

City Green Court, Praga, Czechy
 SunGuard® SNX 60/28
 Richard Meier & Partners



3.	Terminologia szyb zespolonych	36
3.1	Informacje ogólne	36
3.2	Produkcja	36
3.3	Oddziaływanie termiczne	38
3.4	Połączenie krawędzi	39
3.4.1	Stal szlachetna	39
3.4.2	Połączenie metalu i tworzyw sztucznych	40
3.4.3	Systemy termoplastyczne (TPS)	40
3.5	Wartość U – Współczynnik przenikania ciepła	40
3.5.1	Wartość U_g	40
	<i>Wartość U_g szklanych powierzchni pochyłych</i>	
3.5.2	Wartość U_f	41
3.5.3	Wartość Ψ	41
3.5.4	Wartość U_w	42
3.6	Punkt rosy i kondensacja	43
3.6.1	Kondensacja w przestrzeni międzyszybowej	43
3.6.2	Kondensacja na powierzchni wewnętrznej	43
3.6.3	Kondensacja na powierzchni zewnętrznej	44
3.7	Wartość g	45
3.8	Współczynnik zacielenia b (Shading Coefficient)	45
3.9	Zyski solarne	45
3.10	Selektywność	46
3.11	Wskaźnik oddawania barw	46
3.12	Interferencja	46
3.13	Efekt szyby zespolonej	47

Na właściwości termoizolacyjne i przeciwsłoneczne nowoczesnych szyb zespolonych wpływa

3.1 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 skleja się ze sobą dwie lub więcej szyb o danym wymiarze z zachowaniem odstępu tak, by się licowały. Powstała w ten sposób hermetycznie zamknięta przestrzeń międzyszybowa, wypełniana jest gazem szlachetnym, cięższym od powietrza, który dodatkowo poprawia właściwości termoizolacyjne szyby. Nie panuje tam próżnia, jak często mylnie zakładają laicy, wytworzyłoby to bowiem podciśnienie w przestrzeni międzyszybowej.

Szerokość przestrzeni międzyszybowych uzależniona jest od rodzaju zastosowanego gazu

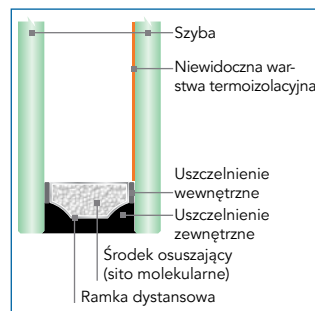
cały szereg czynników i praw fizyki.

szlachetnego. Najczęściej stosuje się argon, rzadziej krypton. Argon do osiągnięcia swojej optymalnej funkcji termoizolacyjnej 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 3.6). W ostatnich dziesięcioleciach standardowo stosowano ramkę dystansową z aluminium, obecnie coraz częściej jest ona zastępowana systemami o niższej przewodności cieplnej.

3.2 Produkcja

W dzisiejszych czasach szyby zespolone są klejone, tworząc tzw. system dwóch barier. Oznacza to, że obie licujące ze sobą tafle szkła są klejone nieprzerwanym sznurkiem butylu po obu bokach ramki dystansowej wypełnionej absorbentem (sitem molekularnym). Sito zapewnia trwałe osuszenie przestrzeni międzyszybowej.



Budowa szyby zespolonej

Podczas zespawania 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 maszynowe usunięcie powłoki z miejsc, na które nanoszone będzie spoiwo, tak by poprawić przyczepność powierzchni i zapewnić ochronę przed korozją. Dzięki temu warstwa funkcyjna jest hermetycznie zamknięta i trwale chroniona. Uszczelka butylowa z klejem, określana jako uszczelnienie pierwotne, zapobiega wnikaniu pary wodnej i wydostawaniu się gazu szlachetnego. Gaz wraz z powietrzem w zdefiniowanej ilości jest wprowadzany podczas łączenia szyb

w specjalnych prasach zaciskowych. Jeszcze przed wypełnieniem gazem, szyby są wtórnie uszczelniane polisulfidem lub poliuretanem, które wypełniają zdefiniowaną pustą przestrzeń między wsuniętą ramką dystansową a zewnętrznymi krawędziami szyb.

