

Prosta Tower Warszawa, Polska
 SunGuard® SN 70/41 HT
 Autorska Pracownia Architektury Kuryłowicz & Associates



1.	Szkła bazowe	20
1.1	Zarys historyczny	20
1.2	Szkło float	20
1.2.1	Zabarwienie	22
1.2.2	Właściwości	23
	Gęstość Moduł sprężystości podłużnej (moduł Younga) Emisyjność Wytrzymałość na ściskanie Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu Wytrzymałość na różnice temperatur Zakres przemiany Temperatura mięknięcia Współczynnik rozszerzalności liniowej Właściwa pojem- ność cieplna Współczynnik przenikania ciepła (U) Kwasoodporność Ługoodporność Wodoodporność Świeże,agresywne materiały zasadowe	
1.3	Powłoki na szkłe float	26
1.3.1	Metoda pirolityczna	26
1.3.2	Metoda magnetronowa	26
	Typowa struktura powłoki magnetronowej	

1.1 Zarys historyczny

Historia szklarstwa zaczęła się około 5000 lat przed naszą erą. Dowód tej długiej tradycji stanowią znaleziska w postaci szklanych paciorków z okresu starożytnego Egiptu oraz pierwsze techniki wytapiania i ciągnięcia szkła przez starożytnych Rzymian. W ciągu kilku tysięcy lat szkło było produkowane wyłącznie rzemieślniczo przez wydmuchiwanie z zastosowaniem piszczeli szklarskich w formie walców (cholew), a następnie gomótek. W konsekwencji wytwarzano niewielkie ilości szkła w postaci małych szyb, które były stosowane prawie wyłącznie w oknach kościołów.

W XVII wieku wzrosło zapotrzebowanie na szkło, ponieważ oprócz budowniczych kościołów jego walory jako materiału wykończeniowego dostrzegli również właściciele zamków i kamie-

nic. Najpierw francuscy szklarze opracowali metodę walcowania, która pozwalała na produkcję tafli szkła o powierzchni 1,20 x 2 m, co wcześniej w takich rozmiarach wydawało się niemożliwe. Dopiero w XX wieku nastąpiło faktyczne uprzemysłowienie produkcji szkła. Technologie opracowane przez Lubbersa, a później także Fourcaulta jak również metoda Libbey'a-Owensa oraz metoda Pittsburgh umożliwiły produkcję szyb o wielkości 12 x 2,50 m w większych ilościach.

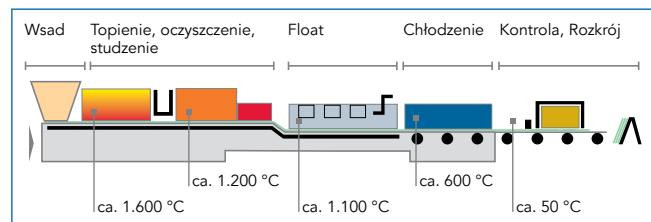
Wszystkie te metody miały jednakże istotną wadę: żeby z uzyskanych tafli stworzyć nienaganne optycznie i pozbawione odkształceń szkło, konieczne było szlifowanie i polerowanie obydwóch stron, co było niezwykle czasochłonne i kosztowne.

1.2 Szkło float

Szkło w postaci, w jakiej stosuje się je dzisiaj zarówno w przemyśle motoryzacyjnym, jak i przede wszystkim w budownictwie, pochodzi z przemysłowych linii produkcyjnych float. Tak zwana metoda float zrewolucjonizowała, po opatentowaniu w roku 1959, wszystkie rozpowszechnione do tej pory procesy produkcji szkła. Wszyscy poprzednicy opierali się na metodzie polegającej na produkcji szyb przez ciągnięcie lub wylanie roztopionego szkła, które następnie trzeba było poddać obróbce w celu uzyskania optycznie poprawnej jakości.

Podstawę nowo wynalezioną metody stanowiło „floatowanie”, czyli równomierne „rozlewanie” masy szklanej na powierzchni stopionej cyny. Napięcie powierzchniowe ciekłej cyny oraz fakt, że szkło jest o połowę lżejsze niż cyna, powodują, że ciekłe szkło nie przenika do warstwy cyny, lecz równomiernie dopasowuje się do jej powierzchni. To pozwala na uzyskanie absolutnej płaskorównoległości, która gwarantuje brak zniekształceń i dobrą przezroczystość tafli szkła. Zredukowanie temperatury w obrębie kąpielii cynowej z 1.100 do około 600 °C powoduje, że wstę-

ga szklana przechodzi ze stanu ciekłego-lepkiego w stan stały, co umożliwia jej podniesienie z powierzchni cyny na końcu procesu.



