróżnicowanym składzie należy stosować normę PN-EN ISO 12543-5 oraz technikę obliczeniową zaprezentowaną w podrozdziale 9.2.5.2.

**** Kompozyty ze szkła / tworzywa sztucznego stanowią rodzaj szkła laminowanego, składającego się z co najmniej jednej szyby wykonanej z tworzywa sztucznego. Dalsze informacje patrz norma PN-EN ISO 12543-1.

Tab. 13: Tolerancje grubości szyb zespolonych z zastosowaniem szkła float.

9.2.5.3 Tolerancje wymiarowe / przesunięcie

Tolerancje wymiarowe to tolerancje obowiązujące dla półproduktów stosowanych do produkcji szyb zespolonych wraz z ewentualnym wymiarem przesunięcia wynikającym z ich montażu.

2000 mm $\geq$ długość krawędzi	2,0 mm
3500 mm $\geq$ długość krawędzi > 2000 mm	2,5 mm
Długość krawędzi > 3500 mm	3,0 mm

Tab. 14: Maksymalne parametry przesunięcia – prostokąt

2000 mm $\geq$ długość krawędzi	2,0 mm
3500 mm $\geq$ długość krawędzi > 2000 mm	3,0 mm
Długość krawędzi > 3500 mm	4,0 mm

Tab. 15: Maksymalne parametry przesunięcia – forma specjalna

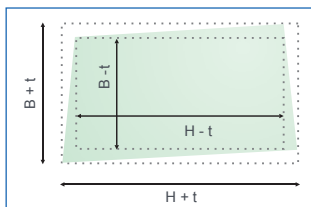
9.2.6 Laminowane szkło bezpieczne

Szkło laminowane bezpieczne składa się z dwóch lub kilku szyb, które są ze sobą zespolone za pomocą jednej lub kilku warstw folii poliwinyllobutyralowej. Rozróżnia się szkło o grubości folii PVB 0,38 mm i szkło o grubości folii PVB co najmniej 0,76 mm.

9.2.6.1 Tolerancje wymiarowe

Tolerancje wymiarowe określa norma PN-EN ISO 12543.

W zależności od budowy szkła laminowanego bezpiecznego wyróżnia się szkło laminowane z folią PVB o grubości 0,38 mm, szkło laminowane z folią PVB o grubości co najmniej 0,76 mm, szkło laminowane z folią dźwiękoizolacyjną, szkło laminowane z folią kolorową (kolorowe folie PVB).



Rys. 14: Wymiary graniczne dla rozmiarów szyb prostokątnych

Zastosowanie mają odpowiednie tolerancje wymiarowe półproduktów stosowanych w elementach ze szkła laminowanego bezpiecznego łącznie z dopuszczalnymi tolerancjami przesunięcia, które są przedstawione w tabelach 16 i 17.

Przykład:

Szkło laminowane składające się z tafli szkła hartowanego o grubości 6 mm / z folią PVB o grubości 0,76 / oraz tafli szkła wzmacnianego termicznie o grubości 6 mm; krawędzie polerowane. Wymiary pojedynczej szyby: $\pm 1,5$ mm, dodatkowa tolerancja przesunięcia: ± 2 mm.

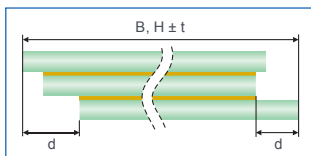
Z tego wynika suma dopuszczalnych tolerancji $\pm 3,5$ mm.



9.2.6.2 Tolerancje wymiarowe przesunięcia tafli laminatu

Ze względów produkcyjnych pojedyncze szyby mogą się przemieszczać względem siebie w procesie laminowania.

Tolerancje przemieszczenia sumuje się z tolerancjami rozkroju. Najdłuższa krawędź elementu znajduje zastosowanie w tabeli 16 lub 17.



Rys. 15: Przesunięcie

Długość krawędzi l [mm]	Maksymalne dopuszczalne wymiary przesunięcia w zależności od grubości szkła laminowanego		
	≤ 8 mm	≤ 20 mm	> 20 mm
$l \leq 2000$	1,0	2,0	3,0
$2000 < l \leq 4000$	2,0	2,5	3,5
$l > 4000$	3,0	3,0	4,0

Tab. 16: Maksymalne dopuszczalne wymiary przesunięcia: prostokąty

Długość krawędzi l [mm]	Maksymalne dopuszczalne wymiary przesunięcia w zależności od grubości szkła laminowanego		
	≤ 8 mm	≤ 20 mm	> 20 mm
$l \leq 2000$	1,5	3,0	4,5
$2000 < l \leq 4000$	3,0	4,0	5,5
$l > 4000$	4,5	5,0	6,0

Tab. 17: Maksymalne dopuszczalne wymiary przesunięcia: formy specjalne

9.2.6.3 Tolerancje grubości

Tolerancje grubości szkła laminowanego VSG nie mogą przekraczać sumy poszczególnych szyb, których wymiary określa norma dotycząca szkła bazowego (PN-EN 572). Należy pominąć maksymalny wymiar warstwy pośredniej, jeśli jej grubość wynosi < 2 mm. W przypadku warstw pośrednich ≥ 2 mm uwzględnia się odchylenie $\leq 0,2$ mm.

9.3 Krawędzie szkła

Jakość krawędzi pojedynczych szyb tworzących konstrukcję szklaną ma ogromny wpływ na trwałość produktu. Krawędzie szkła niepoddane obróbce mogą być narażone na powstanie mikropęknięć, które negatywnie wpływają na szkło i mogą prowadzić do jego pęknięcia. Jakość zależy również od stanu narzędzi tnących oraz kolejnych procesów związanych z obróbką krawędzi. Wszelkie definicje w tym zakresie zawarte są w normie PN-EN 12150.

9.3.1 Typy obrabianych krawędzi

• Szlif okrągły

Krawędź ta charakteryzuje się mniej lub bardziej zaokrąglonym szlifem powierzchni.

Najbardziej znanym rodzajem jest z pewnością tak zwana „krawędź c”.



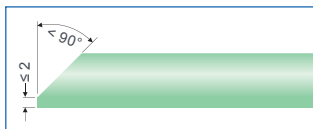
• Szlif prosty

Krawędź prosta tworzy kąt 90° względem powierzchni szkła.



• Szlif ołówkowy

Krawędź tworzy kąt między $< 90^\circ$ a $\geq 45^\circ$ względem powierzchni szkła, przy czym nie powstaje kąt ostry, lecz zawsze pozostaje sfazowanie 90° względem powierzchni szkła.



• Szlif trapezowy

W tym przypadku powstaje dowolny kąt mniejszy niż 90° względem powierzchni szkła.



W zależności od szerokości fasety rozróżnia się fasetowanie płaskie i strome. Także tutaj skos zbiega się pod kątem dopełniającym 90° , a zatem z fazowaniem. Fazę tę można również zaokrąglić.

9.3.2 Obróbka krawędzi

Rodzaj krawędzi	Definicja według PN-EN 12150
Krawędź cięta 	Krawędź cięta to nieobrobiona, ostra krawędź powstająca przy rozkroju szkła płaskiego. W poprzek krawędzi przebiegają lekko pofalowane linie. Z reguły krawędzie cięcia są złamane gładko, jednakże w szczególności w grubych szybach i nieprostoliniowych formatkach mogą wystąpić nieregularne formy pęknięć, np. w miejscu przyłożenia narzędzia tnącego. Ponadto mogą wystąpić cechy świadczące o obróbce np. po łamaniu szkła szczypcami. Wystające nierówności mogą być wyrównane (zeszlifowane). Laminowane szkło bezpieczne składające się z tafli szklanych z ciętymi krawędziami zwykle charakteryzuje się niedopasowaniem krawędzi zgodnym z tolerancją cięcia.
Krawędź stępiona 	Cięte krawędzie są stępione. Krawędź szkła może być przy tym szlifowana częściowo lub w całości.
Krawędź szlifowana na wymiar 	Szyba jest rozkrajana z naddatkiem a następnie szlifowana na wymiar na całej grubości szkła. Dopuszczalne są wyszczerbienia i wklęsłości.



Rodzaj krawędzi	Definicja według PN-EN 12150
Krawędź szlifowana 	Powierzchnia krawędzi jest szlifowana szlifierką na całej powierzchni, uzyskując matowe (satynowe) wykończenie. Wyszczerbienia i wklęsłości są niedopuszczalne.
Krawędź polerowana 	Wersja polerowana to krawędź szlifowana udoskonalona przez polerowanie. Matowe miejsca są w tym przypadku niedopuszczalne. Widoczne i odczuwalne ślady polerowania i żłobki po polerowaniu są dopuszczalne. Ze względów technologicznych, krawędzie szyb mogą być obrabiane na różnych maszynach. To może prowadzić do różnic optycznych na krawędziach szlifowanych lub polerowanych. Nie stanowi to podstawy do reklamacji.

9.3.3 Rodzaje krawędzi i ich zastosowania

Rodzaj krawędzi	Opis	Typowe zastosowanie
 Krawędź szlifowana Krawędź szlifowana	Krawędź szlifowana (korygowana)	Szklenie strukturalne z widocznymi krawędziami
 Krawędź szlifowana Krawędź polerowana	Krawędź polerowana	Szklenie strukturalne z widocznymi krawędziami do celów estetycznych
 Krawędź szlifowana	Krawędź okrągła (krawędź C) szlifowana	Lustro, meble dekoracyjne ze szkła
 Krawędź polerowana	Krawędź okrągła (krawędź C) polerowana	Lustro, meble dekoracyjne ze szkła
 Krawędź szlifowana $\alpha = 22^\circ, 45^\circ, 67^\circ$	Krawędź fasetowana stromo szlifowana	Szklenie strukturalne
 Krawędź polerowana $\alpha = 5^\circ$	Krawędź fasetowana na płasko polerowana	Lustro, meble dekoracyjne ze szkła
 Bez obróbki Krawędź stępiona	Krawędź stępiona	Minimalna jakość krawędzi dla szkielec obrabianych termicznie

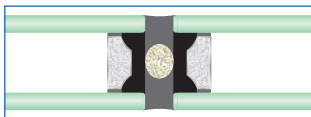
9.4 Narożniki i łączenie szkła

Cechą charakterystyczną formy nowoczesnej architektury jest to, że narożniki i łączenia nie posiadają słupków, rygli i dźwigarów ani frontowej osłony, która by je maskowała. Z tego względu stosowane połączenia krawędziowe szyb muszą być zasadniczo odporne na promieniowanie UV (→ Rozdział 3.4), a wszystkie zastosowane materiały muszą być ze sobą kompatybilne. Wymogi dla tworzenia uszczelnienia między sąsiednimi elementami szklanymi są jednakowe, jak te dla szyb osadzanych w ramie. Te same regulacje obowiązują w przypadku obliczeń statycznych, jak i wymogów izolacji termicznej i ewentualnie akustycznej.

Możliwości konstrukcyjne są zróżnicowane i należy je jasno określić przed rozpoczęciem planowania szklenia. Poniżej przedstawiono kilka przykładów możliwych rozwiązań.

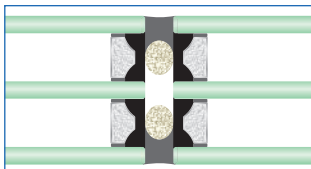
9.4.1 Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i sznura dylatacyjnego w zestawach dwuszybowych

To rozwiązanie stosuje się przy montażu pionowym. Nie nadaje się natomiast do przeszkleń dachowych, ponieważ w obszarze spoiny nie ma wentylacji ani odwodnienia.



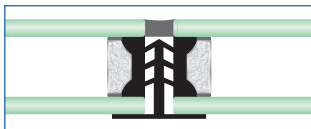
9.4.2 Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i sznura dylatacyjnego w zestawach trzyszybowych

To rozwiązanie stosuje się przy montażu pionowym. Nie nadaje się natomiast do przeszkleń dachowych, ponieważ w obszarze spoiny nie ma wentylacji ani odwodnienia.



9.4.3 Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i profilu dylatacyjnego w zestawach dwuszybowych

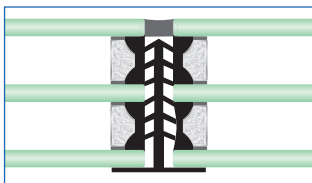
Wentylacja i odwodnienie przestrzeni spoiny są zachowane i zgodnie z konstrukcją należy je wyprowadzić na zewnątrz, w szczególności w przypadku połączeń krzyżowych szczelin dylatacyjnych.





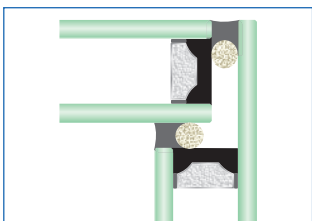
9.4.4 Łączenie szkła przy użyciu spoiny z materiału uszczelniającego i profilu dylatacyjnego w zestawach trzyszybowych

Wentylacja i odwodnienie przestrzeni spoiny są zachowane i zgodnie z konstrukcją należy je wyprowadzić na zewnątrz, w szczególności w przypadku połączeń krzyżowych szczelin dylatacyjnych.



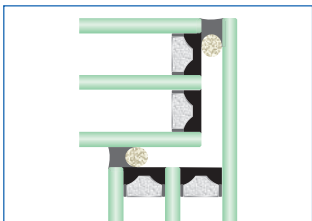
9.4.5 Narożnik całkowicie wykonany ze szkła w zestawach dwuszybowych stopowanych

Brak wentylacji i odwodnienia przestrzeni spoiny. W związku z tym nie jest to rozwiązanie dla pochylonych konstrukcji szklanych.



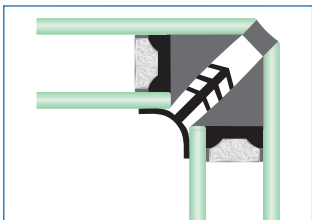
9.4.6 Narożnik całkowicie wykonany ze szkła w zestawach trzyszybowych stopowanych

Brak wentylacji i odwodnienia przestrzeni spoiny. W związku z tym nie jest to rozwiązanie dla pochylonych konstrukcji szklanych.



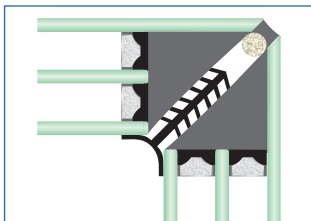
9.4.7 Narożnik całkowicie wykonany ze szkła z profilem dylatacyjnym w zestawach dwuszybowych stopowanych

Osuszanie i wentylacja przestrzeni spoiny jest możliwe i zgodnie z konstrukcją do wyprowadzenia na zewnątrz. W tym przypadku rozwiązanie można stosować zarówno w szybach montowanych pionowo jak i tych montowanych pod kątem.



9.4.8 Narożnik całkowicie wykonany ze szkła z profilem dylatacyjnym w zestawach trzyszybowych stepowanych

Osuszanie i wentylacja przestrzeni spoiny jest możliwe i zgodnie z konstrukcją do wyprowadzenia na zewnątrz. W tym przypadku rozwiązanie można stosować zarówno w szybach montowanych pionowo jak i tych montowanych pod kątem.



Szczegółowe informacje dotyczące tego zagadnienia znajdują się w krajowych wytycznych, np. w Niemczech jest to Instrukcja V.07 stowarzyszenia Verband Fenster + Fassade, lub są możliwe do ustalenia w fazie planowania we współpracy ze specjalistami firmy Guardian.

9.5 Wymiarowanie szkła (dobór grubości)

Zamontowane szkło narażone jest na działanie różnych obciążeń i dlatego powinno być wymiarowane zgodnie z panującymi warunkami. Oprócz obciążenia parciem/ssaniem wiatru i śniegiem należy uwzględnić również ciężar własny szkła, a w przypadku szyb zespolonych także obciążenie klimatyczne w przestrzeni międzyszybowej. W procesie wymiarowania, podczas którego swoją pomocą służą specjaliści firmy Guardian, należy uwzględnić następujące zmienne:

- Położenie geograficzne i pozycja montażu szkła.
- Rozkład obciążeń.
- Kontrakcję i ekspansję przestrzeni międzyszybowej w wyniku wahań temperatury i ciśnienia powietrza uwarunkowanych pogodą.
- Mocowanie szkła na wszystkich krawędziach lub częściowe.
- Naprężenia termiczne.

W przyszłości, krajowe wytyczne i rozporządzenia regulujące dokładne wymiarowanie szkła powinny być wprowadzane i zaadaptowane stopniowo we wszystkich krajach UE.

Przykłady aktualnych norm w Europie:

- Niemcy: DIN 18008.
- Austria: ÖNORM B 3716 / OIB Richtlinie 4.
- Wielka Brytania: BS 6180.
- Niderlandy: NEN 2608.
- Szwajcaria: SIGAB 002.



9.6 Uszkodzenia powierzchni szkła

Powierzchnie szklane narażone są na działanie mechaniczne, termiczne i chemiczne. Wcześniejsze doświadczenia pokazują, że takie uszkodzenia powstają z reguły już w fazie budowy; po oddaniu budynku do użytkowania występują one raczej rzadko. Do przyczyn mechanicznych uszkodzeń powierzchni należą nieprawidłowy transport na miejsce budowy, składowanie, montaż czy opieranie tafli szkła, między którymi znajduje się pył z placu budowy.

Stosowanie nieodpowiednich narzędzi, np. skrobaka lub ostrzy do szkła w celu usuwania uporczywego brudu z powierzchni szkła również może powodować mechaniczne uszkodzenia jego powierzchni.

Najczęstszą przyczyną uszkodzeń na budowie jest jednak kontakt szkła ze świeżym cementem, świeżą zaprawą albo świeżym wapnem. Podczas procesu schnięcia na powierzchni szkła mogą wówczas pojawić się wytrawienia.

Uszkodzenia termiczne powstają natomiast na przykład podczas spawania albo przycinania metalu w bliskości szkła niechronionego przed iskrami. Również nieodpowiednie substancje uszczelniające prowadzą do powstania nieusuwalnych smug. Mogą one powstawać również po kontakcie szkła z agresywnymi substancjami czyszczącymi, które zawierają kwas fluorowodorowy używanymi często do czyszczenia fasad murowanych.

Aby zapobiec tym wszystkim zagrożeniom, należy już w czasie montażu podczas budowy ochronić szkło folią, a następnie czyścić je wyłącznie odpowiednimi środkami i wodą (→ Rozdział 9.11).

9.7 Wytyczne dotyczące oceny jakości wizualnej szkła w budynkach

9.7.1 Wizualna jakość szkła powlekanego

Wygląd powlekanego szkła i wykrywanie wad opisano w normie PN-EN 1096-1. Wady wpływające na wygląd są specyficzne dla szkła bazowego (np. szkło float zgodnie z PN-EN 572-2) lub powłoki. Jeżeli wada związana ze szkłem bazowym jest bardziej widoczna z powodu powłoki, będzie traktowana jak wada powłoki.

9.7.1.1 Wykrywanie wad

Defekty są wykrywane wizualnie poprzez obserwację transmisji i/lub odbicia powlekanego szkła. Jako źródło światła można wykorzystać sztuczne niebo lub światło dzienne.

Sztuczne niebo jest płaszczyzną emitującą rozproszone światło o jednolitej jasności i ogólnym współczynniku oddawania barw R_a wyższym niż 70 (patrz CIE 013.3-1995).

Uzyskuje się to poprzez zastosowanie źródła światła, którego skorelowana temperatura barwowa zawiera się w przedziale od 4000 K do 6000 K. Przed układem źródeł światła znajduje się panel rozpraszający światło, bez selektywności spektralnej. Poziom natężenia oświetlenia na powierzchni szkła powinien wynosić od 400 lx do 20000 lx.

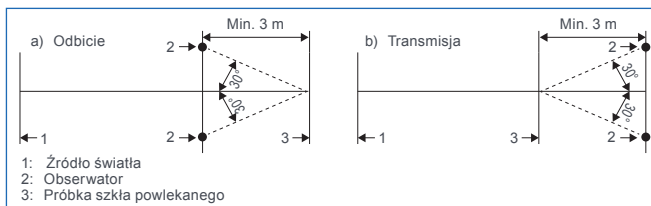
Oświetlenie dzienne jest uważane za oświetlenie w warunkach równomiernie zachmurzonego nieba, bez bezpośredniego światła słonecznego.

9.7.1.2 Warunki badania

9.7.1.2.1 Warunki ogólne

Badanu podlegać może szkło powlekane o wymiarach magazynowych lub w końcowych rozmiarach gotowych do montażu. Badanie można przeprowadzić w fabryce lub na placu budowy szklonego obiektu.

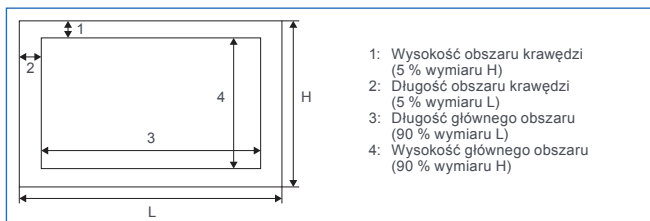
Badaną tafelę powlekanego szkła należy oglądać z odległości co najmniej 3 m. Rzeczywista odległość będzie zależać od rozważanej wady i zastosowanego źródła oświetlenia. Obserwacja szkła powlekanego w odbiciu jest przeprowadzana przez obserwatora patrząc na stronę, która będzie na zewnątrz szklenia. Badanie powlekanego szkła w transmisji obserwator wykonuje patrząc na stronę, która będzie wewnątrz szklenia. Podczas badania kąt między normalną do powierzchni powlekanego szkła, a wiązką światła dochodzącą do oczu obserwatora po odbiciu lub transmisji przez powlekane szkło, nie może przekraczać 30° (patrz rysunki poniżej).



Procedury oceny szkła powlekanego



W przypadku szyb powlekanych w rozmiarach gotowych do montażu należy zbadać zarówno główny obszar, jak i obszar krawędzi szyby (patrz rysunek poniżej).



Obszar szkła gotowego do montażu podlegający ocenie

Każde badanie nie powinno trwać dłużej niż 20 s.

9.7.1.2.2 Wady jednorodności oraz plamy

W warunkach badania podanych w 9.7.1.1 należy zwrócić uwagę na wszelkie niejednorodności powłoki w obrębie jednej szyby lub między sąsiadującymi taflami, które są wizualnie niepokojące.

9.7.1.2.3 Defekty punktowe

W warunkach badania podanych w 9.7.1.1 należy zwrócić uwagę na wszelkie punkty, nakłucia i / lub zadrapania, które są wizualnie niepokojące.

W przypadku plamek / nakłuć należy zmierzyć ich rozmiar i zanotować ich liczbę w stosunku do rozmiaru tafli szkła. Jeżeli znaleziono jakieś skupiska, należy ustalić ich położenie w stosunku do obszaru przeziernego.

W przypadku zadrapań należy określić, czy znajdują się one w obszarze głównym szkła, czy w obszarze krawędzi. Należy zmierzyć długość odnotowanych rys. W przypadku rys o długości > 75 mm trzeba określić odległość między sąsiednimi zadrapaniami. W przypadku rys o długości ≤ 75 mm należy zwrócić uwagę na wszystkie obszary, w których ich gęstość powoduje zaburzenia widzenia.

