

**Informacja Techniczna**

## Pękanie szkła spowodowane naprężeniami termicznymi

Aby zrozumieć dlaczego i jak pęka szkło należy najpierw poznać jego szczególne właściwości. W niniejszym opracowaniu będziemy chcieli wyjaśnić i zrozumieć: jak wyglądają mechanizmy wywołujące termiczne pękanie szkła.



## Uwaga na źródło powstawania uszkodzeń: nieprawidłowe użytkowanie szkła

O tym, że szkło stanowi istotny element naszego codziennego życia, przekonujemy się na przykład gdy wypadnie nam z rąk butelka wyśmienitego czerwonego wina albo gdy widok przez nasze okno zostaje zmaćony pęknięciem na szybie. Rozbita na drobne kawałki szyba nie będzie już nas chronić przed złą pogodą czy nieproszonymi gośćmi. Nie stanowi już zapory przed ucieczką ciepła a w niektórych przypadkach może stać się przyczyną zranienia.

Szkło jest elastyczne, ale bardzo kruche. Szkło pęka praktycznie od razu, bez wcześniejszego plastycznego odkształcenia. Pęknięcia na szkle są podstępne, ponieważ mogą wystąpić w pewnym opóźnieniu w stosunku do przyczyny je wywołującej.

Nowoczesne szyby są projektowane z wykorzystaniem innowacyjnych rozwiązań, co przy odpowiednim fachowym doradztwie pozwala sprostać najbardziej wymagającym wyzwaniom konstrukcyjnym. Dotyczy to zarówno obszarów związanych z bezpieczeństwem jak i ochroną przed utratą ciepła, ochroną przed zbytnim nasłonecznieniem pomieszczeń czy ochroną przed hałasem.



## Dlaczego szkło pęka ?

Wytrzymałość szkła nie jest określona jedynie przez budowę chemiczną i jego strukturę molekularną. Powstające podczas procesu produkcji szkła wewnętrzne napięcia oraz drobne defekty szkła, jak wszelkiego rodzaju rysowania czy wtrącenia wpływają na ogólne obniżenie jego wytrzymałości.

Szkło posiada bardzo wysoką wytrzymałość na ściskanie zawierającą się w przedziale 700 – 900 N/mm<sup>2</sup>. Odpowiada to mechanicznemu naprężeniu, które powstałoby, gdyby osoba ważąca ok. 70 – 90 kg stanęła na powierzchni wynoszącej jeden milimetr kwadratowy (inaczej mówiąc 7 – 9 ton na centymetrze kwadratowym).

Szkło jest bardzo wytrzymałe na obciążenia, które prowadzą do naprężeń ściskających, nie dotyczy to jednak obciążeń powodujących naprężenia rozciągające. Wytrzymałość szkła na rozciąganie wynosi zaledwie około jedną dziesiątą jego wytrzymałości na ściskanie.

Występowanie jedynie samych obciążeń ściskających w szkłe jest jednak w praktyce rzadkie. Każde ugięcie szyby powoduje powstanie kombinacji obciążeń rozciągających i ściskających. Szkło zawsze pęknie gdy przyłożone do niego obciążenie

przekroczy jego wytrzymałość na rozciąganie.

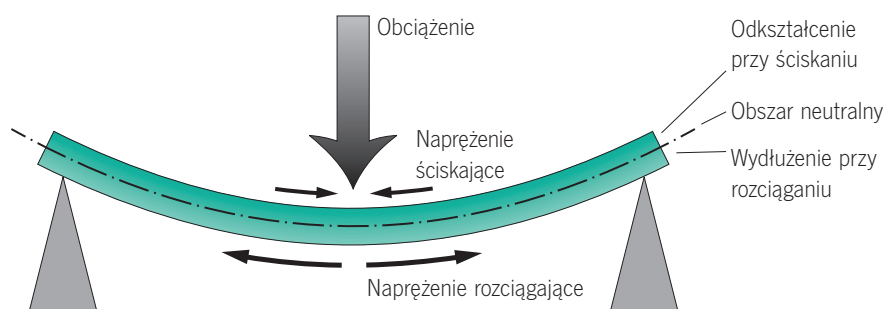
Szkło półhartowane (TVG) oraz szkło hartowane (ESG) mają znacznie wyższą wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu ze zwykłym szkłem float. Wytrzymałość na obciążenia szkła laminowanego (VSG) zależy od rodzaju szkła z jakiego zostało ono wykonane. Jednak w przypadku rozbicia szyby VSG odłamki szkła pozostają przyklejone do powierzchni znajdującej się pomiędzy nimi folii. W przypadku szkła zbrojonego drutem, zatopiony w tafli drut osłabia jednorodny przekrój szkła oraz w wielorakich aspektach redukuje jego wytrzymałość.

