

## SAMOVOLNÝ LOM BEZPEČNOSNÍHO SKLA TEPELNĚ TVRZENÉHO

V souvislosti se stále vzrůstajícím podílem bezpečnostních skel tepelně tvrzených (též jsou nazývána jako skla kalená) ve stavebnictví, vystává často otázka svévolného lomu (exploze, prasknutí, rozbití) těchto skel, jeho četnosti, příčin a možnosti eliminace. Ve svém příspěvku bych rád uvedl některá fakta o této problematice.

K samovolnému lomu skla tepelně tvrzeného může docházet zcela nahodile a to i po velmi dlouhém období (letech) od jeho výroby/zabudování. Podmínky zabudování, teplotní podmínky, ani uživatelské prostředí nemá na tento jev vliv, protože k tomuto lomu, jak je již uvedeno v názvu článku, dochází zcela samovolně, bez jakéhokoliv působení vnějších sil.

### Příčina spontánního lomu

Příčinou spontánního (samovolného) lomu je přítomnost kritického sulfidu nikelnatého (NiS) ve skle.

Kulovité vměstky NiS jsou neviditelné, velikosti pouze asi 0,2 mm. A protože doposud žádný výrobce základního skla nenašel způsob jak vyrábět garantovaně sklo bez přímětku sulfidu nikelnatého, může se tento prvek vyskytovat v kterémkoliv vyrobeném skle kteréhokoliv výrobce, v kterémkoliv jeho části a vzdálenosti od povrchu skla. Pokud pak přířez skla s tímto vměstkem tepelně zpracujeme na sklo tvrzené, spouštíme, obrazně řečeno, časovou rozbušku, která po uplynutí času způsobí samovolné zničení skleněné tabule. Statisticky dochází k tomuto jevu u 3% instalovaných skel tepelně tvrzených, což vyvolává nejen velké bezpečnostní riziko pro osoby, ale způsobuje i významné finanční škody.

Během výroby skla dochází při vysokých teplotách k modifikaci sulfidu nikelnatého na tzv.  $\alpha$ -NiS, který je při teplotách vyšších jak 379°C stabilní. V základním skle zůstává z největší části nezměněn, protože rychlost ochlazení je pro jeho úplnou transformaci příliš vysoká. Jeho stabilní podoba, která se označuje jako  $\beta$ -NiS nebo jako millerit, se tvoří za obvyklých teplotních podmínek teprve pozvolně. Čím je teplota nižší, tím je přeměna pomalejší. Tato změna - tzv. alotropní transformace, znamená změnu prostorové struktury krystalu při zachování svého chemického složení. Tato transformace je spojena s nárůstem objemu krystalu asi o 4%. V důsledku toho vyvíjí rostoucí sílu na sklo ve svém bezprostředním okolí. A protože součinitel tepelné roztažnosti NiS je větší než součinitel tepelné roztažnosti skla, vytvoří se ve fázi chlazení během procesu tvrzení dutý prostor, to znamená, že NiS nejdříve vyplní svým růstem tento prostor a potom začne teprve „tlačit“ na sklo. V případě že se takto rozpínající se sulfid nachází v oblasti, kde působí tahové napětí, tj. v oblasti 25 - 75% tloušťky skla tvrzeného, sklo, bez ohledu na celkovou svoji tloušťku, praskne v okamžiku, kdy vměstkem pozvolně vytvořený tlak bude dostačující ke zničení skla. Tato doba je rozdílná v závislosti na teplotě okolí, velikosti vměstku a místě vměstku ve vztahu k existujícímu napětí v tahu. První spontánní zlomy se z těchto důvodů vyskytují obvykle se značným časovým zpožděním. Tyto rozdíly nám také vysvětlují, proč nedochází k samovolným lomům současně a proč jsou dokumentovány případy, kdy docházelo k samovolným lomům skla, které bylo vyrobeno a nainstalováno na fasádách budov přibližně ve stejném období i po dobu 10 let.

Prasklá tabule exploduje na malé kousky, jak je u tohoto typu skla požadováno, jako by došlo k jejímu mechanickému rozbití, ale kvůli vměstkům sulfidu nikelnatého se v místě jeho působení projeví tzv. motýlkový lom, podle něhož je možno působení tohoto jevu identifikovat (viz obr. 1).

Z výše uvedeného vyplývá, že podmínka působení NiS v oblasti tlakového napětí je splněna pouze u skla tepelně tvrzeného a proto se tyto lomy nevyskytují u základního plaveného skla a z něho transformovaných produktů, ani u skla tepelně zpevněného (též částečně tvrzeného).

## Řešení jak odstranit nebezpečí samovolného lomu u skla tepelně tvrzeného

Jediný doposud definovaný a stanovený test, jenž takto zasažené tabule tepelně tvrzeného skla na konci výrobního procesu zničí je tzv. Heat Soak Test (HST). Jedná se o takzvanou zkoušku prohříváním (též skladováním za horka) definovanou např. ČSN EN 14179-1 a 2, čímž vznikne tzv. „Prohřívané (HST) tepelně tvrzené sodnovápenatokřemičité bezpečnostní sklo“, které má známou úroveň zbytkového rizika samovolného lomu způsobeného možnou přítomností inkluzí kritického sulfidu nikelnatého. V případě skla, kdy byla během procesu tvrzení do povrchu zapálena keramická fritá pak „Prohřívané (HST) tepelně tvrzené sodnovápenatokřemičité bezpečnostní sklo smaltované“.