9.7.1.3 Kryterium dopuszczalnych defektów szkła powlekanego

Typ defektu	Kryterium dopuszczalnych defektów		
	Tafla/tafla	Indywidualna tafla	
Wady jednorodności oraz plamy	Dozwolone, dopóki nie jest wizualnie niepokojące	Dozwolone, dopóki nie jest wizualnie niepokojące	
Defekty punktowe	Nieakceptowalne	Obszar główny	Obszar krawędzi
Nakłucia; > 3 mm		Nieakceptowalne	Nieakceptowalne
> 2 mm i ≤ 3 mm		Akceptowalne, jeśli nie więcej niż 1/m ²	Akceptowalne, jeśli nie więcej niż 1/m ²
Skupiska;		Nieakceptowalne	Akceptowalne, jeśli nie występują w obszarze przeziernym
Zarysowania; > 75 mm		Nieakceptowalne	Akceptowalne, jeśli oddzielone od siebie o > 50 mm
≤ 75 mm		Akceptowalne, jeśli lokalne zagęszczenie nie powoduje zaburzenia widzenia	Akceptowalne, jeśli lokalne zagęszczenie nie powoduje zaburzenia widzenia

9.7.2 Wizualna jakość szkła zespolonego

Kryteria wizualnej jakości szkła IGU wykonanego ze szkła bazowego są opisane w normie PN-EN 1279-1 (załącznik F).

Wymagania dotyczące jakości optycznej i wizualnej dla elementów szklanych powinny być zgodne z odpowiednimi normami europejskimi.

Informacje podane w poniższych tabelach podają maksymalne dopuszczalne wady dla poszczególnych szyb, jak i dla całego zespolenia. Te wytyczne nie powinny być wykorzystywane w przypadku szyb zespolonych z co najmniej jedną szybą wykonaną ze szkła ornamentowego, szkła zbrojonego, szkła zbrojonego ornamentowego, szkłaciągnionego lub ognioodpornego szkła laminowanego.



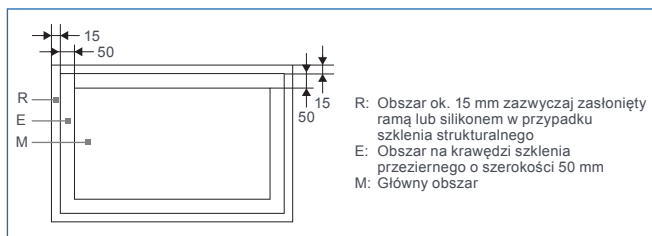
9.7.2.1 Warunki obserwacji

Szyby powinny być badane w transmisji, a nie w odbiciu.

Potencjalne wady nie powinny być oznaczone na tafli.

Szyby zespolone należy obserwować z odległości nie mniejszej niż 3 m od wewnątrz na zewnątrz i pod kątem obserwacji możliwie prostopadłym do powierzchni szkła. Obserwacja 1 m² szkła powinna trwać nie dłużej niż 1 minutę. Oceny dokonuje się w warunkach rozproszonego światła dziennego (np. zachmurzone niebo), bez bezpośredniego światła słonecznego lub sztucznego oświetlenia.

Szyby zespolone należy oceniać z zewnątrz, po montażu na fasadzie, biorąc pod uwagę zwykłą odległość obserwacji wynoszącą co najmniej 3 m. Kąt obserwacji powinien być możliwie prostopadły do powierzchni szkła.



Obszary obserwacji

9.7.2.2 Szkło zespolone składające się z dwóch szyb monolitycznych

9.7.2.2.1 Wady punktowe

Strefa	Wymiary oraz typ [ϕ w mm]	Pole powierzchni S (m ²)	
		$S \leq 1$	$1 < S$
R	Wszystko	Bez limitu	
E	Punkty $\phi \leq 1$	Bez limitu	
	Punkty $1 \text{ mm} < \phi \leq 3$	4	1 na 1 m obwodu
	Plamy $\phi \leq 17$	1	
	Punkty $\phi > 3$ i plamy $\phi > 17$	Maksymalnie 1	
M	Punkty $\phi \leq 1$	Maksymalnie 3 na każdy obszar o średnicy $\phi \leq 20 \text{ cm}$	
	Punkty $1 < \phi \leq 3$	Maksymalnie 3 na każdy obszar o średnicy $\phi \leq 20 \text{ cm}$	
	Punkty $\phi > 3$ i plamy $\phi > 17$	Nieakceptowalne	

Maksymalna liczba wad punktowych

9.7.2.2.2 Pozostałe

Strefa	Rozmiar defektu (bez uwzględniania otoczki) [ø w mm]	Pole powierzchni S (m²)			
		S ≤ 1	1 < S ≤ 2	2 < S ≤ 3	3 < S
R	Wszystkie wymiary	Bez limitu			
E	ø ≤ 1	Akceptowalne, jeśli 3 na każdy obszar o średnicy ø ≤ 20 cm			
	1 < ø ≤ 3	4	1 na 1 m obwodu		
	ø > 3	Niedozwolone			
M	ø ≤ 1	Akceptowalne, jeśli 3 na każdy obszar o średnicy ø ≤ 20 cm			
	1 < ø ≤ 2	2	3	5	5 + 2/m²
	ø > 2	Niedozwolone			

Maksymalna dopuszczalna liczba pozostałych punktów i plam

9.7.2.2.3 Wady liniowe / podłużne

Rysy włosowate są dozwolone, jeżeli nie występują w skupiskach.

Strefa	Długość indywidualna [mm]	Suma poszczególnych długości [mm]
R	Bez limitu	
E	≤ 30	≤ 90
M	≤ 15	≤ 45

Maksymalna liczba liniowych / podłużnych wad

9.7.2.3 Pozostałe szyby zespolone (inne od tych składających się z dwóch szyb monolitycznych)

Dopuszczalna liczba rozbieżności zdefiniowanych w rozdziale 9.7.2.2 zwiększona jest o 25 % na dodatkową tafelę szkła (w pakietach wieloszybowych lub w szkłe laminowanym). Liczba dopuszczalnych wad jest zawsze zaokrąglana w górę.

Przykłady:

- Szyba zespolona dwukomorowa wykonana z 3 monolitycznych tafli szkła: liczbę dopuszczalnych błędów F.3 należy przemnożyć przez 1,25.
- Szyba zespolona jednokomorowa wykonana z 2 tafli szkła laminowanego: liczbę dopuszczalnych błędów z rozdziału 9.7.2.2 należy przemnożyć przez 1,5.



9.7.2.4 Szyby zespolone zawierające szkło hartowane

Wizualna jakość bezpiecznego szkła hartowanego, z lub bez przeprowadzonego testu wygrzewania szkła i ze szkła wzmacnianego termicznie (półhartowanego), po złożeniu w szybę zespoloną lub w szkło laminowane, które jest jednym z jej komponentów, powinna spełniać wymagania zawarte w odpowiadającej jej normie.

Oprócz tych wymagań, w przypadku szkła float poddanego obróbce cieplnej, całkowite wygięcie w stosunku do całkowitej długości krawędzi szkła nie może być większy niż 3 mm na krawędź szkła o długości 1000 mm. Większy łuk może wystąpić w przypadku formatów kwadratowych lub bliskich kwadratu (do 1:1.5) i pojedynczych szymb o nominalnej grubości < 6 mm.

9.7.2.5 Defekty krawędzi

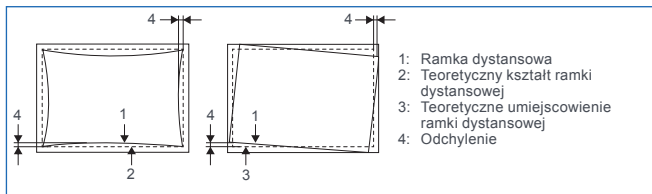
Dopuszczalne wady krawędzi podano w odpowiedniej normie dla poszczególnych szymb zespolenia.

Dopuszczalne są zewnętrzne płytkie uszkodzenia krawędzi lub łuski, które nie wpływają na wytrzymałość szkła i które nie wystają poza szerokość uszczelnienia krawędzi.

Dopuszczalne są również wewnętrzne łuski bez luźnych odłamków, które są wypełnione szczeliwem.

9.7.2.6 Tolerancja prostoliniowości ramki dystansowej

W przypadku szkła zespolonego jednokomorowego tolerancja prostoliniowości wynosi 4 mm do długości 3,5 m i 6 mm dla dłuższych krawędzi. Dopuszczalne odchylenie ramki dystansowej w stosunku do równoległej prostej krawędzi szkła lub innych ramek dystansowych (np. w potrójnym zespoleniu) wynosi 3 mm do długości krawędzi wynoszącej 2,5 m. W przypadku dłuższych krawędzi dopuszczalne odchylenie wynosi 6 mm.



Przykłady odchylenia od prostoliniowości ramki dystansowej

9.7.2.7 Gięte szyby zespolone

Jakość wizualna giętych szymb zespolonych i ich szymb składowych powinna spełniać wymagania ISO 11485-1 i ISO 11485-2.

9.7.2.8 Pozostałe aspekty wizualne szyby zespolonej

9.7.2.8 Pozostałe aspekty wizualne szyby zespolonej

Dopuszczalne jest występowanie pewnych zjawisk fizycznych, które są widoczne na powierzchni szkła i nie powinny być brane pod uwagę przy ocenie jakości wizualnej. Nie są one uważane za wady (załącznik G do PN-EN 1279-1).

9.7.2.8.1 Kolor

Zmiany w kolorze szkła są możliwe ze względu na zawartość tlenu żelaza, proces powlekania, samą powłokę, zmiany grubości szkła oraz konstrukcję zespolenia i nie można tego uniknąć.

9.7.2.8.2 Różnice koloru w szkłe zespolonym

Fasady wykonane z powlekanego szkła zespolonego mogą prezentować różne odcienie tego samego koloru. Efekt ten może być dodatkowo wzmocniony poprzez obserwację elewacji pod różnymi kątami. Możliwe przyczyny różnic w kolorze obejmują niewielkie zmiany koloru szkła bazowego, na które napylana jest powłoka oraz niewielkie różnice w grubości samej powłoki.

Obiektywnej oceny różnic w kolorze można dokonać za pomocą ISO 11479-2.

9.7.2.8.3 Interferencja

W szybach zespolonych wykonanych ze szkła bazowego float efekt interferencji może powodować pojawienie się kolorowych plam. Interferencja optyczna wynika z nakładania się dwóch lub więcej fal świetlnych w jednym punkcie.

Efekt ten postrzegany jest jako zmiana intensywności kolorowych stref, które zmieniają się, gdy zostanie przyłożony nacisk do szkła. Jest dodatkowo wzmocniony przez równoległość powierzchni szkła. Występuje losowo i nie można go uniknąć.

9.7.2.8.4 Efekt szyby zespolonej

W przestrzeni międzyszybowej, szyba zespolona zawiera pewną ilość hermetycznie zamkniętego powietrza lub innego gazu, uszczelnionego przy krawędziach. Stan gazu zależy zasadniczo od wysokości, ciśnienia barometrycznego i temperatury powietrza w czasie i miejscu produkcji. Jeśli szyba zespolona zostanie zainstalowana na innej wysokości lub gdy zmieni się temperatura lub ciśnienie barometryczne (ciśnienie wyższe lub niższe), szyby będą ugiąć się do wewnątrz lub na zewnątrz, powodując zniekształcenie optyczne (→ Rozdział 2.7).



9.7.2.8.5 Wielokrotne odbicie

Wielokrotne odbicia mogą występować z różną intensywnością na powierzchniach szyb. Odbicia te można zobaczyć szczególnie wyraźnie, jeśli tło za szybą jest ciemne. Ten efekt jest fizyczną właściwością wszystkich szyb zespolonych.

9.7.2.8.6 Anizotropia (opalizowanie)

Szyby zespolone, które zbudowane są ze szkła hartowanego mogą wykazywać zjawiska wizualne zwane anizotropią, patrz PN-EN 12150-1, PN-EN 1863-1 (→ Rozdział 7.1.7).

9.7.2.8.7 Kondensacja na zewnętrznej powierzchni szkła zespolonego

Kondensacja może wystąpić na zewnętrznej powierzchni szkła, która jest zimniejsza niż otaczające powietrze.

Stopień kondensacji na zewnętrznych powierzchniach tafli szklanej zależy od wartości U, wilgotności powietrza, ruchu powietrza oraz temperatury wewnętrznej i zewnętrznej.

Gdy wilgotność względna otoczenia jest wysoka i gdy temperatura powierzchni szyby spada poniżej temperatury otoczenia, następuje kondensacja na powierzchni szkła. (→ Rozdział 2.4.3, aby dowiedzieć się, jak zminimalizować kondensację na powierzchniach zewnętrznych.)

9.7.2.8.8 Zwilżalność powierzchni szkła

Wygląd powierzchni szklanych może się różnić ze względu na działanie wałków, odcisków palców, etykiet, przyssawek, resztek szczeliwa, związków silikonowych, środków wygładzających, smarów, wpływów środowiska itp. Może to być widoczne, gdy powierzchnie szklane są zwilżone przez kondensację, deszcz lub wodę czyszczącą.

9.7.2.8.9 Ocena widocznego przekroju uszczelnienia krawędzi szyby zespolonej

Cechy szkła i ramki dystansowej wynikające z procesów produkcyjnych można rozpoznać w szybach zespolonych w widocznej części uszczelnienia krawędzi. Z definicji sekcja ta nie jest uwzględniona w obszarze obserwacji szyby zespolonej, który podlega ocenie. Jeżeli uszczelnienie krawędzi szyby zespolonej jest odsłonięte z jednej lub więcej stron ze względu na wymagania projektowe, cechy wizualne uszczelnienia wynikające z procesów produkcyjnych mogą być widoczne w obszarze uszczelnienia krawędzi.

Normy i wytyczne

Jeśli uszczelnienie krawędzi szyby zespolonej jest odsłonięte ze względu na wymagania projektowe, typowe cechy wizualne uszczelnienia krawędzi mogą być widoczne, które nie są objęte niniejszymi wytycznymi. W takich przypadkach należy uzgodnić indywidualne ustalenia.

9.7.2.8.10 Szyba zespolone z wewnętrznymi szprosami

Ze względu na wpływy klimatyczne (np. efekt szyby zespolonej), wstrząsy lub vibracje generowane ręcznie, szprosy mogą objąć się o inne elementy zespolenia wydając dźwięk „dzwonienia”. W procesie produkcyjnym powstają widoczne cięcia pił i występuje nieznaczne usuwanie farby w ich pobliżu.

W ocenie odchyśleń od kątów prostych i braku prostoliniowości w obrębie strefy oszklenia, należy wziąć pod uwagę tolerancje produkcyjne i montażowe oraz ogólne wrażenie.

Wpływy związane z temperaturowymi zmianami długości szprosów w wypełnionej gazem przestrzeni międzyszybowej są w zasadzie nieuniknione. Nie można wykluczyć braku prostoliniowości szprosów spowodowanej produkcją.

9.8 Pęknięcie szkła

Szkło jest kruchym materiałem konstrukcyjnym i dlatego nie powinno być poddawane nadmiernym odkształceniom. Przekroczenie granicy sprężystości pod wpływem czynników mechanicznych lub termicznych natychmiast prowadzi do pęknięcia. Należy więc ściśle przestrzegać określonych wytycznych. W przypadku obciążenia termicznego bazowe szkło float stosowane na fasadach częściowo zasłoniętych może być narażone na maksymalną różnicę temperatur od 40 K (PN-EN 572) do 42 K. Jeśli szkło float jest narażone na zmiany temperatury przekraczające ten zakres, wówczas należy zastąpić je szkłem hartowanym lub wzmacnianym termicznie, aby zwiększyć maksymalną dopuszczalną różnicę temperatur. Jest to szczególnie istotne w przypadku absorpcji szkiele przeciwsłonecznych.

Innym niebezpieczeństwem, które może doprowadzić do rozbicia szkła, jest nieodpowiedni sposób składowania powlekanego szkła zespolonego na placu budowy. Jest ono ustawiane na stojakach i powinno być zabezpieczone przed promieniowaniem słonecznym. Słońce ogrzewa zespolenie, a ze względu na powłoki ciepło nie jest w stanie się rozproszyć. To nieuchronnie powoduje rozbicie szkła. Z uwagi na powyższe, szkło składowane na otwartej przestrzeni powinno być przykryte nieprzezroczystym materiałem. Również niewielkie szyby zespolone o niekorzystnych proporcjach boków i asymetrycznych grubościach wymagają cieńszej tafli szkła hartowanego, aby zapobiec stłuczeniu.

W związku z dzisiejszymi metodami produkcji szkła praktycznie wyklucza się stłuczenie szkła spowodowane naprężeniem szczątkowym. Niepoprawne wykończenie krawędzi z prawie niewidocznymi mikropęknięciami, jak i mechaniczne uszkodzoną powierzchnią mogą natomiast doprowadzić do awarii szyby w późniejszym okresie użytkowania.



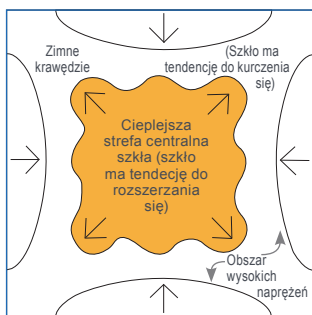
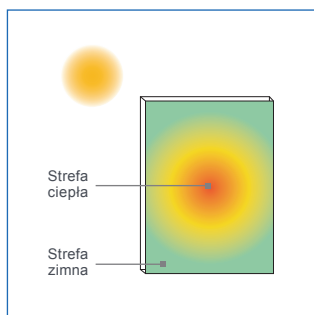
To samo dotyczy nieprawidłowego transportu i uszkodzenia krawędzi. W takich przypadkach spękanie szkła może pojawić się w późniejszym czasie. Pęknięcie szkła z uwagi na jego właściwości może wystąpić tylko w przypadku szkła hartowanego, tak zwane „spontaniczne” pęknięcie występuje w obecności wtrąceń siarczku niklu ($\rightarrow$ Rozdział 7.2).

Zasadniczo można powiedzieć, że pęknięciu szkła można prawie w 100 % zapobiec, jeżeli szkło jest odpowiednio przetwarzane przy wcześniejszym planowaniu, właściwie wymiarowane, użytkowane i konserwowane.

9.8.1 Pęknięcia termiczne / naprężenia termiczne

9.8.1.1 Wiadomości ogólne

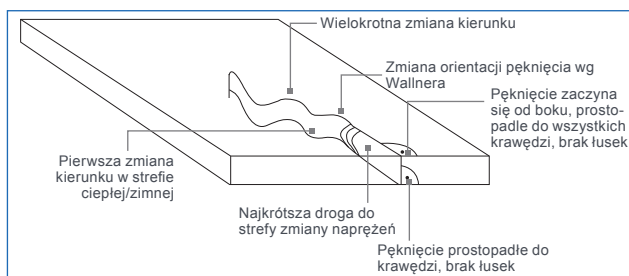
Naprężenia termiczne powstają, gdy jeden obszar szkła jest ogrzewany, podczas gdy inna część pozostaje zimna. Jeśli wzrost temperatury jest jednolity na całej szybie, nie stanowi to problemu. Obszary ogrzewane ulegają rozszerzeniu - obszary zimne podlegają kompresji ze względu na różnicę temperatur (ΔT).



9.8.1.2 Pęknięcia termiczne

Pęknięcie termiczne zawsze zaczyna się od krawędzi i jest do niej prostopadłe (90°).

- Różne obszary rozszerzają się i kurczą w różny sposób; kiedy się nachodzą, energia szuka „drogi ucieczki” do najbliższej krawędzi i powstaje spękanie.
- Pęknięcie może być pojedyncze lub wielokrotne w zależności od narastającego naprężenia termicznego.
- Zaczyna się jako linia prosta przez 2 do 5 cm, a następnie rozgałęzia się w jednym lub więcej kierunkach.
- Liczba rozgałęzień lub wtórnych pęknięć zależy od wielkości naprężenia.



9.8.1.3 Czynniki wpływające na pęknięcia termiczne

Zasadniczym i jedynym czynnikiem wpływającym na występowanie naprężeń termicznych jest różnica temperatur (ΔT) w obrębie jednej tafli szkła.

ΔT zależy od:

- Czynniki środowiskowych – orientacja fasady.
 - Intensywność promieniowania słonecznego (W / m^2).
 - Różnica temperatur między wnętrzem, a zewnętrzem.
- Czynniki związane ze szkłem.
 - Rodzaje szkła i jego grubość (absorpcja energii słonecznej).
- Czynniki architektoniczne – żaluzje wewnętrzne i zewnętrzne.
 - Wentylacja, elementy grzewcze.
 - Konstrukcje wewnętrzne, przeszkody.
 - Profile okienne.
 - Zacienienie (otoczenie, kształt budynku).

9.8.1.4 Czynniki wpływające na wytrzymałość szkła i ryzyko pęknięcia termicznego

Wytrzymałość szkła, a zatem ryzyko pęknięcia termicznego, zależy bezpośrednio od jakości krawędzi szklenia.

Na jakość krawędzi wpływają następujące warunki:

- Rozkrój.
 - Narzędzia, olej, prędkość, rodzaj stołu podczas cięcia szkła laminowanego itp.
- Obsługa / transport / składowanie.
 - Zastosowanie separatorów, unikanie rys podczas przenoszenia, sposób pakowania szkła w transporcie.
 - Czyste i odpowiednie elementy stojaków mające kontakt ze szkłem.
- Plac budowy / montaż.
 - Ochrona pakietów szkła, mostki termiczne, czyste profile.



9.8.1.5 Obliczenia i ocena ryzyka pęknięcia termicznego

Francuska norma NF DTU 39 część 3 stanowi podstawę do rozważenia problemu naprężeń termicznych. Norma opisuje metody obliczeń, wpływ warunków środowiskowych i konstrukcyjnych, właściwości szkła i wymagania dotyczące jakości szkła związane z maksymalnymi dopuszczalnymi różnicami temperatur.

Jakość szkła	Dopuszczalna różnica temperatur ΔT [K]
Szkło monolityczne – zeszlifowane krawędzie	42
Szkło laminowane – zeszlifowane krawędzie każdej tafli szkła przed procesem laminowania	42
Szkło monolityczne – bez obróbki krawędzi	35
Szkło laminowane – bez obróbki krawędzi, tafle docinane przed procesem laminowania	35
Szkło półhartowane	150
Szkło hartowane	215
Szkło hartowane emaliowane	150

Tabela: Maksymalne dopuszczalne ΔT i wymagania dotyczące obróbki krawędzi – więcej typów szkła w NF DTU 39.

Maksymalne różnice temperatur pokazane w tabeli oparte są na teoretycznej odporności określonego rodzaju szkła podpartego na wszystkich krawędziach. Jeżeli warunki się różnią, należy wziąć pod uwagę odpowiednie maksymalne różnice temperatur.

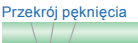
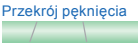
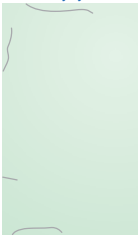
Jakość wykończenia krawędzi ma znaczący wpływ na wytrzymałość szkła na naprężenia termiczne. Maksymalne dopuszczalne wartości obowiązują tylko wtedy, gdy wykończenie krawędzi nie ma wad (→ Rozdział 9.8.1.4).

Dział Doradztwa Technicznego firmy Guardian zapewnia kompleksową obsługę oceny ryzyka pęknięcia termicznego na podstawie danych projektowych otrzymanych od klientów.