Przy montażu z odkrytym połączeniem krawędziowym szyby zespolonej zamiast podanych już szczeliw stosuje się silikon odporny na promieniowanie UV. Szyby zespolone uszczelnione silikonem odpornym na promieniowanie UV często wypełniane są tylko powietrzem, ponieważ szczelność takiego silikonu na dyfuzję gazów jest niższa. Ma to jednak wpływ na pogorszenie wartości U (→ Rozdział 3.5) przeszklenia.



3.3 Oddziaływanie termiczne

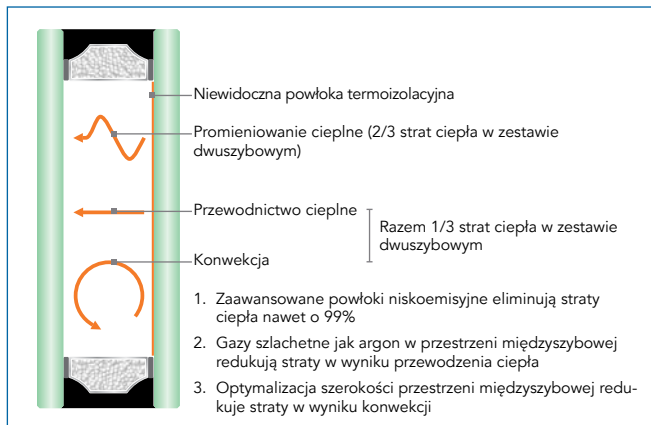
Mechanizm przepływu ciepła charakteryzują trzy podstawowe terminy: promieniowanie ciepłe, przewodzenie ciepła i konwekcja.

Promieniowanie ciepłe (radiacja) występuje, gdy ciepło (energia) w postaci fali elektromagnetycznej przemieszcza się w przestrzeni do obiektu i następnie jest przez ten obiekt transmitowana, odbijana lub absorbowana.

Proces wymiany ciepła między obiektami o różnej temperaturze, pozostającymi ze sobą w bezpośrednim kontakcie zwany jest kondukcją (przewodzeniem ciepła).

Konwekcja to ruch cząstek gazu w przestrzeni międzyszybowej na skutek różnicy temperatur pomiędzy wewnętrzną a zewnętrzną taflą szyby zespolonej. Cząsteczki opadają przy chłodniejszej powierzchni po to, aby ponownie unieść się przy powierzchni cieplejszej. Powoduje to cyrkulację gazu, tj. przepływ ciepła od strony cieplej do zimnej.

2/3 strat ciepła w szybie zespolonej składającej się z dwóch niepowlekanych tafli ze szkła float z wypełnionej powietrzem, spowodowane jest promieniowaniem cieplnym, a 1/3 przewodzeniem i konwekcją ciepła.



Straty ciepła w zestawie dwuszybowym

W przypadku szyb zespolonych starszego typu miało to taki skutek, że w wyniku oddawania ciepła z tafli wewnętrznej do tafli zewnętrznej, szyba wewnętrzna w chłodnych porach roku wykazy-

wała ekstremalną różnicę temperatur w stosunku do cieplejszego powietrza w pomieszczeniu, co powodowało ogromne straty ciepła.

W nowoczesnych szybach zespolonych przynajmniej jedna z tafli

ze szkła float pokryta jest powłoką niskoemisyjną (Low-E). Powłoki te z emisyjnością do 0,01 (1%) są w stanie odbijać do 99 % padającego na nie długofalowego promieniowania cieplnego. Pozwala to na niemal całkowitą eliminację strat ciepła w wyniku promieniowania.

W stosunku do tradycyjnych szyb zespolonych jest to postęp o ok. 66%. Powłoka Low-E nie ma wpływu na przewodzenie ciepła i konwekcję. Przewodzenie

ciepła można zmniejszyć poprzez wypełnienie przestrzeni międzyszybowej gazem szlachetnym np. argonem. Ma on zdecydowanie niższą przewodność cieplną niż powietrze i obniża tym samym przepływ ciepła przez system szyby zespolonej. W zależności od rodzaju gazu konwekcja w szybie zespolonej posiada wartość minimum dla określonego odstępów między szybami, np. powietrze: ok. 16 mm, argon: 15 - 18 mm, krypton: 10 - 12 mm.

