



Central Station, Uppsala, Szwecja
SunGuard® SN 62/34
Wählin Arkitekter AB

8.	Fasady szklane	100
8.1	Fasady	101
8.1.1	Funkcje fasad	101
	Ciepła fasada Zimna fasada Fasada wentylowana - druga skóra	
8.1.2	Konstrukcje fasad	104
	Fasada z konstrukcją słupowo-ryglową Fasady ze szkleniem strukturalnym Fasady mocowane punktowo Fasady membranowe	
8.2	Panele szklane	110
8.2.1	Nanoszenie farb na powłoki SunGuard®.....	110
8.2.2	Metoda walcowania.....	111
8.2.3	Metoda druku.....	111
8.2.4	Inne technologie.....	112
8.3	Szklą architektoniczne	112
8.3.1	Technologie produkcji	113
	Sitodruk bezpośrednio na szkło Druk sublimacyjny barwny na szkło Architektoniczne szkło laminowane bezpieczne Kolorowe folie w szkło VSG Dekoracyjne szkło laminowane	
8.4	Szkló architektoniczne gięte	116
8.4.1	Wymagania.....	116
8.4.2	Rodzaje szkła.....	117
8.4.3	Rodzaje gięcia.....	117
8.4.4	Określenie kształtu.....	118
8.4.5	Cechy szczególne.....	119
	Miejscowe uskoki Zachowanie konturu Wichrowatość Przesunięcie Przejścia stycznej	
8.4.6	Szczególne cechy statyczne.....	121
8.5	Specjalne zastosowania szkła	121
8.5.1	Przeszklenia, po których można chodzić.....	122
8.5.2	Przeszklenia w szybach dźwigowych.....	123
8.5.3	Szklą elektrochromatyczne.....	124
8.5.4	Szklą tłumiące pole elektromagnetyczne.....	124
8.5.5	Przeszklenia antyrefleksyjne.....	126

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 szkla-

nych zakrywających konstrukcję budynku, czyli spandrelli 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 5.5). 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 warunki: funkcję i konstrukcję.

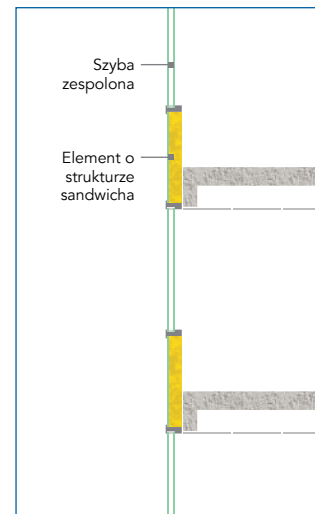
8.1.1 Rodzaje fasad

Zasadniczo wyróżniamy trzy rodzaje fasad:

8.1.1.1 Ciepła fasada

Ciepła fasada to system, gdzie za nieprzezierną taflą szklaną, chroniącą przed wpływami atmosferycznymi znajduje się izolacja cieplna od strony pomieszczenia, tworząc panel szklany (element o strukturze sandwicha).

Panel ten jest montowany w konstrukcji fasady pod przejrzystymi szybami zespolonymi jako jedna całość i mocowany na przykład za pomocą listew dociskowych. Szczelność zapobiegająca dyfuzji pary w panelu zapewnia odpowiednio uszczelniona listewka na krawędziach. W ten sposób zarówno nieprzezroczyste jak i przezroczyste elementy pełnią nie tylko funkcję zamykającą dla pomieszczenia i funkcję ochrony przed warunkami atmosferycznymi, lecz również zadania izolacji cieplnej, akustycznej i ewentualnie ochrony przeciwpożarowej. Ze względów konstrukcyjnych te

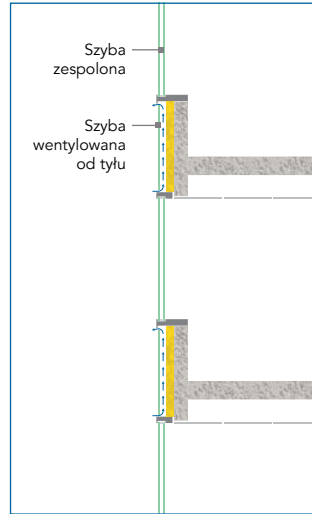


Ciepła fasada

nieprzezroczyste panele wymagają czterostronnego obramowania w konstrukcji słupowo-ryglowej.

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 od tyłu, dzięki czemu odprowadzane jest nagromadzone ciepło i wilgoć. Szyba ta jest wykonana ze szkła przeciwsłonecznego i dopasowana 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).

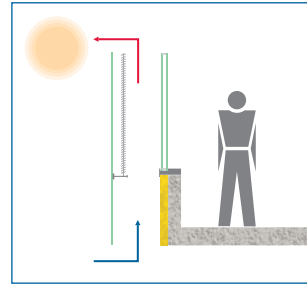


Zimna fasada

8.1.1.3 Fasada wentylowana - podwójna skóra

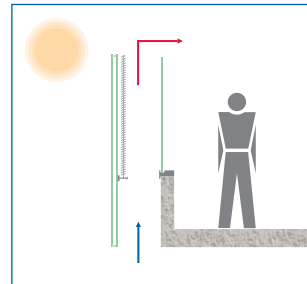
Ten rodzaj fasady jest też określany mianem „drugiej skóry”. Zasadniczo jest to fasada wentylowana, podobna do opisanej wcześniej zimnej fasady, jednakże przestrzeń między dwiema warstwami panelu jest szersza. Ponadto w tym przypadku przezroczyste elementy fasady, czyli okna z szybami zespolonymi, są zintegrowane z resztą. „Drugą skórę” można zamontować na zewnątrz istniejącej fasady, na

przykład ze względów optycznych oraz dla poprawy izolacyjności akustycznej. Wariant ten określamy jako fasadę interaktywną. Przestrzeń wewnętrzna jest z reguły wykorzystywana do montowania dodatkowych instalacji przeciwsłonecznych, takich jak lamele lub rolety. Powietrze, które ulega tam ogrzaniu, oraz powstający kondensat wyprowadzane są z poszczególnych kondygnacji na zewnątrz do otoczenia.



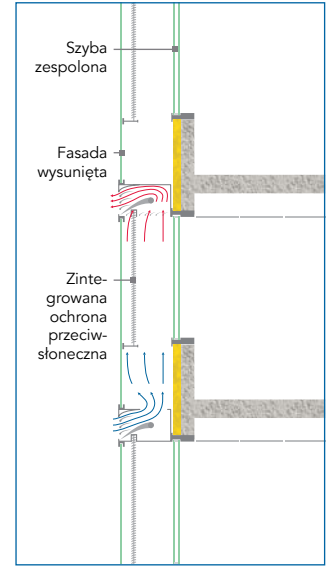
Fasada interaktywna

Alternatywę stanowi wewnętrzna wysunięta warstwa, najczęściej również zaopatrzona w przestrzeni wewnętrznej w dodatkowe instalacje przeciwsłoneczne. Zgromadzone tam powietrze, ogrzane przez promieniowanie słoneczne, jest planowo odbierane i ponownie doprowadzane przez odpowiednie agregaty do systemu zarządzania energią w budynku. Ten wariant, określany jako aktywna fasada wentylowana z drugą skórą, może przyczynić się do istotnego obniżenia kosztów eksploatacji budynku.