Proces produkcji szkła float (schemat)

Cyna jako materiał formujący jest idealna, ponieważ pozostaje ciekłą w trakcie procesu formowania szkła, nie odparowuje jednak w wyniku niskiej prężności pary. Aby zapobiec utlenianiu się cyny, cały proces przebiega w atmosferze ochronnej składającej się z azotu z dodatkiem wodoru.



Proces topienia

Formowanie wstęgi szkła w kąpielii cynowej poprzedza proces 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 w systemie ciągłym podawane jest ok. 80% zesta-

wu szklarskiego i 20% stłuczki szklanej, gdzie następuje ich stopienie w temperaturze ok. 1.600 °C. W taki sposób powstaje szkło sodowo-wapniowo-krzemianowe zgodne z normą PN-EN 572-2.

Po odgazowaniu stopionej mieszaniny, czyli tzw. „sklarowaniu”, ciekła masa szklana wychładza się w strefie studzenia do około 1.200 °C, a następnie przepływa w temperaturze około 1.100 °C przez kanał do wanny cynowej. Proces nieustannego podawania zestawu umożliwia ciągłe przepływanie stopionej masy szklanej po powierzchni cyny, podobnie jak to się dzieje w przelewającej się wannie, w której równomiernie wypływa woda dolewana z kranu. Na końcu wanny cynowej po podniesieniu szkła powstaje ciągła wstęga szkła o szerokości około 3,50 m.

W odprężarce tunelowej wstęga szkła o początkowej temperaturze ok. 600 °C jest wychładzana w ściśle zdefiniowany sposób do temperatury otoczenia tak, by 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 jeszcze temperaturę około 50 °C i poddawana jest laserowej kontroli na okoliczność występowania błędów, jak np. wtrącenia, pęcherzyki czy smugi. Błędy są automatycznie rejestrowane, a szkło pokryte wadami jest następnie eliminowane przy rozkroju.

Rozkroj następuje poprzecznie do wstęgi szkła, zazwyczaj w od-

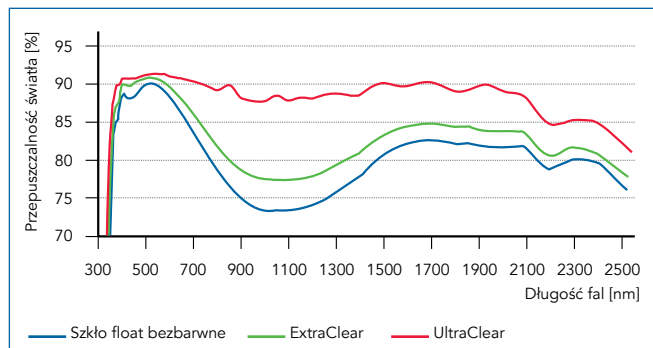
stępnie 6 metrów lub mniejszym. Odcinane są również obydwie krawędzie wstęgi szkła, w wyniku czego z reguły powstają tafle szkła float o wymiarach 3,21 x 6 m, które są odkładane na stojaki do dalszego przetwarzania lub są obrabiane natychmiast po rozkroju. Obecnie możliwa jest już produkcja dłuższych tafli, liczących 7 lub 9 m. Przeciętna linia float ma około 600 m długości i wydajność dzienną rzędu ok. 70.000 m² szkła o grubości 4 mm.

1.2.1 Zabarwienie

Normalne szkło „Float Clear” posiada lekko zielonkawe zabarwienie zauważalne przede wszystkim na krawędziach, co spowodowane jest obecnością tlenku żelaza naturalnie występującego w surowcach. Dobierając surowce zawierające bardzo mało tlenku żelaza lub stosując metody chemiczne służące do odbarwienia wytopu, można uzyskać szkło o neutralnej kolorystyce i bardzo białe. **GUARDIAN** wytwarza takie białe szkło pod nazwą UltraClear™. Najczęściej stosuje się je w wykoń-

czeniu wnętr oraz w specjalnych produktach solarnych.

GUARDIAN posiada ponadto trzeci wariant szkła float wyróżniający się obniżoną zawartością żelaza – ExtraClear®. Jeśli chodzi o zabarwienie i właściwości spektralne, to ten rodzaj szkła mieści się między białym szkłem UltraClear, a normalnym szkłem Float Clear. Ze względu na ciekawe połączenie właściwości szkło float ExtraClear może być używane jako materiał bazowy do powłok



Właściwości

termoizolacyjnych ClimaGuard® oraz do powłok przeciwslonecznych SunGuard®. Umożliwia to poprawę selektywności i neutralności kolorystycznej bez względu na powłokę, szczególnie w przypadku szkieł fasadowych.

