

PĘKANIE SZKŁA

w dwukomorowych
szybach zespolonych
o WYSOKIEJ TERMOIZOLACYJNOŚCI

tekst:

EKKEHARD WAGNER

AUTOR KSIĄŻKI: „GLASSCHÄDEN:
OBERFLÄCHENBESCHÄDIGUNGEN,
GLASBRÜCHE IN THEORIE UND PRAXIS“

MATERIAŁ UDOSTĘPNIONY PRZEZ
GRUPĘ

SANCO®

WCIAŻ ROSNĄCE ZAPOTRZEBOWANIE NA DWUKOMOROWE SZYBY ZESPOLONE O JESZCZE LEPSZEJ IZOLACYJNOŚCI, JEDNOCZEŚNIE OFEROWANE PO JAK NAJNIŻSZYCH CENACH, PROWADZI DO TEGO, ŻE WPROWADZA SIĘ NA RYNEK SZYBY O SZEROKICH RAMKACH MIĘDZYSZYBOWYCH, TAK ABY OSIĄGNAĆ MOŻLIWIE JAK NAJNIŻSZY WSPÓŁCZYNNIK U_g .

TABELA 1

PRZYKŁADOWE WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA U W ZALEŻNOŚCI OD ZASTOSOWANEGO GAZU ORAZ SZEROKOŚCI RAMKI

SZYBA ZESPOLONA	Ramka	Wypełnienie gazem 90%	Współczynnik U_g , W/m ² K PN EN 673	Wartość g	Transmisja światła %
SZYBA ZESPOLONA 2-KOM.	2 x 10 mm	Argon	0,8	0,53	74
SZYBA ZESPOLONA 2-KOM.	2 x 12 mm	Argon	0,7	0,53	74
SZYBA ZESPOLONA 2-KOM.	2 x 14 mm	Argon	0,6	0,53	74
SZYBA ZESPOLONA 2-KOM.	2 x 18 mm	Argon	0,5	0,53	74
SZYBA ZESPOLONA 2-KOM.	2 x 8 mm	Krypton	0,7	0,53	74
SZYBA ZESPOLONA 2-KOM.	2 x 10 mm	Krypton	0,6	0,53	74
SZYBA ZESPOLONA 2-KOM.	2 x 12 mm	Krypton	0,5	0,53	74

→ **Efekt podwójnej szyby**

Ponieważ przestrzeń międzyszybowa w termoizolacyjnej szybie zespolonej jest hermetycznie zamknięta i odizolowana od otaczającego ją powietrza, obowiązują tutaj prawa fizyczne wzajemnego oddziaływania gazów. Oznacza to, że w przestrzeni międzyszybowej nie ma możliwości na wyrównanie ciśnienia z otoczeniem. Warunki temperatury oraz ciśnienie panujące w danym dniu produkcji szyby zespolonej zostają w niej trwale zamknięte. Jeśli więc dochodzi do jakichkolwiek zmiany temperatury lub ciśnienia atmosferycznego, to powoduje to wzajemną zmianę położenia szyb. Dochodzi do ugięcia szyb na zewnątrz lub do wewnątrz, szyba zespolona wybrzusza się (robi się wypukła) lub zachodzi do środka (robi się wklęsła), podobnie jak następuje to w przypadku barometru. W wypadku braku szczelności, podczas zmian ciśnienia atmosferycznego znajdującego się wokół szyby zespolonej, powietrze dostawiałoby się do środka szyby zespolonej i w wyniku tego doszłoby w ciągu kilku tygodni, względnie miesięcy, do wyroszenia wilgoci wewnątrz przestrzeni międzyszybowej. Fizyczna prawidłowość związana z powstawaniem takich deformacji szyb w szybie zespolonej jest nazywana "efektem podwójnej szyby" lub "efektem szyby zespolonej". W wielu publikacjach zjawisko to i związane z nią problemy były niejednokrotnie opisywane (patrz bibliografia). Na efekt podwójnej szyby zasadniczo wpływają 3 różne zjawiska fizyczne:

- ▶ zmiany temperatury (lato – zima i odwrotnie),
- ▶ zmiany ciśnienia powietrza (ciśnienie wysokie lub niskie),
- ▶ montaż szyby zespolonej na innej wysokości niż miejsce, w którym została ona wyprodukowana.