Producenci szkła izolacyjnego są odpowiedzialni za jakość i montaż szyb zespolonych. W razie wątpliwości Guardian zaleca rozważenie niższej maksymalnej dopuszczalnej różnicy temperatur. Ostateczna decyzja dotycząca montowanego oszkleńa leży w gestii producenta szyb zespolonych.

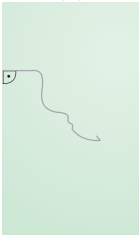
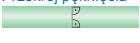
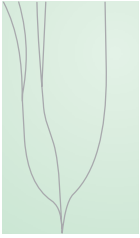
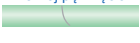
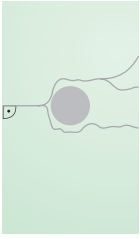
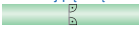
Guardian nie udziela żadnej gwarancji dotyczącej pęknięcia termicznego.

9.8.2 Typowe spękania szkła

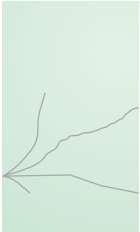
Rodzaj pęknięcia szkła		Ilustracja
Przykład: Pęknięcie krawędzi szkła float Mechaniczne obciążenie punktowe • krótkotrwałe, • od słabej do średniej intensywności występuje w szkłe float, w szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym. Przyczyna: Kamienie między szybami; Uderzenie młotka o listwę przyszybową; Inne rodzaje uderzeń. Opis: Kąt rozchodzenia się pęknięć we wszystkich kierunkach, nie pod kątem prostym; Punkt początkowy widoczny w obszarze krawędzi; Możliwe wyszczerbienia w ognisku pęknięcia.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 
Przykład: Pęknięcie krawędzi szkła wzmacnianego termicznie Mechaniczne obciążenie punktowe • krótkotrwałe, • od słabej do średniej intensywności występuje tylko w szkłe wzmacnianym termicznie zgodnie z normą PN-EN 1863. Przyczyna: Kamienie między szybami; Uderzenie młotka o listwę przyszybową; Inne rodzaje uderzeń. Opis: Kąt rozchodzenia się pęknięć we wszystkich kierunkach, nie pod kątem prostym; Punkt początkowy widoczny w obszarze krawędzi; Częste wyszczerbienia w ognisku pęknięcia.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 
Przykład: Pęknięcie zaciskowe Mechaniczne obciążenie punktowe lub odcinkowe • krótkotrwałe dynamiczne, • długotrwałe statyczne występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym. Przyczyna: Niedowymiarowane lub nieprawidłowe klocki przy bardzo dużej masie szkła; Nieprawidłowa obsługa dźwigni do podnoszenia szyby przy podkładaniu klocków; Nieuwzględnienie zmiany długości szkła / ramek. Opis: Kąt rozchodzenia się pęknięć we wszystkich kierunkach, nie pod kątem prostym; Punkt początkowy widoczny w obszarze krawędzi; Możliwe wyszczerbienia w ognisku pęknięcia.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 



Rodzaj pęknięcia szkła		Ilustracja
Przykład: Pęknięcie skątne Mechaniczne obciążenie punktowe • krótkotrwałe, • dynamiczne występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym. Przyczyna: Niedowymiarowana grubość szkła, głównie przy mocowaniu dwustronnym; Uszkodzone i klinujące się ramy skrzydeł; Ruchy w bryle budynku z przeniesieniem obciążenia na szybę. Opis: Kąt rozchodzenia się pęknięć we wszystkich kierunkach, nie pod kątem prostym; Z reguły trudno je jednoznacznie sklasyfikować.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 
Przykład: Pęknięcie wskutek nacisku powierzchniowego Mechaniczne obciążenie powierzchniowe • krótkotrwałe, • dynamiczne / statyczne występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym, bardzo częste w szybach zespolonych. Przyczyna: Zbyt wysokie obciążenie temperaturą, ciśnieniem powietrza i/lub różnice wysokości między miejscem produkcji, a montażu w przypadku szyb zespolonych; Niedowymiarowane, mocowane czterostronnie szyby akwariowe. Opis: Kąt rozchodzenia się pęknięć we wszystkich kierunkach, nie pod kątem prostym; Brak możliwości ustalenia ogniska pęknięcia; Brak wyszczerbień na krawędzi szkła.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 
Przykład: Pęknięcie hybrydowe Nakładające się obciążenia termiczne / mechaniczne występują w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym. Przyczyna: Wielokrotne oddziaływanie w wyniku obciążenia powierzchniowego (silny podmuch wiatru) na szybie niedowymiarowanej i obciążonej termicznie. Opis: Pęknięcie pod kątem prostym; Brak wyszczerbień krawędzi; Brak możliwości ustalenia ogniska pęknięcia.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 

Rodzaj pęknięcia szkła	Ilustracja
Przykład: Standardowe pęknięcie w wyniku oddziaływania termicznego Termiczne obciążenie odcinkowe • od niskiej do średniej intensywności występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym W przypadku szkła zbrojonego możliwe odchylenia ze względu na siatkę. Przyczyna: Częściowe zakrycie szyby po wewnętrznej stronie przy nasłonecznieniu, Zbyt głębokie wcięcie zakładki; Szkło dźwiękochłonne, ciepłochronne i przeciwsłoneczne (w szczególności szyby zespolone) mocowane pakietowo bez osłony przy bezpośrednim nasłonecznieniu. Opis: Pęknięcie pod kątem prostym; Brak wyszczerbień krawędzi przy pęknięciu szyby.	Widok szyby  Przekrój pęknięcia 
Przykład: Pęknięcie w kształcie delty Mechaniczne obciążenie powierzchniowe • długotrwałe, • statyczne/dynamiczne, • mocowanie dwustronne występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej, szkłe ornamentowym i szkłe zbrojonym. Przyczyna: Długotrwałe, duże obciążenie śniegiem na dwustronnie lub trójsronnie mocowanym przeszkleniu nad głową. Opis: Pęknięcie nie pod kątem prostym; Brak wyszczerbień na krawędzi szkła; Ognisko na krawędzi niemocowanej.	Widok szyby  Przekrój pęknięcia 
Przykład: Pęknięcie odcinkowe w wyniku oddziaływania termicznego Termiczne obciążenie odcinkowe. • od niskiej do wysokiej intensywności występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym. W przypadku szkła zbrojonego możliwe odchylenia ze względu na siatkę. Przyczyna: Częściowe zasłonięcie przez wystrój wewnętrzny bezpośrednio na szybie; Ciemne powierzchnie (naklejka, reklama) na szybie; Duży liść itp. bezpośrednio na wewnętrznej stronie szyby. Opis: Pęknięcie pod kątem prostym; Brak wyszczerbień krawędzi przy pęknięciu.	Widok szyby  Przekrój pęknięcia 



Rodzaj pęknięcia szkła		Ilustracja
Przykład: Pęknięcie w wyniku uderzenia w krawędź Mechaniczne obciążenie punktowe • krótkotrwałe, • od niskiej do wysokiej intensywności występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym. Przyczyna: Ustawienie na kamieniu lub elemencie metalowym; Uderzenie w krawędź elementem metalowym; Nieprawidłowa obsługa listew mocujących na stojakach transportowych. Opis: Kąt rozchodzenia się pęknięć we wszystkich kierunkach, nie pod kątem prostym; Wyszczerbienia krawędzi przy pęknięciu o różnej wielkości w zależności od działającej siły; Wyraźnie widoczne ognisko na krawędzi.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 
Przykład: Pęknięcie w wyniku nacisku na krawędź Mechaniczne obciążenie punktowe • krótko- lub długotrwałe, • od niskiej do wysokiej intensywności występuje w szkłe float, szkłe laminowanym, szkłe z żywicy lanej i szkłe ornamentowym. Przyczyna: Niedowymiarowane klocki przy zbyt dużej masie szkła; Zbyt wysoki docisk śrubunku; Zbyt wysoki docisk w wyniku przybicia listwy drewnianej gwoździami bez taśmy podkładowej. Opis: Kąt rozchodzenia się pęknięć we wszystkich kierunkach, nie pod kątem prostym; Brak wyszczerbień krawędzi albo bardzo rzadko niewielkie wyszczerbienia; Widoczny punkt wyjściowy na krawędzi.		Widok szyby  Przekrój pęknięcia 

9.9 Oznakowanie CE

CE to skrót od słów Communautés Européennes oznaczających Wspólnotę Europejską. Oznaczenie to posiadają produkty, które są zgodne ze zharmonizowanymi normami europejskimi. Nie chodzi tu jednak ani o oznaczenie pochodzenia ani o potwierdzenie jakości, lecz wyłącznie o poświadczenie zgodności produktów z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiającym zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającym Dyrektywę Rady 89/106/EWG. Dyrektywa ta gwarantuje, że dany produkt można bez ograniczeń wprowadzić na rynek UE. Szczególne uregulowania krajowe stanowią jedynie dodatkowe wymagania dotyczące stosowania produktu. Oznaczenie CE to zapewnienie producenta, że jego produkt spełnia wymagania odpowiednich europejskich norm produktowych.

Normy i wytyczne

Zgodność ta jest dokumentowana na różnych poziomach, z których dwa są istotne dla materiału budowlanego, jakim jest szkło:

- Poziom 1:
Wstępne badanie typu z udziałem nadzoru wewnętrznego i zewnętrznego.
- Poziom 3:
Deklaracja właściwości użytkowych (DWU) po wykonaniu wstępnego badania typu z udziałem nadzoru wewnętrznego i zewnętrznego.

Obowiązujące wymogi, wynikające z dyrektywy o wyrobie budowlanym, określają następujące normy produktu:

Norma produktu	Tytuł	Poziom
PN-EN 572	Wyroby bazowe ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego (np. szkło float)	3
PN-EN 1096	Szkło powlekane	3
PN-EN 1279	Szyby zespolone	3
PN-EN 1863	Szkło częściowo hartowane sodowo-wapniowo-krzemianowe	3
PN-EN 12150	Szkło hartowane bezpieczne sodowo-wapniowo-krzemianowe	3
PN-EN 14179	Szkło bezpieczne termicznie hartowane sodowo-wapniowo-krzemianowe	3
PN-EN 14449	Szkło laminowane i szkło laminowane bezpieczne	3 lub 1

Wprowadzone normy zastąpiły obowiązujące do tej pory przepisy krajowe. Wszystkie normy PN-EN mają na celu:

- Wspieranie jednolitego systemu zarządzania jakością.
- Definiowanie cech jakości.
- Ustalanie kryteriów dla badań jakości.



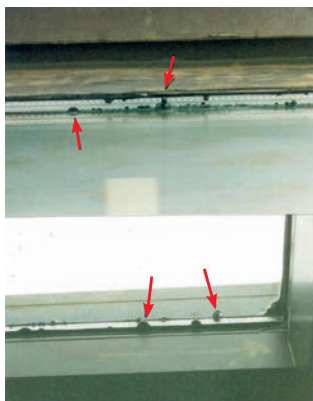
9.10 Kompatybilność materiałowa

Szkło jako materiał budowlany wchodzi w bezpośredni i pośredni kontakt z wieloma innymi materiałami, takimi jak folia PVB w szkłe laminowanym, ramka dystansowa szyb zespolonych, podkładki dystansowe, uszczelki czy masa uszczelniająca w szybach zespolonych oraz elementy uszczelniające spoin szkło i narożników szklanych. Należy jednak sprawdzić, czy zastosowane materiały nie wchodzi z sobą w szkodliwe oddziaływanie.

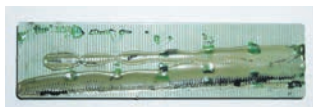
Mianem oddziaływań wzajemnych określa się wszelkie procesy fizyczne, fizyko-chemiczne albo chemiczne, które w krótkim, średnim lub długim okresie prowadzą do zmiany struktury, barwy lub konsystencji. Materiały, które nie wchodzi z sobą w bezpośredni kontakt, lecz wykazują bliskość położenia, również mogą na siebie oddziaływać w wyniku migracji. Produkty zawierające upłynniacze mogą w razie braku kompatybilności prowadzić do tego, że inne sąsiadujące materiały wchłoną ten upłynniacz jako rozpuszczalnik, co całkowicie zmieni ich konsystencję.

Z uwagi na to, że w trakcie budowy rzadko stosuje się komponenty pochodzące od jednego i tego samego producenta, należy w praktyce sprawdzić ich kompatybilność. Zasadniczo istnieje obowiązek starannego planowania i wykonania prac ze wsparciem wszystkich zainteresowanych stron i przekazaniem danych o produktach. Im bardziej kompleksowy jest system szklenia, tym bardziej nieodzowne jest zapewnienie trwałości i długiej funkcjonalności produktu.

Istnieje szeroka gama produktów poddanych badaniu wraz z informacjami o ich kompatybilności.



Rozpuszczenie uszczelnienia butylowego wskutek migracji substancji



Zbrylenie powstałe na skutek wzajemnych szkodliwych oddziaływań substancji

9.10.1 Kompatybilność uszczelniaczy ze szkłem powlekany

9.10.1.1 Typowa szyba zespolona

Usunięcie krawędzi powłoki jest konieczne, aby zapewnić, że chemikalia znajdujące się w niektórych uszczelniaczach nie zaatakują warstwy srebra w powłoce. Obszerne testy wykazały, że w przypadku niektórych rodzajów powłok usuwanie krawędzi nie jest konieczne. Uwaga: po nałożeniu szczeliwa na istniejącą powłokę może być widoczna zmiana koloru.

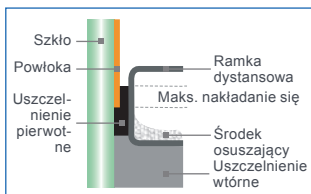
Różne typy szczeliwa wykorzystują różne mechanizmy utwardzania, a niektóre chemikalia stosowane w procesie utwardzania mogą atakować powłokę. Z tego powodu należy stosować wyłącznie zatwierdzone szczeliwa.

Zastosowanie nietestowanego szkła powlekanego lub niezatwierdzonych uszczelniaczy wymaga usunięcia krawędzi powłoki w każdym przypadku!

Ważne informacje:

- Dla produktów: Guardian SunGuard® SuperNeutral (SN), SuperNeutral HT (SN-HT), eXtraSelective (SNX) and eXtraSelective HT (SNX-HT): wymagane jest usunięcie krawędzi powłoki.
- Dla produktów: SunGuard® Solar and High Durable (HD): nie wymaga się usuwania krawędzi powłoki.
- Dla produktów: SunGuard® High Performance (HP): nie wymaga się usuwania krawędzi powłoki, jeśli zastosowane szczeliwa i powiązane zastosowania są testowane i zatwierdzane (lista kompatybilnych rodzajów uszczelniaczy dostępna w Dziale Doradztwa Technicznego firmy Guardian).

Tam, gdzie wymagane jest usunięcie krawędzi, należy usunąć powłokę za pomocą narzędzi szlifierskich opracowanych specjalnie do tego celu. Więcej informacji na temat odpowiednich typów można uzyskać bezpośrednio od firmy Guardian.



Nakładanie się uszczelniacza pierwotnego na powłokę powinno być ograniczone celem zminimalizowania ryzyka przenoszenia na nią naprężeń ścinających w sytuacjach skrajnych (na ilustracji widoczny jest przykład tego wymagania). Zeszlifowany margines nie powinien być szerszy niż 10 mm, w przeciwnym razie może być on widoczny na szkleniu. Jeżeli z jakiegokolwiek powodu należy zwiększyć głębokość uszczelnienia szyby zespolonej, należy również odpowiednio zwiększyć szerokość usuwanej krawędzi powłoki. Do sprawdzenia, czy cała powłoka została usunięta, można użyć detektora powłok.



Ważne informacje:

Tam, gdzie część szklenia z usuniętą krawędzią jest widoczna z zewnątrz budynku, będzie widoczna różnica koloru pomiędzy usuniętą powłoką, a powlekaną częścią szkła. W przypadku szklenia strukturalnego prosimy o kontakt z producentem szczeliwa w celu uzyskania dalszych informacji. Guardian zaleca wykonanie próbki zespolenia o rzeczywistych wymiarach w celu zabezpieczenia wymagań statycznych. W przypadku specjalnych zastosowań, takich jak szklenie stepowane z odsłoniętymi powierzchniami powlekanymi (np. dachy, narożniki szklane itp.), należy skonsultować się z lokalnym Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

9.10.1.2 Powłoki SunGuard w szkleniu strukturalnym

Według ETAG 002-1, szkło wielofunkcyjne bez zgody instytutu notyfikowanego do zastosowań monolitycznych (takich jak SunGuard HP, SunGuard SN i SunGuard SNX) lub termoizolacyjne szkło niskoemisyjne (takie jak ClimaGuard) nie nadaje się do szklenia strukturalnego.

W takim przypadku należy odpowiednio usunąć powłokę.

Zazwyczaj aplikacje z łączeniem strukturalnym muszą zostać przetestowane i zatwierdzone. Jeśli wymagana jest europejska certyfikacja szklenia strukturalnego zgodnie z ETAG 002-1, prosimy o kontakt z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji na temat odpowiednich rodzajów szkła i przetestowanych kombinacji powłoka-uszczelniacz, które spełniają wymagania ETAG 002-1 (→ Rozdział 8.1.2.2).

Aby uzyskać więcej informacji, zapoznaj się również Informacjami na temat zastosowania produktów „Kompatybilność uszczelniaczy i szklenie strukturalne“ („Sealant Compatibility and Structural Glazing“) dostępną w Guardian.

9.10.2 Nakładanie emalii ceramicznej na powlekane szkło

Emalie zostały starannie opracowane w celach nanoszenia i wypalania na bazowym sodowo-wapniowym szkłe float. Podczas hartowania szkła emalie te topią się i łączą na stałe z powierzchnią szkła, tworząc barwną warstwę ceramiczną.

Na różne powłoki Guardian SunGuard® mogą być nadrukowane farby ceramiczne (prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian w celu uzyskania listy powlekanego szkła SunGuard oraz zalecanych rodzajów emalii).

Emalie szklane mogą reagować z powłokami podczas wypalania, powodując mglisty wygląd lub nawet całkowite zniszczenie powłoki. Z tego powodu konieczne jest przetestowanie kompatybilności emalii ze szkłem powlekanym w warunkach wypalania produkcyjnego, aby osiągnąć optymalne wyniki. Zaleca się przeprowadzenie wstępnych testów z wybraną kombinacją farby

ceramicznej/szkła, używając docelowego pieca produkcyjnego, geometrii szkła i obszarów pokrytych emalią. Niekorzystne warunki hartowania mogą być przyczyną złych wyników (niski połysk, kolor, jednorodność, trwałość, gęstość, przyczepność).

Testy zgodności i przydatności są niezbędne dla każdego projektu. Każdy nadruk na powlekanej powierzchni szkła może powodować odchylenia kolorów po wypaleniu. Zalecane jest wykonanie pełnowymiarowych próbek. Przetwórca odpowiada za kontrolę jakości i jakość produktu końcowego.

Na produkty SunGuard® można nadrukować farbę ceramiczną do różnych celów:

- Dekoracyjny nadruk.
 - Wzory (kropki lub linie), które są nakładane na powłokę za pomocą sitodruku.
 - Musi być stosowany do wewnątrz przestrzeni międzyszybowej szkła izolacyjnego (z wyjątkiem szkła powlekanego SunGuard HD).
(→ Rozdział 8.2.4)
- Przeszklenia na wysokość kondygnacji spandrela (farba ceramiczna pokrywająca całość powlekanej powierzchni szkła).
 - Tylko z powłokami SunGuard® Solar i High Durable (prosimy o kontakt z Guardian w celu uzyskania informacji dotyczących zatwierdzonych kombinacji powłoka-emalia).
 - Może być stosowany jako pojedyncze oszklenie.
 - Farba ceramiczna musi pokryć powłokę SunGuard® aby zapewnić skuteczną ochronę przed wszelkimi wpływami środowiska.
(→ Rozdział 8.2.2)
- Emaliowanie krawędzi
 - Przesłania elementy konstrukcyjne w obszarze krawędzi.
 - Chroni uszczelniacze zespolenia przed promieniowaniem UV.
 - Brak wspólnej aprobaty w połączeniu z SunGuard® HP. Proszę skontaktuj się z Guardian!
 - Emaliowanie krawędzi SunGuard® HP o szerokości większej niż 5 cm może być krytyczne ze względu na różne właściwości nagrzewania szkła powlekanego oraz szkła float.
 - Stępowane szyby zespolone z emaliowanym SunGuard® HP na zewnętrznej szybie nie są dozwolone, chyba że emaliowana powierzchnia jest dodatkowo zabezpieczona odpowiednim materiałem uszczelniającym.
 - Innym rozwiązaniem emaliowania krawędzi szkła powlekanego jest „System Guardian TEA” (True Edge Application). Szczegółowe informacje dotyczące kompatybilności powłoki i metody aplikacji są dostępne w Dziale Doradztwa Technicznego firmy Guardian.
(→ Rozdział 8.2.3)



9.10.2.1 Wymagania dotyczące emaliowania SunGuard w zastosowaniach jako monolityczny spandrel

Po przeprowadzeniu obszernych testów wewnętrznych Guardian zaleca następujące procedury:

- Wszystkie emalie nie mogą zawierać następujących składników: ołów, kadm, grafit, lit, węglany.
- Minimalna grubość mokrej powłoki po wydrukowaniu z prawidłowo dobraną lepkością przetwarzania:
 - 70 μm poprzez zastosowanie sitodruku (np. sitodruk typu PET 1500 / 32-100).
 - 90 μm poprzez emaliowanie metodą walca.
- Przed wypaleniem emalii, musi być ona całkowicie sucha na całej swojej grubości.
- Ostateczna grubość emalii po wypaleniu nie powinna być mniejsza niż 30 μm .
- Farba ceramiczna musi się topić bez pęcherzyków, w normalnym warunkach hartowania dla płaskiego szkła, aby zapewnić gęste i jednolite pokrycie o zminimalizowanej porowatości.
- Minimalna kontrola jakości produktu końcowego:
 - Wszystkie metody testowe zalecane przez producenta emalii.
 - Odporność na zarysowania i przyczepność (test za pomocą pióra Erichsen).
 - Porowatość i przyczepność (test izopropanolem).
 - Zachowanie podczas topienia i chropowatość powierzchni (test połysku za pomocą miernika połysku).
 - Jednolite i gęste pokrycie.
 - Wykrywanie nakłuć w transmisji - test lamp halogenowych: instalacja lampy halogenowej (min. 100 W) w odległości maks. 50 cm od szkła. Ocena tafli szkła w transmisji, oglądanie od emaliowanej strony pod względem liczby, wymiarów i rozmieszczenie nakłuć (wybór najgorszego obszaru, nie więcej niż 30 nakłuć / dm^2 , średnica pojedynczych otworów nie większa niż 0,2 mm). Odległość obserwatora od szyby nie powinna być większa niż 50 cm.
- Przetwórcza musi przestrzegać określonych instrukcji przetwarzania dostarczonych przez producenta emalii.

9.10.2.2 Druk ceramiczny – Ferro System 140

Ferro i Guardian przetestowali kolory „Systemu 140” przy użyciu zalecanego rozpuszczalnika „Medium 80 1022” lub „Medium 80 1026” na wybranych produktach Guardian SunGuard z następujących rodzin (w celu uzyskania szczegółowych informacji prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian):

- SunGuard HP.
- SunGuard Solar.
- SunGuard HD.

