

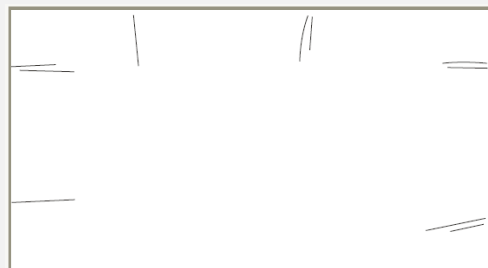
# Rodzaje i przyczyny uszkodzeń szkła

Autorzy tekstu: Daniel Giaquinto i Franz-Jörg Dall

## Mechaniczne uszkodzenia powierzchni

### Zarysowania podczas montażu listew przyszybowych

Typowe zadrapania, które powstają podczas wbijania listwy przyszybowej, jeśli szyba nie jest odpowiednio zabezpieczona. Zadrapania tego typu zwykle kończą się tuż nad listwą przyszybową i biegną zgodnie z kierunkiem uderzeń młotka.



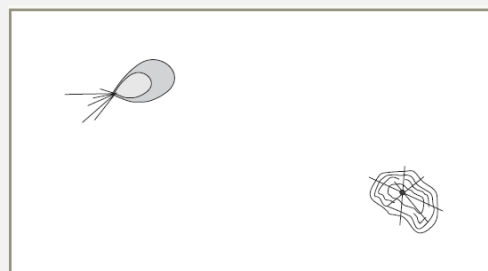
### Zastosowanie skrobaków do szkła

Podczas używania skrobaków do czyszczenia powierzchni szyby należy zachować szczególną ostrożność. Jeśli skrobak jest uszkodzony lub jeśli szyba nie jest dokładnie oczyszczona, tak że pod niego dostają się odrobiny piasku, powstają na powierzchni szyby skupione grupy drobnych zadrapań.



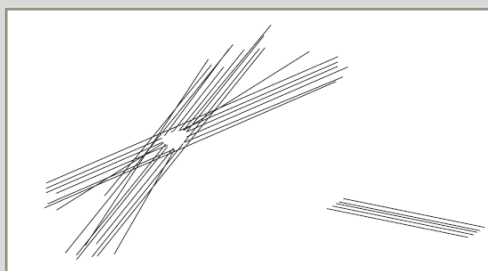
### Odpryski po uderzeniach mechanicznych

Stożkowate uszkodzenia powierzchni szyby przypominające w swojej formie muszelki, które mogą powstać w wyniku uderzenia niewielkich kamieni, np. podczas transportu. W zależności od kąta uderzenia są okrągłe (uderzenie pod kątem prostym) lub owalne (uderzenie ukośne).



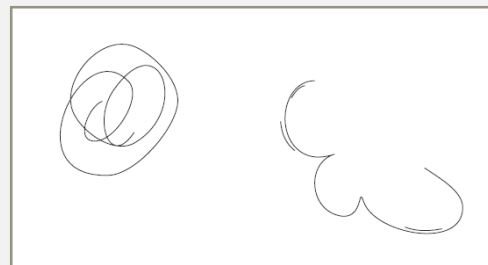
### Zarysowania po czyszczeniu

Uszkodzenie powierzchni szkła podczas usuwania brudu za pomocą wełny stalowej do czyszczenia szkła lub podobnych materiałów czyszczących. Tego typu zadrapania powstają zgodnie z kierunkiem czyszczenia, zaś z reguły w środku widoczna staje się odkryta, pusta powierzchnia szkła.



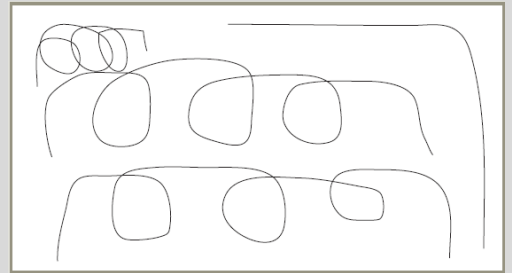
### Zadrapania spowodowane wycieraniem

Tego typu uszkodzenia powstają gdy podczas czyszczenia zostaje zatarta świeża, jeszcze nieutwardzona zaprawa lub tym podobny materiał na powierzchni szyby. Kierunek wycierania jest wyraźnie rozpoznawalny.



### Zarysowania powierzchni po czyszczeniu

Jeśli powierzchnia szyby jest czyszczona zbyt małą ilością wody i / lub zabrudzoną szmatką, pojawiają się długie linie zadrapań na szkłe, zgodne z kierunkiem czyszczenia.