Dodatkowo do wyżej wspomnianych parametrów, na które nie mamy wpływu, dochodzą inne wielkości, które jeszcze dodatkowo negatywnie wpływają na szybę zespoloną. Są to:

- ▶ bardzo szeroka przestrzeń międzyszybowa,
- ▶ szyby o małych wymiarach,
- ▶ niekorzystny stosunek boków,
- ▶ zespalane szyby o różnych grubościach.

Poniżej bardziej szczegółowo wyjaśniam te wielkości, ponieważ ich wzajemne oddziaływanie w wielu przypadkach prowadzi do tak silnych zmian ciśnienia w przestrzeni międzyszybowej (nadcisnienie lub podcisnienie), że powstające w wyniku tego naprężenia powodują pęknięcie szkła.

Zmiany temperatury

Temperatury panujące w nowoczesnych halach podczas produkcji szyb zespolonych podlegają, jak wszystkie inne hale produkcyjne, nie tylko zwykłym zmianom temperatury w dniu produkcji, lecz przede wszystkim letnim i zimowym zmianom temperatury. W zależności od miejscowości, w której odbywa się produkcja, oraz rodzaju samej hali produkcyjnej, temperatura w hali zimą może spadać do około 15°C, zaś latem wzrastać do 26°C. Ekstremalne temperatury w naszych szerokościach geograficznych, w zależności od miejscowości, mogą się wahać od -25°C zimą do około 42°C latem. W związku ze zjawiskiem ocieplania się Ziemi przewiduje się, że w ciągu następnych 30 lat w Europie temperatury wzrosną nawet do ok. 50°C. Gaz, który w takim przypadku jest ogrzewany, zwiększa swoją objętość, zaś podczas schładzania ponownie będzie się kurczył. Dotyczy to również gazów zamkniętych w przestrzeni międzyszybowej, takich jak powietrze, argon czy krypton. I tak między innymi zmiana temperatury o 1°C powoduje zmianę objętości o 1/273. Przy zmianie temperatury o 27°C oznacza to zmianę objętości gazu o 10%. Szyba zespolona o powierzchni 1 m² z ramką 16 mm (odpowiada to ok. 16 litrom gazu w przestrzeni międzyszybowej) musiałaby w tej sytuacji zwiększyć szerokość ramki o 1,6 mm, aby pomieścić dodatkową

objętość gazu. Jeśli jednak rozpatrujemy szybę zespoloną dwukomorową z ramką 2 x 18 mm, co daje w sumie = 36 mm przestrzeni międzyszybowej, to w tym przypadku oznaczałoby już zmianę na całej powierzchni o 3,6 mm. Ponieważ szyby mogą odkształcać się tylko w części środkowej, nie zaś w części brzegowej szyby zespolonej, środek szyby musi wygiąć się albo na zewnątrz (powstaje wypukłość) lub do wewnątrz (powstaje wklęsłość).

Zmiany ciśnienia

Wartość ciśnienia atmosferycznego na danej wysokości nad poziomem morza odpowiada wielkości ciężaru, jaki ma słup powietrza znajdujący się powyżej tego poziomu. Wiatr oraz pogoda zmieniają ciśnienie powietrza praktycznie z godziny na godzinę. W normalnych warunkach wahania ciśnienia wynoszą średnio najniższe od 980 do średnio najwyższe 1040 hPa (1hektopaskal = 1 milibar). Przy każdym ciśnieniu podanym w tym zakresie produkowane są szyby zespolone, ponieważ codzienna produkcja jest oczywiście niezależna od pory roku i sytuacji pogodowej. Określone ciśnienie panujące na miejscu produkcji jest zamykane w przestrzeni międzyszybowej. Dlatego przy możliwych różnicach ciśnienia dochodzącego do ±60 hPa, które to różnice działają na zewnętrzną szybę w szybie zespolonej, powoduje to, że przy niższym ciśnieniu panującym w przestrzeni międzyszybowej zewnętrzne wyższe ciśnienie atmosferyczne wygina szybę do wnętrza (szyba zespolona robi się wklęsła) i analogicznie przy wysokim ciśnieniu w przestrzeni międzyszybowej i niższym ciśnieniu atmosferycznym w jej otoczeniu szyba wybrzuszy się na zewnątrz (szyba zespolona robi się wypukła).

