



*45 godina tradicije i kvalitete
u staklarstvu*



PRIRUČNIK KALJENO I LAMINIRANO STAKLO



KALJENO STAKLO

Svaka komponenta nekog proizvoda trebala bi biti pouzdana ukoliko se očekuje sigurnost u upotrebi. Proizvođači stakla shvatili su tu činjenicu prije više od 100 godina i primjenjuju je i danas u proizvodnji automobilskih stakala.

Sada je dostupan široki spektar sigurnosnih stakala koja se koriste individualno ili u

kombinaciji sa drugim staklima u građevinskoj industriji.

Tri glavna tipa stakla koja se koriste su

- kaljeno staklo
- laminirano sigurnosno staklo
- termički ojačano staklo.

• Potpuno kaljeno staklo

Ovaj tip stakla može se proizvesti iz float stakla ili praktično iz svakog pločastog ornamentnog i ljevanog stakla.

U ovom procesu bazično staklo se termički obrađuje (kali), a to rezultira sa tri izvanredne karakteristike.

Vlačna čvrstoća takvog stakla četiri do pet puta je veća od termički neobrađenog stakla iste debljine što mu omogućuje da podnosi znatno više pritisne i udarne sile.

Kaljenje također čini staklo znatno otpornijim na izrazite, kratkotrajne fluktuacije između visokih i niskih temperatura, kao i na povećanu sposobnost da podnosi velike razlike u temperaturi unutar samog stakla.

Ipak, ako zbog preopterećenja dođe do loma, kaljeno staklo popucat će na način da formira masu tupih, labavo vezanih komadića koji predstavljaju znatno manji rizik za ozljeđivanje nego oštre krhotine koje nastaju lomom nekaljenog stakla.



Djelić kaljenog stakla

• Proizvodnja

Jedino staklene ploče koje su rezane iz osnovnog stakla u pločama mogu doći u kalionicu.

Ta stakla trebaju biti precizno izmjerena, izrezana, rubovi obrađeni, te izrađene

Mijenja se od tlačne sile na površini stakla, do vlačne sile u jezgri presjeka stakla.

Takva struktura daje staklu već nabrojana izvanredna svojstva i ujedno objašnjava zašto sve strojne obrade moraju biti učinjene na staklu prije kaljenja.

Kada bi recimo bušili staklo nakon kaljenja, cijelo staklo raspalo bi se u komadiće jer bi bušenje prekinulo strukturu vlačnog naprezanja koje smo dobili nakon kaljenja. Zone naprezanja vidljive su pod polariziranim svjetlom i

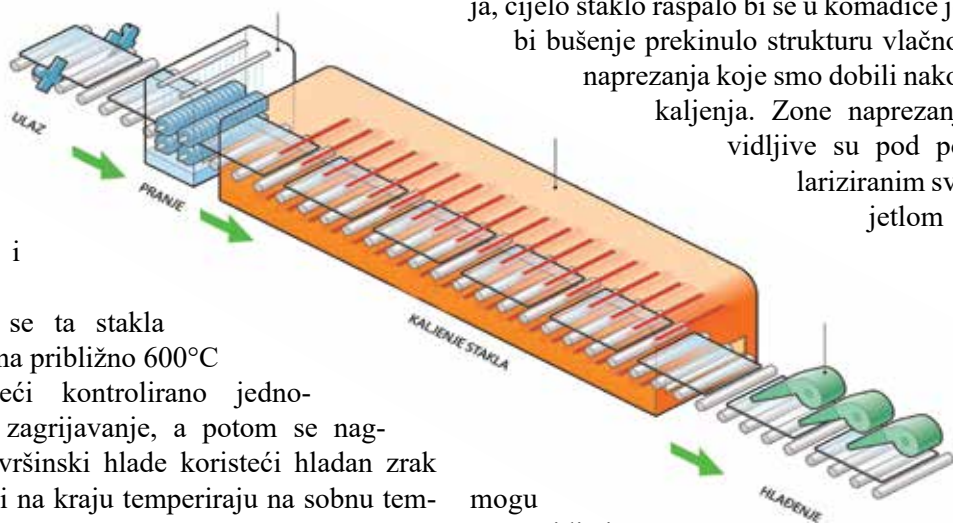
rupe i urezi.