### Jak probíhá zkušební proces

Vlastní zkušební proces probíhá tak, že tepelně tvrzené tabule skla jsou přeskládány na speciální podporu (stojan), vzájemně od sebe po celé ploše odděleny v šíři min. 20 mm a poté vystaveny cyklu procesu prohřívání (heat soak). Problém NiS je tedy zvláště závažný, protože je nejdříve latentní a teprve později se jeho účinky projeví v plném rozsahu. Proto se průběh HST sestává ze tří fází: fáze vyhřívání – sklo se ohřeje v peci až na teplotu 280°C. Teplota vyhřívacího vzduchu však nesmí překročit 320°C a jen krátkodobě může překročit 300°C. Ve fázi výdrže musí být udržována teplota skla na 290 ± 10°C a na této teplotě musí setrvat 2 hodiny (ČSN EN 14179- 1). Ve třetí fázi chlazení se sklo postupně ochladí na obvyklou teplotu prostředí. Během tohoto procesu dojde k prasknutí/explozi tabulí skla, které obsahovaly vměstky NiS. Vlastníkem patentového práva pro zkoušku prohříváním (HST) je společnost SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE.

Podmínkou kvalitního a účinného testu je ale nejen řádné zvládnutí řízení procesu pracovníky, ale i řádný a kontrolovaný technický stav pece, systému přehřívání, oddělovacích prvků, atd., tzv. kalibrace. Musí být totiž zajištěno, že teploty ve stanoveném rozmezí dosáhl každý kousek testovaného skla po celou dobu testu. Špatně řízená pec HST nejenže poskytuje chybné výsledky testu, ale může indukovat zcela zbytečně tepelné lomy, protože tabule se v komoře ohřívají nerovnoměrně, nebo při zvýšení teploty ve fázi výdrže může zkoušené sklo ovlivnit až do té míry, že toto sklo nevyhoví zkoušce rozpadu po rozbití či požadavkům na mechanickou pevnost definovanou dle ČSN EN pro skla tepelně tvrzená.

V současnosti mají všichni partneři sdružení SECURIT, kterým je i naše společnost, předepsanou a potřebnou certifikaci pro HST. Pracovníci kontroly provádějí vlastní interní kontrolu, zkoušky dle těchto předpisů, provádějí pravidelně předepsané kontroly pece a archivují záznamy z procesu, včetně údajů o každé jednotlivé tabuli porušené během zkušebního procesu, nejméně po dobu 5 let. Mimo vlastní podnikové kontroly jsou pece partnerů SECURIT kontrolovány a kalibrovány i třetí osobou, nezávislou organizací.

### Jak lze rozeznat, zda předepsaná zkouška proběhla

Tento test lze provádět na skle sodnovápenatokřemičitém, skle float, taženém skle plochém, vzorovaném skle i na skle s povlakem (vrstvou). Každé takto vyrobené a odzkoušené tepelně tvrzené sklo musí být označeno trvalou značkou, kde je uveden název a obchodní značka výrobce a číslo nomy EN 14179-1.

Přestože má naše společnost certifikovaný systém managementu řízení dle ISO 9000:2001, setkáváme se i s dotazy, zda jsme schopni prokázat, že jsme tento test vůbec provedli. Pokud je test předepsán některými zvláštními předpisy či nařízeními (prozatím ne v ČR) nebo je jako dodatečný objednan odběratelem či investorem, měl by mít zákazník možnost kontroly, zda byl HST skutečně proveden.

Způsob kontroly, který je využíván v naší společnosti, spočívá v tom, že po výrobě tvrzeného skla, před jeho založením do HST pece, je na sklo v prostoru razítka bodově nanášena speciální barva modrého odstínu. Tato barva, při dosažení předepsané zkušební teploty min. 280°C změní svůj odstín na hnědo-béžový. Při vyšších teplotách dojde naopak k přeměně barvy na svrký prášek, jenž se ze skla oddolí, tzn., že není možno provést padělání testu nanášením barvy během procesu tvrzení, před procesem kontroly HST.



Tato barva slouží i k naší vnitřní kontrole technologické kázně a identifikuje pracovníkům, že sklo již proběhlo HST testem a může být baleno a expedováno zákazníkovi.

## Výsledek testování prohříváním

U bezpečnostního skla tepelně tvrzeného, které prošlo tímto zkušebním procesem HST v souladu se stanovenými předpisy a v řádném a kontrolovaném zařízení je podle současných poznatků oboru spontánní zlom prakticky možno vyloučit. Statisticky podložené riziko skel tepelně tvrzených po testu HST nesmí být větší než jeden lom na 400 tun skla, tj. cca 0,025%.

Nevýhodou tohoto testu je nejen destruktivní metoda probíhající až po ukončení celého procesu zpracování, těsně před expedicí výrobku, ale i vysoká pravděpodobnost poškození okolních zkoušených tabulí, tou tabulí, která explodovala.

## Závěr

Dodržení těchto předpokladů zaručuje spolehlivý test a tím i bezpečná skla tepelně tvrzená ať již na fasádě budovy nebo na jiných aplikacích, snížení bezpečnostního rizika úrazu od létajících střepů, ale i omezení dodatečných nákladů na výměnu takto poškozených skleněných prvků.

Obrázek č. 1 – tzv. motýlkový lom