### Przetarcia na powierzchni

Wszelkiego rodzaju wibracje lub gwałtowne ruchy mogą powodować tarcia na powierzchniach szyb podczas transportu, jeśli te nie zostały uprzednio wystarczająco oddzielone przekładkami dystansowymi. Wówczas niewielkie ziarna piasku i / lub małe kamienie dostają się pomiędzy powierzchnie szyb w konsekwencji powodując powstawanie szerokich śladów otarć.



### Używanie szlifierki kątovej flexa

Praca szlifierki kątovej w pobliżu szyby może spowodować charakterystyczne uszkodzenie powierzchni szkła na skutek latających iskier. Kierunek padania iskier na szybę jest wyraźnie rozpoznawalny. Spalone cząsteczki metalu wtopione w powierzchnię szyby mogą z czasem zacząć korodować i wykazywać ślady rdzy. Również mogą powstawać uszkodzenia w kształcie muszelek czy niewielkie zadrapania.



### Chemiczne uszkodzenia powierzchni

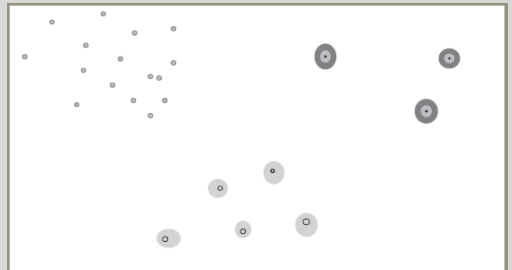
#### Powstawanie ługu oddziałującego na powierzchnię szyby

Długotrwałe działanie na zmianę wilgoci a następnie osuszanie powierzchni szyby lub jej degradacja spowodowana przez zawarte w cemencie związki alkaliczne (tzn. posiadające silne właściwości zasadowe), na przykład dostające się na szybę z muru znajdującego się powyżej, prowadzi do ługowania szkła, czyli wymywania jej składników. Efektem tego zjawiska jest powstawanie na powierzchni szyby charakterystycznych matowych plam w kształcie łez lub padających kropli deszczu.



#### Punktowe utlenianie miękkiej powłoki

Punktowe utlenianie powłoki niskoemisyjnej nałożonej na tafle szkła może wystąpić w wyniku działania drobnych zanieczyszczeń, które zostały naniesione na powierzchnię szkła powlekanego (np. w trakcie produkcji szyby zespolonej). Z biegiem czasu, utlenianie na powierzchni może rozprzestrzeniać się na większy obszar tworząc widoczne plamy wewnątrz termoizolacyjnej szyby zespolonej.



#### Korozja punktowa

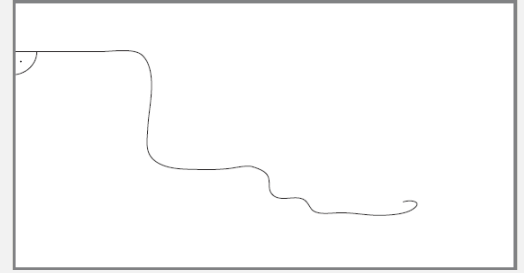
Substancje kwasowe lub alkaliczne, jak zaprawy murarskie czy materiały uszczelniające w trakcie twardnienia, pozostawione przez dłuższy czas na szkłe mogą spowodować punktowe uszkodzenia. Nie mają one określonego kształtu i są matowe.



## Pęknięcie szkła spowodowane naprężeniami termicznymi

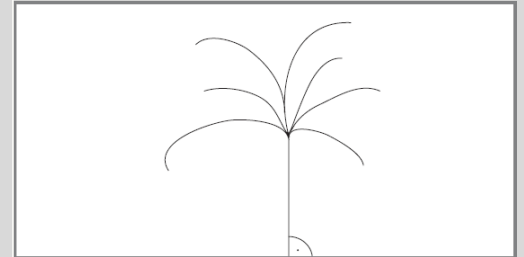
### Standardowe pęknięcie termiczne

Ich przyczyny są m.in., następujące: zbyt głębokie osadzenie oszklenia w profilu ramy czy folie naklejane na szkło. Szczególnie narażone są też szyby zespolone składowane na stojakach typu A poddane bezpośredniemu działaniu promieniowania słonecznego, czy też szyby w harmonijkowych systemach składanych lub drzwiach przesuwanych składających się ze szkła niehartowanego. W pozycji otwartej działają one na siebie poprzez wzajemne nagrzewanie powietrza pomiędzy nimi. Rozchodzące się pęknięcia wynikają ze wzajemnie nakładających się na siebie zintegrowanych naprężeń mechanicznych.



