

## Praktični priručnik br. 02

Izdavač: GEALAN- Odjel za savjete arhitekata

# Staklo

Sve što vrijedi znati o staklu

3

Praktični priručnik Staklo

Za informacije koje se nalaze u ovom praktičnom priručniku ne daje se nikakvo jamstvo po pitanju potpunosti i istinitosti. Tvrтка GEALAN Fenster-Systeme GmbH zadržava pravo u svako doba promijeniti sadržaj sljedećih informacija. Ne postoji obveza mijenjanja pogrešnih, zastarjelih ili pogrešnih informacija kao ni obveza dopunjavanja nepotpunih informacija. Preporuke se daju bez naknade. Vrijedi članak 675 II BGB (njemačkog saveznog zakonika). Prije svake upotrebe ovih informacija korisnik ih mora samostalno ispitati. Ove informacije ni u kojem slučaju ne predstavljaju jamstva ili garancije karakteristika. Oni nisu ni upute za upotrebu proizvoda ili drugih usluga tvrtke GEALAN Fenster-Systeme GmbH.

Tvrтка GEALAN Fenster-Systeme GmbH ne preuzima nikakvo jamstvo za korištenje sljedećih informacija, s iznimkom jamstva za namjeru ili grubi nemar. Za pravne zahtjeve u vezi sa sljedećim informacijama vrijede njemački pravni propisi uz isključenje odredaba međunarodnog privatnog prava.

Stanje: lipanj 2006.

Naknadno tiskanje i umnožavanje, čak i iznimno, samo uz naše odobrenje.

Sva prava pridržana.

Pojavljivanjem ovog radnog predloška prestaju vrijediti sva prijašnja izdanja.

Usluge savjetovanja tvrtke GEALAN Fenster-Systeme GmbH, Hofer StraÙe 80, D-95145 Oberkotzau pružaju se bez naknade.

## Sadržaj priručnika Staklo

Poglavlje	Stranica
<b>1. Opći pojmovi</b>	
Float (ravno staklo), ESG, TVG, VSG, izolaciono, rubni držači razmaka, brtvljenje rubnog spoja stakla, punjenje plinom izolacionog stakla _____	8
Čvrstoća ravnog stakla _____	9
Čvrstoća jednostrukog sigurnosnog stakla (ESG) _____	11
Emailirano staklo _____	11
ESG Heißlagerung (Heat – Soak – Test) _____	12
Sigurnost od udara loptice _____	12
<b>2. Toplinsko ostakljenje i ostakljenje za zaštitu od sunca</b>	
Tijek topline kroz izolaciono staklo _____	13
Ozrcaljenje, pozicija, low-e premazivanje _____	13
Punjenje plinom i stupanj punjenja _____	14
Rubni držači razmaka _____	16
Staklo za zaštitu od sunca, b-faktor, g-vrijednost, UV propusnost _____	17
Žaluzine u prostoru između stakala _____	18
Promatranje prečki u pogledu toplinske zaštite _____	19
Tabelarni pregled veličina koje se mogu postići _____	23
<b>3. Zvučna izolacija</b>	
Ocijenjena mjera toplinske izolacija $R_w$ _____	24
Spektar-vrijednosti prilagođavanja C i Ctr _____	25
Zaljevna smola / višeslojno staklo (VG) _____	25
Ploče za zvučnu zaštitu s folijom _____	25
Punjenja plinom _____	25
Ponašanje rezonancije, različite debljine stakla _____	26
Utjecaj veličine stakla _____	27
Tabelarni pregled dostupnih vrijednosti izolacije _____	27
<b>4. Stakla za sprječavanje provala</b>	
Specijalna folija za višeslojno sigurnosno staklo (VSG) _____	29
Klasa zaštite sprečavanje provala _____	29
Klase zaštitne sprečavanje propucavanja _____	30
Alarmno staklo _____	32