Zmiana barometrycznego ciśnienia atmosferycznego przez pogodę nie jest jedyną zmianą ciśnienia, która może oddziaływać na szyb zespoloną. Także wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. raptownie zaczyna spadać ciśnienie powietrza, ponieważ redukuje się wysokość słupa powietrza, a przez to znacznie zmniejsza się ciśnienie działające na dane ciało. Jeśli więc szyba zespolona będzie montowana na dużej wysokości, spowoduje to wysoki wzrost ciśnienia wewnętrznego w przestrzeni międzyszybowej. W związku z tym należy zadbać o właściwe wyrównanie powstałej różnicy ciśnień. W przeciwnym wypadku wraz ze wzrostem wysokości może dojść do pęknięcia szkła. Zasadniczo producenci szyb zespolonych zalecają już przy różnicy wysokości pomiędzy miejscem produkcji a miejscem montażu wynoszącym ok. 300 m zastosowanie odpowiedniej metody na wyrównanie ciśnienia, tak aby uniknąć długotrwałych naprężeń działających na szybę. Zasada ta obowiązuje również w odwrotnej sytuacji, produkcji na dużej wysokości n.p.m. i montażu na niższych wysokościach. Zależności te zostały opublikowane w roku 1985 przez H. Brooka [2]. W szybach zespolonych zamontowanych na wysokościach, które znacząco znajdują się znacząco wyżej niż 300 m powyżej miejsca ich produkcji, przy dłuższym czasie eksploatacji bardzo często dochodzi do pęknięcia.

Przedstawione sytuacje można bezproblemowo przenieść na szyb zespoloną dwukomorową, która fizycznie reaguje w taki sam sposób.

Szeroka przestrzeń międzyszybowa

Wraz ze wzrostem szerokości przestrzeni międzyszybowej (szerokości ramki) rośnie objętość gazu zamkniętego w tej przestrzeni. W szybach zespolonych jednokomorowych stosuje się z reguły ramki o szerokościach 12–20 mm. W przypadku szyb dwukomorowych można dodawać do siebie obie zastosowane szerokości ramek i uzyskać w ten sposób w odniesieniu do obciążenia szkieł całkowitą szerokość przestrzeni międzyszybowej (przykładowo 2 x 18 mm = 36 mm). Dla dwóch np. ramek 2 x 18 mm i wymiaru szyby 1 m² obie przestrzenie międzyszybowe sumują się, dając 36 litrów gazu. Każda zmiana ciśnienia oraz temperatury w szybach o większej przestrzeni międzyszybowej (szerszych ramkach) ma zatem w rezultacie także znacznie większy wpływ. Do tego dochodzi dodatkowo fakt nakładania się na siebie różnych czynników (temperatura, ciśnienie, różnice wysokości itp.) mających znacznie bardziej negatywny wpływ na szyby zespolone z szerszymi ramkami międzyszybowymi. Panująca w chwili obecnej tendencja do uzyskiwania możliwie najniższego współczynnika U_g w szybach dwukomorowych przy zastosowaniu korzystnego kosztowo argonu zamiast znacznie droższego wypełniania przestrzeni międzyszybowej kryptonem, prowadzi do stosowania w produkcji bardzo szerokich ramek rzędu 2 x 18-20 mm.

W tym przypadku dramatycznie wzrasta obciążenie szyb w stosunku do zwykłej szyby jednokomorowej zbudowanej tylko na ramce 15 mm. Dlatego wraz ze wzrostem szerokości ramek i przestrzeni międzyszybowej wzrasta znacząco obciążenie szyb oraz dodatkowo także części brzegowej szyby zespolonej.