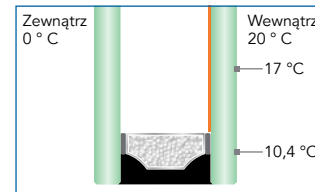
3.4 Połączenie krawędzi

Współczynnik przenikalności ciepła szyby zespolonej wyznacza się dla centralnej części przeszklenia bez uwzględnienia efektów brzegowych.

Obecnie w większości szyb zespolonych stosuje się aluminiowe ramki dystansowe. Jednak stale rosnące wymagania doprowadziły w ostatnich latach do opracowania rozwiązań alternatywnych, udosko-

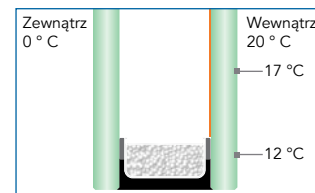
3.4.1 Stal szlachetna

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



Ramka dystansowa z aluminium

nalonych pod kątem właściwości cieplnych. Cieszą się one coraz większym zainteresowaniem.



Ramka dystansowa ze stali szlachetnej

3.4.2 Połączenie metalu i tworzyw sztucznych

Inną opcję stanowią ramki dystansowe z tworzyw sztucznych. Mimo doskonałych właściwości termoisolacyjnych nie posiadają one jednak wystarczającej odporności na dyfuzję, która zapewniałaby prawi-

idłowe działanie szyby zespolonej przez cały okres użytkowania. Dlatego też wprowadzono do użytku ramki z tworzywa sztucznego i folii ze stali szlachetnej lub aluminium nieprzepuszczające gazów.

3.4.3 Systemy termoplastyczne (TPS)

W tym przypadku profil metalowy jest zastępowany specjalną wytłaczaną substancją plastyczną, która w procesie produkcji umieszczana jest między szybami, a po ostygnięciu gwarantuje wymaganą wytrzymałość mechaniczną i szczelność na dyfuzję gazów. Środek osuszający jest jednym ze składników tej substancji.

Różnorodność dostępnych dzisiaj alternatyw wobec zwykłej ramki aluminiowej jest duża. Zapewniają one większą lub mniejszą redukcję wartości Ψ , czyli miary transportu ciepła w okolicy krawędzi szyby (→ Rozdział 3.5.3).

3.5 Wartość U – Współczynnik przenikania ciepła

Wartość ta charakteryzuje miarę strat ciepła przez dany element. Podaje ona, ile ciepła w jednostce czasu przechodzi przez 1 metr kwadratowy danego elementu, gdy między dwiema graniczącymi ze sobą stronami, np. ścianą pomieszczenia i ścianą zewnętrzną, występuje różnica tempera-

tur wynosząca 1 K. Im niższa jest wartość wyrażana w $W/(m^2K)$, tym lepsza jest izolacja cieplna.

Należy pokreślić, że europejskie wartości U różnią się od np. wartości amerykańskich. Należy na to zwrócić uwagę, dokonując międzynarodowych obliczeń!

3.5.1 Wartość U_g

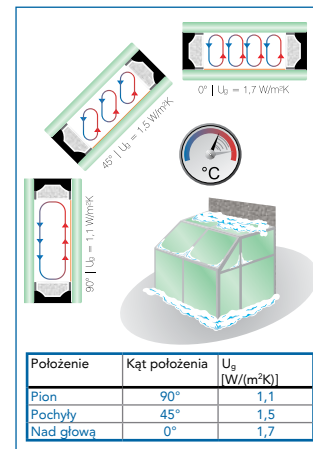
Wartość U_g to współczynnik przenikania ciepła danego przeszklenia. Można go zmierzyć lub wyznaczyć według normy. Decydujące dla tej wartości są cztery czynniki: emisyjność powłoki, obliczana i publikowana przez producenta szkła powlekanego, szerokość przestrzeni międzyszybowej, rodzaj wypełnienia oraz stopień

wypełnienia w przypadku gazów szlachetnych.

(Przy obliczaniu wartości pomiarowych w praktyce należy uwzględnić dodatkowe wymogi krajowe np. dla Niemiec obowiązuje norma DIN 4108-4.)