Tada se ta stakla griju na približno 600°C koristeći kontrolirano jednolično zagrijavanje, a potom se naglo površinski hlade koristeći hladan zrak 'kale i na kraju temperiraju na sobnu temperaturu.

To kaljenje (eng. "quenching") propuhivanjem uzrokuje da se površina stakla brže hladi od središnjeg dijela i na taj način dobivamo trajnu vlačnu silu zaostalu u staklu.

Unutarnje naprezanje stakla je tada promjenjivo u odnosu na poprečni presjek stakla.

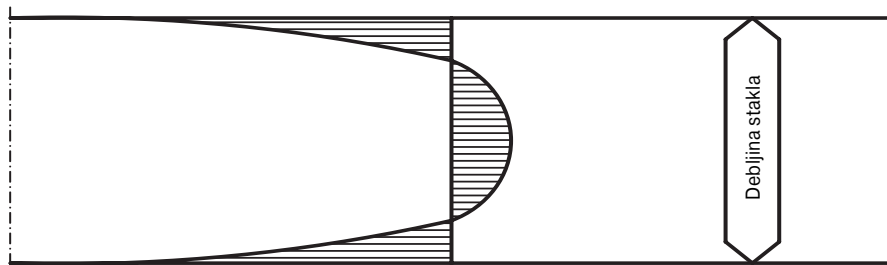
mogu se vidjeti pod određenim kutovima kao optički efekti u bojama.



Prednaprezanje

◁ - Tlak

+ Natezanje ▷



• Fizičke karakteristike

Toplinska provodljivost, svjetlosna i energijska propusnost, toplinsko širenje, tlačna čvrstoća i moduli elastičnosti ostaju isti kao i kod baznog stakla, a to vrijedi i

• Otpornost na udarce

Potpuno kaljeno staklo otporno je na udarce mekim, deformabilnim tijelima kao što je na primjer ljudsko tijelo i odgovara normi EN 12600 (test udarcem njihalom

• Svojna čvrstoća kaljenog stakla

Potpuno kaljeno staklo može biti načinjeno od različitih tipova baznih stakla, a često je i prekriveno keramičkim bojama. Svojna čvrstoća se zato treba klasificirati prema izvedbi baznog stakla:

- Kaljeno staklo proizvedeno iz 'float' stakla $\sigma = 120 \text{ MPa}$
- Kaljeno staklo proizvedeno iz ornamentnog stakla $\sigma = 90 \text{ MPa}$

• Otpornost na udarac loptom

Sa 6 mm debljine, potpuno kaljeno staklo posebno je pogodno za primjenu na velikim staklenim površinama u dvoranama i sportskim halama i tipično je u primjeni u zemljama kao što je Njemačka (u skladu je sa normom DIN 18032 'Test sigurnosti na bacanje lopti').

• Utjecaj topline

Potpuno kaljeno staklo u stanju je izdržati temperature koje u kratkom vremenskom periodu prelaze 300°C , a temperature koje prelaze 250°C kroz dulji period izloženosti. Pri tome, otpornost na temperaturne razlike unutar same ploče stakla je jako velika, te

za težinu, karakteristike zvučne izolacije i kemijski sastav. Ipak, ostali parametri će značajno varirati.

za stakla u građevinarstvu). Odgovarajuće područje primjene određuje zahtijevanu debljinu stakla.



Kaljeno staklo proizvedeno iz emajli-ranog stakla, gdje je pri tome emajli-rana strana podvrgnuta vlačnom natezanju $\sigma = 75 \text{ MPa}$



je tako na primjer moguća razlika temperature između sredine i rubova staklene ploče od čak 200 K (Kelvin), za razliku od float nekaljenog stakla gdje je moguća razlika od samo 40 K .

- **Anizotropije (deformacije uzorka)**

Ovo je neizbježna pojava na termički obrađenom kaljenom staklu zbog distribucije naprezanja unutar staklene ploče, a očituje se kao vidljiva formacija u duginim

bojama. Ovisno o kutu gledanja, tamnije obojani krugovi ili linije postaju vidljivi na polariziranom svijetlu.