Wymiary szyb i stosunek krawędzi w szybie zespolonej

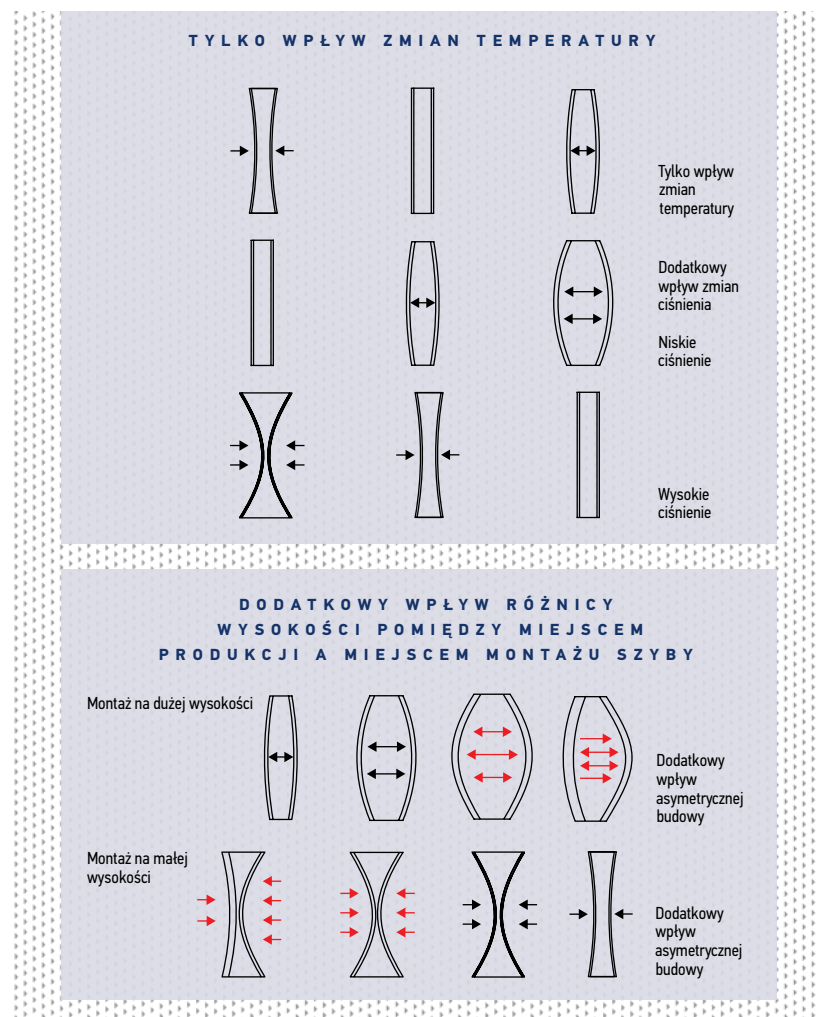
W szybach zespolonych, w których krótsze krawędzie mają wymiary od około 200 mm do 700 mm oraz stosunek boków od 1:2 do 1:8 i więcej, powstające naprężenia rozciągające pod wpływem sił zginających stanowią wyjątkowo krytyczne obciążenie. Przy tak krótkich krawędziach szyb, w kontekście ich wytrzymałości na zginanie, nie mają one odpowiedniej możliwości, aby swobodnie ulec wybrzuszeniu, co z kolei powoduje nadmierny wzrost obciążenia ciśnieniem w przestrzeni międzyszybowej wywoływanego przez zmiany temperatury i zmiany ciśnienia atmosferycznego. Nie należy przy tym lekceważyć obciążenia części brzegowej szyby zespolonej, ponieważ wzrost ciśnienia w przestrzeni międzyszybowej bez wątpienia prowadzi także do tego, że znacznie większe siły działają na brzegach szyby. Może to doprowadzić od zwiększenia przenikania pary wodnej do wnętrza szyby, aż nawet do zerwania przyczepności uszczelnienia. Bez względu należy w takich przypadkach unikać węższego uszczelnienia części brzegowej. Przy zwiększonym ciśnieniu w przestrzeni międzyszybowej głębokość uszczelnienia wtórnego powinna być nawet zwiększona. Różne badania wykazały, że najbardziej krytyczne wymiary szyb mają krótszą krawędź wynoszącą około 200 mm - 700 mm przy jednoczesnym stosunku krawędzi wynoszącym około 1:2 i większym. Niemiecka norma DIN 18008 potwierdza, że w szybach zespolonych jednokomorowych z krótszą krawędzią poniżej 600 mm oraz w dwukomorowych z krótszą krawędzią poniżej 700 mm występuje znaczne ryzyko pęknięcia szyby. Wraz ze wzrostem wielkości szyby powyżej ok. 1,5 m², zwłaszcza w formatkach kwadratowych, zmniejsza się zarówno obciążenie uszczelnienia krawędzi szyby, jak i samych powierzchni szyb, ponieważ mogą one reagować na zmiany ciśnienia za pomocą wgłębień i wybrzuszeń, a co przez to idzie mogą w znacznie większym zakresie kompensować zmiany ciśnienia. Działające wtedy na szkło naprężenia rozciągające są dzięki temu niewielkie.