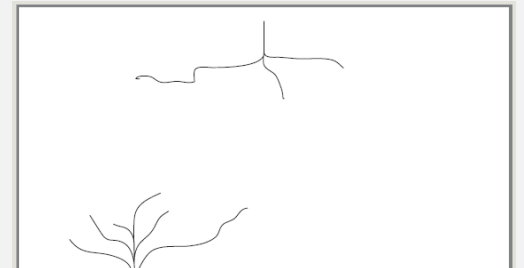
### Pęknięcia termiczne w kształcie wachlarza

Powstają, np. gdy od strony pomieszczenia szyba jest częściowo zasłonięta i równocześnie poddana intensywnemu działaniu promieniowania słonecznego. Inną przyczyną jest np. nagrzewnica z nadmuchem ciepłego powietrza ustawiona zbyt blisko szyby.



### Pęknięcia termiczne w obszarze krawędzi szyby

W tym przypadku kąt pęknięcia początkowego, jak też i kąty dalszych pęknięć rozchodzą się pod kątem prostym w stosunku do powierzchni szyby. W momencie gdy pęknięcie dociera do granicy ciepłej i zimnej strefy, po przejściu bezpośrednio ponad listwą dociskową, dochodzi do jego podziału na kilka oddzielnych pęknięć (wyraźnie widoczne linie Wallnera). Tworzenie się haczykowatych zakończeń rys jest rzadkie. Inną cechą tego typu pęknięcia są odpryski w kształcie muszelek, które często występują w obszarze gdzie następuje pierwsza zmiana kierunku rozchodzenia się pęknięcia. Przyczyny: przeszklenie głęboko wpuszczone w ramę profilu, częściowe zacienienie szyby od strony pomieszczenia wystawionej na intensywne działanie promieni słonecznych względnie naklejki na szybie.



### Pęknięcia termiczne od krawędzi do krawędzi typ A

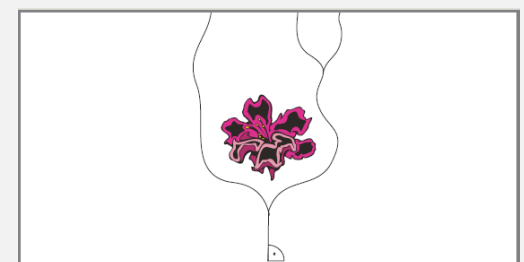
W przypadku tego pęknięcia, kąty pęknięcia wejściowego (początkowego) jak też pęknięcia przechodzącego przez szybę są prostokątne. Pęknięcie przebiega wzdłuż granicy ciepłej i zimnej strefy, bez większych zmian kierunków. Odpryski pojawiają się rzadko, zaś linie Wallnera są możliwe.



### Pęknięcia termiczne od krawędzi do krawędzi typ B

Kąt pęknięcia (rysy) wejściowej oraz rozchodzących się dalej pęknięć są również prostopadłe, jednak bardziej wyraźne są zmiany kierunku rozchodzenia się pęknięć na granicy strefy ciepłej i zimnej oraz możliwy jest podział pęknięcia. Linie Wallnera i odpryski w kształcie muszelek na powierzchni są często widoczne.

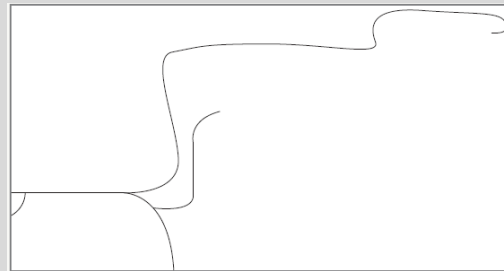
Przyczynami tego typu pęknięć są, na przykład, tylko częściowo zasłonięta roleta bądź żaluzja, powstawanie strefy cienia w wyniku wystającego okapu dachu względnie inne możliwe ciemne powierzchnie, jak naklejki, folie i tym podobne elementy na szybach.



### Silne pęknięcia termiczne

W tym rodzaju pęknięć zarówno pęknięcie (rysa) początkowa, jak też pęknięcia rozchodzące się dalej przebiegają pod kątem prostym. Jeśli pęknięcie wchodzące (początkowe) jest na granicy strefy ciepłej i zimnej, dzieli się na kilka rys (wyraźnie widoczne linie Wallnera), które są mocno rozgałęzione i przebiegają prostoliniowo. Tworzenie się haczykowatego zakończenia rysy występuje rzadko.