Poza tymi trzema wariantami szkła float możliwa jest jeszcze produkcja szkieł kolorowych barwionych w masie. Polega to na dodawaniu do zestawu szklarzskiego dodatków chemicznych

tak, aby w określonych etapach produkcji na linii float wytwarzać szkło zielone, szare, niebieskie, czerwone lub zabarwione na brązowo. Takie przebarwienie masy szklanej w wannie wiąże się naturalnie z istotnym nakładem i zwiększonymi kosztami ze względu na wyższe straty produkcyjne oraz obniżoną wydajność i dlatego jest realizowane wyłącznie w formie 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 i w standardowym wymiarze 3,21

x 6 m z przeznaczeniem 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 $\rho = 2.500 \text{ kg/m}^3$. Zgodnie z tym metr kwadratowy szkła float o grubości 1 mm posiada masę 2,5 kg.

1.2.2.2 Moduł sprężystości podłużnej (moduł Younga)

Moduł sprężystości podłużnej to współczynnik charakteryzujący materiał, który opisuje zależność między naprężeniem i wydłużeniem przy liniowym odkształcaniu ciała stałego oznaczany literą

„E”. Wartość modułu E jest tym wyższa, im wyższy opór materiał stawia podczas odkształcania. W przypadku szkła float wartość $E = 7 \times 10^{10} \text{ Pa}$ - jest ona ustalona w normie PN-EN 572-1.

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 czar-

nego”. W przypadku szkła float obliczona w ten sposób normalna emisyjność wynosi $\epsilon = 0,89$, co oznacza, że 89 % zaabsorbowanego ciepła jest następnie oddawana w formie promieniowania (→ Rozdział 3.3)

1.2.2.4 Wytrzymałość na ściskanie

Sama nazwa wskazuje już na to, że ten współczynnik dokumentuje wytrzymałość materiału na obciążenie ściskające. Szkło jest niezwykle odporne na ściskanie, co wyraża się wielkością 700 –

900 MPa. Szkło płaskie stawia opór dziesięć razy wyższemu obciążeniu ściskającemu w porównaniu z maksymalnym obciążeniem rozciągającym.

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 poddawanej rozciąganiu. Naruszenia powierzchni zmniejszają tę wartość pomiarową. 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 przy zginaniu wynoszącym dla szkła float 45 MPa (PN-EN 572-1), przy prawdopodobieństwie trafności wyliczonym metodą statystyczną jako 95 %, może średnio wynosić najwyżej 5%:

$\sigma = 45 \text{ MPa}$ po pomiarze metodą podwójnego pierścienia zgodnie z PN-EN 1288-2.

1.2.2.6 Wytrzymałość na różnice temperatur

Wytrzymałość szkła float na różnice temperatur wynosi 40 K (kelwinów). Oznacza to, że taka różnica temperatur w obrębie jednej powierzchni szkła nie wywołuje żadnych skutków. Wyższe różnice prowadzą do niebezpiecznych naprężeń w przekroju szkła, które mogą doprowadzić do jego pęknięcia. Z tego powodu przykładowo grzejniki powinno umiesz-

czać się w odstępie co najmniej 30 cm od przeszklenia. W razie niezachowania takiego odstępu zaleca się zastosowanie bezpiecznego szkła hartowanego (ESG) (→ Rozdział 7.1). To samo dotyczy również całkowitego, trwałego lub częściowego zaciemnienia przeszklenia na przykład przez statyczne elementy budowlane lub okoliczną roślinność.

1.2.2.7 Zakres przemiany

W określonym przedziale temperatury zmienia się zachowanie mechaniczne szkła float. Przedział ten wynosi między 520 a 550 °C

i nie należy go mylić z temperaturą hartowania i temperaturą odkształcania, która jest wyższa o około 100 °C.

1.2.2.8 Temperatura mięknienia

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

1.2.2.9 Współczynnik rozszerzalności liniowej

Ten parametr podaje minimalną zmianę rozmiarów szkła float przy określonym wzroście temperatury i ma decydujące znaczenie w przypadku łączenia z innymi materiałami:

$9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ wg ISO 7991 przy 20 - 300 °C

Ta wartość informuje, o ile rozciągnie się krawędź szkła o długości 1 m, jeśli temperatura zostanie podwyższona o 1 K.

1.2.2.10 Właściwa pojemność ciepła

Wskaźnik C podaje, jaka ilość ciepła jest potrzebna, aby ogrzać 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)

Tę wartość wylicza się zgodnie z PN-EN 673.

Dla szkła float o grubości 4 mm wynosi ona 5,8 W/(m²K)

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 Wodoodporność

Tabela: Klasa hydrolytyczna 3-5 wg ISO 719

1.2.2.15 Świeże, agresywne materiały zasadowe,

które na przykład wypłukiwane są z jeszcze nie związanego cementu, atakują przy zetknięciu z powierzchnią szkła jego strukturę krzemianowo-tlenową. Wówczas powierzchnia się zmienia a punkty, w których nastąpił kontakt, stają się bardziej chropo-

wate. Taki proces następuje przy osuszaniu nacieków ługowych i kończy się dopiero po utwardzeniu. Dlatego należy zasadniczo unikać kontaktu między alkalicznymi naciekami a szkłem lub natychmiast je usunąć, splukując dużą ilością wody.