## 5. TRAV

Kada je potrebno osiguranje od pada? _____	33
Koja su stakla potrebna u području osiguranja od pada? _____	33
Područja primjene, „kategorije“ A, B i C _____	34
Izračun nosivosti sustava okvira od umjetnih materijala (TRAV, poglavlje 6.3.2.c.....) _____	37
Preispitivanje u pojedinačnom slučaju pokusom s njihalom _____	37

## 6. Promatranje nedostataka

Smjernice za procjenjivanje kod izolacionog stakla _____	38
Ponašanje loma i slike loma kod šteta na staklu _____	42

## 7. Samočišćeće staklo

Samočišćeće staklo? _____	53
Hidrofobija? _____	54
Lotos-efekt _____	54
Hidrofilija _____	55
Fotokataliza _____	56

## 8. Protupožarno i protudimno ostakljenje

Klase protupožarne zaštite i nova CEN klasifikacija _____	57
Dimnotijesna vrata _____	58

## 9. Koso postavljeno ostakljenje

Koso postavljeno ostakljenje prema TRLV _____	59
---	----



## 1.) Opći pojmovi

### „Float“ **Float staklo (ravno staklo)**

Float staklo (ravno staklo) je staklo koje se danas najviše primjenjuje u građevinarstvu. Talina stakla teče pod atmosferom zaštitnog plina pri temperaturi od oko 1100°C na tekuću kupelj za kositrenje. Tekuće staklo zbog svoje manje specifične težine pliva na površini kupelji za kositrenje. Preko brzine valjaka u području hlađenja namješta se debljina stakla. Ravno se staklo izrađuje sa širinom od 3,50 mm, te se reže u pločama u maksimalno isporučivim veličinama od 3,21 m x 6,00 m dužine. Preostale debljine stakla su 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15 i 19 mm.

### „ESG“ **Jednostruko sigurnosno staklo**

Termički prednapeto staklo koje pokazuje gotovo trostruko veću savitljivost nego termički ekspanzijsko (ravno) staklo, te se prilikom loma ne raspada u komadiće.

### „TVG“ **Djelomično prednapeto staklo**

Kod djelomično prednapetog stakla riječ je o termički prednapetom staklu koje se proizvodi u istom procesu kao i jednostruko sigurnosno staklo (ESG), ipak pokazuje samo oko 40% do 50% termički karakteristično tlačno naprezanje površine. Tlačnim naprezanjem površine upravlja se putem procesa hlađenja. TVG se pretežito primjenjuje kao višeslojno sigurnosno staklo (VSG iz TVG) budući da pokazuje sličnu sliku loma kao ravno staklo. Stoga se nakon loma stakla pojedini veliki lomljeni komadi tako mogu zupčasto spojiti da ploče pokazuju preostalu nosivost.

### „VSG“ **Višeslojno sigurnosno staklo**

Višeslojno sigurnosno staklo (VSG) sastoji se od barem dvije staklene ploče koje su jednom elastičnom, nepoderivom i vrlo visoko polimernom folijom, većinom od poli-vinil-butirala (PVB) tako međusobno spojene da se prilikom loma ploča lomljeni komadići zadržavaju na foliji. To umanjuje rizik od povrede rezanja i posjekotina u slučaju razbijanja stakla, a nakon loma omogućuje preostalu nosivost VSG jedinice.

Kao izlazni materijal koriste se ravno staklo kao PVB folije debljine 0,38 mm koje se mogu višeslojno laminirati. Nakon slaganja pojedinih slojeva se u postupku valjanja s prešanjem pri talku od 14 bara i temperaturi od 140°C u autoklavu stvara trajni spoj stakla i folije.

## **Izolaciono staklo**

Pojam izolaciono staklo odnosi se na višeslojno izolaciono staklo. Jedinica ostakljenja od barem dvije staklene ploče koje su zbog prostora između dvije staklene ploče nazivaju SZR, ili LZR [zračni međuprostor], (većinom debljine 8-16 mm) spojene su međusobno samo jednim rubnim spojem. Izolaciona stakla se koriste za toplinsku i zvučnu izolaciju ili za zaštitu od sunca.