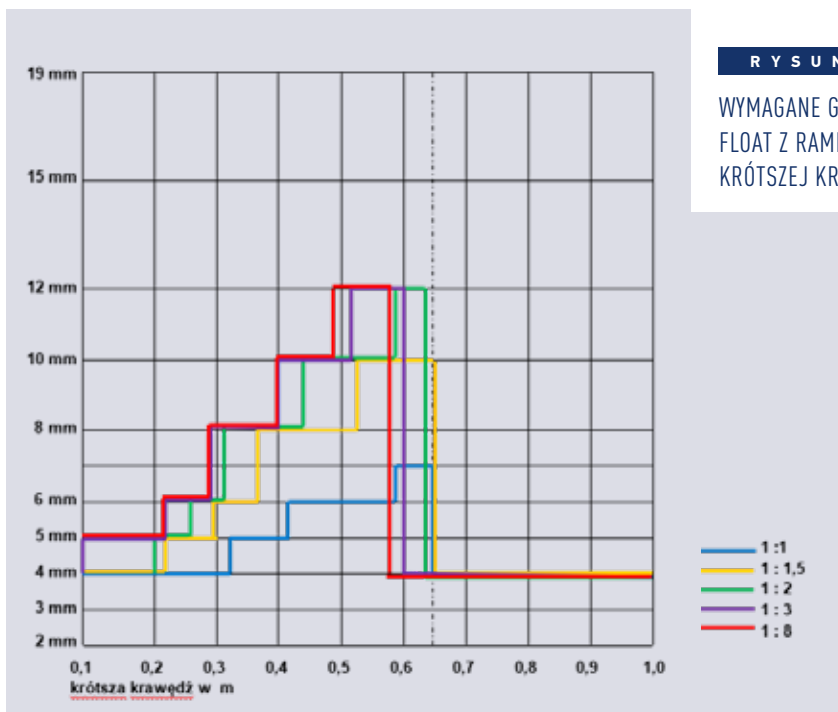
Różne grubości szyb

W szybie zespolonej zbudowanej z dwóch szyb o takiej samej grubości obie będą przeciwdziałały takim samym obciążeniom. Występujące naprężenia będą identycznie dzielone na obie szyby. Jeśli teraz, np. co szczególnie często występuje w przypadku szyb zespolonych dźwiękochłonnych, jedna z szyb będzie znacznie grubsza od drugiej, to nie oznacza to tylko, że ta grubsza szyba będzie w stanie, aż do pęknięcia, wytrzymać znacznie

RYSUNEK 1

SCHEMATYCZNE PRZEDSTAWIENIE UGIĘĆ POWSTAJĄCYCH POD WPLYWEM RÓŻNYCH NAKŁADAJĄCYCH SIĘ NA SIEBIE PRZYCZYNN NA PRZYKŁADZIE JEDNOKOMOROWEJ SZYBY ZESPOLONEJ.