1.3 Powłoki na szkłe float

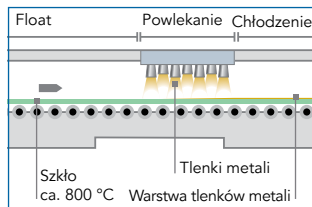
W przemysłowym powlekaniu szkła float na dużą skalę rozróżnia się zasadniczo dwie technologie. Jedną to chemiczna metoda pirolityczna określana również jako „Hardcoating”, a druga to proces fizyczny określany jako proces próżniowy lub napylenie magnetrone.

Obie metody, w zależności od nanoszonych materiałów, po-

zwalają na uzyskanie zarówno neutralnego, jak i barwnego odcienia finalnego produktu. Efekty barwne są mniej zauważalne przy patrzeniu przez szkło, a bardziej przy odbiciu promieni od powierzchni szkła. Obie technologie stosowane są dla szkieł 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 rodzaj powlekania szkła float to metoda online, która stosowana jest podczas produkcji szkła na linii float. Na rozgrzaną powierzchnię szkła o temperaturze kilkuset stopni rozpylane są tlenki metali, które zostają zapieczone w powierzchni szkła.



Metoda pirolityczna (online)

Powłoki te są co prawda bardzo twarde („Hardcoating”) i odporne, jednakże ze względu na swoją prostą strukturę posiadają bardzo ograniczone właściwości.

W przypadku większych wymagań, jakie dzisiaj zazwyczaj się stawia, stosuje się wielowarstwowe systemy powłok, które wy-

tworzane są w trybie offline metodą napylenia magnetroneowego w warunkach próżni.

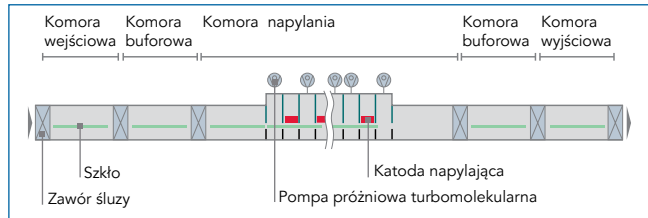
GUARDIAN z tego powodu koncentruje się wyłącznie na technologii powlekania zgodnie z poniższym opisem.

1.3.2 Metoda magnetroneowa

Metoda napylenia magnetroneowego posiada wiele nazw, włączając tę, która powstała w początkach stosowania tej technologii, gdy dla odróżnienia od Hardcoatingu próbowano ją określać terminem Softcoating. Pojęcie to jest jednak dzisiaj błędne, ponieważ w międzyczasie opracowano

również niezwykle odporne powłoki magnetroneowe, składające się zawsze z kilku bardzo cienkich pojedynczych warstw.

Żadna inna technologia nie pozwalała na tak równomierne powlekanie szkła i nadanie mu tak doskonałych właściwości optycznych i termicznych.



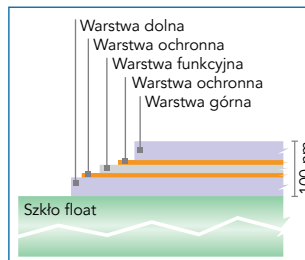
Przekrój linii powlekania w technologii magnetronej

Materiał napyłany na powierzchnię szkła podłączony jest jako target (płyta lub rura metalowa) do elektrody o wysokim ujemnym potencjale elektrycznym. Elektroda od ścian komory próżniowej. Gaz procesowy (argon) jest jonizowany przez silne pole elektryczne (szybkie elektrony).

Jony argonu są przyspieszane i uderzają w target wybijając z niego cząsteczki, które następnie osiadają na powierzchni szkła.

Proces ten można prowadzić również w obecności gazów reakcyjnych (np. tlen, azot), w wyniku czego na szkło napyłane są odpowiednio tlenki i azotki metali.

1.3.2.1 Typowa struktura powłoki magnetronej



Struktura warstw powłoki High-Performance

Warstwa funkcyjna:

np. srebro i chromonikiel

- Odpowiedzialna za odbicie promieniowania podczerwonego o długich i krótkich falach
- Silny wpływ na współczynnik przenikania ciepła (U), współczynnik przepuszczalności energii (wartość g) oraz na przepuszczalność światła

Warstwa ochronna:

- Ochrona warstwy funkcyjnej przed wpływami mechanicznymi i chemicznymi

Warstwa dolna i górna:

- Mają wpływ na odbicie, transmisję i barwę powłoki
- Wysoka mechaniczna odporność za sprawą górnej warstwy z azotku krzemu