## **Rubni držači razmaka**

Rubini spoj se proizvodi pomoću držača razmaka koji je ispunjen sredstvom za sušenje (aluminijev silikat, zeolit) i zalijepljen je polisobutilenom (butil). Držač razmaka sastoji se od perforiranog aluminijskog, pocinčanog čelika ili plemenitog čelika. Za daljnje poboljšanje U-vrijednosti izolacionog stakla danas se primjenjuju termoplastični držači razmaka. („topli rub“)

## **Brtvljenje rubnog spoja stakla**

Za brtvljenje izolacionog stakla prazan se prostor izvan okvira držača razmaka sve do ruba staklene ploče popunjava polisulfidpolimerom (tiokol) ili – rjeđe – poliuretanom. Za koso postavljeno ostakljenje ili za Structural-Glazing izolaciono staklo kao materijal za brtvljenje se koristi i crni silikon koji doduše ima bolju UV-postojanost, ali koji pokazuje značajni veći stupanj difuzije za plinove punjenja.

Zatvoreni SZR (prostor između staklenih ploča) koji je krajnje nepropustan za paru je popunjen ili zrakom ili plinom.

## **Punjenje plinom izolacionog stakla**

Korištenjem plemenitih plinova poput argona, ksenona ili kriptonu koji su značajno teži od zraka udio gubitka topline koji nastaje konvekcijom plina u prostoru između staklenih ploča može se smanjiti.

## **Čvrstoća ravnog stakla**

Kod stakala bez termičkog prednaprezanja čvrstoća stakla u biti je karakterizirana osjetljivošću na urezivanja površine pod vlačnim opterećenjem. Tlačna čvrstoća stakla značajno je veća pa za uobičajene namjene u području građenja nije od interesa. Stoga se čvrstoća stakla u praksi većinom označava kao vlačna čvrstoća odnosno čvrstoća na savijanje. Praktična čvrstoća stakla na savijanje značajno je manja nego teoretska molekularnih spojeva koja iznosi 5000-10000 N/mm<sup>2</sup>. Stvarna tehnička čvrstoća normalnog ohlađenog stakla nalazi se u području od oko 30-100 N/mm<sup>2</sup>. Osim mogućih strukturnih pogrešaka u materijalu površina stakla se pod okolnostima također oštećuje i prilikom proizvodnje, prilikom kasnije obrade površine i u praktičnoj primjeni mehaničkim djelovanjima. Djelovanjem urezivanja pri vlačnom opterećenju nastaju vršci od naprezanja na dnu pukotine koji dovode do loma.

Otkazivanje funkcija, kao i kod drugih lomljivih materijala, nastupa gotovo iznenada bez primjetnog prethodnog upozorenja. Tehnička čvrstoća stakla stoga nema apsolutnu nikakvu vrijednost, nego u biti na nju utjecaj imaju mikroskopski i makroskopski defekti površine.

Karakteristična čvrstoća na savijanje ravnog stakla se navodi u DIN 1249-10 s 45 N/mm<sup>2</sup>. Definicija karakteristične čvrstoće na savijanje znači da ona naprezanja na savijanje koja dovode do vjerojatnosti loma od 5%, sa statističkom sigurnošću od 95% su veća od karakteristične čvrstoće na savijanje. Zbog osjetljivosti površine na urezivanje i fenomena subkritičnog rasta pukotine karakteristična čvrstoća na savijanje se pak ne može gledati kao fiksna karakteristična vrijednost materijala. Ona predstavlja kvalitetno obilježje za sposobnost površine tvornički novih uzoraka stakla. Vrijednosti mehaničke čvrstoće, koje se uobičajeno ispituju u kratkotrajnom pokusu, moraju se stoga značajno smanjiti za korištenje pod trajnim opterećenjem.