3.5.1.1 Wartość U_g szklanych powierzchni pochylonych

Obliczana i z reguły publikowana wartość U_g odnosi się zawsze do przeszklenia montowanego pionowo (90°). W przypadku montażu z nachyleniem konwekcja w przestrzeni międzyszybowej ulega zmianie i pogarsza wartość U_g . Im większe pochYLENIE zamontowanego przeszklenia, tym szybsza jest cyrkulacja w przestrzeni międzyszybowej i tym większy jest transport ciepła z szyby wewnętrznej do zewnętrznej. W przypadku zestawu dwuszybowego może to oznaczać pogorszenie wartości U_g nawet do $0,6 W/(m^2K)$.



Wpływ położenia przeszklenia na wartość U_g

3.5.2 Wartość U_f

Jest to współczynnik przenikania ciepła dla ramy, którego wartość nominalną można określić na trzy sposoby:

- pomiar zgodnie z PN-EN ISO 12 412-2,
- obliczenie zgodnie z PN-EN ISO 10 077-2,
- wyznaczenie według PN-EN ISO 10 077-1, załącznik D.

Ta wartość nominalna po doliczeniu wymagań krajowych daje wartość pomiarową stosowaną w praktyce.

3.5.3 Wartość Ψ

Wartość Ψ (wartość psi) to liniowy współczynnik utraty ciepła w danym elemencie w wyniku występowania mostka cieplnego. Przykładowo dla okna współczynnik ten opisuje wzajemne zależności między szybą zespoloną, wymiarami, materiałem ramki dy-

stansowej oraz materiałem ramy i definiuje mostki cieplne danego elementu. Nie istnieje zatem coś takiego jak wartość Ψ dla samej szyby zespolonej, lecz wyłącznie dla elementu, z którym jest zintegrowana.

3.5.4 Wartość U_w

Szyby zespolone z reguły stosuje się w oknach. Wartość U_w opisuje przenikanie ciepła przez okno. Na bazie U_g wartość U_w można wyznaczyć trzema różnymi sposobami:

- odczyt z PN-EN ISO 10 077-1, tab. F1
- pomiar zgodnie z PN-EN ISO 12 567-1
- obliczenie zgodnie z PN-EN ISO 10 077-1 według poniższego wzoru:

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

U_w :	Współczynnik przenikania ciepła okna
U_f :	Współczynnik przenikania ciepła ramy okiennej (wartość zmierzona)
U_g :	Współczynnik przenikania ciepła szyby (wartość nominalna)
A_f :	Pole powierzchni ramy
A_g :	Pole powierzchni szkła
l_g :	Obwód przeszklenia
Ψ :	Liniový współczynnik przenikania ciepła na obrzeżu przeszklenia

Straty ciepła w okolicy krawędzi są zazwyczaj wyższe niż na środku przeszklenia. Dlatego też ramki dystansowe o ulepszonych właściwościach termicznych zyskują na popularności. Podobnie jak w przypadku U_g oraz U_f , ustalone w ten sposób wartości U_w stanowią jedynie wartości nominalne, które stają się wartościami pomiarowymi dopiero po uwzględnieniu wymogów krajowych.



3.6 Punkt rosy i kondensacja

Powietrze zawsze nasycone jest wilgocią, przy czym cieplejsze powietrze może zgromadzić więcej wody niż powietrze chłodne. W miarę wychładzania się powietrza podwyższa się jego wilgotność względna przy stałej ilości pary wodnej. Temperatura

punktu rosy to temperatura, w której zostaje osiągnięta wilgotność względna powietrza 100 %, a para wodna ulega kondensacji.

Zjawisko to może się pojawić w różnych miejscach na powierzchni szyb zespolonych.

3.6.1 Kondensacja w przestrzeni międzyszybowej

W dzisiejszych szymbach zespolonych jest to prawie niemożliwe, ponieważ przeszklenia są hermetycznie wypełnione suchymi gazami.

Temperatura punktu rosy w przestrzeni międzyszybowej w nowoczesnej, termoizolacyjnej szybie zespolonej wynosi około $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, a taka temperatura w praktyce się nie zdarza.

3.6.2 Kondensacja na powierzchni wewnętrznej

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

Na podstawie wykresu punktu rosy można wyliczyć temperaturę zewnętrzną, w której dojdzie do zaparowania przeszklenia od strony wewnętrznej (= woda kondensacyjna = punkt rosy).