Fasada aktywna

W przeszłości takie wysunięte panele wewnętrzne były najczęściej wykonywane z przeciwsłonecznego szkła hartowanego. Obecnie zmierza się ku stosowaniu szkła



Fasada wentylowana z drugą skórą

laminowanego bezpiecznego składającego się z dwóch szyb ze szkła półhartowanego, które w razie uszkodzenia gwarantują wyższą stabilność.

Oczywiście na funkcjonalność fasady podstawowy wpływ ma rodzaj zastosowanego szkła. W przeszłości ze względów technologicznych stosowane były mniej zaawansowane szkła przeciwsłoneczne. Obecnie **GUARDIAN** oferuje szeroką paletę odpowiednich wysokozaawansowanych szkielek przeciwsłonecznych.

Oferowany zakres produktów obejmuje powłoki przeciwsłoneczne napyłane na szkła bazowe float ExtraClear®. Odbijają one energię słoneczną, a równocześnie oddają na zewnątrz ciepło skumulowane w przestrzeni we-

wewnętrznej. W ten sposób uzyskuje się w ten sposób tzw. zewnętrzną „szybę odbijającą” wentylowanej fasady wysoką neutralność, a równocześnie dynamiczny zakres selektywności, co pozwala spełnić wszelkie życzenia odnośnie odbicia na zewnątrz. Im mocniejsze jest odbicie promieniowania słonecznego, tym mniejsze jest znaczenie systemów zacięniających znajdujących się wewnątrz, a co za tym idzie, lepsza i niczym

8.1.2 Konstrukcje fasad

Poza funkcjonalnością samego szkła znaczenie ma również spo-

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.

nie zakłócona przejerność. Gamę produktów przedstawiono w → rozdziale 10.

Rozwój zaawansowanych szkieł powlekanych oraz możliwości ich dalszego przetwarzania tj. hartowania, laminowania czy gięcia daje produktom firmy **GUARDIAN** nadzwyczajną przewagę w oferowaniu rozwiązań dla fasad szklanych. (→ rozdział 8.3).

sób jego montażu.

„Pola podłużne” biegnące w ten sposób do góry są przerywane ryglami poprzecznymi w liczbie zdefiniowanej pod kątem funkcjonalnym i z uwzględnieniem optyki. Rygle unoszą przy tym ciężar szkła i przenoszą go na słupy. Po pozycjonowaniu szkieł i dokładnym klockowaniu, na słupach oraz na ryglach przykręcane są listwy dociskowe, które mocują elementy szklane i je uszczelniają. Słupy i rygle wyposażone są w system kształtowników odpro-

wadzających wilgoć z wnętrza ściany na zewnątrz. Wykończenie optyczne stanowią z reguły listwy kryjące montowane na klipsach, które są dostępne w niemal wszystkich odcieniach.

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 kratownicy. Konstrukcje słupowo-ryglowe to sprawdzone systemy, które można stosować

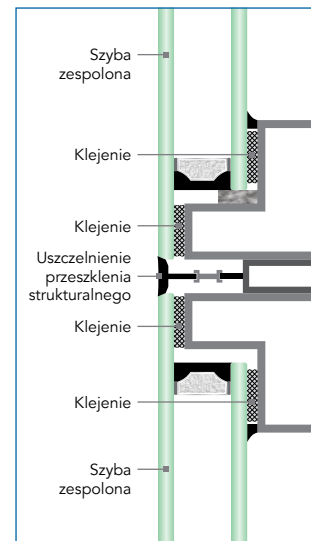


Fasada słupowo-ryglowa
Skrzyżowanie – wrażenie optyczne

waż bez konieczności uzyskania dodatkowych aprobat zgodnie z prawem budowlanym.

8.1.2.2 Fasady strukturalne

Podczas gdy w opisanej powyżej fasadzie słupowo-ryglowej zawsze na powierzchni szkła widoczne są listwy zaciskowe i kryjące, fasada strukturalna charakteryzuje się całkowicie gładką powierzchnią. Rama obreżna wykonana z aluminium, w którą wklejony jest element ze szkła, przejmuje ciężar szkła w niezauważalny sposób. Taki moduł jest montowany na konstrukcji słupowo-ryglowej, na którą przenoszone są obciążenia. Złożoność tej technologii wykonywania fasad w połączeniu z wieloletnimi doświadczeniami najlepszych producentów klejów i materiałów uszczelniających sprawiło, że fasady strukturalne mogą być wykonywane tylko jako kompletne systemy. Producenci takich



Szklenie strukturalne/fasada



Fasada słupowo-ryglowa

systemów posiadają w tym zakresie odpowiednie dopuszczenia nadzoru budowlanego. Jeśli brak jest takiego dopuszczenia, to przed budową wymagane jest przeprowadzenie indywidualnego badania.

Ciężar szkła, w tym również wewnętrznej szyby, która pozornie nie jest niczym utrzymywana, musi być przeniesiony poprzez moduł na konstrukcję za pomocą mechanicznych kątowników mocujących. W Niemczech takie fasady są dozwolone również bez tego rodzaju zabezpieczenia mechanicznego zewnętrznej szyby do łącznej wysokości zabudowy wynoszącej osiem metrów.

Większość przeszkleń składa się ze specjalnie stopniowanej szyby zespolonej z krawędziami oklejonymi materiałem odpornym na promieniowanie UV (→ rozdział 3.4), która może przejąć i przenieść występujące obciążenia. Jako zewnętrzne należy stosować zawsze szkło hartowane o minimalnej grubości 6 mm. Powstałe w ten sposób otwarte krawędzie szkła ze wszystkich stron, które pozostają w zdefiniowanym odstępie od kolejnego elementu, są zabezpieczane specjalnymi sili-



Szklenie strukturalne fasady
Skrzyżowanie – wrażenie optyczne

konami do szkła strukturalnych. Należy przy tym zwrócić szczególną uwagę na przyczepność silikonu do krawędzi szkła oraz na wzajemną kompatybilność wszystkich zastosowanych materiałów (→ rozdział 9.10).

Powstała fasada charakteryzuje się gładką powierzchnią szkła, na której silikonowe łączenia są niemal niewidoczne. Szczególnie dla tego rodzaju systemów fasadowych **GUARDIAN** dysponuje szeregiem różnorodnych szkieł przeciwsłonecznych z odpowiednimi dopuszczeniami.