Najsłabszym ogniwem tafli szkła pozostaje z reguły jej krawędź. Obróbka szkła, jego cięcie i łamanie, powoduje powstawanie najczęściej właśnie na krawędziach wszelkiego rodzaju mikrodefektów. Jakość obróbki krawędzi jest zasadniczym elementem wpływającym na wytrzymałość na rozciąganie powstające przy zginaniu szyby. Im gorsza jest jakość obróbki krawędzi, tym bardziej obniżona zo-

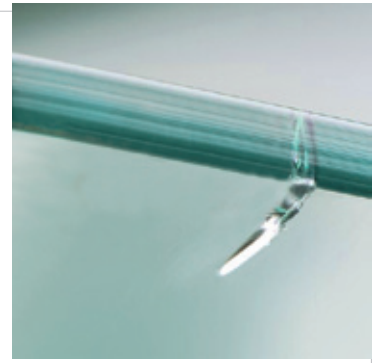
staje wytrzymałość samego szkła. Powstałe na krawędziach podczas cięcia odpryski szkła, nacięcia i drobne pęknięcia jak również uszkodzenia krawędzi podczas transportu, mogą drastycznie wpłynąć na obniżenie wytrzymałości szyby zespolonej. Dodatkowo obróbka krawędzi poprzez ich szlifowanie i polerowanie wpływa na poprawę wytrzymałości.

Samą łamliwość szkła z powodzeniem celowo wykorzystuje się podczas jego cięcia: poprzez zarysowanie za pomocą noża do cięcia szkła w kontrolowany sposób osłabia się powierzchnię szyby, aby następnie dzięki naprężeniu rozciągającemu złamać szybę wzdłuż zaznaczonej wcześniej linii.

! Wytrzymałość krawędzi szkła na rozciąganie ma zasadniczy wpływ na niebezpieczeństwo pęknięcia samej szyby.



Podczas wyginania płyty szklanej jej górna powierzchnia jest ściskana (nacisk) zaś dolna jest wydłużana (rozciąganie).



## Mechanika pęknięcia

W materiale jednorodnym naprężenia rozciągające rozchodzą się jednakowo wzdłuż przekroju poprzecznego. Natomiast na nacięciach, rysach i wszelkiego rodzaju defektach szkła powstają skomplikowane struktury napięć, w których największe napięcia przypadają na wierzchołki pęknięć. Przy doprowadzeniu odpowiednio wysokiego obciążenia mechanicznego lub termicznego pęknięcie na szkłe będzie się sukcesywnie powiększać.

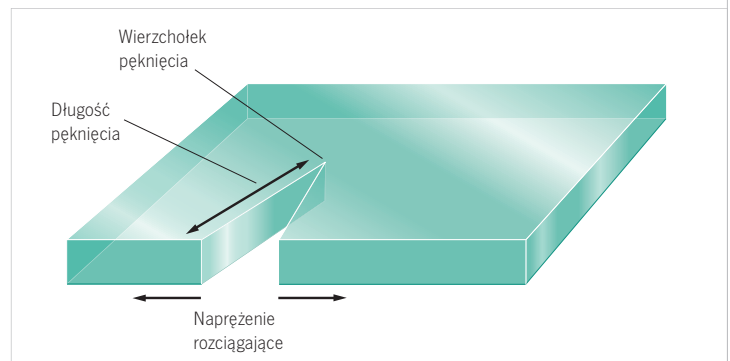
Wytrzymały materiał jest w stanie zredukować przyłożoną energię poprzez odpowiednio plastyczne odkształcenie na wierzchołku pęknięcia. W takim przypadku pęknięcie będzie się dalej rozszerzać tylko przy bardzo wysokim nakładzie energii. Szkło jednak jest materiałem, które nie posiada takich wewnętrznych „stref kontrolowanego zgniotu”. Generalnie jest materiałem kruchym, mającym bardzo niską odporność na pęknięcie.

Im dłuższe jest mikro pęknięcie na szkłe, tym większe jest naprężenie

na jego końcu i tym niższa jest wytrzymałość na rozciąganie. Krótko mówiąc: najdłuższa z rys określa wytrzymałość całości. Jeśli przyłożone obciążenie przekroczy krytyczną wartość naprężenia, dochodzi w szkłe do nieustalonego wzrostu pęknięć.