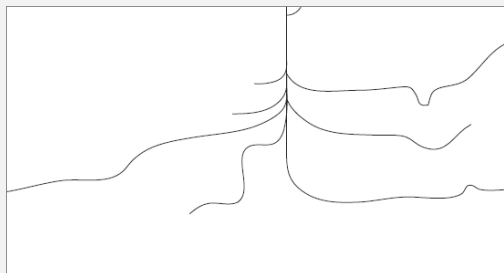
Inną cechą charakterystyczną są odpryski w kształcie muszelek, które często występują w strefie zmiany kierunku pęknięcia. Powodem powstawania tego typu pęknięć są silne efekty termiczne w bezpośrednim sąsiedztwie szyby (np. nadmuch gorącego powietrza), składane (harmonijkowe) lub przesuwne drzwi ze szkła niehartowanego, w których skrzydła przesuwają się jedno za drugie tworząc dodatkowe obszary nagrzewającego się powietrza a także częściowe zacinienie szyby od strony pomieszczenia wystawionej na intensywne działanie promieni słonecznych względnie naklejki na szybie z foliami silnie absorbującymi promieniowanie słoneczne.



### Bardzo silne pęknięcia termiczne

W tym rodzaju pęknięć zarówno pęknięcie (rysa) początkowa, jak też rozchodzące się dalej przebiegają pod kątem prostym. Jeśli pęknięcie wchodzące (początkowe) jest na granicy strefy ciepłej i zimnej, dzieli się na kilka rys (wyraźnie widoczne linie Wallnera), które są mocno rozgałęzione i przebiegają prostoliniowo. Tworzenie się haczykowatego zakończenia rysy występuje rzadko.

Cechą szczególną mogą być odpryski w kształcie muszelek, które często pojawiają się w obszarze pierwszej zmiany kierunku rozchodzenia się pęknięcia. Przyczyny: źródło ciepła znajdujące się zbyt blisko szyby np. nadmuch gorącego powietrza w bezpośrednim sąsiedztwie tafli szklanej bez jej wcześniejszego zabezpieczenia, częściowo zacięzione przesuwne lub harmonijkowe drzwi ze szkła niehartowanego, względnie znajdujące zbyt blisko szyby grzejniki.

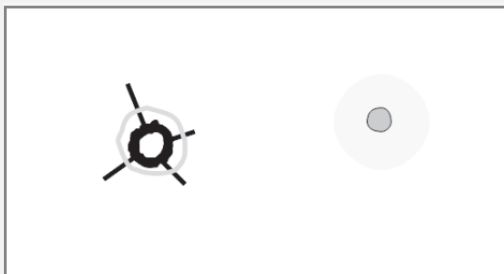


### Mechaniczne uszkodzenia szkła

#### Otwór po przejściu kuli z broni palnej w szkłe monolitycznym

W przypadku strzału w kierunku pojedynczej tafli szkła float, po stronie strzału powstaje mały otwór wlotowy, po stronie wylotowej otwór ma znacznie większe wymiary. Kiedy kule padają z dużą energią kinetyczną w szkło powstaje otwór w kształcie stromego stożka z ostrymi krawędziami. Niższa energia kinetyczna powoduje powstanie otworu w kształcie bardziej płaskiego stożka z nieregularnymi krawędziami.

Na obrzeżach otworu są możliwe poprzeczne pęknięcia, które jednak występują dość rzadko.

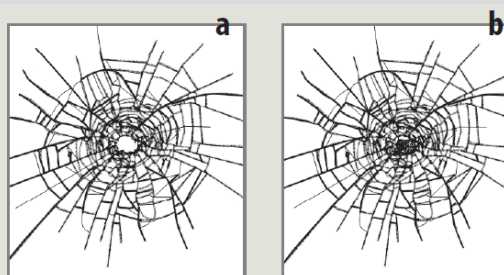


#### Otwór po kuli w szkłe laminowanym VSG

Podczas ostrzału szkła laminowanego VSG (szkło/folia/szkło) pocisk przenika wszystkie warstwy szkła lub zostaje zatrzymany. W zależności od tych przypadków, siatka spękań różni się.

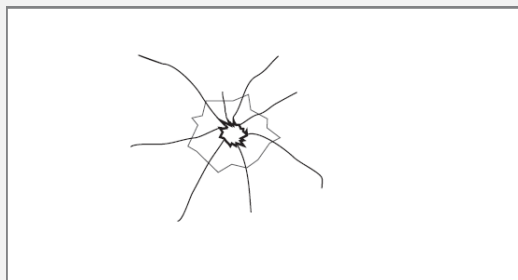
**Przestrzelenie (a):** Jeżeli kula przechodzi przez szkło VSG na wylot, powstaje rozległa siatka spękań. Wokół otworu wejściowego znajdują się pokruszone kawałki szkła.