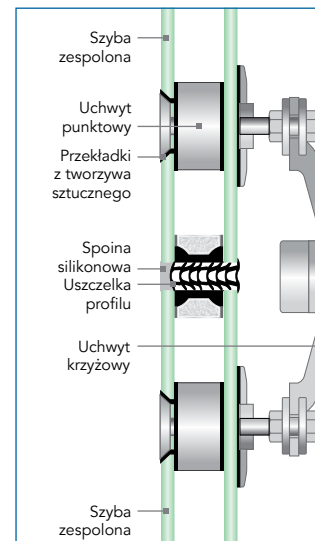


Granby Centrum, Uppsala, Szwecja
SunGuard® SN 62/34
Atrium Ljungberg AB

8.1.2.3 Fasady mocowane punktowo

Ta technologia wykonywania fasad bazuje na pojedynczych uchwytach, rozmieszczonych punktowo. Działające siły przez te punkty mocowania prowadzone są z przeszklenia do zazwyczaj ruchomo umocowanej głowicy uchwytu punktowego, która poprzez metalowe połączenie przenosi siły do litej konstrukcji poniżej.

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 z powierzchni. Alternatywnie można zastosować stożkowe przewiertki przez szkło, których stabilne połączenie uzyskuje się za pomocą specjalnych stożkowych uchwytów wyłącznie za sprawą docisku na powierzchni stożkowego otworu. Taka forma umożliwia uzyskanie fasad



Fasada mocowana punktowo

o gładkich powierzchniach bez wystających elementów.

Kolejny rodzaj stanowi mocowanie szkła laminowanego, gdzie szkło mocowane jest tylko poprzez jedną taflę szkła laminowanego, 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 panujących obciążeń są przenoszone poprzez uchwyty na konstrukcję nośną. Szczeliny pomiędzy pojedynczymi szklanymi elementami fasad są zamykane systemami i masami odpornymi na promieniowanie UV. Tego rodzaju fasady można wykonywać zarówno



Fasada mocowana punktowo
Skrzyżowanie – wrażenie optyczne

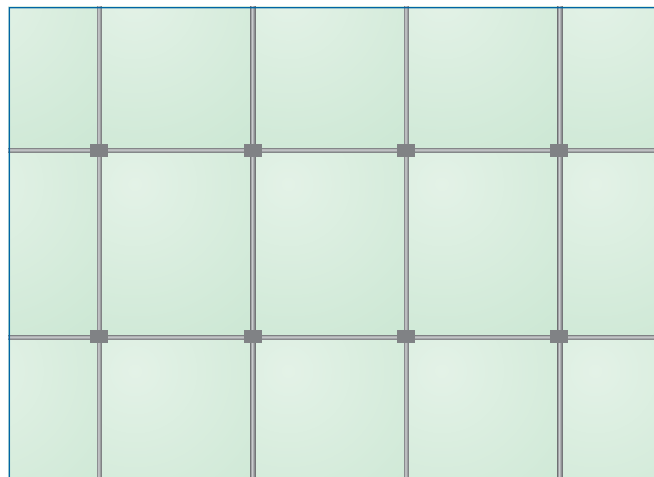
ze szkła monolitycznych jak i z szyb zespolonych. W tym drugim przypadku zakładka jest wentylowana przez odpowiednie systemy i umożliwia odprowadzanie kondensatu.

W Niemczech zgodnie z prawem budowlanym fasady mocowane punktowo zaliczają się do „nieuregulowanych” 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. Punkty węzłowe lin poziomych i pionowych są ustalane zaciskami, które równocześnie służą jako uchwyty dla szyb fasadowych w czterech narożnikach. Elementy szklane nie muszą być wiercone. Obciążenia działające na fasadę są przenoszone na liny sta-

lowe poprzez zaciski mocujące, a stamtąd na stabilną konstrukcję ramową. W wyniku zamknięcia szczelin, podobnie jak w przypadku fasad mocowanych punktowo, sieć lin „znika” w sensie optycznym poprzez pozornie „bezkonstrukcyjną” fasadę. Mocowanie elementów szklanych w narożnikach pozwala uniknąć kumulowania się naprężeń i umożliwia w ten sposób większą swobodę przy wymiarowaniu.

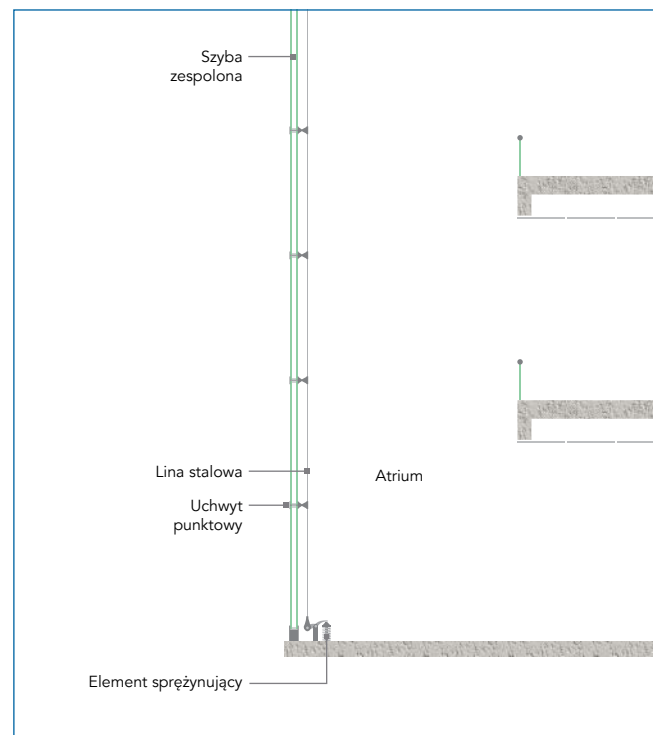


Fasada membranowa od strony konstrukcyjnej

Wstępne naprężanie lin przebiega w taki sposób, że występuje kontrolowane odkształcenie całej powierzchni pod obciążeniem z zachowaniem wszystkich funkcji, zanim szczytowe obciążenia zostaną przeniesione przez pionowe liny do fundamentu i rami dachu. Konstrukcja ta zawsze wymaga uzyskania indywidualnej zgody.



Fasada membranowa
Skrzyżowanie – wrażenie optyczne



Fasada membranowa

8.2 Szkła emaliowane - spandrele

Zazwyczaj są to panele wykonane całkowicie ze szkła, które kryją konstrukcyjne i funkcjonalne elementy budynku, jak na przykład płyty podłogowe, filary, elementy systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji, bądź też kanały na kable elektryczne i rury. Dlatego nieprzezroczyste panele szklane często są umieszczane na fasadzie na wysokości ślepych pułapów na każdym piętrze, przerywając przejrzyste elementy ze szkła, jakimi są okna. W zależności od życzenia co do optyki, można dopasować odpowiednio do przeszkleń przejrzystych lub skonstrastować elementy. Zasadniczo przy większych projektach zaleca się wykonanie pełnowymiarowej makiety fasady, aby rzeczywiście uzyskać pożądany efekt optyczny na późniejszej fasadzie. Z reguły zewnętrzna szyba panelu jest wykonywana ze szkła hartowanego, aby uniknąć pęk-

nięcia szkła na skutek naprężeń termicznych. Spandrele można produkować różnymi technologiami, w zależności od tego, jakie są zamierzenia dotyczące efektów optycznych. Bez względu na technologię produkcji, adhezja i kompatybilność naniesionych farb z daną powłoką na szkło jest tak samo ważna jak możliwość jego hartowania.