- **Optička kvaliteta**

Kod kaljenog stakla mogu se pojaviti manje površinske promjene iz razloga što u procesu kaljenja staklo putuje po valjcima i stalno je u kontaktu sa njima. Te sitne površinske promjene nazivaju se ‘valovi od

valjaka’ i neizbježne su iz fizičkih i proizvodnih razloga. Iz istih razloga u pojedinim slučajevima na površini stakla mogu nastati točke koje se nazivaju ‘otiskom od valjaka’ i vidljive su pod kontra svijetlom.

- **Vlažan film na kaljenom staklu**

Vlažnost površine može varirati zbog pritiska valjaka, vakumskih hvataljki, nanošenja raznih spojeva i lubrikanata. Takva

naknadna pojava vlažnog filma na površini stakla varira i vidljiva je ali ne znači da je došlo do bilo kakve greške.

- **Identifikacija**

Svaki kaljeni komad stakla mora biti jasno i trajno



označen u skladu sa normom EN 12150.

- **‘Heat-soak’ kaljeno staklo**

Svako bazično staklo neizbježno sadrži vrlo nisku razinu Nikal sulfidnih kristala, koji su neizbježno ušli u staklo putem sirovine.

U nekaljenom float ili ornamentnom staklu, ti kristali nemaju nikakvo značenje.

No, iznimno brz period hlađenja tijekom procesa kaljenja ‘zamrzava’ NiS čestice u njihovoj visoko temperaturnoj kristalnoj modifikaciji.

Kada kasnije, na primjer, dođe do zagrijavanja uslijed absorpcije solarne energije, te kristalne strukture unutar stakla mogu se mijenjati iz razloga što se mijenja volumen samog kristala, to jest raste, a kao posljedici-

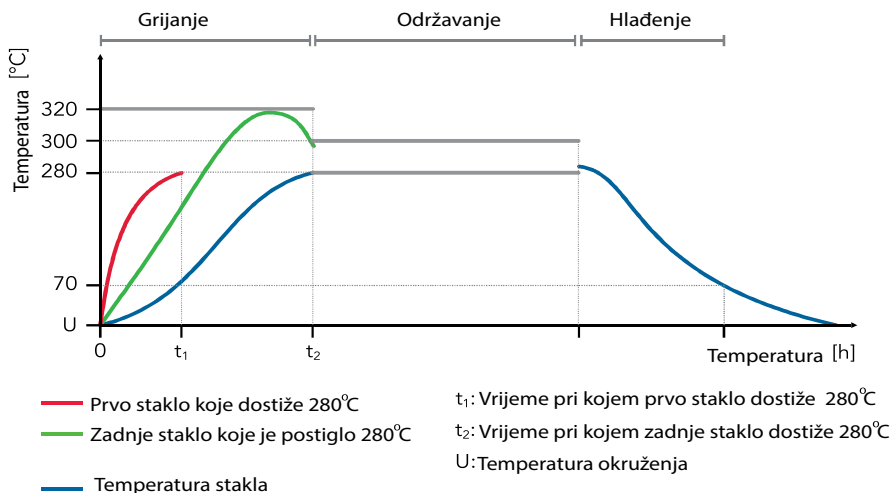
ca može doći do iznenadnog pucanja stakla u trenutku kada kristalne čestice premaše kritičnu veličinu.

Iz tog razloga sva sigurnosna stakla kao što su na primjer fasadna stakla, koja su izložena fluktuacijama visokih temperatura, morala bi biti podvrgnuta dodatnom, takozvanom ‘heat soak’ testu.

Taj test se izvodi u skladu sa normom EN 14179 i treba biti dokumentiran.

Tijekom tog testa, Nikal sulfidni kristali koji bi mogli biti u staklu prisiljavaju se na brzu reakciju. Stakla koja u sebi imaju zaostale NiS kristale tako će tijekom testa biti

namjerno uništena. U svrhu testa, kaljene ploče stakla zagriju se na $290^{\circ}\text{C} \pm 10\%$ tijekom najmanje 2 sata. U Njemačkoj, ovaj test provodi se po lokalnim građevinskim standardima, tako da test može trajati i do 4 sata da bi staklo moglo dobiti oznaku "kaljeno - heat soak staklo". Ovaj proces nadgledaju interni i vanjski kontrolori i treba biti trajno dokumentiran za svaki komad stakla koji se daje na tržište. Također, ta stakla moraju biti vidno označena sa oznakom kaljenog stakla.