**Brak przestrzelenia (b):** Jeżeli kula zostaje zatrzymana przez tafelę szkła, w centrum wejścia pocisku znajdują się resztki pocisku, jak również pokruszone kawałki szkła. Wokół miejsca uderzenia powstaje siatka spękań.



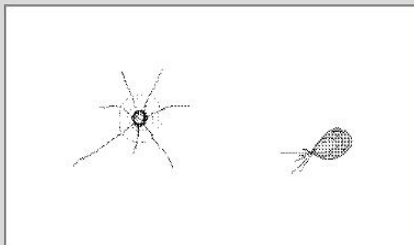
### Strzał z procy w niehartowane szkło monolityczne

W wyniku strzału z procy w tafelę ze szkła float powstają w niej okrągłe lub owalne otwory o nieregularnych poszarpanych brzegach. Najczęściej występuje też mała siatka spękań.



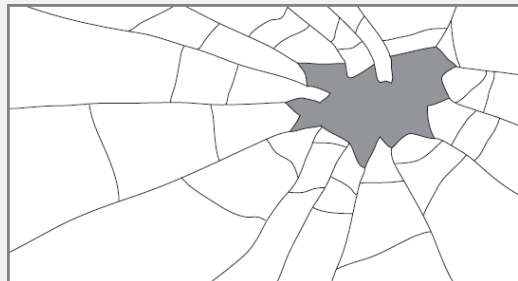
### Strzał z procy w szybę VSG

W wyniku strzału z procy w szkło VSG nie powstają otwory przelotowe, ponieważ kamienie mają zbyt niską energię kinetyczną, żeby przebić się przez szkło laminowane. Powstaje nieregularne pęknięcie stożkowe oraz odpryski małych kawałków szkła. Najczęściej tafelę szkła znajdująca się od strony nie ostrzelanej, za folią, pozostaje nieuszkodzona.



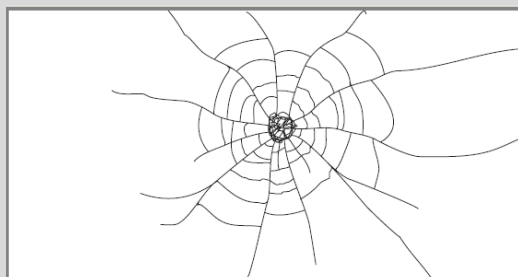
### Atak kamieniem w niehartowane szkło monolityczne

Siatki spękań powstające w wyniku rzutu w tafelę szklaną kostką brukową lub cegłą, jak również podczas próby przebicia za pomocą ciężkich przedmiotów są podobne. Wokół centrum uderzenia powstaje nieregularnie postrzępiony otwór, od którego rozprzestrzenia się gruba sieć pęknięć.



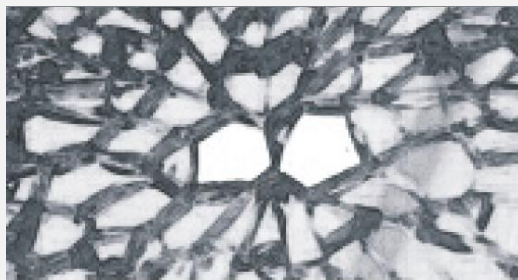
### Atak kamieniem w szybie VSG

Jeśli atak na szkło laminowane następuje za pomocą kostki brukowej lub cegły, wokół miejsca uderzenia tworzy się siatka spękań. Z centrum uderzenia rozchodzą się często pęknięcia idące aż po krawędzie szyby. Porównywalna siatka spękań powstaje także podczas ataku za pomocą ciężkich przedmiotów lub przez uderzenie młotkiem.