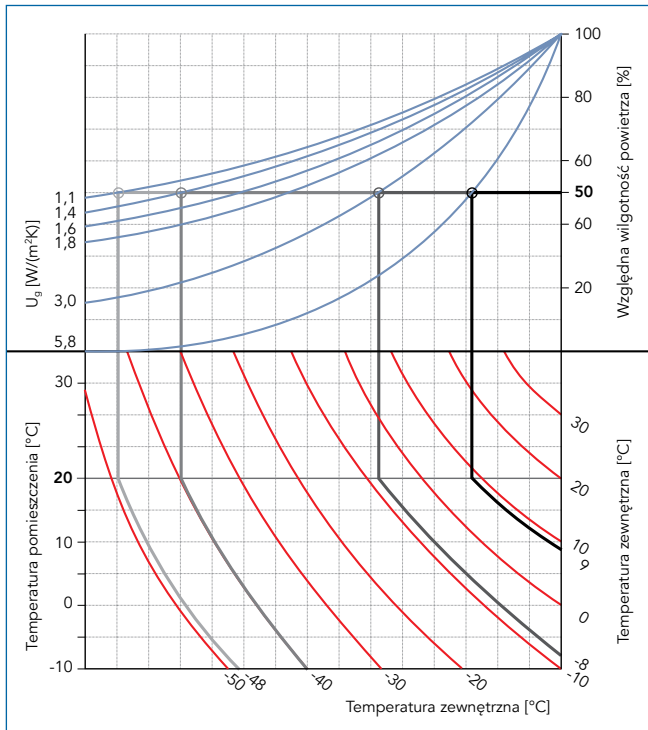
Zilustrowane przykłady:

- temperatura wewnątrz $20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- wilgotność powietrza wewnątrz 50 %
- temperatura zewnętrzna wynosi $9\text{ }^{\circ}\text{C}$

Punkt rosy dla:

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

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 pomaga regularne wietrzenie pomieszczenia (wymiana powietrza).



Wykres punktu rosy

3.6.3 Kondensacja na powierzchni zewnętrznej

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

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 nadwyżki dobrej ciepłochronności szyby zespolonej.

GUARDIAN oferuje specjalne powłoki, które również we wczesnych godzinach rannych zapewniają niczym niezłamany widok przez przeszklenie (→ Rozdział 4.4).

3.7 Wartość g

Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii (wartość g) podaje jaka część energii promieniowania słonecznego padającego na szybę przenika do wnętrza pomieszczenia. Szkła przeciwsłoneczne obniżają wartość g poprzez odpowiedni do-

bór szkła i powłok. W przypadku neutralnych w kolorze produktów termoizolacyjnych wartość g jest możliwie jak najwyższa, optymalizując bilans energetyczny szkła jako elementu składowego poprzez pasywne zyski solarne.

3.8 Współczynnik zacienienia b (Shading Coefficient)

Wartość ta służy do obliczeń zapotrzebowania na energię chłodzenia budynku i jest określana również jako Shading Coefficient. Całkowity współczynnik zacienienia wyznacza się przez porównanie całkowitego współczynnika przenikalności energii (wartości g) danego przeszklenia do całkowitego współczynnika prze-

nikalności energii bezbarwnego szkła float bez powłoki funkcyjnej, o grubości 3 - 4 mm, dla którego wartość g wynosi 0,87.

zgodnie z normą PN-EN 410 (2011):

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

3.9 Zyski solarne

Przeszklenia termoizolacyjne przepuszczają dużą ilość promieniowania słonecznego do wnętrza budynku. Elementy wyposażenia wnętrza, ściany i podłogi na skutek absorpcji przekształcają krótkofalowe promieniowanie słoneczne w długofalowe promieniowanie ciepłe, które ze względu na właściwości termoizolacyjne przeszklenia nie może opuścić pomieszczenia, ogrzewając tym samym powietrze wewnątrz. Generuje to rzeczywiste zyski solarne, które wspomagają tradycyjne systemy grzewcze. Zyski te są

uzależnione od lokalizacji okien, tj. zyski od wschodu i zachodu są mniejsze niż w przypadku południowego ukierunkowania przeszklenia. Ta bezpłatna energia pomaga oszczędzać na kosztach ogrzewania w chłodniejszych porach roku. W miesiącach letnich może jednak prowadzić do niezamierzonego nagrzewania budynku i wówczas mówi się o „efekcie cieplarnianym”. Należy zawsze zwracać uwagę na wymagania odnośnie izolacji cieplnej w sezonie letnim (→ Rozdział 5.5).