- **Djelomično kaljeno staklo (termički ojačano staklo)**

Prema EN 1863, termički ojačano staklo samo po sebi se ne klasificira kao sig-

urnosno staklo, ali je neizostavni element u raznim kombinacijama u građevini.

- **Proizvodnja**

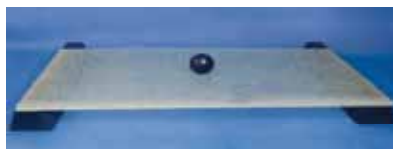
Proizvodnja je ista kao i kod potpuno kaljenog stakla, ali je proces hlađenja sporiji, što znači da su razlike u naprezanju unutar stakla manje. Tako se termički ojačano staklo može zapravo rangirati između float i kaljenog stakla. Vrijednosti otpornosti na temperaturne promijene i savojne čvrstoće dokaz su toj tvrdnji. Struktura takvog stakla nakon loma slična je onoj float stakla. Lom se tako širi od točke gdje je nastao prema vanjskim rubovima ploče.

Zahvaljujući karakteristikama loma termički ojačanog stakla koje su različite u odnosu na kaljeno staklo, svako pojedinačno laminirano sigurnosno staklo izrađeno od termički ojačanih stakala ima izvrsna preostala (nakon loma) svojstva u pogledu nosivosti.

Ukoliko dođe do pucanja jednog od dva termički ojačana stakla u sigurnosno laminiranom staklu, doći će samo do manjeg izvijanja za razliku od sigurnosnog laminiranog stakla izrađenog od kaljenog stakla gdje će doći do vidljivog progiba.

Iz tog razloga termički ojačano staklo ubrzano zamjenjuje kaljeno staklo kod laminiranih stakala kada imamo zahtjeve

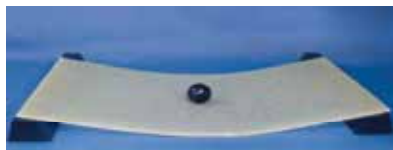
na povećanu savojnu čvrstoću i opterećanja od naizmjenične varijacije u temperaturama.



Laminirano sigurnosno staklo od 2 kaljena stakla



Laminirano sigurnosno staklo od 2 toplinski ojačana stakla



Laminirano sigurnosno staklo od 2 kaljena stakla - obadje razbijene ploče



Laminirano sigurnosno staklo od 2 toplinski ojačana stakla - obadje razbijene ploče

- **Savojna čvrstoća termički ojačanog stakla**

- Termički ojačano staklo izrađeno od float stakla $\sigma = 70 \text{ MPa}$
- Termički ojačano staklo izrađeno od emajliranog stakla gdje je pri tome emajlirana strana podvrgnuta vlačnom naprezanju $\sigma = 45 \text{ MPa}$
- Termički ojačano staklo izrađeno od ornamentnog stakla $\sigma = 55 \text{ MPa}$

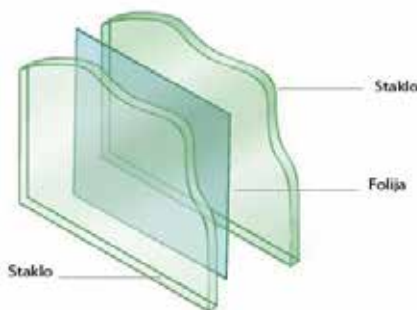
- **Utjecaj topline**

Termički ojačano staklo otporno je na temperaturne razlike unutar samog stakla do otprilike 100 K.

- **Laminirano sigurnosno staklo**

Od kada je izumljeno 1909. godine, i nakon više od stoljeća kontinuiranog poboljšavanja, laminirano sigurnosno staklo je postalo ključna komponenta u modernoj arhitekturi.

iznimno velikoj vlačnoj čvrstoći međusloja od PVB-a i njegovom izvrsnom prijanjanju na staklene površine s kojima je u dodiru. U smislu mehaničkih naprežanja kao što su udar ili utjecaj nekih drugih sila koje



Trajna veza dvije ili više ploča stakla povezanih sa lepljivom, elastičnom i na trganje visoko otpornom polyvinyl-butyral (PVB) folijom tvori multifunkcionalni element iz stakla, koji kombinira izvrsna statička svojstva i konstrukcijske zahtjeve sa svojom prirodnom transparentnošću.