### Pęknięcie szyby ESG pod wpływem wtrąceń siarczku niklu

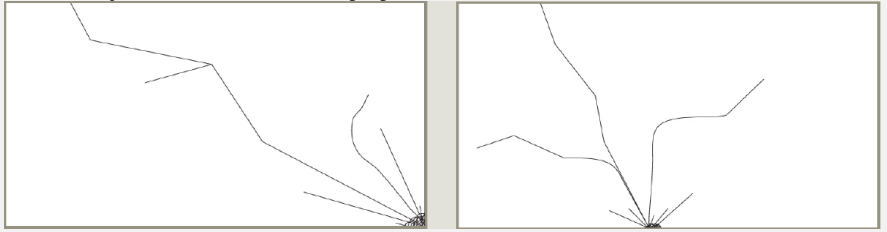
W tym rodzaju zniszczenia szkła, które jest często nazywane „spontanicznym” pękaniem szkła hartowanego ESG lub siatką spękań w „kształcie motyla”, szkło pęka nie w wyniku oddziaływań zewnętrznych, ale przyczyna leży wewnątrz samego szkła. Podczas produkcji szkła float może dochodzić do zanieczyszczenia jego struktury niewielkimi cząsteczkami siarczku niklu (NiS). Wtapiają się one w szkło i nie są widoczne gołym okiem. W trakcie procesu hartowania, podczas którego szkło podgrzewane jest do temperatury ok. 630°C, a następnie gwałtownie schładzane, wówczas podczas nagłej zmiany temperatury w trakcie gwałtownego chłodzenia cząsteczka NiS zostaje zamrożona w strukturze szkła. W procesie hartowania cząsteczka siarczku niklu zawarta w tafli szkła może teoretycznie zmienić swoją objętość nawet o 4%, co w późniejszym etapie powoduje wytworzenie dodatkowych naprężeń w szkłe i w ekstremalnym przypadku do pęknięcia szkła. Pęknięcia spowodowane przez NiS rozpoznaje się po występowaniu w miejscu wtrącenia, czyli w centrum wystąpienia spękań, kawałków szkła o charakterystycznym kształcie – podobnym do skrzydeł motyla, co jest widoczne, jeśli tylko szkło hartowane nie rozsypie się na drobne, oddzielne kawałki. Aby wykluczyć spękania powodowane przez występowanie siarczku niklu w szkłe hartowanym ESG przeprowadza się tzw. Heat Soak Test (zgodnie z normą EN 14179). Jest to dodatkowa obróbka termiczna szkła hartowanego (wygrzewanie), której celem jest wyeliminowanie przypadkowych samoczynnych pęknięć szyb. Generalnie siarczki niklu jest jednak bardzo rzadko przyczyną pęknięcia szkła.



## Pęknięcia powstające na krawędziach szyby

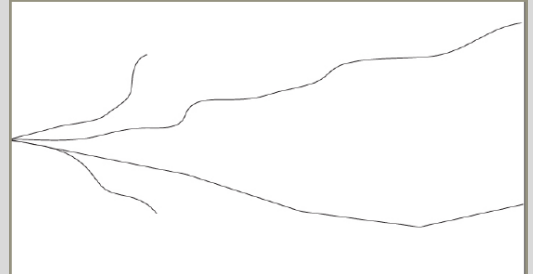
### Pęknięcia spowodowane uderzeniami w krawędź lub narożnik szyby

Niewłaściwe obchodzenie się ze szkłem, np. umieszczenie tafli szkła bezpośrednio bez uprzedniego zabezpieczenia na betonie, kamieniu lub metalu często prowadzi do uszkodzenia krawędzi szkła, a nawet do jego pęknięcia. To samo ryzyko dotyczy uderzenia krawędzi szkła przez metalową część lub obracania i przechylania szyby na narożniku bez zastosowania odpowiednich materiałów podkładowych. Kąt pęknięcia początkowego jak i kąty kolejnych pęknięć rozchodzą się promieniowo we wszystkich kierunkach. Początkowe miejsce pęknięcia jest łatwe do rozpoznania przez powstanie charakterystycznych uszkodzeń w formie muszelki, które tworzy się w miejscu przyłożenia działającej siły.



### Punktowe przyłożenie siły na krawędzi szyby float

Nieprawidłowe zastosowanie podkładek dystansowych do szyb względnie zbyt duży nacisk podczas przykręcania listew przyszybowych mogą prowadzić do pęknięć pod wpływem zbyt wysokiej siły przyłożonej do krawędzi szyby. Kąt pęknięcia wejściowego jak i dalsze kąty kolejnych pęknięć rozchodzą się promieniowo we wszystkich kierunkach, przy czym przebiegają one prostoliniowo i z zakosami, rzadko dochodząc do krawędzi szyby. Uszkodzenia na krawędzi w formie muszelek zdarzają się sporadycznie. Jeśli już jednak wystąpią, to są niewielkie.



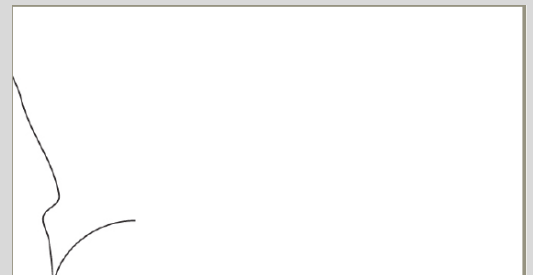
### Punktowe przyłożenie siły na krawędzi szyby TVG

Podobnie jak w przypadku szkła float pęknięcie spowodowane jest przyłożeniem zbyt dużej siły na krawędzi szyby TVG przy nieodpowiednim montażu listwy przyszybowej. Kąt pęknięcia wejściowego jak i dalsze kąty kolejnych pęknięć rozchodzą się promieniowo we wszystkich kierunkach. Linie pęknięcia zawsze rozchodzą się aż do krawędzi szyby i rzadko rozchodzą się prostoliniowo.