Ferro System 140 obejmuje różne rodzaje farb ceramicznych, składających się częściowo z różnych składników chemicznych. W odniesieniu do wyżej wymienionych produktów, Guardian zaleca następujące rodzaje:

- Spandrel*:
 - 140 15 4001 (kolor podobny do RAL 7031 niebiesko-szary).
 - Specjalne adaptacje kolorów firmy „Ceramic Colours Wolbring” dla rozwiązań dopasowywania kolorów opartych na czystym szkle float (Numery kolorów Wolbring dostępne w Guardian lub w rozdziale 10.3, tabela 17).
 - 140 14 4001 (kolor zbliżony do RAL 9005 Głęboka czerń) do drukowania na pozycji # 4 w szybie zespolonej.
- Emaliowanie krawędzi:
 - 140 14 4001 (kolor zbliżony do RAL 9005 Głęboka czerń).
 - 140 14 4011 (kolor zbliżony do RAL 9005 Intensywna czerń – więcej pigmentów).

* Zwiększone pochłanianie energii przez szyby składowe spandrela w formie zespolenia może spowodować, że wszystkie tafle będą wymagały obróbki cieplnej. W miarę możliwości odległość międzyszybowa powinna być ograniczona do 8 mm.

Należy upewnić się, że monolityczne spandrela SunGuard® nie będą narażone na działanie agresywnych środków przed, podczas i po instalacji.

Zalecenia dotyczące spandrela dla szkła architektonicznego SunGuard → rozdział 10.3, tabela 17.

9.10.2.3 SunGuard HD w kombinacji z emalią ceramiczną na pozycji #1

Specjalne zastosowania, takie jak emalia ceramiczna na powierzchni # 1, mogą wymagać hartowania szkła z powłoką skierowaną w dół.

Dla takiego szczególnego zastosowania wymaga się specjalnego przygotowania urządzeń produkcyjnych. W szczególności ceramiczne rolki pieca hartowniczego muszą być czyste, a szkło nie powinno przesuwac się po stacjonarnych częściach maszyny (rolki, kółka itp.).



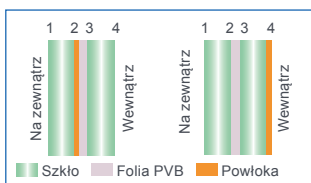
Testy produkcyjne oraz pełnowymiarowe próbki są obowiązkowe. Guardian nie ponosi jednak żadnej odpowiedzialności i nie będzie ponosić konsekwencji za jakiegokolwiek szkody, takie jak m.in. uszkodzenia powierzchni powstałe w wyniku tego rodzaju przetwarzania.

Pod warunkiem, że proces hartowania jest przeprowadzany prawidłowo, ogólne parametry szkła, takie jak transmisja światła lub współczynnik zaciemnienia, nie powinny ulec pogorszeniu.

W przypadku specjalnych zastosowań prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

9.10.3 Laminowane powlekane szkło architektoniczne

Produkty Guardian SunGuard® mogą być wytwarzane jako szkło laminowane w celu spełnienia wymagań bezpieczeństwa i dźwiękoizolacyjności. Aby zachować estetykę i zapewnić najwyższe parametry, należy zachować szczególną ostrożność podczas produkcji.



Powłokę można nakładać na powierzchnię # 4 (szkło laminowane z powłoką na zewnątrz) lub na powierzchni 2 (szkło laminowane z powłoką skierowaną do PVB).

Jeśli szkło jest laminowane z powłoką na zewnątrz (powierzchnia #4), należy zwrócić szczególną uwagę, jeśli powłoka jest narażona na wpływy mechaniczne - szczególnie jeśli do procesu wstępnego laminowania stosowane są rolki dociskowe. Powlekana powierzchnia szkła wymaga kontroli jakości po każdym etapie produkcji w odpowiednich warunkach oświetleniowych.

W odniesieniu do dalszego postępowania (np. transport, rozkrój, obróbka krawędzi, mycie) należy postępować zgodnie ze szczegółowymi instrukcjami dotyczącymi obchodzenia się z produktami SunGuard. Jeśli potrzebujesz więcej informacji, skontaktuj się z Guardian.

Jeśli szkło laminuje się powłoką skierowaną do PVB (powierzchnia #2), produkty SunGuard mogą poprawić ogólną estetykę i parametry szkła laminowanego. Właściwości termiczne (w przypadku m.in. powłok SunGuard® HP i SN) mogą jednak się pogorszyć. Na podstawie zastosowania Guardian może pomóc swoim klientom w oszacowaniu właściwości cieplnych. Ponadto można zauważyć zmianę koloru, gdy projekty obejmują laminowane i monolityczne produkty obok siebie. Guardian zaleca wykonanie pełnowymiarowej próbki.

Skontaktuj się z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian, aby uzyskać informacje na temat powłok kompatybilnych z foliami PVB.

Niekorzystne warunki, które wpływają na niepowlekane szkło laminowane, mogą również mieć wpływ na powlekane szkło laminowane.

Bez testów kompatybilności należy unikać bezpośredniego kontaktu folii PVB z jakimikolwiek materiałami uszczelniającymi. Zasadniczo szkło laminowane nie powinno stać w wodzie ani być narażone na wysoką wilgotność. Aby uniknąć delaminacji lub korozji powłoki SunGuard High Performance, oszklenie należy odpowiednio zaprojektować, a przetwórcą odpowiada za prawidłowe zespolenie. W przypadku jakichkolwiek wątpliwości, Guardian zaleca odpowiednie usunięcie krawędzi powłoki SunGuard HP, aby uniknąć korozji krawędzi. Firma Guardian nie udziela akceptacji dla użycia powłok SunGuard SN oraz SNX w tym zastosowaniu.

W przypadku szkła laminowanego z powłoką skierowaną do PVB należy zwrócić szczególną uwagę na następujące kwestie:

- Nieznaczna różnica kolorów w porównaniu do tego szkła nielaminowanego tego samego typu.
- Utrata właściwości termoizolacyjnych powłoki (wartość U).
- Wyroby ze szkła laminowanego powlekanego do wewnątrz są ogólnie zgodne z PN-EN 12543-3 Szkło laminowane. Tylko kilka laminowanych szyb powlekanych do wewnątrz jest zgodnych z laminowanym szkłem bezpiecznym PN-EN 12543-2. W celu uzyskania dalszych informacji, proszę skontaktuj się z przedstawicielem firmy Guardian.
- W połączeniu z powłokami selektywnymi (np. SunGuard HP lub SN) należy użyć szkła bazowego z jednej partii produkcyjnej ze względu na większe wymagania dotyczące tolerancji kolorów (prosimy o kontakt z Guardian w sprawie konkretnego projektu lub dalszych informacji).
- W sprawie badań trwałości szkła laminowanego należy odnieść się do PN-EN 12543-4.
- Aby uniknąć punktowych naprężeń, należy zachować szczególną ostrożność w związku z dopasowaniem wiertła.

Guardian nie zaleca stosowania żywic, strukturalnych folii PVB, SentryGlas lub folii EVA, chyba że pomyślnie przeprowadzono testy zgodności. Jeśli materiały te mają być używane w bezpośrednim kontakcie z SunGuard, odpowiednie testy kompatybilności przeprowadzane przez przetwórcę są obowiązkowe. Zwiększone wartości modułów Kirchhoffa oraz Younga międzywarstw posiadających właściwości strukturalne nie mogą być użyte w projektowaniu statycznym i wyznaczaniu grubości szkła laminowanego z powłoką skierowaną do międzywarstwy bez specjalnego zezwolenia.

Więcej informacji znajdą Państwo w najnowszej wersji broszury „SunGuard in Laminated Glass Applications”.



9.11 Czyszczenie szkła

Ten biuletyn został wydany przez grupę „Safety Glass” działającą w Bundesverband Flachglas e. V. przy ulicy Mülheimer Straße 1 • D-53840 Troisdorf we współpracy z Bundesinnungsverband des Glaserhandwerks, Hadamar • Gütegemeinschaft Mehrscheiben-Isolierglas e. V., Troisdorf • Verband Fenster und Fassade, Frankfurt

© Bundesverband Flachglas e. V.

9.11.1 Wstęp

Jako część elewacji, szkło narażone jest na naturalne i budowlane zabrudzenia. Normalne zabrudzenia, profesjonalnie czyszczone w rozsądnych odstępach czasu, nie stanowią problemu dla szkła. W zależności jednak od czasu, lokalizacji, klimatu i usytuowania budynku, na powierzchni szkła mogą gromadzić się znaczne chemiczne i fizyczne narosty brudu, co sprawia, że profesjonalne czyszczenie jest szczególnie ważne.

Niniejszy przewodnik techniczny ma na celu dostarczenie informacji na temat zapobiegania i minimalizowania zabrudzeń w trakcie użytkowania różnych powierzchni szklanych, sposobu ich prawidłowego czyszczenia oraz w odpowiednim czasie.

9.11.2 Sposoby czyszczenia

9.11.2.1 Podczas etapu budowy

Zasadniczo należy zapobiegać wszelkim agresywnym zabrudzeniom na etapie budowy. Niemniej jednak, jeśli to nastąpi, osoba odpowiedzialna musi natychmiast usunąć brud nie pozostawiając śladów, używając nie-agresywnych środków czyszczących.

Zawiesiny betonowe i cementowe, w szczególności tynki i zaprawy są silnie alkaliczne i powodują wytrawienie, a tym samym uszkodzenie szkła (matowienie), jeśli nie zostaną natychmiast spłukane dużą ilością wody. Zakurzone i ziarniste osady należy usunąć profesjonalnie, ale pod żadnym pozorem na sucho. W wyniku swoich obowiązków w zakresie interwencji i ochrony, wykonawca budynku jest odpowiedzialny za kontrolowanie interakcji między różnymi branżami, w szczególności za informowanie ich o niezbędnych środkach ochronnych.

Zanieczyszczenia można zminimalizować poprzez optymalizację procesów budowlanych i osobne uzgodnienie środków ochronnych, na przykład zastosowanie folii ochronnych okien i powierzchni elewacji. Celem tak zwanego wstępnego czyszczenia jest oczyszczenie elementów po zakończeniu prac budowlanych. Nie można go użyć do usunięcia brudu nagromadzonego podczas całego okresu budowy.

9.11.2.2 Podczas etapu użytkowania

Profesjonalne czyszczenie, dopasowane do konkretnego rodzaju szkła i przeprowadzane w odpowiednich odstępach czasu, jest niezbędne do zachowania właściwości szkła przez cały okres użytkowania.

9.11.3 Instrukcja czyszczenia szkła



9.11.3.1. Informacje ogólne

Poniższe informacje dotyczące czyszczenia dotyczą wszystkich produktów szklanych używanych w budynku. Do czyszczenia szkła należy użyć dużej ilości czystej wody, aby uniknąć efektu szorowania przez cząsteczki brudu. Miękkie i czyste gąbki, skóry, ściereczki i gumowe skrobaki są odpowiednimi narzędziami do pracy manualnej. Ostrożne korzystanie z narzędzi do czyszczenia szkła jest kolejnym warunkiem uniknięcia jego uszkodzenia. Do szkła, uszczelek i ram należy używać osobnych narzędzi. Narzędzia czyszczące można uzupełnić za pomocą środków czyszczących o wysoko neutralnym pH lub komercyjnie dostępnych środków do czyszczenia szkła w gospodarstwie domowym. Jeśli brud składa się ze smaru lub resztek szczeliwa, do czyszczenia można zastosować szeroko dostępne rozpuszczalniki, takie jak alkohol etylowy lub izopropanol. Alkaliczne roztwory, kwasy i środki zawierające fluor są chemicznymi środkami czyszczącymi, których nigdy nie wolno stosować.

Zastosowanie spiczastych, ostrych metalowych przedmiotów, np. ostrza lub noża może zniszczyć powierzchnię (zarysowania). Środek czyszczący nie może zauważalnie uszkadzać powierzchni. Nie używaj skrobaka z ostrzami do czyszczenia powierzchni szkła. Jeśli w trakcie czyszczenia zauważone zostanie uszkodzenie szkła lub powierzchni spowodowane czyszczeniem, należy natychmiast przerwać pracę i niezwłocznie uzyskać odpowiednią informację o tym, jak zapobiec dalszemu uszkodzeniu.



9.11.3.2 Szkło o specjalnym sposobie wykończenia i szkło powlekane od strony zewnętrznej

Specjalnie wykończone i zewnętrznie powlekane rodzaje szkła opisane poniżej są produktami wysokiej jakości. Wymagają szczególnej uwagi i ostrożności podczas czyszczenia. Uszkodzenie tego szkła może być bardziej widoczne lub może spowodować zmianę jego parametrów. W razie potrzeby należy przestrzegać oddzielnych zaleceń poszczególnych producentów w odniesieniu do czyszczenia, szczególnie w przypadku produktów powlekanych od strony zewnętrznej. Nie używaj „skrobaczki do szkła” do czyszczenia powierzchni szkła.

- Niektóre rodzaje szyb przeciwsłonecznych są zaprojektowane jako powłoki zewnętrzne (pozycja 1 = strona zewnętrzna). Można je często rozpoznać po bardzo wysokim odbiciu, nawet w zakresie promieniowania widzialnego. Jednocześnie szyby przeciwsłoneczne są często hartowane termicznie, szczególnie w przypadku zastosowań na elewacjach budynków.
- Ponadto powłoki redukujące odbicie (powłoki antyrefleksyjne), które ze względu na swój neutralny wygląd są trudne do wykrycia, mogą być zastosowane zarówno na zewnątrz jak i wewnątrz szklenia.
- Zewnętrzne lub wewnętrzne powłoki termoizolacyjne są szczególnym przypadkiem. W specjalnych konstrukcjach okien (okna skrzynkowe lub okna kompozytowe) powłoki te mogą wyjątkowo nie być skierowane do przestrzeni międzyszybowej zespolenia. Mechaniczne uszkodzenie tych powłok zwykle przejawia się w postaci zacieków na ścieranej powierzchni z powodu jej nieco większej chropowatości.
- Powierzchnie odporne na brud/samoczyszczące są wizualnie trudne do zidentyfikowania. Ze względu na ich sposób działania, powłoki te zwykle znajdują się po zewnętrznej stronie szyby wystawionej na działanie czynników atmosferycznych. Mechaniczne uszkodzenie samoczyszczących powłok (zadrapania) nie tylko powoduje widoczne uszkodzenie szkła, ale może również prowadzić do utraty funkcjonalności w uszkodzonym obszarze. Należy również unikać osadzania się silikonu i tłuszczu, w szczególności skrobaki gumowe muszą być wolne od silikonu, smaru i ciał obcych.
- Hartowane szkło bezpieczne (TG) i szkło wzmacniane termicznie (HS) jest trwale oznakowane zgodnie z przepisami ustawowymi i może być łączone z wyżej wymienionymi powłokami. W porównaniu do bazowego szkła float, powierzchnia szkła ESG jest modyfikowana poprzez termiczne hartowanie. W pewnych okolicznościach wprowadzone napięcie powierzchniowe powoduje, że uszkodzenia są bardziej widoczne niż w przypadku szkła niehartowanego (czasami po pewnym czasie).

9.11.3.3 Dalsze uwagi

Zastosowanie przenośnych maszyn polerujących do usuwania uszkodzeń powierzchni może powodować znaczne ścieranie szkła, a w efekcie zniekształcenia optyczne, które są postrzegane jako „efekt soczewki” i prowadzą do zmniejszenia wytrzymałości szkła. Nie używaj maszyn do polerowania, szczególnie na wymienionych powyżej szklach o specjalnym wykończeniu i o powlekanych zewnętrznych powierzchniach.



Może się zdarzyć, że szklane powierzchnie mogą być nierównomiernie zwilżone z powodu śladów pozostawionych przez naklejki, rolki, palce, pozostałości szczeliwa, a także wpływu środowiska. To zjawisko można zaobserwować tylko wtedy, gdy szyba jest mokra, czyli np. kiedy jest czyszczona.

BF Bulletin 012 / 2012

9.12 Transport i składowanie

Szkło należy transportować w pozycji pionowej, opierając je na krawędzi. Dolna krawędź powinna stać równolegle na dwóch amortyzujących podporach. Każdy kontakt szyb z metalem lub ze sobą wzajemnie jest niepożądany. Taflę szkła w przypadku ułożonych w stos pakietów należy zawsze oddzielić za pomocą odpowiednich elementów dystansowych.

Jeśli szkło izolacyjne jest transportowane na terenach o różnej wysokości geograficznej, a różnica wysokości przekracza 500 metrów, wymagana jest produkcja specjalnych szyb zespolonych. Odstęp między ułożonymi szybami należy również zwiększyć.

Szkło należy magazynować w pozycji pionowej. Magazyn musi być suchy i w miarę możliwości niewystawiony na bezpośrednie nasłonecznienie. W przypadku składowania na wolnym powietrzu zaleca się przykrycie pakietu ze szkłem nieprzezroczystą plandeką. Jeśli pakiety szkła zawilgotnieją, istnieje niebezpieczeństwo wytworzenia się wodorotlenku sodu, który przy dłuższym kontakcie ze szkłem prowadzi do powstania nieodwracalnych uszkodzeń. W związku z tym zaleca się, aby wilgotne pakiety szkła rozpakować, osuszyć poszczególne ich tafle i ponownie spakować. Magazynowanie szkła powinno przebiegać z zastosowaniem zaleceń firmy Guardian odpowiednich do indywidualnego typu szkła.



Hotel Jakarta, Amsterdam, Niderlandy | SunGuard® SN 70/37
Architekt: Search Architecture and Urban planning | Zdjęcie: © Georges De Kinder

10.	Porównanie produktów	206
10.1	Szkło float.....	206
10.2	Szkła termoizolacyjne	208
10.3	Szkła kontroli słonecznej	210
10.4	Szkło antyrefleksyjne	227
10.5	Szkło dźwiękoizolacyjne	228
10.6	Szkło bezpieczne	233



10.1 Szkło float

Tabela 1: Guardian ExtraClear

Grubość	Transmisja światła	Odbicie światła	Współczynnik oddawania barw R_a	Transmisja energii słonecznej	Odbicie energii słonecznej	Absorpcja energii słonecznej	Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia [g / 0,87]	Transmisja UV
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[%]
2	91	8	100	89	8	3	90	1,03	81
3	91	8	99	88	8	4	89	1,02	77
4	91	8	99	87	8	5	88	1,01	74
5	90	8	99	85	8	7	87	1,00	72
6	90	8	99	84	8	8	86	0,99	70
8	90	8	98	82	8	10	85	0,97	65
10	89	8	98	79	8	13	83	0,95	61
12	88	8	97	78	8	14	81	0,94	59
15	88	8	97	75	7	18	79	0,91	56

Wszystkie wartości to wartości nominalne, podlegające odpowiednim tolerancjom, Dane spektrofotometryczne wg normy PN-EN 410.

Tabela 2: Guardian UltraClear

Grubość	Transmisja światła	Odbicie światła	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja energii słonecznej	Odbicie energii słonecznej	Absorpcja energii słonecznej	Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia [g / 0,87]	Transmisja UV
[mm]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		[%]
2	91	8	100	91	8	1	91	1,05	87
3	91	8	100	90	8	2	91	1,04	86
4	91	8	100	90	8	2	90	1,04	84
5	91	8	100	89	8	3	90	1,03	83
6	91	8	100	89	8	3	90	1,03	82
8	90	8	100	88	8	4	89	1,02	79
10	90	8	100	87	8	5	88	1,01	76
12	89	8	99	86	8	6	87	1,01	74
15	89	8	99	85	8	8	86	0,99	71

Wszystkie wartości to wartości nominalne, podlegające odpowiednim tolerancjom, Dane spektrofotometryczne wg normy PN-EN 410.



10.2 Szkła termoizolacyjne

Tabela 3: ClimaGuard, Guardian Sun

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna			Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Mozliwość poddania obróbce termicznej ¹	Mozliwość gięcia ¹	
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania bar R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[W/m ² K]	Argon							
														[%]	[%]			[%]
Szyba zespolona jednokomorowa 4(16)4, powłoka na pozycji #3																		
Premium2	ExtraClear	neutralny	82	12	13	98	58	28	14	64	0,73	1,4	1,1	T ³	T ³	T ³	T ³	
1,0+	ExtraClear	neutralny	76	18	18	96	47	39	15	53	0,60	1,3	1,0	T ⁴	T ⁴	T ⁴	T ⁴	
Szyba zespolona dwukomorowa 4 (14) 4 (14) 4, powłoka na pozycjach #2 i #5																		
Premium2	ExtraClear	neutralny	74	16	16	97	47	33	21	53	0,61	0,5 ²	0,6	T ³	T ³	T ³	T ³	
Szyba zespolona jednokomorowa 4 (16) 4, powłoka na pozycji #2																		
Solar	ExtraClear	neutralny	67	27	24	96	41	43	16	42	0,49	1,3	1,0	Nie	Nie	Nie	Nie	
Neutral 70	ExtraClear	neutralny	71	12	11	96	52	20	28	55	0,63	1,6	1,4	Tak	Tak	Tak	Tak	
Guardian Sun	ExtraClear	neutralny	70	19	17	94	41	41	20	43	0,49	1,3	1,0	T ⁵	T ⁵	T ⁵	T ⁵	

Wszystkie wartości to wartości nominalne, podlegające odpowiednim tolerancjom

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.

Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. Przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² Krypton (optymalna szerokość ramki dystansowej dla szyb jedno i dwukomorowych: 12 mm)

³ W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej ClimaGuard Premium2 T

⁴ W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej ClimaGuard 1,0+ T

⁵ W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej Guardian Sun T

Tabela 4: Powłoki antykondensacyjne ClimaGuard

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne				Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ²	Możliwość gładzenia ²	
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[%]			[%]				
Szyba zespolona dwukomorowa 4 (14) 4 (14) 4, powłoka ClimaGuard DRY ¹ na pozycji #1																	
Premium2 na #3+5	ExtraClear	neutralny	72	17	17	97	45	29	26	53	0,61	0,5	0,6	T ³	T ³		

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.
¹ Powłoka musi zostać poddana obróbce termicznej celem aktywacji
² Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji
³ W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej ClimaGuard Premium2 T



10.3 Szkła kontroli słonecznej

Tabela 5: SunGuard eXtra Selective (SNX) – szyby zespolone jednokomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne								Energia słoneczna			Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gładzenia ¹	
			Odbicie na zewnątrz				Odbicie do wewnątrz				Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja				Odbicie na zewnątrz	Absorpcja			
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		Powietrze	Argon							
Szyba zespolona jednokomorowa 6 (16) 4, powłoka na pozycji #2																				
SNX 70 HT	ExtraClear	neutralny	68	13	14	93	30	44	26	32	0,36	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	Tak			
SNX 70 HT Ultra	UltraClear ³	neutralny	68	13	14	95	31	50	19	32	0,37	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	Tak			
SNX 70	ExtraClear	neutralny	67	11	12	95	31	37	32	33	0,38	1,3	1,0	Nie	Nie	Nie	Nie			
SNX 70 Ultra	UltraClear ³	neutralny	67	11	12	96	32	42	26	33	0,39	1,3	1,0	Nie	Nie	Nie	Nie			
SNX 60	ExtraClear	neutralny	60	13	13	93	27	38	35	29	0,34	1,3	1,0	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			
SNX 60 Ultra	UltraClear ³	neutralny	60	13	13	95	28	44	28	29	0,34	1,3	1,0	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			
SNX 50	ExtraClear	neutralny	50	10	13	90	22	36	42	24	0,28	1,3	1,0	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			
SNX 50 Ultra	UltraClear ³	neutralny	50	10	12	91	22	42	36	24	0,28	1,3	1,0	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.

Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej SunGuard SNX HT

³ Zewnętrzne i wewnętrzne szkło bazowe Guardian UltraClear

Tabela 6: SunGuard eXtra Selective (SNX) – szyby zespolone dwukomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne								Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość termicznej obróbki	Możliwość gięcia ¹
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _s	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]			Krypton	Argon		
Szyba zespolona dwukomorowa 6 (14) 4 (14) 4, powłoka na pozycji #2, ClimaGuard Premium2 na pozycji #5																				
SNX 70 HT	ExtraClear	neutralny	61	15	18	92	27	45	28	30	0,34	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak			
SNX 70 HT Ultra	UltraClear ³	neutralny	62	15	17	94	28	51	21	30	0,34	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak			
SNX 70	ExtraClear	neutralny	60	13	16	94	28	38	34	31	0,35	0,5	0,6	Nie	Nie	Nie	Nie			
SNX 70 Ultra	UltraClear ³	neutralny	61	13	15	96	29	44	27	31	0,36	0,5	0,6	Nie	Nie	Nie	Nie			
SNX 60	ExtraClear	neutralny	54	15	16	92	24	39	37	27	0,31	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			
SNX 60 Ultra	UltraClear ³	neutralny	54	15	16	94	25	45	30	27	0,31	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			
SNX 50	ExtraClear	neutralny	45	11	16	89	20	37	44	22	0,25	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			
SNX 50 Ultra	UltraClear ³	neutralny	45	11	16	91	20	43	38	22	0,26	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²			

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji
² W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej SunGuard SNX HT
³ Zewnętrzne i wewnętrzne szkło bazowe Guardian UltraClear



Tabela 7: SunGuard SuperNeutral (SN) – szyby zespolone jednokomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna			Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gładzenia ¹	
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	Powietrze	Argon						
Szyba zespolona jednokomorowa 6 (16) 4, powłoka na pozycji #2																	
SN 75 HT	ExtraClear	neutralny	70	13	14	95	38	39	23	40	0,46	1,3	1,0	Tak	Tak		
SN 75 HT Ultra	UltraClear ³	neutralny	76	13	14	95	40	44	16	41	0,47	1,3	1,0	Tak	Tak		
SN75	ExtraClear	neutralny	73	12	13	96	38	37	25	40	0,46	1,3	1,0	Nie	Nie		
SN 75 Ultra	UltraClear ³	neutralny	73	12	13	97	39	43	18	41	0,47	1,3	1,0	Nie	Nie		
SN 70S	ExtraClear	neutralny	70	11	13	95	37	38	25	39	0,45	1,3	1,0	HT ²	HT ²		
SN 70/37	ExtraClear	neutralny	70	11	12	93	35	39	26	37	0,42	1,3	1,0	HT ²	HT ²		
SN 70/35	ExtraClear	neutralny niebieski	70	14	15	94	33	42	25	35	0,40	1,3	1,0	HT ²	HT ²		
SN 63	ExtraClear	neutralny	63	12	16	92	31	37	31	33	0,38	1,3	1,0	HT ²	HT ²		
SN 51	ExtraClear	neutralny	51	14	13	91	25	38	37	27	0,31	1,3	1,0	HT ²	HT ²		
SN 40/23	ExtraClear	neutralny niebieski	40	16	32	91	21	36	43	23	0,27	1,3	1,0	HT ²	HT ²		
SN 29/18	ExtraClear	neutralny niebieski	29	17	27	90	16	33	52	18	0,21	1,3	1,0	HT ²	HT ²		

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.

Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wydanych dot.

przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wspierania Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej SunGuard SN HT

³ Zewnętrzne i wewnętrzne szkło bazowe Guardian UltraClear

Tabela 8: SunGuard SuperNeutral (SN) – szyby zespolone dwukomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość głębia ¹	
			Transmisja	Odcienie na zewnątrz	Odcienie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odcienie na zewnątrz	Absorpcja	[%]	[%]	[%]			[%]	Krypton			Argon
Szyba zespolona dwukomorowa 6 (14) 4 (14) 4, powłoka na pozycji #2, ClimaGuard Premium2 na pozycji #5																			
SN 75 HT	ExtraClear	neutralny	68	16	17	94	33	40	27	37	0,42	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak		
SN 75 HT Ultra	UltraClear ³	neutralny	69	16	17	95	35	46	19	38	0,44	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak		
SN75	ExtraClear	neutralny	66	14	16	95	33	38	29	37	0,42	0,5	0,6	Nie	Nie	Nie	Nie		
SN 75 Ultra	UltraClear ³	neutralny	67	14	16	97	35	44	21	38	0,43	0,5	0,6	Nie	Nie	Nie	Nie		
SN 70S	ExtraClear	neutralny	64	14	17	94	32	40	28	36	0,41	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²		
SN 70/37	ExtraClear	neutralny	64	14	16	92	31	40	29	34	0,39	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²		
SN 70/35	ExtraClear	neutralny niebieski	64	16	18	94	29	43	28	32	0,37	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²		
SN 63	ExtraClear	neutralny	57	14	19	91	28	38	34	31	0,32	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²		
SN 51	ExtraClear	neutralny	46	15	17	91	22	38	40	25	0,29	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²		
SN 40/23	ExtraClear	neutralny niebieski	37	16	32	90	19	36	45	21	0,24	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²		
SN 29/18	ExtraClear	neutralny niebieski	26	18	28	89	13	33	54	16	0,18	0,5	0,6	HT ²	HT ²	HT ²	HT ²		

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji
² W odniesieniu do wersji podlegającej obróbce termicznej SunGuard SN HT
³ Zewnętrzne i wewnętrzne szkło bazowe Guardian UltraClear



Tabela 9: SunGuard High Performance (HP) – szyby zespolone jednokomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna			Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gładzenia ¹	
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wnętrza	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	Powietrze	Argon							
														[%]	[%]			[%]
Szyba zespolona jednokomorowa 6 (16) 4, powłoka na pozycji #2																		
HP Light Blue 62/52	Extra Clear	neutralny niebieski	62	16	12	96	48	17	35	52	0,59	1,7	1,5	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Neutral 60/40 ²	Extra Clear	neutralny	60	25	20	93	38	35	27	40	0,46	1,4	1,1	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Neutral 50/32	Extra Clear	neutralny	50	26	23	94	30	40	30	32	0,37	1,4	1,1	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Silver 43/31	Extra Clear	srebrny	43	32	16	31	29	37	34	31	0,36	1,4	1,2	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Amber 41/29	Extra Clear	jasno-brązowy	41	25	17	87	27	37	36	29	0,34	1,4	1,1	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Neutral 41/33	Extra Clear	neutralny	41	22	12	91	29	25	46	33	0,38	1,6	1,4	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Royal Blue 41/29	Extra Clear	niebieski	40	27	27	95	26	31	43	29	0,33	1,4	1,1	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Bright Green 40/29 ²	Extra Clear	jasnozielony	40	37	24	95	26	24	60	29	0,33	1,4	1,1	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Bronze 40/27	Extra Clear	ciemno-brązowy	40	15	26	90	24	27	49	27	0,31	1,4	1,1	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Silver 35/26	Extra Clear	srebrny	35	44	23	98	24	43	33	27	0,30	1,4	1,2	Tak	Tak	Tak	Tak	

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.

Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² Wartości po obróbce termicznej

Tabela 10: SunGuard High Performance (HP) – szyby zespolone dwukomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gładzenia ¹
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[%]	[%]	[%]						
Szyba zespolona dwukomorowa 6 (14) 4 (14) 4, powłoka na pozycji #2, ClimaGuard Premium2 na pozycji #5																		
HP Light Blue 62/52	ExtraClear	neutralny niebieski	56	18	15	95	36	21	43	42	0,48	0,6	0,7	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Neutral 60/40 ²	ExtraClear	neutralny	55	26	22	93	31	37	31	36	0,41	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Neutral 50/32	ExtraClear	neutralny	46	27	25	93	25	41	34	29	0,33	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Silver 43/31	ExtraClear	srebrny	39	33	19	94	23	38	39	27	0,31	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Amber 41/29	ExtraClear	jasno-brązowy	37	26	20	87	22	38	40	26	0,29	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Neutral 41/33	ExtraClear	neutralny	37	23	16	90	23	26	51	27	0,31	0,6	0,7	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Royal Blue 41/29	ExtraClear	niebieski	36	28	28	94	21	32	47	25	0,29	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Bright Green 40/29 ²	ExtraClear	jasnozielony	36	38	26	94	21	25	54	25	0,29	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Bronze 40/27	ExtraClear	ciemno-brązowy	36	16	27	89	20	27	53	24	0,28	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	
HP Silver 35/26	ExtraClear	srebrny	32	44	25	97	19	44	37	23	0,26	0,5	0,6	Tak	Tak	Tak	Tak	

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.
¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji
² Wartości po obróbce termicznej



Tabela 11: SunGuard High Durable (HD) – szyby monolityczne

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna			Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gięcia ¹	
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[%]	[%]			[%]	[W/m²K]			
Szyba monolityczna 6 mm, powłoka na pozycji #2																		
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	70	27	28	97	69	21	10	72	0,82			5,6	Tak	Tak		
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	66	16	18	99	63	13	24	68	0,79			5,7	Tak	Tak		
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	66	32	33	99	67	24	9	69	0,80			5,7	Tak	Tak		
HD Diamond 66 Ultra	UltraClear	diamantowy	66	32	33	98	71	26	3	72	0,83			5,7	Tak	Tak		
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	52	17	17	99	50	14	36	58	0,67			5,5	Tak	Tak		
HD Silver Grey 32	ExtraClear	srebrno-szary	33	23	22	96	31	19	50	42	0,48			5,3	Tak	Tak		
HD Royal Blue 20	ExtraClear	niebieski	21	22	32	98	19	21	60	32	0,36			4,9	Tak	Tak		
HD Silver 20	ExtraClear	srebrny	20	34	28	94	19	29	52	29	0,34			5,0	Tak	Tak		
HD Silver 10	ExtraClear	srebrny	10	44	38	98	10	38	52	20	0,23			4,7	Tak	Tak		

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.

Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

Tabela 12: SunGuard High Durable (HD) – szyby monolityczne laminowane

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna			Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zacielenia (g/0,87)	Wartość U [W/m²K]	Możliwość poddania obrobce termicznej¹	Możliwość gięcia¹	Klasa odporności na włamanie PN-EN 356	Klasa odporności na uderzenie wahadłem według PN-EN 12600	
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja										
Szyba monolityczna laminowana 66.2, międzywarstwa z transparentnego PVB, powłoka na pozycji #4																			
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	68	26	28	60	97	18	22	65	0,75	5,3	Tak	Tak	P2A	1(B)1			
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	64	16	18	99	54	12	34	62	0,71	5,4	Tak	Tak	P2A	1(B)1			
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	65	31	33	99	58	21	21	63	0,72	5,4	Tak	Tak	P2A	1(B)1			
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	51	17	17	98	43	12	45	53	0,61	5,2	Tak	Tak	P2A	1(B)1			
HD Silver Grey 32	ExtraClear	srebrno-szary	32	23	22	96	26	16	58	39	0,45	5,0	Tak	Tak	P2A	1(B)1			
HD Royal Blue 20	ExtraClear	niebieski	21	21	32	98	17	17	66	30	0,35	4,7	Tak	Tak	P2A	1(B)1			
HD Silver 20	ExtraClear	srebrny	20	33	28	93	16	24	60	28	0,32	4,7	Tak	Tak	P2A	1(B)1			
HD Silver 10	ExtraClear	srebrny	10	42	38	97	8	31	59	20	0,23	4,5	Tak	Tak	P2A	1(B)1			

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673. ¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania. Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.



Tabela 12: SunGuard High Durable (HD) – szyby monolityczne laminowane

Kontynuacja

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne				Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zacielenia (g/0,87)	Wartość U	Możliwość poddania obrobce termicznej ¹	Możliwość gięcia ¹	Klasa odporności na wstrząsy PN-EN 356	Klasa odporności na uderzenie wahadłem PN-EN 12600
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja								
										[%]			[%]				
Szyba monolityczna laminowana 66.2, międzywarstwa z jasnego przeciwsłonecznego PVB ² , powłoka na pozycji #4																	
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	64	23	28	98	41	14	45	52	0,59	5,3	Tak	Tak	P2A	1(B)1	
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	60	15	18	96	38	9	53	50	0,58	5,4	Tak	Tak	P2A	1(B)1	
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	60	28	33	97	39	15	45	50	0,57	5,4	Tak	Tak	P2A	1(B)1	
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	48	15	17	95	30	10	60	44	0,50	5,2	Tak	Tak	P2A	1(B)1	
Szyba monolityczna laminowana 66.2, międzywarstwa z umiarkowanego przeciwsłonecznego PVB ³ , powłoka na pozycji #4																	
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	58	20	28	95	30	11	59	44	0,51	5,3	Tak	Tak	P2A	1(B)1	
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	55	13	17	93	28	8	64	43	0,50	5,4	Tak	Tak	P2A	1(B)1	
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	55	24	33	94	29	13	58	43	0,49	5,4	Tak	Tak	P2A	1(B)1	
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	44	14	17	92	23	8	69	39	0,44	5,2	Tak	Tak	P2A	1(B)1	

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
 Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wspierania Technicznego Guardian.
¹ Proszę przeszerzać odpowiednie informacje dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji
² Saflex SH-41
³ Saflex SG-41

Tabela 13: SunGuard High Durable (HD) – szyby monolityczne laminowane – powłoka skierowana w stronę międzywarstwy

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne					Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zacielenia (g/0,87)	Wartość U	Możliwość poddania obróbce termicznej¹	Możliwość gięcia¹	Klasa odporności na włamanie PN-EN 356	Klasa odporności na uderzenie wahadłem według PN-EN 12600
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja									
										[%]	[%]							
Szyba monolityczna laminowana 66.2, międzywarstwa z transparentnego PVB, powłoka na pozycji #2																		
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	77	19	19	98	65	15	20	69	0,80	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	70	13	12	98	57	11	32	65	0,75	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	75	22	23	99	63	17	20	68	0,78	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	55	15	11	98	46	12	42	56	0,64	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
Szyba monolityczna laminowana 66.2, międzywarstwa z jasnego przeciwsłonecznego PVB², powłoka na pozycji #2																		
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	72	18	17	97	45	14	41	55	0,63	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	65	13	11	95	40	10	50	52	0,60	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	70	22	20	96	44	16	40	54	0,62	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	52	15	10	95	32	12	56	46	0,52	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
Szyba monolityczna laminowana 66.2, międzywarstwa z umiarkowanego przeciwsłonecznego PVB³, powłoka na pozycji #2																		
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	66	18	15	93	34	14	52	46	0,53	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	60	12	10	92	31	10	59	45	0,51	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	64	21	18	93	33	15	52	45	0,52	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	47	14	9	92	25	12	63	40	0,45	5,4	Tak	Tak		P2A	1(B)1	

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673. Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² Saflex SH-41 ³ Saflex SG-41

⁴ Aby uznać szklenie za laminowane bezpieczne w niektórych krajach może być wymagane przeprowadzenie dodatkowej certyfikacji



Tabela 14: SunGuard High Durable (HD) – szyby zespolone jednokomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne								Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gładzenia ¹
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[W/m ² K]	Argon									
Szyba zespolona jednokomorowa 6 (16) 4, powłoka na pozycji #2, ClimaGuard Premium2 na pozycji #3																				
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	64	29	29	97	46	37	17	51	0,59	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	59	18	20	98	42	25	33	48	0,55	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	60	34	33	99	45	40	15	50	0,57	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Diamond 66 Ultra	UltraClear ²	diamantowy	61	34	33	98	48	44	8	52	0,60	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	47	19	20	98	34	21	45	39	0,45	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Silver Grey 32	ExtraClear	srebrno-szary	30	24	24	96	21	22	57	26	0,30	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Royal Blue 20	ExtraClear	niebieski	20	22	32	98	14	22	64	18	0,21	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Silver 20	ExtraClear	srebrny	19	34	28	93	13	30	57	17	0,20	1,4	1,1	Tak				Tak		
HD Silver 10	ExtraClear	srebrny	9	44	37	97	7	39	54	10	0,12	1,4	1,1	Tak				Tak		

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.

Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wydanych dot.

przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² Zewnętrzne i wewnętrzne szkło bazowe Guardian UltraClear

Tabela 14: SunGuard High Durable (HD) – szyby zespolone jednokomorowe

Kontynuacja

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna				Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gładzenia ¹
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[%]	[%]	[%]					
Szyba zespolona jednokomorowa 6 (16) 4, powłoka na pozycji #2, ClimaGuard 1.0+ na pozycji #3																	
HD Silver 70	ExtraClear	srebrny jasny	59	32	32	96	38	45	17	43	0,49	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Neutral 67	ExtraClear	neutralny	55	21	25	96	34	31	35	40	0,45	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Diamond 66	ExtraClear	diamantowy	56	37	36	97	37	37	36	42	0,48	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Diamond 66 Ultra	UltraClear ²	diamantowy	57	37	36	97	39	53	8	43	0,49	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Light Blue 52	ExtraClear	neutralny niebieski	44	20	24	96	27	25	48	32	0,37	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Silver Grey 32	ExtraClear	srebrno-szary	28	25	28	95	17	27	59	22	0,25	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Royal Blue 20	ExtraClear	niebieski	18	22	35	96	12	22	66	16	0,18	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Silver 20	ExtraClear	srebrny	17	35	32	93	11	31	58	15	0,17	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	
HD Silver 10	ExtraClear	srebrny	9	44	40	96	6	39	55	9	0,10	1,3	1,0	Tak	Tak	Tak	

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² Zewnętrzne i wewnętrzne szkło bazowe Guardian UltraClear



Tabela 15: SunGuard Solar – szyby zespolone jednokomorowe

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość głęcia ¹
			Transmisja		Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[%]	[%]						
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	Powietrze					Argon			
Szyba zespolona jednokomorowa 6 (16) 4, powłoka na pozycji #2, ClimateGuard Premium2 na pozycji #3																		
Solar Bright Green 20	ExtraClear	jasnozielony	19	35	11	96	12	20	68	16	0,18	1,4	1,1	Tak			Tak	
Solar Bronze 20	ExtraClear	brązowy	19	17	14	93	12	20	68	16	0,18	1,4	1,1	Tak			Tak	
Solar Gold 20	ExtraClear	złoty	21	26	13	95	13	17	70	17	0,19	1,4	1,1	Tak			Tak	
Solar Grey 20	ExtraClea	ciemny szary	19	10	7	96	13	12	75	18	0,20	1,4	1,1	Tak			Tak	
Szyba zespolona jednokomorowa 6 (16) 4, powłoka na pozycji #2, ClimateGuard 1.0+ na pozycji #3																		
Solar Bright Green 20	ExtraClear	jasnozielony	17	35	17	94	10	20	70	14	0,16	1,3	1,0	Tak			Tak	
Solar Bronze 20	ExtraClear	brązowy	18	17	19	92	10	20	70	14	0,16	1,3	1,0	Tak			Tak	
Solar Gold 20	ExtraClear	złoty	19	27	19	97	11	18	71	15	0,17	1,3	1,0	Tak			Tak	
Solar Grey 20	ExtraClea	ciemny szary	17	11	13	95	11	12	77	15	0,17	1,3	1,0	Tak			Tak	

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

Tabela 16: SunGuard RD – Szkło tłumiące odbicie promieniowania radarowego

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne				Energia słoneczna				Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość poddania obróbce termicznej ¹	Możliwość gładzenia ¹
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	Powietrze			Argon			
Szymba zespolona jednokomorowa 88.2 (16) 6, powłoka laminowana ² do międzywarstwy na pozycji #2, ClimaGuard Premium2 na pozycji #5																
RD 60 HT	ExtraClear	neutralny	59	18	14	95	36	18	46	42	0.48	1.4	1.1	Tak	Tak	

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wytycznych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji

² Wspólna certyfikacja typu dla szkła bezpiecznego przez DIBt dla Niemiec



Tabela 17: Kolorystyczne dopasowanie rozwiązania spandrelu do szklenia z powłoką SunGuard

Przeszklenie z powłoką Guardian SunGuard®	Spandrel monolityczny		Spandrel w formie szyby zespolonej ² (powłoka na pozycji #2 + emalia na pozycji #4)
	Emaliowane ¹	Shadow Box (wentylowany z czarnym item)	
Guardian SunGuard® eXtra Selective			
SNX 70	-	-	SG SNX 70
SNX 70 HT	Szkle float + WO-E-14-7065 (szary) Szkle float + WO-B-14-7066 (niebieski)	SG HD Light Blue 52	SG SNX 70 HT
SNX 60	Szkle float + WO-B-14-7067 SG Solar Royal Blue 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Royal Blue 20	SG SNX 60
SNX 50	Szkle float + WO-B-14-7067 SG Solar Royal Blue 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Royal Blue 20	SG SNX 50
Guardian SunGuard® SuperNeutral™			
SN 75	Szkle float + WO-E-14-7065 (szary) Szkle float + WO-B-14-7066 (niebieski)	-	SG SN 75
SN 70S	Szkle float + WO-E-14-7063	-	SG SN 70S
SN 70 / 37	Szkle float + WO-E-14-7063	-	SG SN 70/37
SN 70 / 35	Szkle float + WO-B-14-7067	-	SG SN 70/35
SN 63	Szkle float + WO-B-14-7064	SG HD Light Blue 52	SG SN 63
SN 51	Szkle float + WO-E-14-7063 (szary) Szkle float + WO-B-14-7064 (niebieski)	SG HD Light Blue 52	SG SN 51
SN 40 / 23	Szkle float + WO-B-14-7067 SG Solar Royal Blue 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Royal Blue 20	SG SN 40/23

Informacje zawarte w tej broszurze są ogólnymi rekomendacjami bazującymi na pełnowymiarowych makietach tzw. mock-up i testach zgodności przeprowadzonych z zastosowaniem emalii firmy Ferro. Różne emalie ceramiczne mogą mieć inny skład; może to prowadzić do problemów z kompatybilnością z powłokami Guardian SunGuard i/lub mieć wpływ na wygląd końcowy kombinacji szkła powlekane go z emalią. Odpowiedzialnością przetwórcy jest przeprowadzenie odpowiednich testów zgodności, obserwacja pełnowymiarowej makiety w celu oceny zgodności koloru.

¹ Wymienione typy lub numery identyfikacyjne emalii od firm Ferro i Wol-bring(WO) są oparte na systemie emalii Ferro System 140 i specjalnej mieszance kolorów, aby jak najlepiej oddać kolor danego produktu Guardian. Po więcej szczegółów bardzo prosimy o kontakt z działem technicznym firmy Guardian.

² Spandrelle o budowie szyby zespolonej symulują głębokość szklenia. Bazując na doświadczeniu czarny (np. RAL 9005) lub ciemnoszary (np. RAL 7021) kolor emalii najlepiej komponuje się z otoczeniem. Przestrzeń międzyszybową powinna zostać ograniczona do 8 mm w celu ograniczenia wpływu potencjalnych naprężeń klimatycznych. Ze względu na podwyższoną absorpcję energii przez szkło należy rozważyć jego obróbkę termiczną.