RYSUNEK 2

WYMAGANE GRUBOŚCI SZKŁA OBU ZEWNĘTRZNYCH SZYB FLOAT Z RAMKAMI 2 X 18 MM W ZALEŻNOŚCI OD DŁUGOŚCI KRÓTSZEJ KRAWĘDZI I STOSUNKU BOKÓW SZYBY

znaleźć się także szyby o małych wymiarach, które często mają identyczną budowę jak szyby o przewidzianych dużych formatach. Niemniej rozsądnym rozwiązaniem wydaje się, aby powstające w danym projekcie obciążenia zminimalizować za pomocą odpowiednich działań i środków, tak aby ryzyko pęknięcia szyb utrzymywać na możliwie niskim poziomie i tym samym zwiększyć okres użytkowania szyb zespolonych. W tym przypadku stosowanie węższych ramek z wypełnieniem kryptonem jest często prostym, choć nie zawsze najtańszym rozwiązaniem, ale pozwalającym z drugiej strony uniknąć kosztownego stłuczenia szkła. Poniższa tabela 2 zawiera przegląd występujących obciążeń, ich przyczynę i skutki, oraz wskazuje przykładowe działania, które należy wprowadzić, aby je w znacznym stopniu zredukować, a nawet ich uniknąć.

Zasadniczo jednak dwukomorowe szyby zespolone zbudowane ze szkła float 3 x 4 mm na ramkach od 2 x 14 mm lub szerszych z krótszą krawędzią poniżej 700 mm będą zawsze silnie narażone na pęknięcie. O ile oczywiście nie można zmienić wymiaru szyby, konieczne staje się zastosowanie albo szkła hartowanego, albo węższych ramek z wypełnieniem przestrzeni międzyszybowej kryptonem przy zachowaniu tego samego współczynnika U_g , o ile nie można uniknąć zastosowania szyby dwukomorowej o krótszej krawędzi poniżej 700 mm. W przypadku szyb zespolonych z grubszym, niehartowanym szkłem z ramkami o tej samej szerokości należy unikać krótszych krawędzi mniejszych niż 900 mm ze względu na zwiększony poziom naprężeń. Dzięki temu można spać spokojnie nawet podczas wysokich temperatur i ciśnieniu - bez strachu że jakaś szyba, nagle i pożegna się z nami nieoczekiwanym „hukiem”!

wyższe naprężenia. Właśnie w związku z jej większą wytrzymałością na zginanie cieńsza szyba będzie musiała przejąć znacznie większe obciążenia i w znacznie większym stopniu odkształcić się. W takich przypadkach przy nadmiernym obciążeniu zawsze dojdzie do uszkodzenia cieńszej szyby – natychmiastowego pęknięcia! Trzeba z drugiej strony też pamiętać, że jeśli grubości szyb zostaną zwiększone, to wzrasta też ich sztywność i odporność na zginanie. A to z kolei wiąże się ze wzrostem ciśnienia wewnątrz przestrzeni międzyszybowej, które powoduje zwiększone obciążenia części brzegowej szyby zespolonej, ale także prowadzi do powstania większych naprężeń w samych szybach.

Proponowane rozwiązania

W przypadku niekorzystnego jednoczesnego wystąpienia opisanych powyżej zmiennych, takich jak dwie szerokie ramki w szybie zespolonej, różne grubości szkła, szyba zespolona dwukomorowa z krótszą krawędzią poniżej 700 mm, różnice wysokości pomiędzy miejscem produkcji a miejscem montażu szyby, bardzo duże różnice ciśnienia powietrza i temperatury itp., bez wątpienia przy zastosowaniu szyb float 3 x 4 mm szybko dojdzie do pęknięcia szyby. Często jednak do pęknięcia wystarczy już wpływ temperatury i ciśnienia w przypadku stosowania szyby zespolonej zbudowanej z szyb 3 x 4 mm, na dwóch ramkach 2 x 18 mm krótszą krawędzią poniżej 700 mm oraz przy niekorzystnym stosunku boków od 1:2. Ze względu na bardzo charakterystyczny sposób powstawania tego typu spekań na szkłe, są one najczęściej jednoznaczne, łatwe do rozpoznania i opisanie, ale nie zmieniają niczego w statycznych przeciążeniach szyb zewnętrznych.