GUARDIAN posiada szerokie doświadczenie zarówno w dziedzinie powlekania szkła float, jak i w jego przetwarzaniu, czyli gięciu, hartowaniu, laminowaniu oraz nanoszeniu różnych farb w celu uzyskania zmatowienia lub nieprzezroczystości. Głównie stosowane są farby ceramiczne, które w różnych technologiach są nanoszone na wewnętrzną stronę szyby. W grę wchodzi takie technologie jak walcowanie, rozpylanie, drukowanie i rozlewanie.

8.2.1 Nanoszenie farb na powłoki SunGuard®

Na wielu powłokach przeciw-słonecznych typu SunGuard wyposażonych w specjalny system warstw Silacoat® można nanosić farby ceramiczne. Podczas wypalania farby ceramiczne mogą wchodzić w reakcję z powłoką na szkło, co może powodować efekt zmatowienia lub w najgorszym przypadku całkowite zniszczenie powłoki. Dlatego bezwzględnie konieczne jest przetestowanie kompatybilności danej farby z powłoką w warunkach produk-

cyjnych. Nieodpowiednia temperatura może prowadzić do złej jakości finalnego produktu (spalenie powłoki, nieodpowiedni kolor, brak jednorodności, trwałości, szczelności). Ponadto każdy nadruk na powleczonej powierzchni może prowadzić do przesunięć farby po wypaleniu. Dlatego należy przeprowadzić odpowiednie testy, ponieważ przetwórca ponosi odpowiedzialność za produkt końcowy i musi kontrolować jego jakość.

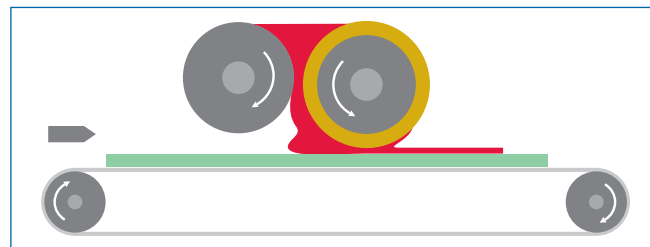
Szczegółowe informacje odnośnie doboru spandreli do produktów SunGuard oraz specjalne wskazówki dotyczące doboru

farb można znaleźć w informacji technicznej „Szkła emaliowane - Spandrele”.

8.2.2 Metoda walcowania

Doskonałą, równomierną optykę uzyskuje się, nanosząc farbę na szkło metodą walcowania. Umożliwia ona nanoszenie zarówno lakierów, jak i farb ceramicznych, łączących się trwale z powierzchnią

szkła i powłoką na późniejszym etapie hartowania. Ta technologia jest stosowana przy dużych seriach i idealna do produkcji spandreli.

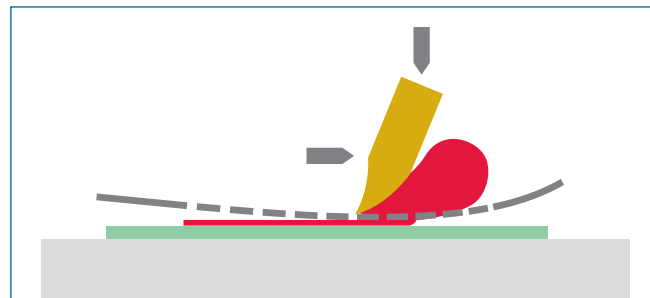


Metoda walcowania, schemat

8.2.3 Metoda sitodruku

Do jednorodnego nanoszenia farby na całych powierzchniach sitodruk nadaje się tylko pod pewnymi warunkami. Jest on sto-

sowany głównie do częściowego nanoszenia farby, w szczególności na komponenty designerskie (→ rozdział 8.3.1).



Metoda druku, schemat

8.2.4 Inne technologie

Kolejna technologia bazuje na równomiernie spływającej kurtynie utworzonej przez farbę, która rozlewa się na całej szerokości szyby. Szyba w tej technologii jest transportowana równomiernie pod kurtyną i jest jednorodnie pokrywana farbą. Metoda ta jest stosowana przede wszystkim do wielkoformatowego nanoszenia farb, aby uzyskać możliwie jak najwyższą jednorodność na całej powierzchni szyby przy grubszych warstwach farby. Zużycie farby w tej metodzie jest jednak niezwykle wysokie i dlatego jest ona obecnie rzadko stosowana.

Odpowiednią metodą dla krótkich serii i pojedynczych elementów, jak na przykład wzorce, jest

nanoszenie farby w technologii rozpylania. Tej metody używa się głównie przy aplikacji lakierów i ona również umożliwia niemalże jednorodną grubość warstwy, a co za tym idzie, dobry efekt optyczny.

Szklą emaliowane można mocować na różne sposoby, jako szybę pojedynczą, np. na fasadach wysuniętych lub zimnych, bądź też jako panel szklany na fasadach ciepłych (→ rozdział 8.1). Szeroką paletę takich szkieł produkowanych przez **GUARDIAN** można znaleźć w → rozdziale 10. W zależności od projektu można również w ramach indywidualnych uzgodnień poszukiwać alternatywnych rozwiązań.

8.3 Szklą dekoracyjne

Nowoczesna architektura cechuje się poszukiwaniem nowatorskich rozwiązań nie tylko dla szkła emaliowanego, ale i szyb przesiernych. Żaden inny materiał nie oferuje takich możliwości jak szkło. Można je trawić kwasami, piaskować, nanosić sitodruk ceramiczny, czy laminować wykorzystując różne typy folii.

Podobnie różnorodne są strefy, które można aranżować z pomocą szkła dekoracyjnego. W nowoczesnych mieszkaniach, biurach, restauracjach, hotelach i sklepach szkła dekoracyjne mogą pełnić funkcje elementów dzielących pomieszczenia, ścianek działowych lub okładzin, jednocześnie stanowiąc indywidualne akcenty dekoracyjne. Na fasadach szkła dekoracyjne mogą stanowić mocny efekt estetyczny z uzupełniającą ochroną przeciwsłoneczną, gwarantując równocześnie trwałość i autentyczność barw. W połączeniu z paletą szkieł przeciwsłonecznych oferują one silne i zindywidualizowane akcenty nowoczesnej aranżacji fasad.

8.3.1 Technologie produkcji

Poza wytrawianiem i piaskowaniem w produkcji szkła dekoracyjnego stosuje się obecnie pięć innych procesów. Ponadto są

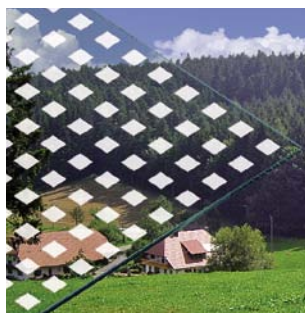
jeszcze inne możliwości, które mają charakter mocno rzemieślniczy lub nie są jeszcze dostatecznie dopracowane.