Tabela 17: Kolorystyczne dopasowanie rozwiązania spandrelu do szklenia z powłoką SunGuard

Kontynuacja

Przeszklenie z powłoką Guardian SunGuard®	Spandrel monolityczny		Spandrel w formie szyby zespolonej ² (powłoka na pozycji #2 + emalia na pozycji #4)
	Emaliowane ¹	Shadow Box (wentylowany z czarnym tłem)	
SN 29 / 18	Szkle float + WO-B-14-7067 SG Solar Royal Blue 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Royal Blue 20	SG SN 29/18
Guardian SunGuard® High Performance			
HP Light Blue 62 / 52	Szkle float + WO-B-14-7067		SG HP Light Blue 62/52
HP Neutral 60 / 40	Szkle float + WO-B-14-7064 SG HD Silver Grey 32 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Silver Grey 32	SG HP Neutral 60/40
HP Neutral 50 / 32	Szkle float + WO-B-14-7064 SG HD Silver Grey 32 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Silver Grey 32	SG HP Neutral 50/32
HP Silver 43 / 31	-	SG HD Silver 70	SG HP Silver 43/31
HP Neutral 41 / 33	Szkle float + WO-B-14-7064 SG HD Silver Grey 32 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Silver Grey 32	SG HP Neutral 41/33
HP Amber 41 / 29	-	-	SG HP Amber 41/29
HP Royal Blue 41 / 29	SG Solar Royal Blue 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Royal Blue 20	SG HP Royal Blue 41/29
HP Bronze 40 / 27	SG Solar Bronze 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	-	SG HP Bronze 40/27
HP Bright Green 40 / 29	SG Solar Bright Green 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	-	SG HP Bright Green 40/29
HP Silver 35 / 26	SG HD Silver 10 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Silver 10	SG HP Silver 35/26

Informacje zawarte w tej broszurze są ogólnymi rekomendacjami bazującymi na pełnowymiarowych makietach tzw. mock-up i testach zgodności przeprowadzonych z zastosowaniem emalii firmy Ferro. Różne emalie ceramiczne mogą mieć inny skład; może to prowadzić do problemów z kompatybilnością z powłokami Guardian SunGuard i/lub mieć wpływ na wygląd końcowy kombinacji szkła powlekane go z emalią. Odpowiedzialnością przetwórcy jest przeprowadzenie odpowiednich testów zgodności, obserwacja pełnowymiarowej makiety w celu oceny zgodności koloru.

¹ Wymienione typy lub numery identyfikacyjne emalii od firm Ferro i Wolbring(WO) są oparte na systemie emalii Ferro System 140 i specjalnej mieszance kolorów, aby jak najlepiej oddać kolor danego produktu Guardian. Po więcej szczegółów bardzo prosimy o kontakt z działem technicznym firmy Guardian.

² Spandrel o budowie szyby zespolonej symulują głębokość szklenia. Bazując na doświadczeniu czarny (np. RAL 9005) lub ciemnoszary (np. RAL 7021) kolor emalii najlepiej komponuje się z otoczeniem. Przeszcień międzyszybową powinna zostać ograniczona do 8 mm w celu ograniczenia wpływu potencjalnych naprężeń klimatycznych. Ze względu na podwyższoną absorpcję energii przez szkło należy rozważyć jego obróbkę termiczną.



Tabela 17: Kolorystyczne dopasowanie rozwiązania spandrelu do szklenia z powłoką SunGuard

Kontynuacja

Przeszklenie z powłoką Guardian SunGuard®	Spandrel monolityczny		Spandrel w formie szyby zespolonej ² (powłoka na pozycji #2 + emalia na pozycji #4)
	Emaliowane ¹	Shadow Box (wentylowany z czarnym tłem)	
Guardian SunGuard® High Durable			
HD Silver 70	-	SG HD Silver 70	SG HD Silver 70
HD Neutral 67	Szkoło float + WO-E-14-7063 (szary) Szkoło float + WO-B-14-7064 (niebieski)	SG HD Neutral 67	SG HD Neutral 67
HD Diamond 66	-	SG HD Diamond 66	SG HD Diamond 66
HD Light Blue 52	Szkoło float + WO-E-14-7063 (szary) Szkoło float + WO-B-14-7064 (niebieski)	SG HD Light Blue 52	SG HD Light Blue 52
HD Silver Grey 32	Szkoło float + WO-B-14-7064 SG HD Silver Grey 32 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Silver Grey 32	SG HD Silver Grey 32
HD Royal Blue 20	SG Solar Royal Blue 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Royal Blue 20	SG HD Royal Blue 20
HD Silver 20	SG HD Silver 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Silver 20	SG HD Silver 20
HD Silver 10	SG HD Silver 10 + Ferro 140 15 4001 on #2	SG HD Silver 10	SG HD Silver 10
Guardian SunGuard® Solar			
Solar Bronze 20	SG Solar Bronze 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	-	SG Solar Bronze 20
Solar Gold 20	-	-	SG Solar Gold 20
Solar Grey 20	-	-	SG Solar Grey 20
Solar Bright Green 20	SG Solar Bright Green 20 + Ferro 140 15 4001 on #2	-	SG Solar Bright Green 20

Informacje zawarte w tej broszurze są ogólnymi rekomendacjami bazującymi na pełnowymiarowych makietach tzw. mock-up i testach zgodności przeprowadzonych z zastosowaniem emalii firmy Ferro. Różne emalie ceramiczne mogą mieć inny skład; może to prowadzić do problemów z kompatybilnością z powłokami Guardian SunGuard i/lub mieć wpływ na wygląd końcowy kombinacji szkła powlekane go z emalią. Odpowiedzialnością przetwórcy jest przeprowadzenie odpowiednich testów zgodności, obserwacja pełnowymiarowej makieły w celu oceny zgodności koloru.

¹ Wymienione typy lub numery identyfikacyjne emalii od firm Ferro i Wolbring (WO) są oparte na systemie emalii Ferro System 140 i specjalnej mieszance kolorów, aby jak najlepiej oddać kolor danego produktu Guardian. Po więcej szczegółów bardzo prosimy o kontakt z działem technicznym firmy Guardian.

² Spandrelle o budowie szyby zespolonej symulują głębokość szklenia. Bazując na doświadczeniu czarny (np. RAL 9005) lub ciemnoszary (np. RAL 7021) kolor emalii najlepiej komponuje się z ołoczeniem. Przestrzeń międzyszybową powinna zostać ograniczona do 8 mm w celu ograniczenia wpływu potencjalnych naprężeń klimatycznych. Ze względu na podwyższoną absorpcję energii przez szkło należy rozważyć jego obróbkę termiczną.

10.4 Szkło antyrefleksyjne

Tabela 18: Guardian Clarity™

Produkt	Szkło bazowe	Odcień	Światło widzialne						Energia słoneczna			Całkowita transmisja energii słonecznej (g)	Współczynnik zaciemnienia (g/0,87)	Wartość U		Możliwość termicznej obróbki	Możliwość głębia ¹
			Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Odbicie do wewnątrz	Współczynnik oddawania barw R _a	Transmisja	Odbicie na zewnątrz	Absorpcja	[%]	[%]			[%]			
Szyba monolityczna laminowana 66.2, powłoka na pozycjach #1 i #4																	
Clarity	UltraClear	neutralny	96	0.5	0.5	99	75	11	14	78	0.90	5.4	-	Tak	Tak		
Szyba zespolona jednokomorowa 8 (16) 8, powłoka na pozycjach #1, #2, #3 i #4																	
Clarity	UltraClear	neutralny	94	0.9	0.9	99	69	17	14	73	0.84	2.7	2.6	Tak	Tak		
Szyba zespolona jednokomorowa 66.2 (16) 44.2, powłoka na pozycjach #1, #4 i #8, ClimaGuard Premium2 na pozycji #5																	
Clarity	UltraClear	neutralny	89	1.5	2.1	97	55	22	23	61	0.70	1.3	1.1	Tak	Tak		
Szyba zespolona jednokomorowa 66.2 (16) 44.2, powłoka na pozycjach #1, #5 i #8, SunGuard SN 70/37 na pozycji #4																	
Clarity	UltraClear	neutralny	77	2.4	2.2	93	36	34	30	38	0.44	1.3	1.0	Tak	Tak		

Dane spektrofotometryczne wg PN-EN 410. Współczynnik U wg PN-EN 673.
Wszystkie informacje dotyczące możliwości dalszego przetwarzania mają charakter ogólny. Dalsze informacje znajdują Państwo w wydanych dot. przetwarzania dla powlekanego szkła architektonicznego lub poprzez kontakt z Działem Wsparcia Technicznego Guardian.
Powyższe budowy zawierają wyłącznie szkło bazowe Guardian UltraClear.

¹ Proszę przestrzegać odpowiednich informacji dot. przetwarzania lub skontaktować się z firmą Guardian w celu uzyskania szczegółowych informacji



10.5 Szkło dźwiękoizolacyjne

- Właściwości akustyczne obowiązują dla wypełnienia zespolenia powietrzem lub argonem (zgodnie z PN-EN 12758).
- Jednostki wypełnione kryptonem są oznaczone „Kr”.
- PVB: standardowa międzywarstwa wykonana z PVB (Guardian LamiGlass).
- SR: międzywarstwa PVB redukująca hałas (Guardian LamiGlass Acoustic).
- Wartości U_g oraz wartości parametrów spektrofotometryczne należy określić w zależności od zastosowanych powłok funkcyjnych.
- PN-EN 12758:2019: Wartości dla szyb zespolonych z przestrzenią międzyszybową 12 mm mogą być zastosowane także dla szerszych przestrzeni międzyszybowych.
- Orientacja budowy szyby zespolonej nie ma wpływu na izolacyjność akustyczną (szklenie może być obracane).

Tabela 19: Szklenie dźwiękoizolacyjne monolityczne

	Właściwości akustyczne zgodnie z PN-EN 12758			Klasa wytrzymałości	
	Ważona izolacyjność akustyczna	Współczynnik korekcyjny dla wysokich częstotliwości	Współczynnik korekcyjny dla niskich częstotliwości	Na włamanie	Na uderzenie wahadłem
Struktura	R_w [dB]	C [dB]	C_r [dB]	PN-EN 356	PN-EN 12600
33.1 SR	36	-1	-4	P1A	1(B)1
33.2 SR	35	-1	-4	P2A	1(B)1
44.1 SR	38	-1	-4	P1A	1(B)1
44.2 SR	38	-1	-4	P1A	1(B)1
44.4 SR	37	-1	-3	P4A	1(B)1
55.1 SR	39	-1	-4	P1A	1(B)1
55.2 SR	39	-1	-3	P2A	1(B)1
66.1 SR	40	-1	-3	P1A	1(B)1
66.2 SR	39	0	-2	P2A	1(B)1
88.1 SR	41	-1	-3	npd	1(B)1
88.2 SR	41	0	-2	npd	1(B)1
1010.1 SR	43	-1	-3	npd	npd
1010.2 SR	43	-1	-3	npd	npd
1212.4 SR	44	0	-3	npd	npd

Tabela 20: Szklenie dźwiękoizolacyjne jednokomorowe

Struktura	Właściwości akustyczne zgodnie z PN-EN 12758			Klasa wytrzymałości	
	Ważona izolacyjność akustyczna	Współczynnik korekcyjny dla wysokich częstotliwości	Współczynnik korekcyjny dla niskich częstotliwości	Na włamanie	Na uderzenie wahadłem
	R_w [dB]	C [dB]	C_k [dB]	PN-EN 356	PN-EN 12600
4 (12) 4	29	-1	-3	-	-
4 (16) 4	30	-1	-4	-	-
5 (12) 5	31	-1	-4	-	-
5 (12) 4	32	-1	-3	-	-
6 (12) 4	33	-1	-3	-	-
6 (12) 5	34	-1	-3	-	-
8 (12) 4	34	-1	-4	-	-
6 (16) 4	34	-1	-5	-	-
33.1 SR (12) 4	34	-1	-4	P1A	1(B)1
6 (16) 6	35	-2	-4	-	-
8 (12) 5	35	-1	-4	-	-
8 (12) 6	35	-1	-3	-	-
8 (16) 4	35	-2	-5	-	-
8 (16) 8	35	-1	-4	-	-
33.1 PVB (12) 6	35	-1	-5	-	2(B)2
44.1 PVB (12) 4	36	-1	-5	-	2(B)2
55.1 PVB (12) 4	36	-1	-4	-	1(B)1
33.1 PVB (12) 5	36	-1	-5	-	2(B)2
33.1 PVB (12) 33.1 PVB	36	-1	-5	-	2(B)2
44.1 PVB (12) 5	36	-1	-4	-	2(B)2
10 (16) 4	37	-2	-6	-	-
44.1 PVB (12) 6	37	-1	-5	-	2(B)2
55.1 PVB (12) 6	37	-1	-4	-	1(B)1
33.1 PVB (12) 8	37	-1	-4	-	2(B)2
44.1 PVB (12) 44.1 PVB	37	-1	-4	-	2(B)2
44.2 PVB (16) 8	37	-1	-5	P2A	1(B)1
33.1 SR (16) 4	37	-1	-5	P1A	1(B)1
44.2 PVB (16) 6	38	-1	-5	P2A	1(B)1
44.4 PVB (16) 8	38	-1	-5	P4A	1(B)1
44.1 PVB (12) 33.1 PVB	38	-1	-4	-	2(B)2
33.1 SR (16) 4	38	-3	-7	P1A	1(B)1
33.1 SR (20) 4	38	-2	-7	P1A	1(B)1
33.1 SR (16) 5	38	-2	-7	P1A	1(B)1
10 (16) 6	39	-1	-4	-	-
66.1 PVB (12) 6	39	-1	-4	P1A	1(B)1
66.1 PVB (12) 10	39	-1	-3	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 4	39	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 5	39	-2	-6	P1A	1(B)1



Struktura	Właściwości akustyczne zgodnie z PN-EN 12758			Klasa wytrzymałości	
	Ważona izolacyjność akustyczna R _w [dB]	Współczynnik korekcyjny dla wysokich częstotliwości C [dB]	Współczynnik korekcyjny dla niskich częstotliwości C _{tr} [dB]	Na włamanie PN-EN 356	Na uderzenie wahadłem PN-EN 12600
44.1 PVB (16) 10	40	-2	-5	-	2(B)2
55.1 PVB (16) 8	40	-1	-4	-	1(B)1
44.2 PVB (16) 6	40	-3	-7	P2A	1(B)1
55.1 PVB (16) 44.1 PVB	40	-2	-5	-	1(B)1
55.1 PVB (16) 55.1 PVB	40	-2	-6	-	1(B)1
55.2 PVB (20) 6	40	-1	-5	P2A	1(B)1
66.1 PVB (12) 33.1 PVB	40	-1	-4	P1A	1(B)1
33.1 SR (16) 6	40	-2	-7	P1A	1(B)1
33.1 SR (16) 33.1 SR	40	-2	-7	P1A	1(B)1
44.1 SR (12) 33.1 PVB	40	-3	-7	P1A	1(B)1
55.1 SR (12) 6	40	-1	-5	P1A	1(B)1
55.1 SR (16) 8	40	-1	-4	P1A	1(B)1
55.2 PVB (16) 8	41	-1	-4	P2A	1(B)1
66.1 PVB (12) 44.1 PVB	41	-1	-3	P1A	1(B)1
44.1 PVB (16) 33.1 SR	41	-2	-6	P1A	1(B)1
66.1 PVB (16) 8	42	-2	-4	P1A	1(B)1
66.1 PVB (16) 55.1 PVB	42	-1	-4	P1A	1(B)1
66.1 PVB (16) 66.1 PVB	42	-1	-4	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 6	42	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 33.1 SR	42	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 SR (20) 33.1 SR	42	-2	-7	P1A	1(B)1
44.2 SR (16) 6	42	-2	-6	P2A	1(B)1
44.2 SR (16) 8	42	-1	-5	P2A	1(B)1
55.2 SR (16) 6	42	-2	-6	P2A	1(B)1
44.1 SR (16) 33.1 PVB	42	-2	-6	P1A	1(B)1
66.2 PVB (16) 10	43	-2	-5	P2A	1(B)1
44.1 SR (16) 44.1 PVB	43	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 SR (14) 6 - Kr	43	-3	-8	P1A	1(B)1
55.2 SR (16) 8	43	-1	-5	P2A	1(B)1
55.2 SR (18) 8	43	-1	-6	P2A	1(B)1
44.1 SR (20) 6	43	-2	-7	P1A	1(B)1
66.1 SR (16) 6	43	-2	-5	P1A	1(B)1
66.2 SR (16) 8	43	-2	-5	P2A	1(B)1
55.1 PVB (16) 44.1 PVB	44	-2	-7	-	1(B)1
44.1 SR (20) 8	44	-3	-7	P1A	1(B)1
66.1 PVB (16) 44.1 SR	44	-1	-5	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 10	44	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 44.1 SR	44	-2	-7	P1A	1(B)1
66.1 SR (16) 44.1 SR	44	-1	-5	P1A	1(B)1

	Właściwości akustyczne zgodnie z PN-EN 12758			Klasa wytrzymałości	
	Ważona izolacyjność akustyczna	Współczynnik korekcyjny dla wysokich częstotliwości	Współczynnik korekcyjny dla niskich częstotliwości	Na włamanie	Na uderzenie wahadłem
Struktura	R _w [dB]	C [dB]	C _{tr} [dB]	PN-EN 356	PN-EN 12600
55.2 SR (16) 10	44	-1	-4	P2A	1(B)1
88.4 PVB (18) 10	45	-1	-4	P4A	1(B)1
55.2 SR (16) 10	45	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 SR (18) 10	45	-2	-6	P1A	1(B)1
66.1 SR (16) 10	45	-2	-6	P1A	1(B)1
1212.4 SR (16) 12	45	-1	-4	P4A	1(B)1
55.1 SR (16) 44.1 SR	46	-2	-7	P1A	1(B)1
66.2 SR (20) 10	46	-2	-6	P2A	1(B)1
66.1 SR (16) 55.1 SR	48	-2	-6	P1A	1(B)1
66.1 SR (16) 66.1 SR	49	-2	-6	P1A	1(B)1
66.2 SR (16) 44.2 SR	49	-2	-7	P2A	1(B)1
66.2 SR (20) 55.2 SR	49	-2	-6	P2A	1(B)1
88.2 SR (16) 66.2 SR	51	-1	-4	P2A	1(B)1
66.4 SR (20) 44.4 SR	51	-2	-6	P4A	1(B)1
88.4 SR (20) 55.2 SR	51	-2	-6	P4A	1(B)1
88.2 SR (24) 46.2 SR	52	-2	-6	P2A	1(B)1

Tabela 21: Szklenie dźwiękoizolacyjne dwukomorowe

	Właściwości akustyczne zgodnie z PN-EN 12758			Klasa wytrzymałości	
	Ważona izolacyjność akustyczna	Współczynnik korekcyjny dla wysokich częstotliwości	Współczynnik korekcyjny dla niskich częstotliwości	Na włamanie	Na uderzenie wahadłem
Struktura	R _w [dB]	C [dB]	C _{tr} [dB]	PN-EN 356	PN-EN 12600
4 (8) 4 (8) 4 - Kr	31	-1	-4	-	-
4 (12) 4 (12) 4	31	-1	-5	-	-
4 (14) 4 (14) 4	31	-1	-5	-	-
4 (16) 4 (16) 4	32	-1	-5	-	-
4 (12) 4 (12) 4 - Kr	33	-1	-5	-	-
6 (10) 4 (10) 4 - Kr	34	-1	-5	-	-
4 (20) 4 (20) 4	35	-2	-7	-	-
6 (12) 4 (12) 4	35	-1	-5	-	-
6 (12) 4 (12) 4 - Kr	36	-2	-6	-	-
6 (16) 4 (16) 6	36	-1	-6	-	-
8 (12) 4 (12) 4	36	-2	-6	-	-
6 (16) 4 (16) 4	37	-1	-6	-	-
4 (14) 44.1 SR (14) 6	37	-2	-5	P1A	1(B)1



Struktura	Właściwości akustyczne zgodnie z PN-EN 12758			Klasa wytrzymałości	
	Ważona izolacyjność akustyczna	Współczynnik korekcyjny dla wysokich częstotliwości	Współczynnik korekcyjny dla niskich częstotliwości	Na włamanie	Na uderzenie wahadłem
	R_w [dB]	C [dB]	C_{tr} [dB]	PN-EN 356	PN-EN 12600
33.1 PVB (16) 4 (16) 4	37	-1	-6	-	2(B)2
6 (16) 4 (16) 5	38	-2	-8	-	-
8 (12) 4 (12) 6	38	-1	-5		
8 (12) 4 (12) 6 - Kr	38	-2	-5		
33.1 SR (16) 4 (16) 4	38	-1	-7	P1A	1(B)1
6 (20) 4 (20) 4	39	-2	-6	-	-
33.1 PVB (16) 4 (16) 6	39	-2	-6	-	2(B)2
33.1 PVB (16) 4 (16) 33.1 PVB	39	-2	-7	-	2(B)2
44.1 PVB (16) 4 (16) 4	39	-2	-6	-	2(B)2
8 (16) 4 (16) 6	40	-1	-5	-	-
33.1 SR (16) 4 (16) 6	40	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 PVB (16) 4 (16) 44.1 PVB	41	-1	-5	-	2(B)2
44.2 PVB (12) 6 (12) 6	41	-2	-6	P2A	1(B)1
44.1 PVB (16) 4 (16) 33.1 PVB	42	-2	-7	-	2(B)2
44.1 PVB (16) 6 (16) 44.1 PVB	42	-2	-5	-	2(B)2
44.2 PVB (18) 4 (16) 6	42	-1	-5	P2A	1(B)1
44.2 PVB (18) 4 (16) 44.1 PVB	42	-2	-5	P2A	1(B)1
44.1 PVB (16) 4 (16) 6	42	-2	-6	-	2(B)2
44.2 SR (16) 4 (16) 4	42	-2	-7	P2A	1(B)1
33.1 SR (16) 4 (16) 33.1 SR	42	-2	-8	P1A	1(B)1
44.2 PVB (16) 4 (16) 6	43	-1	-5	P2A	1(B)1
44.2 PVB (16) 6 (16) 6	43	-2	-6	P2A	1(B)1
66.1 PVB (16) 6 (16) 66.1 PVB	43	-1	-3	P1A	1(B)1
55.2 PVB (12) 6 (12) 8	43	-1	-5	P2A	1(B)1
44.1 SR (14) 4 (14) 6	43	-1	-7	P1A	1(B)1
55.1 PVB (16) 6 (16) 44.1 PVB	44	-1	-4	-	1(B)1
44.1 PVB (18) 4 (18) 6	44	-1	-5	-	2(B)2
55.2 PVB (16) 6 (16) 8	44	-1	-4	P2A	1(B)1
55.1 PVB (16) 6 (16) 44.1 PVB	44	-1	-4	-	1(B)1
44.1 SR (12) 6 (12) 8	44	-2	-7	P1A	1(B)1
44.2 SR (14) 4 (14) 8	44	-2	-6	P2A	1(B)1
44.2 SR (16) 6 (16) 6	44	-3	-8	P2A	1(B)1
44.1 SR (18) 4 (18) 6	44	-1	-5	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 4 (16) 33.1 SR	44	-2	-9	P1A	1(B)1
44.2 PVB (27) 4 (12) 6	45	-2	-6	P2A	1(B)1
55.2 PVB (18) 6 (16) 8	45	-2	-4	P2A	1(B)1
55.2 PVB (12) 6 (12) 44.2 PVB	45	-1	-5	P2A	1(B)1
66.2 PVB (16) 6 (16) 8	45	-2	-4	P2A	1(B)1
66.2 PVB (16) 6 (16) 10	45	-2	-4	P2A	1(B)1