W procesie pęknięcia każda rysa osiąga swoją maksymalną, charakterystyczną dla danego rodzaju szkła maksymalną prędkość pęknięcia. Powierzchnie spękań można dalej badać za pomocą analizy mikroskopowej. W ten sposób można rozpoznać wielkość napięcia powodującego pę-

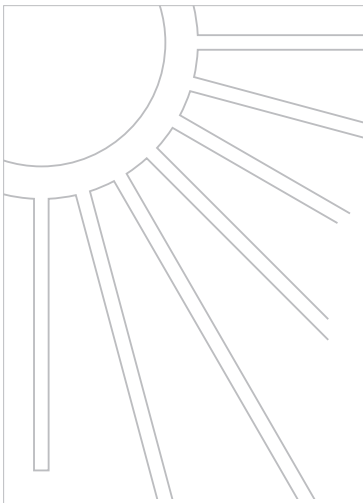
kanie, określić wskazówki dotyczące miejsca, z którego wyszło pęknięcie czy wreszcie kierunek pęknięcia. Pęknięcia posiadające szczególnie wysokie naprężenia niszczące mogą się rozwarstwiać na granicy cieplej i zimnej powierzchni.



W wyniku działania naprężenia rozciągającego może nastąpić otwarcie rysy, a następnie po przekroczeniu krytycznej wartości przyłożonego napięcia jej szybkie powiększanie się od strony wierzchołka.

Mechaniczne i termiczne cechy różnych rodzajów szkła				
Cecha	Jednostka	Szkło float	Szkło półhartowane (TVG)	Szkło hartowane (ESG)
Wytrzymałość na zginanie*	N/mm <sup>2</sup>	45	70	120
Wytrzymałość na ściskanie	N/mm <sup>2</sup>	700 – 900	700 – 900	700 – 900
Odporność na wstrząsy cieplne	K	40	100	150
Możliwość dalszej obróbki		Tak	Nie	Nie
Opis siatki spękań		Radialne spękania powierzchniowe, duże kawałki szkła	Radialne spękania powierzchniowe, małe kawałki szkła	Spękania szkła w kształcie siatki, małe, tępe kawałki szkła

\*W celu wymiarowania tafli szkła pod kątem określenia jej właściwości statycznych obowiązują każdorazowo dla danego zastosowania wartości zawarte w aktualnych normach!



## Napięcia termiczne w szybie: przyczyny

Intensywne oraz jednocześnie niejednorodne ogrzewanie szyby na całej powierzchni okna (spowodowane częściowym zacienieniem) może prowadzić do powstania wysokich naprężeń. To z kolei w ekstremalnym przypadku wywołuje tak zwany szok termiczny, tzn. pęknięcie szkła na skutek przeciążenia termicznego. Zdarza się, że we współczesnym budownictwie często nie docenia się problemów związanych z powstającymi naprężeniami:

- w przypadku szyb ze zwiększonymi wymaganiami co do ich formy i funkcji
- w kompleksowych zabudowach o bardzo wymyślnych kształtach i geometrii (np. szyby z krawędziami krótszymi niż 60 cm czy szyby z niekorzystnym stosunkiem boków).

Wybór rodzaju szkła musi być każdorazowo dopasowany do określonej sytuacji obciążeniowej. Napięcia termiczne należy uwzględniać tak samo jak obciążenia śniegiem, wiatrem i klimatyczne. Już we wstępnej fazie planowania wszyscy jego uczestnicy powinni tak działać, aby możliwie jak najwcześniej przeanalizować problematykę związaną z napięciami termicznymi a następnie poprzez wybór odpowiedniego rodzaju szkła i jego grubości uniknąć powstawania niekorzystnych przeciążeń.



peratur może wytrzymać dany materiał bez uszkodzenia. W przypadku szyby pęknięcie wywołane termicznie rozchodzi się z reguły pod kątem prostym od krawędzi, ponieważ w tym miejscu szkło wykazuje najmniejszą wytrzymałość na rozciąganie.

Krawędź szyby zespolonej poprzez sposób w jaki jest montowana w ramie okna zawsze pozostaje zacieniona. Zimą w momencie gdy na zewnętrzną, a więc zimną szybę w oknie padną promienie słoneczne dzięki absorpcji energii promieniowania spowoduje to szybkie ogrzewanie się powierzchni szyby. Sama krawędź szyby pozostaje jednak w dalszym ciągu zimna. W ten sposób pojawiają się w zakrytej ramy części brzegowej naprężenia rozciągające. Najnowsze badania wykazały, że głębokość osadzenia szyby w profilu nie odgrywa tutaj znaczącej roli (ift Rosenheim, Plan Badawczy HIWIN, 2003). Z kolei głębsze osadzenie szyby zespolonej w profilach o wysokiej klasie izolacyjności termicznej nie prowadzi w porównaniu z konstrukcjami ze zwykłym osadzeniem szyby wynoszącym ok. 15 mm do znaczącego wzrostu ryzyka pęknięcia szkła. Co prawda obowiązuje tutaj zasada: im większa szyba,

tym większe mogą być termicznie indukowane naprężenia brzegowe. Także rodzaj zastosowanej ramki dystansowej nie jest decydujący dla powstania ryzyka pęknięcia szkła. Różnice temperatur na szybie powstają także w wyniku nagłego częściowego zacienienia (nagły rzut cienia na szybę).