8.3.1.1 Sitodruk bezpośrednio na szkle

Jednobarwny sitodruk bezpośrednio na szkle ma już długą tradycję. Emalia lub farba ceramiczna, mieszanina drobno zmiełonego szkła i pigmentów, jest w tym procesie wyciskana rąkłą przez oczka sita na powierzchnię szkła. Sito jest wcześniej przygotowywane pod kątem techniki fotograficznej poprzez podział na części otwarte, czyli przeznaczone do zadrukowania, i zamknięte,

czyli nieprzeznaczone do druku. Otwarte części tworzą przy tym z pomocą naniesionej farby motyw drukarski, który następnie jest utrwalany w procesie hartowania poprzez stopienie z powierzchnią szkła.

Wiele powłok typu SunGuard® jest kompatybilnych z farbą ceramiczną i może być zadrukowywanych. (→ rozdział 8.2.1)



8.3.1.2 Druk cyfrowy na szkłe

Druk cyfrowy oferuje alternatywę dla jednobarwnego druku sitowego, gdy chce się uzyskać na szkłe wiele barw. W tym procesie farby emaliowe lub ceramiczne są nadrukowane na foliach transferowych, umożliwiając odtworzenie motywów wielobarwnych. Zadrukowane folie są następnie

mocowane na szkłe przeznaczonym do hartowania. W procesie hartowania folie transferowe ulegają całkowitemu spaleni, a farby są nanoszone na szkło. Poza wszelkimi rodzajami wzorów z pomocą tej metody można na szkłe stworzyć ilustracje w jakości fotografii kolorowej.



8.3.1.3 Dekoracyjne szkło laminowane 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, które następnie są wprowadzane między folie PVB szkła laminowanego bezpiecznego i sprasowywane. Mimo dodatkowo naniesionego laminatu szkło laminowane bezpieczne zachowuje swoje doskonałe właściwości (→ rozdział 7.4.2). 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.



8.3.1.4 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 przepierności jak i szkło nieprzeierne, jednocześnie spełniające funkcję bezpieczeństwa. Folie te są odporne na działanie promieni UV, dzięki czemu utrzymany jest ich kolor.



8.3.1.5 Dekoracyjne szkło laminowane żywiczne

Tego rodzaju szkła laminowane, wytwarzane są z udziałem lanej żywicy 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 bezpiecznego w rozumieniu przepisów prawa i wolno je montować jako szkło bezpieczne tylko wtedy, gdy zostanie to odpowiednio udokumentowane zgodnie z prawem budowlanym.

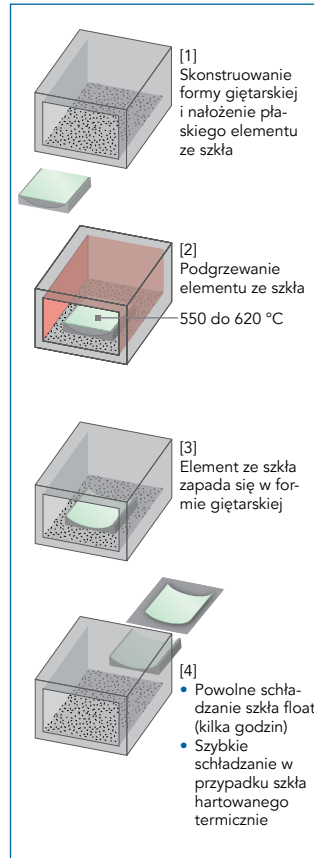


8.4 Szkło gięte

Architekci i projektanci w dzisiejszych czasach 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. Już w połowie XIX wieku w Anglii opracowano technologię gięcia szkła architektonicznego, która do dziś została jedynie nieznacznie zmodyfikowana. W przypadku szkła budowlanego z reguły stosuje się metodę termicznego gięcia grawitacyjnego. 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. Późniejsze chłodzenie definiuje powstający w ten sposób rodzaj szkła. Powolne wychładzanie bez naprężeń własnych pozwala na wyprodukowanie szkła, które później będzie można poddać dalszej obróbce, podczas gdy w wyniku szybkiego schładzania powstaje szkło hartowane lub hartowane częściowo, którego już nie da się przetwarzać (→ rozdział 7.1).

8.4.1 Wymagania

Zasadniczo wszystkie szkła gięte nie podlegają regulacji jako produkty budowlane, muszą jednak sprostać tym samym wymaganiom pod względem funkcjonalności (np. termoizolacja, ochrona przeciwsłoneczna i akustyczna) oraz spełnić te same przepisy prawa



Etapy produkcji

budowlanego (jak choćby ochrona przed wypadnięciem osób i wymagania dotyczące obciążeń), co elementy ze szkła płaskiego.

Aby to udokumentować i otrzymać zezwolenie na zamontowanie szkieł giętych, producent w Niemczech musi uzyskać ogólny

nie dopuszczenie nadzoru budowlanego (abZ), a w Europie ETA (European Technical Approval). W przeciwnym razie należy uzyskać dopuszczenie każdorazowo

8.4.2 Rodzaje szkła do gięcia

Gięciu można poddawać wszystkie rodzaje szkła budowlanego. Dla szkieł powlekanych występują jednak pewne ograniczenia. Należy przy tym zawsze odpowiednio wcześniej dopasować do siebie pojedyncze parametry takie, jak promienie i formy gięcia oraz grubości szkła i rodzaje powłoki. Szkła gięte to specjalne produkty o wysokim zaawansowaniu technologicznym i dlatego już na wczesnym etapie planowania wymagają one starannego przygotowania i uzgodnienia z wszystkimi zainteresowanymi stronami. Poza już wymienionymi rodzajami szkła, szkłem odprężonym, półhartowanym i hartowanym, można produkować również gięte szkło laminowane oraz szyby zespolone na bazie szkła giętego. Montaż dwóch ostatnich z wymienionych typów szkła giętego należy przeprowadzać uwzględniając zaostrzone kryteria. Należy również wziąć pod uwagę, że szkła płaskie i gięte zainstalowa-

8.4.3 Rodzaje gięcia

W przypadku szkieł giętych różni się przeszklenia lekko wygięte z promieniem krzywizny wynoszącym ponad dwa metry i mocno wygięte z mniejszym promieniem krzywizny. Ponadto

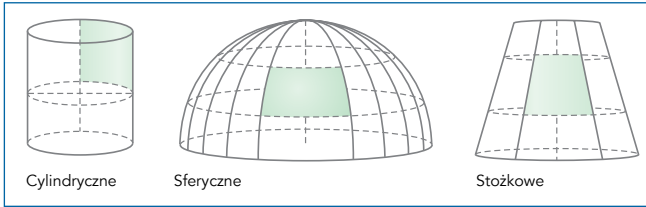
przed budową. Obecnie brak jest bardziej szczegółowych norm dla szkieł giętych, jednakże za każdym razem należy udokumentować ich pełną przydatność do użycia.

nie obok siebie mogą różnić się charakterystyką odbicia, będą więc tworzyć inny efekt optyczny. Zaleca się wykonanie pełnowymiarowej makiety. Również możliwości dekoracyjne powierzchni szklanych wymienione w punkcie 8.3 mogą znaleźć zastosowanie – z pewnymi ograniczeniami w zależności od ugięcia.