Struktura	Właściwości akustyczne zgodnie z PN-EN 12758			Klasa wytrzymałości	
	Ważona izolacyjność akustyczna	Współczynnik korekcyjny dla wysokich częstotliwości	Współczynnik korekcyjny dla niskich częstotliwości	Na włamanie	Na uderzenie wahadłem
	R _w [dB]	C [dB]	C _r [dB]	PN-EN 356	PN-EN 12600
66.1 PVB (16) 6 (16) 44.1 PVB	46	-1	-3	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 6 (16) 8	46	-2	-6	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 6 (16) 10	46	-1	-5	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 4 (16) 44.1 SR	46	-2	-9	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 6 (16) 44.1 SR	46	-2	-9	P1A	1(B)1
44.2 SR (12) 4 (12) 44.2 SR	46	-2	-7	P2A	1(B)1
44.1 SR (12) 6 (12) 10	46	-2	-7	P1A	1(B)1
44.1 SR (16) 6 (16) 10	46	-1	-5	P1A	1(B)1
55.2 SR (16) 6 (16) 8	46	-2	-6	P2A	1(B)1
66.2 SR (16) 6 (16) 8	46	-2	-6	P2A	1(B)1
44.1 SR (12) 6 (12) 10 - Kr	47	-2	-7	P1A	1(B)1
55.2 SR (16) 6 (14) 10	48	-1	-5	P2A	1(B)1
66.2 SR (16) 6 (16) 10	48	-2	-5	P2A	1(B)1
66.2 SR (16) 6 (16) 12	48	0	-3	P2A	1(B)1
55.2 SR (16) 6 (16) 10	49	-1	-4	P2A	1(B)1
55.1 SR (14) 4 (14) 44.1 SR	51	-2	-7	P1A	1(B)1
66.2 SR (14) 6 (14) 44.2 SR	52	-3	-7	P2A	1(B)1
88.1 SR (16) 6 (16) 66.1 SR	53	-1	-3	P1A	1(B)1
88.2 SR (16) 6 (16) 55.2 SR	53	-2	-6	P2A	1(B)1
88.2 SR (12) 6 (12) 66.2 SR	54	-1	-5	P2A	1(B)1

10.6 Szkło bezpieczne

Tabela 22: Bezpieczeństwo pasywne – ochrona przed zranieniem, szkło zabezpieczające przed wypadnięciem

Typ	Struktura	Poziom bezpieczeństwa wg PN-EN 12600
LamiGlass 22.1	float 2 (0,38 mm PVB) float 2	3(B)3
LamiGlass 22.2	float 2 (0,76 mm PVB) float 2	2(B)2
LamiGlass 22.4	float 2 (1,52 mm PVB) float 2	1(B)1
LamiGlass 33.1	float 3 (0,38 mm PVB) float 3	2(B)2
LamiGlass 33.2	float 3 (0,76 mm PVB) float 3	1(B)1
LamiGlass 33.4	float 3 (1,52 mm PVB) float 3	1(B)1
LamiGlass 43.1 ¹	float 4 (0,38 mm PVB) float 3	2(B)2
LamiGlass 43.2 ¹	float 4 (0,76 mm PVB) float 3	1(B)1
LamiGlass 44.1	float 4 (0,38 mm PVB) float 4	2(B)2
LamiGlass 44.2	float 4 (0,76 mm PVB) float 4	1(B)1
LamiGlass 44.3	float 4 (1,14 mm PVB) float 4	1(B)1
LamiGlass 44.4	float 4 (1,52 mm PVB) float 4	1(B)1



Typ	Struktura	Poziom bezpieczeństwa wg PN-EN 12600
LamiGlass 44.6	float 4 (2,28 mm PVB) float 4	1(B)1
LamiGlass 44.8	float 4 (3,04 mm PVB) float 4	1(B)1
LamiGlass 54.1	float 5 (0,38 mm PVB) float 4	2(B)2
LamiGlass 55.1	float 5 (0,38 mm PVB) float 5	1(B)1
LamiGlass 55.2	float 5 (0,76 mm PVB) float 5	1(B)1
LamiGlass 55.4	float 5 (1,52 mm PVB) float 5	1(B)1
LamiGlass 55.6	float 5 (2,28 mm PVB) float 5	1(B)1
LamiGlass 64.2 ¹	float 6 (0,76 mm PVB) float 4	1(B)1
LamiGlass 64.4 ¹	float 6 (1,52 mm PVB) float 4	1(B)1
LamiGlass 65.1 ¹	float 6 (0,38 mm PVB) float 5	2(B)2
LamiGlass 66.1	float 6 (0,38 mm PVB) float 6	1(B)1
LamiGlass 66.2	float 6 (0,76 mm PVB) float 6	1(B)1
LamiGlass 66.4	float 6 (1,52 mm PVB) float 6	1(B)1
LamiGlass 66.6	float 6 (2,28 mm PVB) float 6	1(B)1
LamiGlass 66.8	float 6 (3,04 mm PVB) float 6	1(B)1
LamiGlass 86.2 ¹	float 8 (0,76 mm PVB) float 6	1(B)1
LamiGlass 88.1	float 8 (0,38 mm PVB) float 8	1(B)1
LamiGlass 88.2	float 8 (0,76 mm PVB) float 8	1(B)1
LamiGlass 88.4	float 8 (1,52 mm PVB) float 8	1(B)1
LamiGlass 1010.1	float 10 (0,38 mm PVB) float 10	1(B)1
LamiGlass 1010.2	float 10 (0,76 mm PVB) float 10	1(B)1
LamiGlass 1010.3	float 10 (1,14 mm PVB) float 10	1(B)1
LamiGlass 1212.2	float 12 (0,76 mm PVB) float 12	1(B)1
LamiGlass 1515.4	float 15 (1,52 mm PVB) float 15	1(B)1
LamiGlass Acoustic 33.1	float 3 (0,50 mm PVB-SR) float 3	1(B)1
LamiGlass Acoustic 33.2	float 3 (0,76 mm PVB-SR) float 3	1(B)1
LamiGlass Acoustic 44.1	float 4 (0,50 mm PVB-SR) float 4	1(B)1
LamiGlass Acoustic 44.2	float 4 (0,76 mm PVB-SR) float 4	1(B)1
LamiGlass Acoustic 44.4	float 4 (1,52 mm PVB-SR) float 4	1(B)1
LamiGlass Acoustic 44.6	float 4 (2,28 mm PVB-SR) float 4	1(B)1
LamiGlass Acoustic 55.1	float 5 (0,50 mm PVB-SR) float 5	1(B)1
LamiGlass Acoustic 55.2	float 5 (0,76 mm PVB-SR) float 5	1(B)1
LamiGlass Acoustic 55.4	float 5 (1,52 mm PVB-SR) float 5	1(B)1
LamiGlass Acoustic 55.6	float 5 (2,28 mm PVB-SR) float 5	1(B)1
LamiGlass Acoustic 64.2	float 6 (0,76 mm PVB-SR) float 4	1(B)1
LamiGlass Acoustic 66.1	float 6 (0,50 mm PVB-SR) float 6	1(B)1
LamiGlass Acoustic 66.2	float 6 (0,76 mm PVB-SR) float 6	1(B)1
LamiGlass Acoustic 66.4	float 6 (1,52 mm PVB-SR) float 6	1(B)1
LamiGlass Acoustic 66.6	float 6 (2,28 mm PVB-SR) float 6	1(B)1
LamiGlass Acoustic 86.2 ¹	float 8 (0,76 mm PVB-SR) float 6	1(B)1
LamiGlass Acoustic 88.1	float 8 (0,50 mm PVB-SR) float 8	1(B)1
LamiGlass Acoustic 88.2	float 8 (0,76 mm PVB-SR) float 8	1(B)1
LamiGlass Acoustic 88.4	float 8 (1,52 mm PVB-SR) float 8	1(B)1
LamiGlass Transwhite 33.1	float 3 (0,38 mm PVB-WT) float 3	2(B)2
LamiGlass Transwhite 33.2	float 3 (0,76 mm PVB-WT) float 3	1(B)1

Typ	Struktura	Poziom bezpieczeństwa wg PN-EN 12600
LamiGlass Transwhite 43.1	float 4 (0,76 mm PVB-WT) float 3	2(B)2
LamiGlass Transwhite 44.1	float 4 (0,38 mm PVB-WT) float 4	2(B)2
LamiGlass Transwhite 44.2	float 4 (0,76 mm PVB-WT) float 4	1(B)1
LamiGlass Transwhite 44.4	float 4 (1,52 mm PVB-WT) float 4	1(B)1
LamiGlass Transwhite 55.1	float 5 (0,38 mm PVB-WT) float 5	1(B)1
LamiGlass Transwhite 55.2	float 5 (0,76 mm PVB-WT) float 5	1(B)1
LamiGlass Transwhite 66.1	float 6 (0,38 mm PVB-WT) float 6	1(B)1
LamiGlass Transwhite 66.2	float 6 (0,76 mm PVB-WT) float 6	1(B)1
LamiGlass Transwhite 88.1	float 8 (0,38 mm PVB-WT) float 8	1(B)1
LamiGlass Structural 33.2	float 3 (0,76 mm PVB-XT) float 3	1(B)1
LamiGlass Structural 44.2	float 4 (0,76 mm PVB-XT) float 4	1(B)1
LamiGlass Structural 55.2	float 5 (0,76 mm PVB-XT) float 5	1(B)1
LamiGlass Structural 66.2	float 6 (0,76 mm PVB-XT) float 6	1(B)1
LamiGlass Structural 88.2	float 8 (0,76 mm PVB-XT) float 8	1(B)1
LamiGlass Structural 1010.2	float 10 (0,76 mm PVB-XT) float 10	1(B)1
LamiGlass Structural 1010.4	float 10 (1,52 mm PVB-XT) float 10	1(B)1

Struktury zbadane przez firmę Guardian. Stan na dzień 05.2019.

¹ Niesymetryczne struktury są badane dwustronnie

Tabela 23: Bezpieczeństwo aktywne – odporność na uderzenie
Badanie spadającą kulą wg normy PN-EN 356

Typ	Struktura	Poziom bezpieczeństwa wg PN-EN 356
LamiGlass 22.4	float 2 (1,52 mm PVB) float 2	P4A
LamiGlass 33.2	float 3 (0,76 mm PVB) float 3	P2A
LamiGlass 33.4	float 3 (1,52 mm PVB) float 3	P4A
LamiGlass 44.2	float 4 (0,76 mm PVB) float 4	P2A
LamiGlass 44.3	float 4 (1,14 mm PVB) float 4	P3A
LamiGlass 44.4	float 4 (1,52 mm PVB) float 4	P4A
LamiGlass 44.6	float 4 (2,28 mm PVB) float 4	P5A
LamiGlass 55.2	float 5 (0,76 mm PVB) float 5	P2A
LamiGlass 55.4	float 5 (1,52 mm PVB) float 5	P4A
LamiGlass 55.6	float 5 (2,28 mm PVB) float 5	P5A
LamiGlass 64.2 ¹	float 6 (1,52 mm PVB) float 4	P2A
LamiGlass 66.1	float 6 (0,38 mm PVB) float 6	P1A
LamiGlass 66.2	float 6 (0,76 mm PVB) float 6	P2A
LamiGlass 66.4	float 6 (1,52 mm PVB) float 6	P4A
LamiGlass 66.6	float 6 (2,28 mm PVB) float 6	P5A
LamiGlass 86.2 ¹	float 8 (0,76 mm PVB) float 6	P2A
LamiGlass 88.1	float 8 (0,38 mm PVB) float 8	P1A
LamiGlass 88.2	float 8 (0,76 mm PVB) float 8	P2A
LamiGlass 88.4	float 8 (1,52 mm PVB) float 8	P4A
LamiGlass Acoustic 33.1	float 3 (0,50 mm PVB-SR) float 3	P1A
LamiGlass Acoustic 33.2	float 3 (0,76 mm PVB-SR) float 3	P2A
LamiGlass Acoustic 44.1	float 4 (0,50 mm PVB-SR) float 4	P1A
LamiGlass Acoustic 44.2	float 4 (0,76 mm PVB-SR) float 4	P2A



Typ	Struktura	Poziom bezpieczeństwa wg PN-EN 356
LamiGlass Acoustic 44.4	float 4 (1,52 mm PVB-SR) float 4	P4A
LamiGlass Acoustic 44.6	float 4 (2,28 mm PVB-SR) float 4	P5A
LamiGlass Acoustic 55.1	float 5 (0,50 mm PVB-SR) float 5	P1A
LamiGlass Acoustic 55.2	float 5 (0,76 mm PVB-SR) float 5	P2A
LamiGlass Acoustic 55.4	float 5 (1,52 mm PVB-SR) float 5	P4A
LamiGlass Acoustic 55.6	float 5 (2,28 mm PVB-SR) float 5	P5A
LamiGlass Acoustic 66.1	float 6 (0,50 mm PVB-SR) float 6	P1A
LamiGlass Acoustic 66.2	float 6 (0,76 mm PVB-SR) float 6	P2A
LamiGlass Acoustic 66.4	float 6 (1,52 mm PVB-SR) float 6	P4A
LamiGlass Acoustic 66.6	float 6 (2,28 mm PVB-SR) float 6	P5A
LamiGlass Acoustic 86.2 ¹	float 8 (0,76 mm PVB-SR) float 6	P2A
LamiGlass Transwhite 33.2	float 3 (0,76 mm PVB-WT) float 3	P2A
LamiGlass Transwhite 44.2	float 4 (0,76 mm PVB-WT) float 4	P2A
LamiGlass Transwhite 55.2	float 5 (0,76 mm PVB-WT) float 5	P2A
LamiGlass Transwhite 66.1	float 6 (0,38 mm PVB-WT) float 6	P1A
LamiGlass Transwhite 66.2	float 6 (0,76 mm PVB-WT) float 6	P2A
LamiGlass Transwhite 88.1	float 8 (0,38 mm PVB-WT) float 8	P1A
LamiGlass Structural 33.2	float 3 (0,76 mm PVB-XT) float 3	P2A
LamiGlass Structural 44.2	float 4 (0,76 mm PVB-XT) float 4	P2A
LamiGlass Structural 55.2	float 5 (0,76 mm PVB-XT) float 5	P2A
LamiGlass Structural 66.2	float 6 (0,76 mm PVB-XT) float 6	P2A
LamiGlass Structural 88.2	float 8 (0,76 mm PVB-XT) float 8	P2A
LamiGlass Structural 1010.2	float 10 (0,76 mm PVB-XT) float 10	P2A
LamiGlass Structural 1010.4	float 10 (1,52 mm PVB-XT) float 10	P4A

Struktury zbadane przez firmę Guardian. Stan na dzień 05.2019.

¹ Niesymetryczne struktury są badane dwustronnie

Tabela 24: Bezpieczeństwo aktywne – odporność na uderzenie
Badanie uderzeniem siekierą wg normy PN-EN 356

Typ	Struktura	Poziom bezpieczeństwa wg PN-EN 356
LamiGlass 44.8	float 4 (3,04 mm PVB) float 4	P6B
LamiGlass 66.8	float 6 (3,04 mm PVB) float 6	P6B

Struktury zbadane przez firmę Guardian. Stan na dzień 05.2019.

Tabela 25: Bezpieczeństwo aktywne – odporność na uderzenie pociskiem
Szkło „kuloodporne” wg normy PN-EN 1063(2001)

Typ	Klasyfikacja wg normy PN-EN 1063
LamiGlass BR1 (24) NS	BR1-NS
LamiGlass BR2 (25) S	BR2-S
LamiGlass BR2 (30) NS	BR2-NS
LamiGlass BR3 (29) S	BR3-S
LamiGlass BR4 (41) S	BR4-S

Struktury zbadane przez firmę Guardian. Stan na dzień 05.2019. Szkło „kuloodporne” jest szkłem laminowanym wielowarstwowym. W celu uzyskania szczegółowych informacji o budowach prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

NS: Bezodłamkowe

S: Odłamkowe

Tabela 26: Bezpieczeństwo aktywne – odporność na siłę eksplozji
Szkło odporne na oddziaływanie siły eksplozji wg normy PN-EN 13541 (2012)

Typ	Klasyfikacja wg normy PN-EN 13541
LamiGlass ER1 (18) NS	ER1-NS

Struktury zbadane przez firmę Guardian. Stan na dzień 05.2019. Szkło „kuloodporne” jest szkłem laminowanym wielowarstwowym. W celu uzyskania szczegółowych informacji o budowach prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

NS: Bezodłamkowe

Tabela 27: Przeszklenia testowane na uderzenie piłką – wg normy DIN 18032-3

Typ	Struktura	Poziom bezpieczeństwa wg DIN 18032-3
LamiGlass 44.2	float 4 (0.76 mm PVB) float 4	Odporne na uderzenie piłką
LamiGlass Transwhite 44.2	float 4 (0.76 mm PVB-WT) float 4	Odporne na uderzenie piłką

Struktury zbadane przez firmę Guardian. Stan na dzień 05.2019.



PEMA II, Innsbruck, Austria | SunGuard® HD Light Blue 52
Architekt: LAAC | Zdjęcie: © Marc Lins

11.	Szukaj i znajdź	240
11.1	Oferta usługowa	240
11.1.1	Narzędzia online Guardian Glass Analytics	240
	Kalkulator Parametrów (konfiguracja) Wizualizator szkła (wizualizacje) Asystent Akustyczny (Izolacyjność akustyczna)	
11.1.2	Strona internetowa Guardian Possibilities	241
11.1.3	Wykonywanie obliczeń	241
11.1.4	Wsparcie techniczne klientów	242
11.1.5	Przekazywanie wiedzy	242
11.2	Skorowidz	244
11.3	Skróty, ogólnie	250
11.4	Oznaczenia i symbole z alfabetu greckiego	255



Rozdział ten zawiera różnorodne informacje, począwszy od wskazówek dotyczących poszukiwania ofert na określone usługi, aż po wykaz pojęć lub skrótów związanych z terminologią szklarską. Nie twierdzimy, że jest rozdział odpowiada na wszystkie pytania, a jedynie pragniemy zapewnić wgląd w różne dostępne opcje i narzędzia.

11.1 Oferta usługowa

Dopełnienie szerokiej gamy oferowanych przez Guardian produktów stanowi wsparcie udzielane przez Dział Doradztwa Technicznego. Pozostaje on do Państwa dyspozycji gotowy asystować podczas dokonywania wyboru szkła, służy wsparciem technicznym i wszelkimi niezbędnymi informacjami na temat naszych produktów. Jest również w stanie określić grubość i typ szkła właściwy dla danego projektu oraz dostarczyć szczegółowych informacji na temat parametrów dowolnej konfiguracji przeszklenia.

Guardian jest również skoncentrowany na szybkim czasie reakcji i zapewnianiu wsparcia w obszarach marketingu, technologii, budownictwa i logistyki.

11.1.1 Narzędzia online Guardian Glass Analytics

Guardian Glass Analytics jest wszechstronnym zestawem narzędzi pozwalającym architektom, projektantom, szklarzom oraz przetwórcom szkła zapoznać się z możliwościami estetycznymi oraz funkcjonalnymi zastosowania nowoczesnego szkła architektonicznego, jednocześnie spełniając wysokie wymagania odnośnie do zapotrzebowania energetycznego, światła słonecznego oraz zrównoważonego rozwoju budynku. Każde z narzędzi wspomaga proces wyboru przeszklenia zgodnego z wymaganiami projektu klienta. Aby zacząć prosimy o przejście do Centrum Projektów i podanie informacji o projekcie lub pominięcie tego kroku i skierowanie się bezpośrednio do poszczególnych narzędzi szczegółowe informacje uzupełniając w terminie późniejszym.

Oprogramowanie Guardian Glass Analytics jest dostępne online na stronie internetowej:

→ <https://glassanalytics.guardian.com>

Użytkownik tworzy swoje indywidualne konto i posiada dostęp do wszystkich narzędzi w dowolnym czasie.

11.1.1.1 Kalkulator Parametrów (konfiguracja)

Kalkulator Parametrów Guardian Glass upraszcza obliczenia złożań szklenia poprzez prosty system sieciowy wskaź i kliknij. W dodatku klienci są w stanie zarchiwizować dane o projekcie i wygenerować gotowe raporty z wykonanych obliczeń. Jest to po prostu, bardzo użyteczne i proste w użyciu narzędzi do obliczeń parametrów szkleń. Dostosowana do konkretnego projektu zawartość BIM jest teraz także dostępna do pobrania.

11.1.1.2 Wizualizator szkła (wizualizacje)

Wizualizator Szkła Guardian Glass pozwala użytkownikom sprawdzić wirtualnie wygląd każdego przeszklenia wygenerowanego z użyciem produktów firmy Guardian. Wystarczy, że wybierzesz szkło, które chcesz zwizualizować oraz model budynku i perspektywę jakie Ci odpowiadają, a sprawdzisz jak różne warunki zachmurzenia wpływają na wygląd szkła. Wizualizator szkła dynamicznie generuje realistyczne obrazy szkła poprzez łączenie danych spektralnych eksportowanych z Kalkulatora Parametrów wraz z typowymi warunkami oświetleniowymi wewnętrznymi i zewnętrznymi, aby zobrazować wygląd szkła w warunkach odbicia wewnętrznego, zewnętrznego oraz transmisji.

11.1.1.3 Asystent Akustyczny (Izolacyjność akustyczna)

Asystent Akustyczny Guardian Glass jest narzędziem służącym do generowania parametrów akustycznych różnych typów oszklenia. Ze względu na ogromną liczbę potencjalnych kombinacji certyfikacja wszystkich typów szklenia jest niepraktyczna i wręcz niemożliwa do wykonania. Informacje zawarte w Asystencie Akustycznym zostały opracowane na podstawie protokołów z badań i metody estymacji wynalezionej przez Guardian w celu zapewnienia oceny wydajności.

11.1.2 Strona internetowa Guardian Possibilities

Na stronie Guardian Possibilities firma Guardian dzieli się swoim doświadczeniem związanym ze szkłem z architektami, specyfikatorami i działami wsparcia w procesie tworzenia projektów architektonicznych. Od inspirujących projektów do narzędzi specyfikacji szkła, Guardian Possibilities pomaga dostrzec co jest możliwe do stworzenia przy użyciu szkła.

→ <https://www.guardian-possibilities.com>

11.1.3 Wykonywanie obliczeń

Już w fazie planowania i/lub ofertowania konieczne jest przeprowadzenia obliczeń, które umożliwiają odpowiedni dobór szkła. Chodzi zarówno o wykonanie obliczenia parametrów termicznych i izolacyjnych szkła, jak i określenie dopuszczalnych naprężeń termicznych szkła w konstrukcji budynku. Najnowocześniejsze oprogramowanie, które jest ciągle aktualizowane i obsługiwane przez najlepszych specjalistów wykonuje żądane obliczenia szybko i w sposób rzetelny, zapewniając efektywne wsparcie w codziennym biznesie. Obliczenia przeprowadzane przez dział techniczny mają jednak wyłącznie charakter rekomendacyjny i zawsze muszą być potwierdzone przez uprawnione do udzielania zezwoleń osoby.