Szyby zespolone dwukomorowe powinny w miarę możliwości posiadać tylko obie zewnętrzne szyby z powłokami (poz. 2 i 5). Jeśli środkowa szyba będzie również miała powłokę, może to spowodować sytuację, w której absorbowane ciepło nie będzie mogło dalej być wypromieniowywane. Nastąpi szybki wzrost temperatury w przestrzeni międzyszybowej. Jeśli w tej sytuacji powstanie zbyt duża różnica temperatur pomiędzy środkami szyby a jej częścią brzegową – a do tego w połączeniu ze źle obrabianą krawędzią – doprowadzi to do szybkiego przekroczenia maksymalnej dopuszczalnej wartości brzegowego naprężenia rozciągającego. Następuje pęknięcie środkowej szyby – im gorsza krawędź, tym szybciej. Zastosowanie szyby hartowanej ESG podnosi wielokrotnie wytrzymałość na różnicę temperatur.

## Projektowanie i montaż

Jeśli rozkład temperatury w danym materiale nie jest jednorodny, powoduje to powstawanie termicznie wzbudzanych napięć. Obszary szkła, które zostaną podgrzane przez promienie słoneczne lub inne źródła ciepła, zaczynają się rozszerzać. Z kolei powierzchnie aktualnie nie podgrzewane

są zimniejsze i zostają poddane naprężeniom rozciągającym. Jeśli w tej sytuacji przekroczony zostaje punkt wytrzymałości na rozciąganie, dochodzi do pęknięcia. Odporność na zmiany temperatury lub inaczej odporność na wstrząs termiczny mówi nam, jaką maksymalną różnicę tem-

## Zastosowanie i eksploatacja

### Oklejanie i malowanie szkła

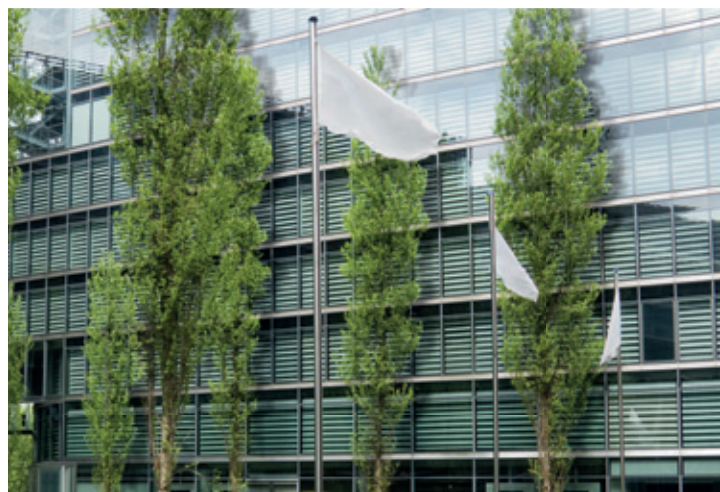
Jeśli w późniejszym etapie obróbki szkło zostaje pokryte farbą lub folią, będzie to miało wpływ na różne nagrzewanie się szyby pod wpływem padających na nią promieni słonecznych. Szczególnie narażone będą ciemne lub czarne, a więc silnie absorbujące promienie, materiały wykorzystane do pokrycia szkła. Powstałe różnice temperatur znacznie zwiększają ryzyko pęknięcia szkła. Także folie chroniące przed nadmiernym nasłonecznieniem mogą prowadzić do niemiłych konsekwencji.



Jeśli jeszcze przed zamontowaniem oszklenia, wiadomo, że będzie się ono znajdować w obszarach o częściowym zacienieniu, a to będzie miało wpływ na powstawanie silnych dodatkowych obciążeń termicznych, zaleca się celem ograniczenia ryzyka pęknięcia szkła, zastosowanie szyb hartowanych (ESG).