Wszystkie szkła typu SunGuard® (Solar, High Performance, SuperNeutral HT) można poddawać procesowi gięcia, a ze szkła typu ClimaGuard® tylko wariant „T”. Oznaczenie „HT” lub „T” (np. SunGuard SuperNeutral HT lub ClimaGuard Premium T) wskazuje, że chodzi o wersję produktu, która musi zostać poddana obróbce cieplnej.

Informacje o ograniczeniach pojedynczych typów pod względem rodzaju gięcia i form gięcia uzyskują Państwo bezpośrednio w Dziale Doradztwa Technicznego **GUARDIAN**.

można je podzielić na szkła gięte cylindrycznie i sferycznie. Gięcia cylindryczne to gięcia wokół jednej osi, gięciem sferycznym nazywa się gięcie wokół dwóch osi.



Rodzaje gięcia

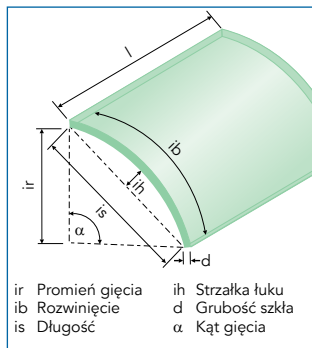
Szkło float może być gięte z wykorzystaniem wszystkich tych metod. Dla bezpiecznego szkła hartowanego ze względu na technologię produkcji stosuje się gięcie cylindryczne. Również w przypadku szkielez z powłokami zaleca się ten rodzaj gięcia, ponieważ proces produkcji jest krótki i tym samym bezpieczny dla powłok. Gięcia sferyczne i stożkowe wymagają

długich czasów produkcyjnych i dlatego często trudniej je realizować ze szklami powlekany. Odnośnie najmniejszych możliwych promieni gięcia obowiązuje następująca reguła: dla szkielez o grubości < 10 mm promień do około 100 mm, a dla szkielez o grubości > 10 mm około 300 mm. Szczegóły dotyczące gięcia szkielez można uzyskać bezpośrednio u producenta szkielez giętego.

8.4.4 Określenie kształtu szkielez giętego

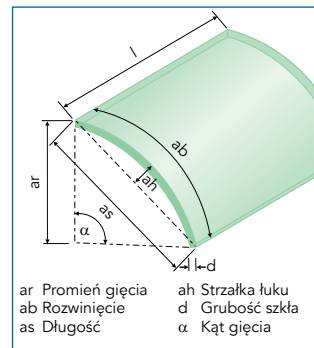
Do określenia kształtu szkielez giętego potrzebne są dokładne dane wymiarowe. Należą do nich poza grubością szkielez i wysokością szyby, względnie szerokością zabudowy, także co najmniej dwie z pięciu wielkości zdefiniowanych

na poniższym rysunku. Należy przy tym zawsze zwrócić uwagę na to, że z wyjątkiem kąta rozwarcia wszystkie dane odnoszą się do tej samej powierzchni (wkłęśła = wewnątrz, wypukła = zewnątrz).



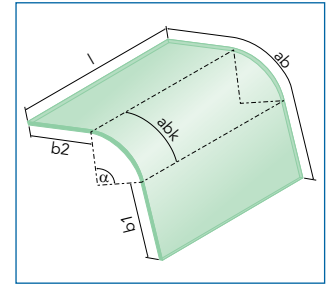
ir Promień gięcia
ib Rozwinięcie
is Długość
ih Strzałka łuku
d Grubość szkielez
alpha Kąt gięcia

Wymiary wewnętrzne



ar Promień gięcia
ab Rozwinięcie
as Długość
ah Strzałka łuku
d Grubość szkielez
alpha Kąt gięcia

Wymiary zewnętrzne



Łuk z prostoliniowymi przedłużeniami

Standardowe gięcie to wersja cylindryczna, do której odnoszą się również te definicje. Wszystkie pozostałe formy geometryczne, jak gięcia sferyczne, trzeba zwrócić uwagę na podstawie dokładnego rysunku w taki sposób, żeby dało się jednoznacznie określić kształt i wielkość. Trzeba chociażby odrębnie przedstawić przedłużenie form cylindrycznych (b1, b2).

8.4.5 Wyjątki

Wobec szkielez giętych przyjmuje się tolerancje i poniższe założenia techniczne dla poszczególnych

form gięcia, których należy bezwzględnie przestrzegać.

8.4.5.1 Miejscowe uskoki

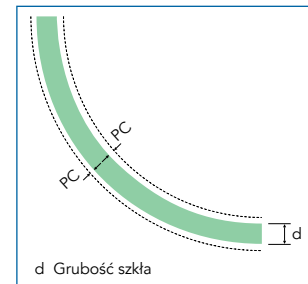
W przypadku giętego szkielez hartowanego i półhartowanego miejscowe uskoki mogą odbiegać od parametrów obowiązujących dla szkielez płaskich, ponieważ geome-

tria szkielez, jego wielkość i grubość mogą mieć na nie większy wpływ niż w przypadku wersji płaskiej. W każdym przypadku należy je wcześniej uzgodnić z producentem.

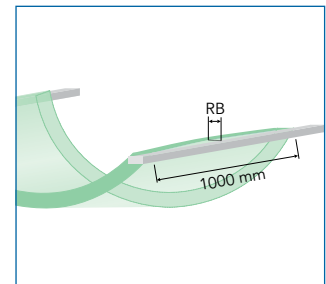
8.4.5.2 Zachowanie konturu

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 szkielez.



Zachowanie konturu (PC)

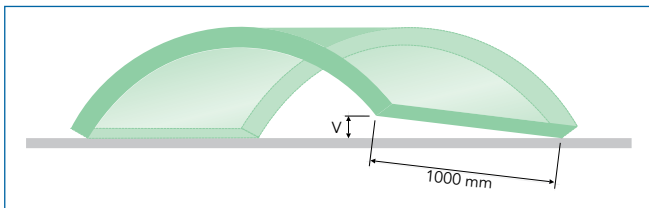


Prostoliniowość krawędzi (RB)

8.4.5.3 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.