Guardian oferuje poniższe usługi związane ze wsparciem projektów:

- Wartości termiczne świetlne oraz energetyczne.
- Grubość szkła, obciążenia klimatyczne.
- Ryzyko pęknięcia termicznego.
- Estymację parametrów akustycznych szklenia.
- Właściwości dla przeszkleń wentylowanych fasad.
- Właściwości przeszkleń w połączeniu z mechanicznymi urządzeniami zacieniającymi (żaluzje, rolety itp.).
- Estymacje właściwości odbijania promieniowania radaru od szklenia.

W celu uzyskania bardziej szczegółowych informacji bardzo prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

11.1.4 Wsparcie techniczne klientów

Poza certyfikatami, deklaracjami producenta i innymi dokumentami technicznymi do dyspozycji naszych klientów zawsze pozostają również pracownicy, którzy w zależności od potrzeb mogą swoją wiedzą fachową wspierać klientów na miejscu, w ich zakładach produkcyjnych. Ma to miejsce zarówno, gdy nowi klienci potrzebują fachowej opinii na temat możliwości przetwórczych swoich linii produkcyjnych, jak i przy wprowadzaniu na rynek nowych produktów Guardian. Guardian aktywnie promuje procesy produkcyjne charakteryzujące się wysoką jakością i wydajnością u swoich klientów. W celu uzyskania bardziej szczegółowych informacji bardzo prosimy o kontakt z Działem Doradztwa Technicznego firmy Guardian.

11.1.5 Przekazywanie wiedzy

Im wszechstronniejsza wiedza, tym skuteczniejsze doradztwo i sprzedaż. Kierując się tą dewizą eksperci Guardian przekazują swoim klientom całą wiedzę jaką posiadają na temat asortymentu produktów Guardian. Dotyczy to zarówno parametrów nowo wytwarzanych produktów, jak i ich zastosowania i możliwości obróbki. Prowadzone regularnie w całej Europie konferencje i szkolenia mają na celu zaznajamianie klientów zarówno z produktami Guardian, jak i przekazywanie im fachowej wiedzy odnośnie do produkcji, przetwarzania i różnorodnych zastosowań szkła w budownictwie.

Organizowane przez nas warsztaty oferowane architektom, przetwórcom oraz innym zainteresowanym stronom pozwalają zaznajomić się z produkcją oraz przetwórstwem szkła jak i zapewniają ogólną wiedzę na temat produktów ze szkła i ich zastosowania.

Nasze warsztaty składają się z trzech „modułów”:

- **Moduł 1: Produkty i ich właściwości.**
- **Moduł 2: Zastosowania szkła architektonicznego.**
- **Moduł 3: Aspekty konstrukcyjne.**

Zazwyczaj nasze warsztaty są okazją do zdobycia odpowiedzi na nurtujące pytania odnośnie do szkła lub do wniesienia swoich sugestii związanych z działalnością naszej firmy.



11.2 Skorowidz

A	Absorpcja.....	31, 47, 48, 51, 142, 185
	Anizotropia.....	73, 182
	Asystent akustyczny.....	67, 241
B	Badanie spadającą kulą (wytrzymałość na włamanie).....	81, 235
	Bezpieczeństwo aktywne.....	81, 82, 83, 235, 236, 237
	Bezpieczeństwo pasywne.....	80, 233
	Blokowanie odbicia promieniowania radarowego.....	139, 140, 141, 142, 223, 242
	Budowa szkła strukturalnego.....	115
	Butyl.....	19, 20
C	Certyfikacja.....	117, 194, 241
	Ciepła fasada.....	104
	Ciepła krawędź.....	20
	Ciepło właściwe.....	12
	Częstotliwości.....	30, 59, 60, 66, 143
	Czyszczenie szkła.....	200
D	Decybel.....	58, 143
	Deformacja kształtu.....	74, 165
	Druk ceramiczny.....	120, 197
	Druk cyfrowy.....	120, 122, 125
	Druk dekoracyjny.....	125
	Drukowanie.....	120, 125
	Dylatacja termiczna.....	12
	Dystorsje.....	164, 165
	Dźwiękoizolacyjność na podstawie oceny, wartość wynikowa.....	61
E	Efekt cieplarniany.....	46
	Efekt szyby zespolonej.....	25, 181
	Ekologia.....	37, 46
	Elektryczny smog.....	142
	Emalia.....	117, 120, 149, 195, 224
	Emaliowanie.....	121, 124, 195
	Emaliowanie krawędzi.....	124, 195
	Emisyjność.....	11, 36, 40
	Energia słoneczna.....	31

F	Falistość od wałków.....	74, 165
	Fasada membranowa.....	119
	Fasada mocowana punktowo.....	92, 118
	Fasada słupowo-ryglowa.....	111
	Fasada wentylowana.....	95, 106
	Fasada z podwójną skórą.....	95, 106
	Fasady.....	104
	Fasady z zamkniętą przestrzenią (CCF).....	107
G	Gęstość.....	11
	Gięcie grawitacyjne.....	130
	Gięcie na zimno.....	137
	Gięcie z hartowaniem.....	131
	Gięte szkło architektoniczne.....	129
	Guardian Glass Analytics.....	240
H	Hartowanie.....	70, 71, 131, 202
	Hotmelt.....	20
I	Interferencja.....	25, 181
	Izolacja akustyczna.....	60, 61, 72, 228
	Izolacja termiczna.....	36
J	Jakość.....	24, 158, 168, 170, 195
	Jakość optyczna (wizualna).....	73, 130, 174, 177, 180
K	Kalkulator Parametrów.....	240
	Kanciastość.....	157
	Klasy odporności.....	81
	Kolizje ptaków.....	146
	Kolorowe folie.....	128
	Komfort.....	38, 46
	Kompatybilność materiałów.....	192
	Kondensacja.....	21, 74, 109, 182
	Kontrola słoneczna.....	46, 210
	Kontrola uzysku ciepła latem.....	50
	Konwekcja.....	32, 39, 107
	Krawędzie szkła.....	168
	Kwasoodporność.....	12



L	Liniowy współczynnik rozszerzalności cieplnej.....	12
	Lokalne zniekształcenia	134, 164
Ł	Łączenie szkła	171
	Ługoodporność.....	13
M	Malowanie przy pomocy walca	121
	Materiały dielektryczne	14
	Moduł sprężystości podłużnej (Moduł Young'a)	11, 72, 79, 113, 199
N	Napylanie	13, 14, 120
	NiS - Siarczek Niklu NiS	75, 76
	Normy	24, 41, 63, 72, 91, 116, 147, 154
	Normy EN (Europejskie)	91
	Nośność szczątkowa	76, 90, 108
	Napężenia termiczne	77, 173, 184
O	Obciążenia klimatyczne	26, 64, 135, 173, 183, 242
	Obróbka krawędzi.....	158, 169, 198
	Ochrona przed hałasem.....	58
	Odbicie.....	14, 31, 47, 107, 139, 144, 149, 182, 202
	Odcinanie.....	157
	Oddziaływanie ciepła	73
	Oddzielnie pojedynczych elementów szklanych.....	18, 65
	Odporność na działanie wody	13
	Odprężone szkło (float)	8, 156, 206
	Otworki wiercone.....	162
	Oznakowanie	74
	Oznakowanie CE	190
P	Pasywny zysk energii słonecznej.....	36
	Pęknięcie termiczne	184
	Pochylenie (odchylenie).....	41
	Poliisobutylen	19
	Polisiarczek.....	20
	Poliuretan.....	20
	Postrzeganie dźwięku	59
	Powłoka antykondensacyjna.....	23, 43, 110
	Powłoka napyłana magnetronowo	14
	Powłoka z dwiema warstwami srebra	15
	Powłoka z trzema warstwami srebra	15
	Powłoki niskoemisyjne	18, 39, 117, 142
	Poziom dźwięku.....	58
	Poziom hałasu	59

Proces pirolityczny	13
Promieniowanie ciepła	39
Promieniowanie długofalowe	30
Promieniowanie krótkofalowe	30, 48
Promieniowanie podczerwone	31
Przejścia stycznej	135
Przeniesienie kolorowego wydruku	127
Przepływ energii	47
Przesunięcie fazowe	141
Przesunięcie krawędzi	135, 167, 168
Przeszklenia, na które można wejść w celach konserwacyjnych	88
Przeszklenia, po których można chodzić	87
Przewodzenie ciepła	39
Punkt rosy	21
PVB	78

R

Ramka dystansowa	20, 42, 180, 192
Ramki dystansowe z tworzywa sztucznego	21
Rezonans	64
Rozbicie szkła	183
Rozkład promieniowania całkowitego	30
Różnica wysokości geograficznej	203
Ryzyko urazu	58, 75, 78, 165

S

Selektywność spektralna	48
Silikon	20, 112, 137, 178, 202
Sitodruk	121, 125, 195
Składowanie	174, 185, 203
Solar factor (wartość g)	48
Spandrel	122, 196, 224
Specjalne szkła bezpieczne	101
Spoina z materiału uszczelniającego	171
Srebro	14, 139
Stal nierdzewna	20, 42, 104, 115
Statyka szkła giętego	135
Straty ciepła	38
Substancje zasadowe	13, 200
System masa - sprężyna - masa	64
System pasywny (wentylowany)	107
System TEA	117, 124, 149, 195
Systemy interaktywne	107
Systemy termoplastyczne (TPS)	21
Szklenie nad głową	87
Szklenie pionowe	91
Szklenie poziome	92



Szklenie półstrukturalne	115
Szklenie strukturalne	112, 115, 122, 124, 137, 170, 194
Szkło antyrefleksyjne	125, 144, 202, 227
Szkło barwione w masie	24
Szkło bazowe	8, 70, 145, 156
Szkło bezpieczne dla ptaków	146
Szkło dekoracyjne	127
Szkło hartowane	70, 90, 164, 180, 186, 191
Szkło hartowane wygrzewane termicznie	74, 164
Szkło laminowane	33, 63, 77, 90, 129, 166, 180, 186, 191, 198
Szkło ochrony słonecznej	53, 210
Szkło powlekane	13, 42, 53, 77, 117, 144, 165, 201
Szkło wzmocnione termicznie (półhartowane)	76, 164, 186
Szkło zabezpieczające przed wypadnięciem	84, 94, 233
Szyba zespolona	18, 37
Szyby kuloodporne	82, 99, 237

S

Światło	24, 30, 123, 174
Światło spolaryzowane	71
Światło widzialne	32

T

Temperatura mięknienia	12, 74, 165
Temperatura powierzchni	37, 155, 182
Test uderzenia siekierą	81, 99, 236
Test uderzenia wahadłem	72, 80, 84, 154
Tłumienie promieniowania elektromagnetycznego	142
Tolerancje standardowe	156, 158
Tolerancje	134, 156, 165, 167, 183
Tolerancje grubości	156, 165, 167
Tolerancje specjalne	156, 159
Tolerancje wymiarowe	167, 168
Transport	185, 203
Twarda powłoka	13

U

Usunięcie krawędzi	19, 193, 199
Uszczelniacz	19
Uszczelniacz pierwotny	19
Uszczelniacz wtórny	19
Uszkodzenie powierzchni	174
UV	20, 32, 49, 112, 121, 149, 171, 195
Uzysk ciepła	50
Uzysk energii słonecznej	50

W	Warstwa wilgoci.....	19
	Wartość PSI.....	20, 42
	Ważona izolacyjność akustyczna	61
	Ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej.....	61
	Wiercony otwór stożkowy.....	164
	Windy szklane.....	95, 138
	Wizualizator szkła.....	241
	Wskaźnik oddawania barw.....	24
	Wskaźniki korygujące.....	61
	Współczynnik przenikania ciepła (wartość U).....	12, 20, 32, 40
	Współczynnik S określający stopień nagrzewania się pomieszczeń.....	50
	Współczynnik zacinienia	48, 198
	Wycięcie narożnika	161
	Wycinanie krawędziowe	159
	Wygrzewanie termicznie	75, 130, 164
	Wykrywanie (np. wad)	174
	Wytrzymałość na eksplozję	83, 155, 237
	Wytrzymałość na różnicę temperatur	12, 73, 77, 183
	Wytrzymałość na uderzenie.....	72, 80, 86, 97, 154, 187, 233
	Wzór (siatka) spękań szkła.....	70
Z	Zabarwienie	10
	Zachowanie konturu	134
	Zakres temperatury transformacji.....	12
	Zestaw dwuszybowy stopowany	171
	Zewnętrzna kondensacja	22, 182
	Zimna fasada	105



11.3 Skróty, ogólnie

a.....	Rok
A.....	Ampery
abP.....	Ogólne certyfikaty kontrolne nadzoru budowlanego dla produktów budowlanych i rodzajów konstrukcji
AbZ.....	Ogólne dopuszczenie nadzoru budowlanego
ATV.....	Ogólne techniczne warunki umów
AufzV.....	Rozporządzenie w sprawie dźwigów szybowych
b.....	Średni współczynnik przepuszczalności
BM.....	Wymiar jumbo
BPR.....	Dyrektywa o produktach budowlanych
BRL.....	Lista norm budowlanych
BW.....	Wartość pomiarowa
c.....	Właściwa pojemność cieplna
C.....	Widmowy wskaźnik adaptacyjny
CE.....	Communautés Europeennes (Wspólnoty Europejskie)
CEN.....	Comité Européen de Normalisation, Europejski Komitet Normalizacyjny
CENELEC.....	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique, Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki
CiO.....	Stopień wypełnienia gazem
cm.....	Centymetr
CO ₂	Dwutlenek węgla
C _{tr}	Widmowy wskaźnik adaptacyjny
dB.....	Decybel
dB(A).....	Poziom ciśnienia akustycznego, na podstawie oceny
DIBt.....	Niemiecki Instytut Techniki Budowlanej
DIN.....	Niemiecki Instytut Normalizacyjny
E.....	Emisyjność
E.....	Moduł Younga (moduł sprężystości podłużnej)
EN.....	Norma Europejska
EnEV.....	Rozporządzenie o oszczędności energii
EOTA.....	Europejska Organizacja ds. Aprobat Technicznych

EPBD.....	Energy Performance of Buildings Directive
ESG.....	Szkło hartowane monolityczne
ESG-H.....	Szkło hartowane monolityczne, wygrzewane termicznie
ETA.....	Europejska Aprobata Techniczna
ETAG.....	European Technical Approval Guideline (aprobata techniczna EOTA)
ETZ.....	Europejska Aprobata Techniczna
EU.....	Unia Europejska
F_c	Współczynnik pomniejszający dla instalacji przeciwniecznych
FEM.....	Metoda elementów skończonych
F_g	Częstotliwość graniczna koincydencji
$f_{g,h}$	Jednostkowa wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu
f_R	Częstotliwość rezonansowa
g	Całkowita przepuszczalność energii słonecznej
G.....	Stopniodni ogrzewania
GBM.....	Wymiar półjumbo
GHz.....	Gigaherc (10^9 herców)
GPa.....	Gigapaskal
GWp.....	Maksymalna (dla modułów fotowoltaicznych) osiągalna moc w gigawatach (peak)
H.....	Godzina
H.....	Wartość opałowa oleju opałowego
hEN.....	Norma Europejska zharmonizowana
HK.....	Stopień twardości wg metody Knoop
HVBG.....	Główna Federacja Ustawowych Zrzeszeń Zawodowych
Hz.....	Herc
Ift.....	Institut für Fenstertechnik (Instytut Techniki Okien), Rosenheim
ISO.....	Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna, International Organization for Standardization
J.....	Dżul
k.....	Kilo



K	Kelwin
K	Współczynnik korekty (w izolacji akustycznej)
k_F	Współczynnik przenikania ciepła dla okien (stary)
kg	Kilogram
kHz	Kiloherc (10^3 herców)
kPa	Kilopaskal
LBO	Krajowa Ustawa Budowlana
LTB	Lista technicznych przepisów budowlanych
m	Masa w odniesieniu do powierzchni
m	Metr
M	Mega (10^9)
m^2	Metr kwadratowy
m^3	Metr sześcienny
mbar	Milibar
MBO	Wzorcowa ustawa budowlana
MDCA	Znak jakości dla szkieł specjalnych w USA
MHz	Megaherc
MIG	Szyby zespolone
MLTB	Lista wzorcowa technicznych przepisów budowlanych
mm	Milimetr
MPA	Materialprüfungsamt (Biuro badań materiałów)
ms	Milisekunda
n	Nano
N	Niuton
N	Średni indeks obliczania światła
nm	Nanometr (10^{-9} m)
P	Moc akustyczna źródła
Pa	Paskal
PAR	Promieniowanie biorące udział w procesie fotosyntezy
prEN	Projekt Normy Europejskiej
PU; PUR	Poliuretan
PV	Fotowoltaika

PVB	Poliwinylobutyral
PVC	Polichlorek winylu
P1A do P8B....	Klasa wytrzymałości przeszklenia
q_i ; q_a	Wtórne oddawanie ciepła
R.....	Wartość izolacyjności akustycznej
R.....	Opór elektryczny
R_a ; $R_{a,D}$; $R_{a,R}$...	Indeks odtwarzania barw
RAL	Niemiecki Instytut Jakości i Oznaczeń RAL
R_e	Odbicie energii słonecznej
R_L	Odbicie światła
RLT	Technika wentylacji w urządzeniach wentylujących i klimatyzujących
$R_{w,B}$	Dźwiękoizolacyjność, na podstawie oceny, na budowie
$R_{w,P}$	Dźwiękoizolacyjność, na podstawie oceny, wartość na stanowisku pomiarowym
$R_{w,R}$	Dźwiękoizolacyjność, na podstawie oceny, wartość obliczeniowa
$R'_{w,res}$	Dźwiękoizolacyjność, na podstawie oceny, wartość wynikowa
R_w ; R'_w	Dźwiękoizolacyjność
S	Wskaźnik selektywności
S	Parametr wprowadzenia energii słonecznej
SC.....	Współczynnik zacinienia
SZR	Przestrzeń międzyszybową
TR.....	Zasady techniczne
TRAV	Techniczne zasady zastosowania przeszkleń chroniących przed wypadnięciem osób
TRLV	Techniczne zasady zastosowania przeszkleń mocowanych liniowo
TRPV	Techniczne zasady pomiaru i wykonania przeszkleń mocowanych punktowo
T_{UV}	Przepuszczalność promieniowania UV
TVG	Szkło częściowo hartowane
U	Współczynnik przenikania ciepła



U_{CW}	Współczynnik przenikania ciepła, fasada
U_f, U_m, U_t	Współczynnik przenikania ciepła profili ramowych i słupowo-ryglowych
$U_{g, BW}$	Współczynnik przenikania ciepła, szkło, wartość pomiarowa
U_g, U_p	Współczynniki przenikania ciepła szkła i wypełnienia
ÜH	Deklaracja zgodności producenta
ÜHP	Deklaracja zgodności producenta po badaniu
ÜHZ	Certyfikat zgodności
UV	Promieniowanie ultrafioletowe
U_w	Współczynnik przenikania ciepła, okno
VDI	Stowarzyszenie Inżynierów Niemieckich
VdS	Przedsiębiorstwo Stowarzyszenia Niemieckich Ubezpieczycieli zajmujące się zapobieganiem szkód
VG	Szkło laminowane
VOB	Znormalizowane warunki zlecania i wykonywania usług budowlanych
VSG	Szkło laminowane bezpieczne
W	Wat
W	(Okno)
WPK	Wewnątrzzakładowa kontrola produkcji
ZiE	Zgoda indywidualna

11.4 Oznaczenia i symbole z alfabetu greckiego

α	Wysokość upadku przy uderzeniu wahadłem do prób udarność
α	Średni termiczny współczynnik rozszerzalności liniowej
α	Kąt
α_e	Kąt α_e absorpcja energii
β	Zachowanie przy uderzeniu wahadłem do prób udarność
γ	Całkowity współczynnik bezpieczeństwa
Δ	Różnica
ΔT	Różnica temperatur
ε	Zdolność emisyjna
λ	Długość fal dźwiękowych i świetlnych
λ	Przewodność cieplna
μ	Liczba Poissona
μm	Mikrometr ($= 10^{-6} m$)
ρ	Gęstość
ρ_e	Odbicie energii słonecznej
Σ	Suma
σ	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu
τ_e	Przepuszczalność energii słonecznej
τ_L	Stopień przepuszczalności światła
τ_V	Stopień przepuszczalności światła
$\tau_{V,BW}$	Stopień przepuszczalności światła, wartość pomiarowa
φ	Wysokość upadku przy uderzeniu wahadłem do prób udarność
ψ	Współczynnik przenikania ciepła, w odniesieniu do długości
Ω	Om

Guardian Glass - Wielka Brytania
Telefon: 0044 (0) 800 032 6322
e-mail: uktechnical@guardian.com

Guardian Glass - Luksemburg
Telefon: 00 352 50301
e-mail: tacluxembourg@guardian.com

Guardian Glass - Hiszpania
Telefon: 00 34 948 817255
e-mail: tactudela@guardian.com

Guardian Glass - Węgry
Telefon: 0036 (0) 68 887 200
e-mail: Technical_Hungary@guardian.com

Guardian Glass - Niemcy
Telefon: 0049 (0) 3494 361 800
e-mail: anwendungstechnik@
guardian.com

Guardian Glass - Polska
Telefon: 0048 (0) 34 323 9300
e-mail: tac_poland@
guardian.com

Zastrzeżenia:

Obecna wersja tego dokumentu zastępuje i anuluje wszystkie poprzednie wersje. Upewnij się, że używasz najnowszej wersji.

Ten dokument dotyczy jedynie przetwarzania produktów w nim wymienionych. Aby uzyskać więcej informacji technicznych, najnowszą wersję tego dokumentu i inne wytyczne firmy Guardian, odwiedź stronę www.guardianglass.com lub skontaktuj się z Działem Pomocy Technicznej firmy Guardian.

Wytyczne zawarte w niniejszym dokumencie służą wyłącznie celom informacyjnym i nie stanowią pełnego zestawu instrukcji, ale zakładają, że przetwórcza ma profesjonalną wiedzę na temat obróbki szkła. Guardian nie udziela żadnej gwarancji w odniesieniu do treści tego dokumentu, jak również Guardian nie ponosi żadnej odpowiedzialności za poprawność lub kompletność niniejszego dokumentu, chyba że obowiązujące prawo stanowi inaczej. Nabywca jest odpowiedzialny za potwierdzenie, że produkty są odpowiednie do zamierzonego zastosowania zgodnie z obowiązującymi przepisami i regulacjami. Guardian nie udziela żadnej gwarancji dotyczącej zamierzonego dalszego przetwarzania lub produktu końcowego, pełną odpowiedzialność za to ponosi przetwórcza. Produkty przedstawione w tej publikacji podlegają standardowym warunkom sprzedaży firmy Guardian oraz wszelkim obowiązującym pisemnym gwarancjom. Nic w niniejszym dokumencie nie stanowi wyraźnych lub dorozumianych gwarancji, ani nie zmienia lub uzupełnia pisemnych gwarancji firmy Guardian, które to gwarancje są zawarte w Warunkach sprzedaży firmy Guardian, ani żadnych dodatkowych pisemnych ograniczonych gwarancji na określone produkty prefabrykowane, powlekane lub na szkło bezpieczne, które znajdują się na naszej stronie internetowej www.guardianglass.com.

See
what's
possible®



Zdjęcie: © jens kirchner

Guardian Europe
Reference code: Handbook / PL / 0822
©2022 Guardian Glass

www.guardianglass.com