### Częściowe zacienienie

Część szyby może znajdować się w cieniu, podczas gdy pozostała część będzie w tym czasie silnie poddawana działaniu promieni słonecznych. Taka sytuacja powoduje znacznie zwiększone obciążenie termiczne szkła. Niejednorodne nagrzewanie wywołuje powstawanie w szkłe termicznych napięć. Zalecenie: Częściowe zacienienie można w pewnym stopniu neutralizować poprzez zastosowanie znajdujących się na zewnątrz szyby żaluzji lub rolet.



### Nadmierne gromadzenie się ciepła

Zastosowanie dodatkowo montowanych wewnątrz pomieszczeń systemów chroniących przed słońcem (żaluzje, rolety, zasłony, itp.) powoduje powstanie termicznego napięcia w szkłe. Ważnym elementem jest tutaj zapewnienie odpowiedniej wentylacji oraz odpowiedniej odległości pomiędzy szybą a ochroną przeciwsłoneczną. Grzejniki czy silne oświetlenie znaj-

dujące się w pobliżu szyby także mają swój wpływ na powstawanie napięć termicznych w szkłe. Tutaj także należy zwracać uwagę na odpowiedni odstęp. W przeszkleniach montowanych od podłogi ciepło może się gromadzić przy zbyt blisko znajdujących się meblach. Takich sytuacji w miarę możliwości powinno się również unikać.





### **Drzwi i okna przesuwne**

W tym przypadku silne nagrzewanie może wystąpić gdy zostawimy na słońcu wzajemnie na sobie, częściowo lub całkowicie, zasunięte okna. W momencie całkowitego otwarcia i przesunięcia skrzydła na sąsiadujące oszklenie nagrzewanie się będzie bardzo silne. Nagromadzone ciepło nie ma możliwości ucieczki dlatego należy unikać w słoneczne dni maksymalnego otwierania przeszkłonych systemów przesuwnych.



### **Szyby o zwiększonej absorpcji lub zbrojone drutem**

Szyby barwione, pomalowane lub z powłokami absorbującymi promieniowanie słoneczne są szczególnie narażone na zwiększone napięcia termiczne. Szczególnie niekorzystnie zachowują się szyby zbrojone drutem. Wynika to z faktu, że szkło i metal mają różne współczynniki rozszerzalności termicznej.



### **Czyszczenie przeszkleń**

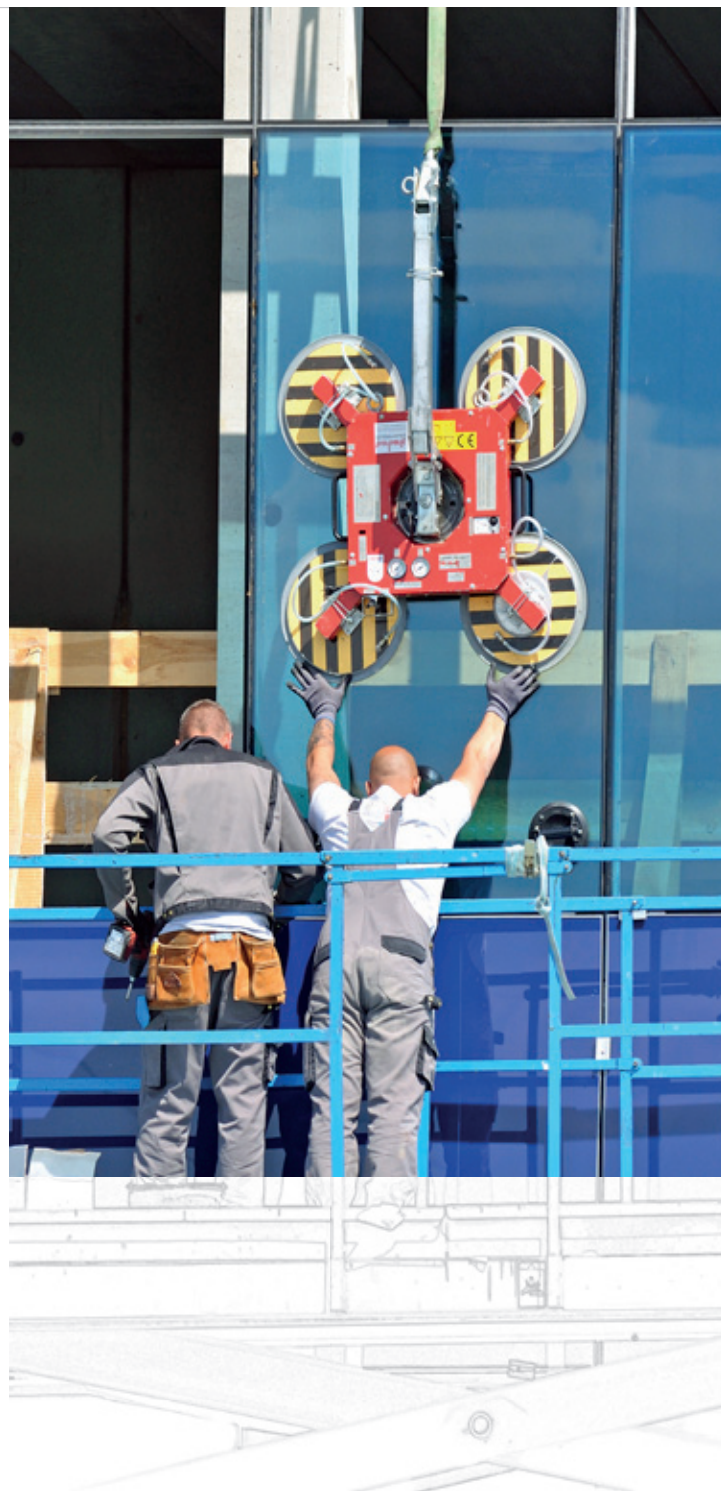
Podczas czyszczenia szyb należy unikać bardzo ciepłej wody lub gorącej pary. Ponieważ nigdy nie znamy dokładnej granicy wytrzymałości szkła, dlatego zaleca się czyszczenie bez wywoływania dodatkowych naprężeń.