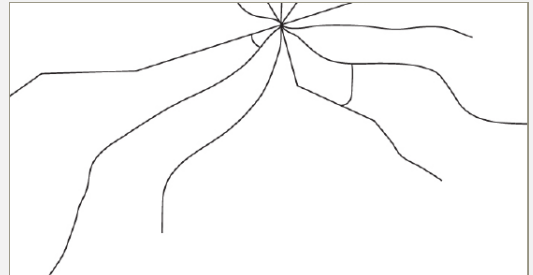
### Pęknięcie na krawędzi wywołane wcześniejszym uderzeniem

Jeśli krawędź szyby była już wstępnie uszkodzona, może w kolejnym etapie dojść do pęknięcia pod wpływem wywołanego nacisku. Punkt wyjściowy jest łatwy do zlokalizowania. Kąt pęknięcia wejściowego jak i dalsze kąty kolejnych pęknięć rozchodzą się promieniowo we wszystkich kierunkach, zasadniczo prostoliniowo i raczej rzadko dochodzą do krawędzi.



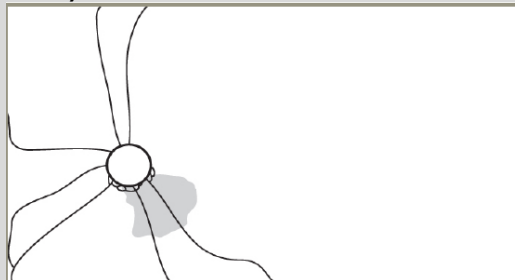
### Pęknięcie w obszarze krawędzi szyby float oraz TVG

Uderzenia przy użyciu narzędzi w obszarze krawędzi szyby lub uderzenia bezpośrednio samej krawędzi, jak również uderzenia młotkiem podczas wbijania listwy przyszybowej mogą doprowadzić do pęknięcia w pobliżu krawędzi szyby. W przypadku szkła float, poczynając od centrum uderzenia pęknięcie rozchodzi się promieniowo, w sposób liniowy w kierunku kolejnej krawędzi szyby. W przypadku TVG pęknięcie przebiega w sposób meandryczny, w formie wijącej się rzeki i zawsze dociera do kolejnej krawędzi. W centrum pęknięcia mogą wystąpić ubytki szkła w formie muszelek.



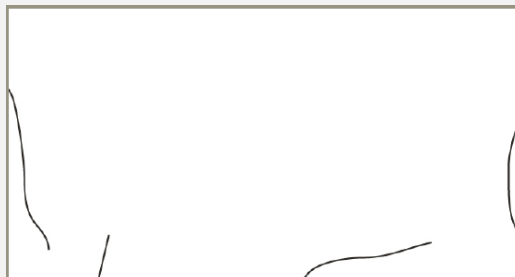
## **Pęknięcie przy mocowaniu punktowym szkła VSG złożonego z TVG (budowa zgodna z TRPV lub ogólnym wzgl. jednostkowym dopuszczeniem do zastosowania w budownictwie)**

Zbyt mocno przykręcone do szkła elementy okuć w mocowaniu punktowym względnie nie przylegające dokładnie do powierzchni szkła, mogą doprowadzić do przekroczenia parametrów wytrzymałościowych szkła i w konsekwencji do pęknięcia. Tego rodzaju pęknięcie rozpoczyna się w miejscu gdzie nawiercony jest otwór w szybie pod okucie oraz tam gdzie znajduje się centrum największego naprężenia. Pęknięcie jest zakrzywione i prawie równoległe do krawędzi szkła. Często w pobliżu otworu powstają uszkodzenia w formie muszelek.



## **Pęknięcia wymuszone**

Kierunki pęknięć w tego typu wymuszonych uszkodzeniach szkła zawsze zaczynają się od krawędzi, charakteryzują się krótkimi pęknięciami i mogą przebiegać we wszystkich kierunkach. Tego typu pęknięcia mogą powodować nieodpowiednio zastosowane podkładki do szklenia w przypadku bardzo ciężkich przeszkleń (np. wielkoformatowe 2-komorowe szyby zespolone). To samo dotyczy działania na szybę krótkotrwałych obciążeń dynamicznych lub długotrwałych obciążeń statycznych.