Svako dostupno pločasto staklo može se laminirati u laminirano sigurnosno staklo, bez obzira radi li se o float staklu ili ornamentnom staklu s uzorkom, printanom ili emajliranom.

Sigurnosni efekt takvog stakla temelji se na

moгу prouzročiti lom stakla, laminirano sigurnosno staklo zadržat će stabilnost pod opterećenjem u većini slučajeva kada dođe do loma zbog toga što će fragmenti razlomljenog stakla čvrsto prijanjati na PVB sloj. Pukotine u staklu neće se otvoriti i na taj način znatno se smanjuje rizik od ozljeda jer će odlomljeni komadi stakla ostati priljepljeni. Ovisno o upotrebi laminiranog sigurnosnog stakla, a kako bi se zadovoljili stroži zahtjevi, moguće je staviti više PVB slojeva između dvije plohe stakla.

- **Fizikalna svojstva**

- Tlačna čvrstoća
- toplinsko širenje
- specifična težina i kemijske svojstva su slična pojedinim svojstvima baznog stakla.

Prolaz svjetlosti je također rezultat vrijednosti procesuiranog baznog stakla i PVB filma.

U zavisnosti od debljine „sendviča“, prolaz svjetlosti je između 90 - 70 %.

Prolaz svjetlosti i dojam renderiranja boje – posebno u kad je deblji komplet sa više ploha stakla i mnogo PVB slojeva – može biti poboljšana upotrebom float extra clear stakla.

- **Otpornost na udar**

Za staklo za zgradarstvo, EN 12 600 predviđa test udara klatnom, kako bi simulirao

udar ljudskog tijela u staklo.

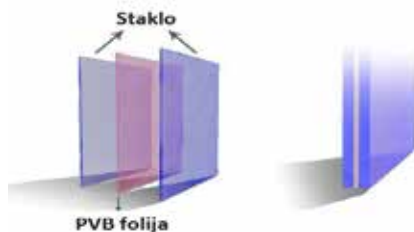


• Proizvodnja

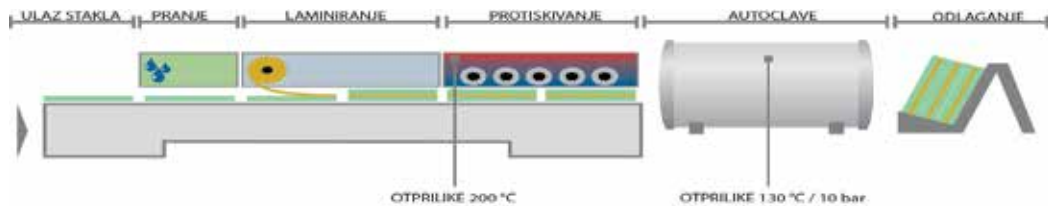
Laminirano sigurnosno staklo proizvodi se u skladu s odredbama iz norme EN 14449. Dva ili više temeljito očišćena komada stakla, sa međuslojevima od jedne ili više PVB folija, slažu se jedno na drugo u čistoj prostoriji.

Taj 'sendvič' se tada početno učvršćuje protiskivanjem kroz valjke uz zagrijavanje na približno 200°C. To se još naziva i mehanički priljepljena jedinica.

Tako dobiven transparentni spoj stakla i PVB filma transportira se na postolju sa mnogim drugim takvim panelima u autoklav, pod visoki pritisak, gdje se ta transparentna priljepljena jedinica podvrgava pritisku od približno 10 bara i zagrijava



na 130°C i na taj način dobiva se potpuno prozirno laminirano sigurnosno staklo.





Gorica staklo

Sisačka 43. 10410 Velika Gorica

Tel: +385 1 6224 025

Fax: +385 1 6224 026

Mob: 099 738 2978

www.goricastaklo.hr

kontakt@goricastaklo.hr