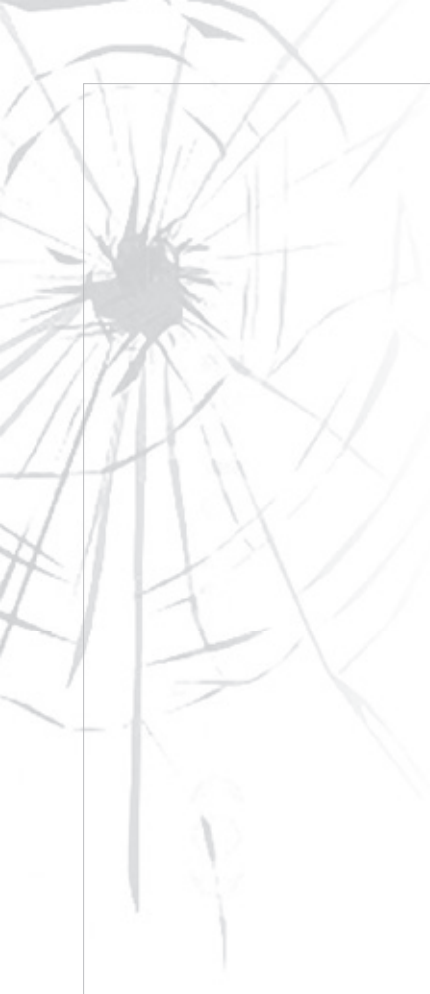


## Napięcia termiczne oraz mechaniczne powstające podczas produkcji, transportu, nagrzewania

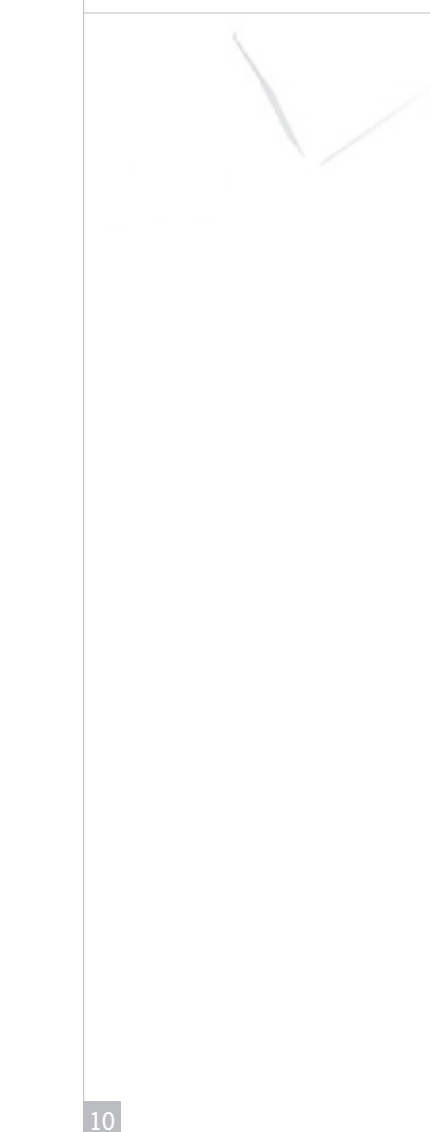
Wszelkiego rodzaju odkształcenia szyb, które powstają podczas ich przemieszczania takie jak rozciąganie, uginanie czy skręcanie powodują powstawanie w nich naprężeń. Ale również bez działania sił z zewnątrz mogą powstać w szkło naprężenia mechaniczne spowodowane zmianami temperatury. Szkło pęka gdy naprężenia te przekroczą jego wytrzymałość na rozciąganie.