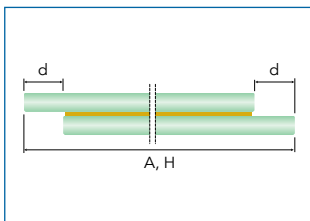


Wichrowatość (V)

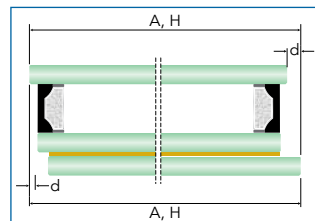
8.4.5.4 Przesunięcie krawędzi

Inaczej niż w przypadku parametów płaskich szkła laminowanego i szyb zespolonych, przesunięcie krawędzi w wersjach

giętych może wzrosnąć. Dlatego też wskazane jest wcześniejsze uzgodnienie wielkości możliwego przesunięcia z producentem.



Przesunięcie krawędzi w szkła laminowanym (VSG) (d)

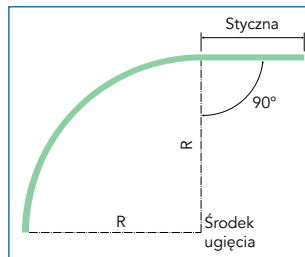


Przesunięcie krawędzi w szybach zespolonych (d)

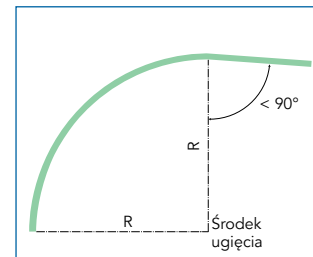
8.4.5.5 Przejścia stycznej

Styczna to linia prosta, która rozpoczyna się na zaokrągleniu w określonym punkcie. Rozpoczyna się ona prostopadle do promienia gięcia zaokrąglenia. Bez przejścia stycznej w tym miej-

scu pojawi się załamanie, które w szkła jest co prawda możliwe, ale nie zalecane. W punkcie załamania powstają z reguły wyższe tolerancje niż przy przejściach stycznej.



Łuk z przejściem po stycznej



Łuk bez przejścia po stycznej

8.4.6 Statyka szkła giętego

Zasadniczo odkształcenie i naprężenie giętego przeszklenia można obliczyć z zastosowaniem modeli metody elementów skończonych. Krzywizna może przy tym w zależności od warunków mocowania szkła monolitycznych oddziaływać pozytywnie, czyli w kierunku cieńszych szkła. W przypadku szyb zespolonych efekt ten występuje w mniejszym

stopniu, ponieważ krzywizna szkła podwyższa sztywność zginania, a tym samym mogą zadziałać niezwykle wysokie obciążenia klimatyczne. Należy na to zwrócić szczególną uwagę, gdy elementy posiadają przedłużenie styczne przy zagięciu. Konsekwencją mogą być szersze połączenia krawędziowe, które później mają wpływ na montaż szkła.



8.5 Specjalne zastosowania szkła

Dzięki rozwojowi technologii i architektury szkła budowlane znajduje zastosowanie na szeroka skalę. Nawet obiekty wymagające spełnienia najwyższych standardów bezpieczeństwa są

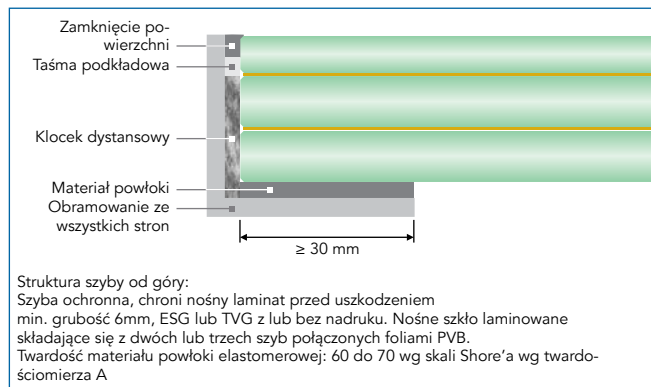
dzisiaj realizowane z zastosowaniem konstrukcji ze szkła. Poniżej znajduje się krótki przegląd specjalnych zastosowań szkła w budownictwie.

8.5.1 Przeszklenia, po których można chodzić

Przeszklenia, po których można chodzić, to poziome powierzchnie szklane, które są wystawione na regularny ruch osób i towarów. Należy je odróżnić od przeszkleń, na które można wchodzić, a które służą jedynie do chwilowego wchodzenia w celu wyczyszczenia bądź przeprowadzenia konserwacji.

Struktura szkielek, po których można chodzić, składa się zasadniczo ze szkła laminowanego bezpiecznego z dodatkową górną szybą ochronną. Ta szyba ochronna w zespoleniu musi być wykonana ze szkła hartowanego lub półhartowanego o grubości co najmniej 6 mm. Nie jest ona uwzględniana w obliczeniach statycznych i często posiada trwałą powłokę antypoślizgową. Według niemieckich wytycznych dotyczących

szkielek mocowanych liniowo TRLV, szyba taka musi być wykonana ze szkła hartowanego lub półhartowanego o grubości co najmniej 10 mm. Znajdujące się pod nią szkło laminowane bezpieczne, składające się z przynajmniej 2 szyb o grubości 12 mm, daje nośność statyczną, i w zależności od wymagań i wersji może być znacznie grubsze i składać się z większej liczby szyb. Najczęściej stosuje się przy tym szyby ze szkła float z przekładkami z folii PVB o grubości 1,52 mm. Podstawą dla montażu przeszkleń, po których można chodzić, są absolutnie sztywne konstrukcje, materiał podkładowy z elastomeru o twardości wg skali Shore'a 60 – 70 wg twardościomierza A oraz podpory o szerokości co najmniej 30 mm.



Zalecenia dla przeszklenia

8.5.2 Przeszklenia w szybach dźwigowych

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 mogą do tego dojść inne przepisy krajowe, jak na przykład prawo budowlane poszczególnych krajów. Od ścian szybu dźwigowego wymaga się stateczności dla siły działającej 300 N na powierzchnię 5 cm². Stałe ściany kabiny wyciągo-

wej, 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 utrzymywana 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.



8.5.3 Szkła elektrochromatyczne

Nowym osiągnięciem ostatnich lat są szkła elektrochromatyczne. Specjalna powłoka magnetronowa jest zaprojektowana tak, aby zmieniać przepuszczalność energii słonecznej w chwili włączenia napięcia elektrycznego. W ten sposób można dostosowywać wartość współczynnika g przeszklenia w zależności od pory roku czy pogody (ochrona przeciwsłoneczna w lecie → rozdział 5.5).

Dzisiaj wartość g takich szkieł zintegrowanych w strukturze zestawów dwuszybowych wynosi około 35 % bez napięcia elektrycznego i maksymalnie 6 % po podłączeniu prądu. Naturalnie zmienia się również przepuszczalność światła. Ta dziedzina będzie się z pewnością nadal rozwijać w najbliższych latach, co stworzy jeszcze szersze możliwości zastosowania szkła w fasadach.

W sprawie zapytań projektowych tego rodzaju proszę zwracać się bezpośrednio do Działu Technicznego firmy **GUARDIAN**.