3.10 Selektywność

Zasadniczo w przypadku przeszkleń przeciwsłonecznych chodzi o to, by do budynku wpuścić możliwie jak najmniej energii słonecznej, równocześnie jednak możliwie dużo światła. Wskaźnik selektywności „S” oznacza stosunek przepuszczalności światła (τ_v) do całkowitej przepuszczalności energii (wartość g) danego przeszklenia. Im wyższa jest ta wartość, tym ten stosunek jest lepszy i wydajniejszy.

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

Szklą przeciwsłoneczne najnowszej generacji firmy **GUARDIAN** wychodzą poza uważany dotychczas za maksymalny stosunek przepuszczalności światła do przepuszczalności energii (wartość g) 2:1.

3.11 Wskaźnik oddawania barw

Odtwarzanie 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 2.1).

Wskaźnik oddawania barw (wartość R_a) opisuje, czy i 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 odtwarzania barw > 90 jest oceniany jako bardzo dobry a > 80 jako dobry. Szklą 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.

3.12 Interferencja

W wyniku równoległego ustawienia kilku płaskich szyb ze szkła float, w szybie zespolonej w określonych warunkach świetlnych na powierzchni szkła mogą pojawić się zjawiska optyczne takie jak np. plamy przypominające tęczę, pasy lub pierścienie, określane

jako pierścienie Newtona, które pod wpływem nacisku na przeszklenie przemieszczają się.

Zjawisko to ma naturę fizyczną i powstaje bardzo rzadko na skutek załamania światła oraz nakładania się fal. Wrażenia te raczej

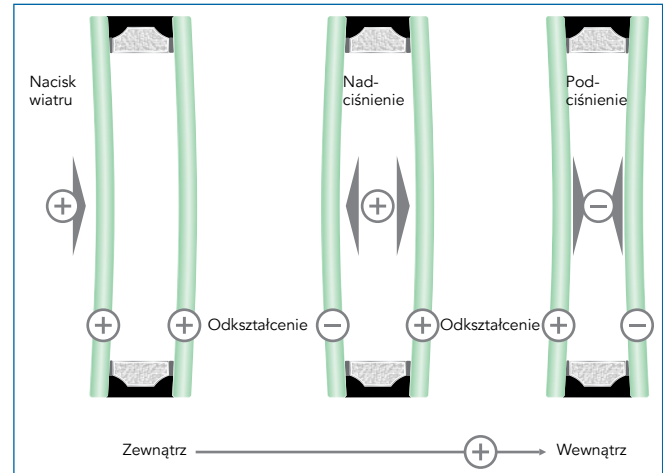
nie występują podczas patrzenia przez przeszklenie, lecz w odbiciu z zewnątrz. Interferencja nie podlega reklamacji, stanowiąc

dowód dobrej jakości w rozumieniu absolutnej równoległości i płaskości zamontowanych szyb ze szkła float.

3.13 Efekt szyby zespolonej

Częścią każdej szyby zespolonej jest co najmniej jedna hermetycznie zamknięta przestrzeń, zwana przestrzenią międzyszybową. Jako że przestrzeń ta jest wypełniona powietrzem lub gazem

szlachetnym, sąsiadujące ze sobą szyby przy odchyleniach barometrycznych powietrza zachowują się jak membrana - powstają wklęsłe i wypukłe wygięcia pojedynczych szyb.



Efekt szyby zespolonej

Przy ekstremalnych zjawiskach atmosferycznych może, mimo równoległości i płaskości szyb, dojść do nieuniknionych odształceń. Ten efekt, poza przejściowymi skokami ciśnienia powietrza, zależy od rozmiaru i geometrii szyby, szerokości przestrzeni międzyszybowej oraz od struktury szyby zespolonej. W przypadku zestawu trzyszybowego,

tafla środkowa pozostaje niemal sztywne, co zwiększa oddziaływanie na pozostałe dwie tafle zewnętrzne w porównaniu do zestawu dwuszybowego. Takie odształcenia zanikają po ustabilizowaniu się ciśnienia powietrza bez żadnych konsekwencji i nie stanowią żadnej wady, świadczą jedynie o szczelności połączenia krawędziowego.