Sama wytrzymałość szkła na rozciąganie nigdy nie jest jednakowa: wszelkiego rodzaju mikro defekty czy uszkodzenia krawędzi drastycznie obniżają jego wytrzymałość na rozciąganie. Pękanie szkła może mieć wiele przyczyn. A do tego nie są one zawsze od razu widoczne jako pęknięcie na szkło. O tym czy przyczyny pęknięcia szyby miały podłoże termiczne czy mechaniczne można ustalić dopiero na podstawie dokładnej analizy. W przypadku wystąpienia niejasności co do przyczyn należy wezwać eksperta, który na podstawie przebiegu pęknięcia oraz formy i wielkości powstałych kawałków szkła, może ocenić jakie naprężenie wywołało uszkodzenie. Podczas produkcji szyb zespolonych, ich transportu i montażu należy uwzględnić wskazówki zawarte w Informacjach Technicznych oraz Wytycznych Dotyczących Przeszkleń SANCO.





Przyczyny i przykłady termicznego pęknięcia szkła		
Punkt czasowy	Rodzaj obciążenia	Przykłady
Podczas transportu	Bezpośrednie działanie promieniowania słonecznego	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niezakryte (lub transparentne) szczególnie duże pakiety szybowe</li> <li>- niezakryte (lub transparentne) pakiety szybowe z grubymi szklami</li> <li>- niezakryte (lub transparentne) szyby zespolone ciepłochronne lub z szybami barwionymi w masie składowane warstwowo w sztaplach</li> <li>- nieusunięte podczas składowania taśmy mocujące szyby zespolone</li> </ul>
Szyby zamontowane	Miejsca częściowo zacienione, rzucony cień	<ul style="list-style-type: none"> <li>- występy dachów</li> <li>- ościeżnice okienne</li> <li>- markizy i rolety</li> <li>- drzewa i krzewy rosnące przy oknach</li> <li>- przedmioty znajdujące się bezpośrednio przed oknami</li> <li>- sąsiadujące bezpośrednio zabudowy</li> </ul>
	Nadmierne gromadzenie się ciepła	<ul style="list-style-type: none"> <li>- znajdująca się wewnątrz pomieszczenia ochrona przed słońcem ze zbyt małym odstępem od przeszklenia</li> <li>- ciężkie zastony bardzo blisko wewnętrznej szyby zespolenia</li> <li>- nasłonecznienie wzajemnie zasuniętych na siebie szyb w systemach przesuwnych okien i drzwi</li> </ul>
	Zwiększona absorpcja ciepła promieniowania słonecznego	<ul style="list-style-type: none"> <li>- malowanie i oklejanie szyb, w szczególności dotyczy to ciemnych kolorów</li> <li>- częściowe zakrycie przez znajdujące się od strony pomieszczenia żaluzje lub poprzez plakaty lub obrazy na szybie, czy duże liście rośliny znajdujące się bezpośrednio przy szybie</li> <li>- ciemne przedmioty znajdujące się w bezpośredniej bliskości od okna, jak: sofy, pozostawiona teczka lub walizka, pianino itp.</li> <li>- niekoniecznie uzasadniona powłoka ciepłochronna w szybie 2-komorowej na środkowej szybie</li> <li>- dodatkowe pokrycie szyby folią chroniącą przed nasłonecznieniem</li> </ul>
	Miejscowe nagrzanie przez dodatkowe źródła ciepła	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dmuchawy z gorącym powietrzem, grill, zgrzewarki, wydech samochodowy, lampy lutownicze, wszelkiego rodzaju oświetlenie lub inne urządzenia silnie emitujące ciepło znajdujące się w pobliżu szyby</li> <li>- grzejnik zamontowany zbyt blisko szyby</li> <li>- wszelkiego rodzaju „gorące” prace wykonywane zbyt blisko szyby</li> <li>- mycie szyb bardzo gorącą wodą / parą wodną</li> </ul>
	Elementy w przestrzeni międzyszybowej	<ul style="list-style-type: none"> <li>- podwyższona absorpcja ciepła przez wbudowane żaluzje, ciemne szprosły lub urządzenia elektryczne</li> </ul>