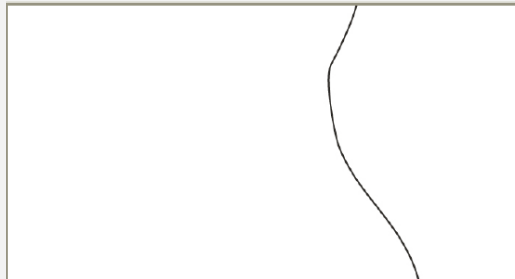
## **Pęknięcie w szybie laminowanej pod wpływem nacisku na krawędź**

Pęknięcie na krawędzi pod wpływem nacisku w szkłe laminowanym występuje głównie w przypadku szyb montowanych pod kątem oraz bardzo ciężkich, jak również przy zbyt dużych obciążeniach występujących na krawędzi szyby względnie przy nadmiernym zaciskaniu krawędzi szyby. Ten rodzaj pęknięcia może występować szczególnie w szybach posiadających bardzo grube warstwy pomiędzy szybami, takich jak: żel ognioodporny, żywica, grube folie PVB lub inne podobne materiały, przez które przenikać może zimne powietrze. Pęknięcie rozpoczyna się często w narożniku szyby i biegnie równoległe wzdłuż krawędzi w kierunku innego najbliższego narożnika. Kąt pęknięcia wejściowego oraz kąty kolejnych pęknięć idących wzdłuż powierzchni różnią się w zależności od obciążenia.



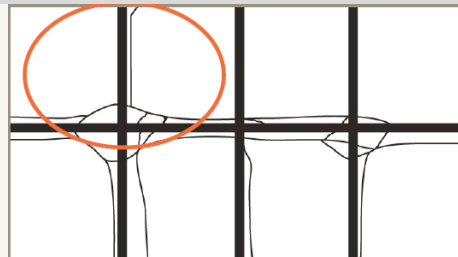
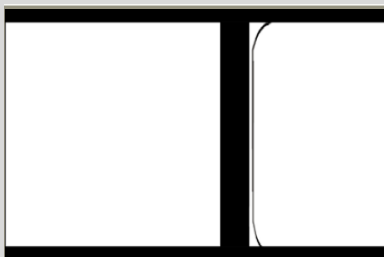
## **Pęknięcia skrótnie**

Pęknięcie tego typu jest lekko zafalowane, przechodzi prawie prosto bez dodatkowo odchodzących pęknięć i często przechodzące od krawędzi do krawędzi. Kąt pęknięcia wejściowego jak i dalsze kąty przejściowe na powierzchni są dowolne. Do takiego pęknięcia prowadzą niewystarczająco wymiarowana grubość szyby, czy nieprawidłowo dobrane skrzydło okienne zbyt mocno zaciskające przeszklenie. Pęknięcie skrótnie może również wynikać z ruchów w konstrukcji budynku, które powodują dodatkowe obciążenia kierowane na szybę.



## **Pęknięcia w szybach ze szprosami**

Pęknięcie tego rodzaju zawsze biegnie wzdłuż szprosu i przechodzi od jednej krawędzi szyby do drugiej. Kąt pęknięcia wejściowego oraz kąty kolejnych pęknięć na szybie mogą rozchodzić się we wszystkich kierunkach. Przyczyną pęknięcia w szybie ze szprosem może być zbyt mała przestrzeń między szybami, a także obciążenia związane z efektem podwójnej szyby w szybie zespolonej, tj. zmiany temperatury lub ciśnienia atmosferycznego powodują wzajemną zmianę położenia szyb. Inną przyczyną może być wyrzucenie szyby związane z procesem produkcyjnym. W szprosach krzyżowych także zbyt twarde łożki dystansowe do szprosów z uwzględnieniem wyżej opisanych warunków, mogą spowodować podobne pęknięcia szyby.



## Pęknięcie hybrydowe

O pęknięciu hybrydowym mówimy gdy, gdy obciążenia termiczne i mechaniczne zachodzą na siebie, powodując przekroczenie wartości granicznych i w konsekwencji pęknięcie szkła.



## Schemat pęknięcia wywołanego naprężeniami termicznymi w szkłe niehartowanym



Źródło: Glas Fachwissen, GLASWELT

Tekst został wybrany i zredagowany przez technika konstrukcji szkła Daniela Giaquinto oraz rzeczoznawcę Franza-Jörga Dall, wykładowcę w Szkole Szkła Hadamar, [www.glasgutachter.com](http://www.glasgutachter.com)