Aby uniknąć pęknięcia w przypadku szkła niehartowanego, można zasadniczo albo znacznie zwiększyć grubość szkła powyżej 4 mm, albo zastosować szkło półhartowane TVG lub hartowane ESG. Dzięki hartowaniu szyba może bez pęknięcia absorbować znacznie wyższe obciążenia powierzchniowe. Oznacza to jednak również,

że w przestrzeni międzyszybowej będą powstawać wyższe ciśnienia, a w konsekwencji wzrosną obciążenia części brzegowej szyby zespolonej. W rezultacie w skrajnych przypadkach można znacznie zmniejszyć jej trwałość. Można temu przeciwdziałać, zwiększając wysokość uszczelnienia powyżej ramki, co jednak w praktyce nie jest szczególnie pożądane. Najprostszym sposobem na zmniejszenie obciążeń klimatycznych powodowanych przez temperaturę i zmiany ciśnienia jest stosowanie szyb zespolonych o większych wymiarach, ponieważ są one w stanie bardzo łatwo przeciwdziałać powstającym w przestrzeni międzyszybowej zmianom ciśnienia poprzez powstawanie wgłębień i wybrzuszeń szyb, a tym samym utrzymywać obciążenia działające na szyby oraz na część brzegową na niskim poziomie. Zwykle jednak w każdym projekcie budowlanym muszą

TABELA 2

PRZEGLĄD RODZAJÓW OBCIĄŻEŃ W SZYBACH ZESPOLONYCH ORAZ SKUTKÓW ICH DZIAŁANIA

RODZAJ OBCIĄŻENIA	PRZYCZYNA	SKUTEK	JAK ZREDUKOWAĆ OBCIĄŻENIE/ RYZYKO PĘKNIĘCIA
CIŚNIENIE ATMOSFERYCZNE	Wysokie/niskie ciśnienie wynikające z warunków atmosferycznych	Wypukłe/wkłęśłe wygięcia, naprężenia w szkłe i w części brzegowej, pęknięcie szkła	Węższe ramki, szkło hartowane
TEMPERATURA	Wysokie/niskie temperatury	Wypukłe/wkłęśłe wygięcia, naprężenia w szkłe i w części brzegowej, pęknięcie szkła	Węższe ramki, ochrona przed promieniowaniem słonecznym, szkło hartowane
POŁOŻENIE N.P.M.	Wysokie/niskie ciśnienie atmosferyczne	Wypukłe/wkłęśłe wygięcia, naprężenia w szkłe i w części brzegowej, pęknięcie szkła	Węższe ramki, szkło hartowane, wyrównanie ciśnienia w przestrzeni międzyszybowej na miejscu montażu
SZEROKA RAMKA	Zmiana objętości gazu w przestrzeni międzyszybowej	Wypukłe/wkłęśłe wygięcia, naprężenia w szkłe i w części brzegowej, pęknięcie szkła	Węższe ramki, zwiększona grubość szkła, zwiększona ilość masy uszczelniającej, szkło hartowane
MAŁE WYMIARY SZYB	Sztywność zginania szkła	Naprężenia w szkłe i w części brzegowej, pęknięcie szkła	Zwiększona grubość szkła, węższe ramki, zwiększona ilość masy uszczelniającej, szkło hartowane
NIEKORZYSTNY STOSUNEK KRAWĘDZI >1:2	Sztywność zginania szkła	Wypukłe/wkłęśłe wygięcia, naprężenia w szkłe i w części brzegowej, pęknięcie szkła	Zmiana wymiarów szkła, zwiększona grubość szkła, węższe ramki, zwiększona ilość masy uszczelniającej, szkło hartowane
RÓŻNE GRUBOŚCI SZYB	Jednostronne obciążenie cieńszej szyby	Wypukłe/wkłęśłe wygięcia, pęknięcie szkła	Zwiększona grubość cieńszej szyby, węższe ramki, szkło hartowane