Przyczyny i przykłady mechanicznego pęknięcia szkła		
Punkt czasowy	Rodzaj obciążenia	Przykłady
Podczas transportu	Punktowe obciążenie mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- uderzenie krawędzi lub narożnika szyby podczas odstawiania na twardy grunt</li> <li>- bezpośrednie uderzenie krawędzi ciężkim przedmiotem</li> <li>- obracanie/przechylanie szyby w narożniku</li> <li>- nieprawidłowe odstawienie szyby na stojak</li> <li>- drobne kamyki pomiędzy składowanymi szybami</li> </ul>
	Powierzchniowe obciążenie mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przy zbyt wysokim różnicy wysokości pomiędzy miejscem produkcji szyby zespolonej a miejscem jej montażu bez zastosowania wyrównywania ciśnienia (obszary górskie)</li> </ul>
Podczas montażu	Punktowe obciążenie mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- złe wymiary klocków dystansowych</li> <li>- drobne kamienie lub odrobiny metalu pomiędzy krawędzią szyba a klockiem dystansowym</li> <li>- zbyt duży nacisk spowodowany listwą przyszybową przy połączeniu śrubami lub gwoździami</li> <li>- zbyt silne uderzenie młotkiem podczas montażu listwy przyszybowej</li> <li>- inne przyczyny spowodowane uderzeniami</li> </ul>
	Odcinkowe obciążenie mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wyginanie szyby</li> <li>- skręcanie skrzydła okiennego</li> </ul>
Szyby zamontowane	Powierzchniowe obciążenie mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zbyt duże różnice ciśnienia powietrza, temperatury i wysokości pomiędzy miejscem produkcji a miejscem montażu szyby</li> <li>- dla przeszkleń nad głową zbyt duże obciążenie długo zalegającym śniegiem</li> <li>- niedoszacowana budowa szyby przy zbyt wysokim obciążeniu wiatrem (przy nagłym wzroście prędkości wiatru)</li> </ul>
	Odcinkowe obciążenie mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nieprawidłowe wymiary szyby w stosunku do ramy (nieuwzględnienie zmian długości)</li> <li>- źle dobrane grubości szyb</li> <li>- skręcanie się lub zakleszczanie skrzydła ramy okiennej</li> <li>- wszelkiego rodzaju ruchy okna przenoszone na szybę</li> <li>- zbyt wąska przestrzeń międzyszybowa dla znajdujących się w niej szprosów</li> <li>- nierównoległe, ale wklęsłe szyby ze szprosami</li> </ul>
	Punktowe obciążenie mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ostrzał z broni</li> <li>- uderzenie kamieniem z procy</li> <li>- rzut kamieniem lub innym ciężkim/twardym przedmiotem w szybę</li> <li>- uderzenie młotkiem</li> <li>- uderzenie piłką</li> <li>- padający grad</li> <li>- zderzenie się lecącego ptaka z szybą</li> <li>- nacisk spowodowany przez człowieka</li> <li>- zbyt twarde elementy dystansowe na skrzyżowaniu szprosów</li> <li>- zetknięcie się konstrukcji lub przedmiotów podczas użytkowania (trzaśnięcie skrzydłem okna)</li> </ul>

90°-kąt pęknięcia od krawędzi



90°-kąt przez grubość szkła

#### Znaki charakterystyczne dla pęknięcia termicznego

- przebieg pęknięcia pod kątem prostym od krawędzi w głąb powierzchni szyby
  - pęknięcie idzie pod kątem prostym przez grubość szyby
- Przebieg pęknięcia termicznego idzie zawsze po drodze najmniejszego oporu. Pęknięcia termiczne mogą wielokrotnie zmieniać kierunek.



Dowolny kąt pod jakim biegnie pęknięcie



Przebieg przez grubość szkła nie pod kątem prostym

#### Znaki charakterystyczne dla pęknięcia mechanicznego

- (np. spowodowane przez naprężenie zginające)
- pęknięcie od krawędzi w głąb powierzchni szyby może przebiegać, ale nie musi, pod kątem prostym
  - pęknięcie przez grubość szyby nie idzie pod kątem prostym
- Pęknięcie powstałe podczas zginania szyby nie zawsze przebiega wzdłuż drogi najmniejszego oporu.



## Podsumowując

Mechaniczne czy termiczne lub nawet oba razem – wiele jest mechanizmów, które powodują powstawanie pęknięć w szkłe. Już na wczesnym etapie planowania należy dążyć do szczegółowego rozpoznania a tym samym późniejszego uniknięcia problemów.