8.5.4 Szkła tłumiące pole elektromagnetyczne

Podstawą nowoczesnej komunikacji bezprzewodowej są fale elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości, ale również przewody wysokiego napięcia, elektryczne urządzenia gospodarstwa domowego oraz narzędzia emitujące pole elektryczne i magnetyczne niskiej częstotliwości. Dlatego coraz częściej powstaje konieczność redukcowania tego nieuniknionego, ale często niepożądanego promieniowania w określonych częściach budyn-



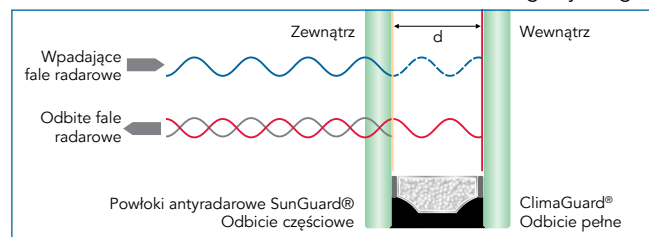
ków. Mogą to być na przykład pomieszczenia z wykluczoną możliwością podsłuchu w strefach o najwyższym znaczeniu dla bezpieczeństwa, aż po pełne wyekranowanie, lub też bezpośrednie otoczenie lotniska w celu zredukowania pól tak, aby unikać interferencji i błędów sygnałowych w komunikacji radarowej z samolotami.

Fale elektromagnetyczne są podobnie jak fale akustyczne

oceniane według skali logarytmicznej, co oznacza, że nawet niewielkie wytłumienie pozwala uzyskać znaczącą redukcję pola. Obowiązują następujące wartości:

Wytłumienie [dB]	Redukcja [%]
5	ca. 38
10	ca. 90
15	ca. 97
20	ca. 99

Szczególnie przy wymaganej redukcji niezamierzonego odbicia promieni radarowych od fasad szklanych wytłumienie to można osiągnąć poprzez zastosowanie różnych specjalnych powłok na szkło zewnętrzny i wewnętrzny. Zastosowanie odpowiednio zdefiniowanego odstępu w przestrzeni międzyszybowej prowadzi do przesunięć fazowych, które skutkują mniejszym lub większym wyeliminowaniem odbicia promieniowania elektromagnetycznego.



Zachowanie fal radarowych na szybie zespolonej z ochroną przeciwsłoneczną

GUARDIAN oferuje paletę szkieł przeciwsłonecznych SunGuard® ze specjalnymi powłokami, które posiadają właściwości tłumiące odbicie promieni radarowych w określonych konstrukcjach ze szkła.

Szczególnie w budownictwie mieszkaniowym szkła termoizolacyjne typu ClimaGuard® Premium lub ClimaGuard 1.0 oraz szkła przeciwsłoneczne typu SunGuard® High Performance lub SunGuard® SuperNeutral z opornością powierzchniową powłoki wynoszącą < 5 omów oferują dobre tłumienie promieniowania wysokiej częstotliwości, czyli tak zwanego „elektrosmogu”. Możliwe jest uzyskanie wartości do prawie 30 dB, co odpowiada redukcji o 99,9%.

Dla przeszklenia składającego się z trzech warstw z dwiema powłokami ciepłochronnymi uzyskano efekt wytłumienia promieniowania o wysokiej częstotliwości wynoszący ok. 42 dB dla 900 MHz (telefonia komórkowa GSM 900) i ok. 47 dB w zakresie 1900 MHz (telefonia komórkowa GSM 1800, DECT, UMTS). W przeciwieństwie do tego proste podwójne przeszklenie posiadające wyłącznie warstwę ciepłochronną osiąga efekt wytłumienia promieniowania wysokiej częstotliwości wynoszący ok. 32 dB dla 900 MHz i ok. 28 dB dla 1900 MHz. Należy przy tym zauważyć, że dopiero rozwiązanie systemowe w zamkniętym oknie, przykładowo z ramą i słupkami wzmocnionymi stalą oraz

z uziemieniem systemu, stanowią skuteczną ochronę przed elektrosmogiem z zewnątrz.

Dalsze informacje uzyskają Państwo kontaktując się bezpośrednio z Działem Doradztwa Technicznego firmy **GUARDIAN**.

Konstrukcje ze szkła z tymi specjalnymi powłokami i odpowiednim wykończeniem krawędzi mogą dzisiaj pełnić swoją funkcję w przejrzystych fasadach. Nie ma jednak w tym zakresie żadnej określonej palety produktów, lecz za każdym razem potrzebna jest wcześniej zdefiniowana, indywidualna kombinacja szkła, która kieruje się następującymi wymogami:

8.5.5 Szkła antyrefleksyjne

Mimo wysokiej przejrzystości nowoczesnych przeszkleń, przezierność w zależności od kąta patrzenia i padania światła z reguły jest zakłócona przez odbicie światła padającego z jaśniejszego otoczenia do ciemniejszego wnętrza. Szczególnie w przypadku witrzyn sklepowych obniża to możliwość oglądania obiektów za przeszkleniem w wyniku refleksów i odbicia lustrzanego. Można temu zaradzić, stosując nowo opracowaną powłokę firmy **GUARDIAN**, która naniesiona na obydwie powierzchnie szkła, redukuje stopień odbicia przeszkleń do poziomu poniżej 1 % w przypadku szyby pojedynczej. To niemalże całkowicie eliminuje odbicie. Ten wariant przeszkleń nadaje się szczególnie do:

- Co i gdzie dokładnie należy wyekranować?
- Jakie zakresy częstotliwości i jakiej wysokości należy wytłumić?
- Jakie parametry brzegowe szkło-okno, okno-mur należy zrealizować?
- Jakie dalsze funkcje musi spełnić szkło, np. izolacja cieplna, ochrona przed hałasem, ochrona przeciwsłoneczna, etc.?

Z tego powodu przeszkleń tłumiące pole elektromagnetyczne zawsze należy rozumieć jako element ze szkła odnoszący się do konkretnego obiektu, a jego definicję trzeba ustalić zawsze przed rozpoczęciem planowania.

- ekspozycji produktów w witrzynach
- przeszklonych otworów w pomieszczeniach kontrolnych i na tarasach dla odwiedzających
- gablot wystawowych i szyb chroniących obiekty w muzeach
- przeszkleń działowych na stacjach
- wewnętrznych ścianek działowych w szpitalach i tzw. clean room'ach
- ogrodów zoologicznych i akwariów
- przeszkleń ochronnych dla drogowych i tablic informacyjnych.

Należy zwrócić uwagę na to, że efekt ten uzyskuje się w przeszkleń z szyb zespolonych tylko wówczas, gdy wszystkie powierzchnie szklane zamonto-

wane w systemie posiadają taką powłokę. Oczywiście tę nową powłokę można łączyć z innymi oraz hartować. Dalsze informacje w → rozdział 10.



IQ Building (The Tieto Tower), Ostrava, Czechy
SunGuard® SN 70/37
Václav Hlaváček, architekt Studia Acht