I efekti saniranja pukotina kod ispitne čvrstoće stakla igraju odlučujuću ulogu. Posebice kod opterećenja koja nastupaju samo u vremenski dužim razmacima, kao što je to primjerice navedeno pri opterećenjima putem vjetrova kod vertikalnog ostakljenja, oštećenja površine ne dovode do istih vjerojatnosti otkazivanja funkcija kako je to slučaj kod trajno opterećenih konstrukcijskih dijelova. U vremenskim intervalima bez naprezanja oštećenja na površini se saniraju kemijskim procesima na vrhu pukotine, pa time vidljivo gube na opasnosti. Već nakon kraćeg skladištenja od četiri dana između oštećenja staklene ploče i ispitivanja materijala postižu se 20% veće čvrstoće naspram uzoraka koji se neposredno ispituju nakon oštećenja.

O tlačnoj čvrstoći ravnog stakla nalaze se doduše grubi podaci u DIN 1249-10 prema čemu se ona brojčano označava vrijednošću s oko 700 do 900 N/mm<sup>2</sup>, ipak rezultati istraživanja potvrđuju da su ovi podaci za staklo bez termičkog naprezanja preveliki. O tlačnoj čvrstoći termički prednapetog stakla do sada ne postoje nikakvi znanstveno uvjerljivi podaci.

Mehaničke i fizikalne osobine vapneno-natronskog silikatnog stakla i borosilikatnog stakla prema EN 572-1 [64] i EN 1748-1 [61]

Osobina	Vapneno-natronsko silikatno staklo	Borosilikatno staklo
Gustoća	2500/kg/m <sup>3</sup>	2200-2500 kg/m <sup>3</sup>
Modul elastičnosti E	oko 70000 N/mm <sup>2</sup>	oko 63000 N/mm <sup>2</sup>
Broj poprečnih kontrakcija $\mu$	0,22	0,2
Specifični toplinski kapacitet CP	0,72.103 J/kg.K	0,8.103 J/kg.K
Srednji termički koeficijent dužinskog rastezanja $\alpha_T, 20/300$	oko 9.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	razred 1:3,1 - 4,0.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> razred 2:4,1 - 5,0.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> razred 3:5,1 - 6,0.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Toplinska vodljivost $\lambda$	1,05 W/m.K	1,0 W/m.K
Srednji obračunski indeks u vidljivom području n	1,52	1,5
Knopska tvrdoća H/K <sub>0,1/20</sub>		450 – 600
Tvrdoća prema Mohs-u	5,3	



## Čvrstoća jednostrukog sigurnosnog stakla (ESG)

ESG, često pogrešno nazvano kaljeno staklo, je takvo staklo koje se ponovnim zagrijavanjem sve do točke transformacije i nastavnim brzim hlađenjem (ispuhivanjem zrakom) postavlja u stanje vlastitog naprezanja kod kojeg se jezgro ploče nalazi pod vlačnim opterećenjem a površina pod tlačnim opterećenjem.

Karakterističnim tlačnim opterećenjem površine utjecaj površinskih oštećenja koji umanjuje čvrstoću može tek onda postati djelotvoran kada se opterećenjem ili prisilno na površini proizvedu vlačna naprezanja. Stoga i postojanost promjene temperature značajno raste putem prednaprezanja (oko 200 K). Kao izlazni materijal za ESG većinom služi ravno staklo, ali također i lijevana stakla se također može prednaprezati.

Nakon prednaprezanja staklo se zbog energije pohranjene u stanju vlastitog naprezanja može obraditi samo uvjetno. Stoga se obrade rubova, bušenja ili isjecci u biti moraju obavljati prije postupka prednaprezanja. Prilikom projektiranja mora se obratiti pozornost na činjenicu da zbog termičke obrade mogu nastati tolerancije mjera u području bušenja kao i lagana deformacija.

ESG ploča zbog velike energije koja je pohranjena u stanju vlastitog naprezanja prilikom loma raspada se u male kockaste krhotine. Time se smanjuje rizik od velikih posjekotina. Specijalna struktura loma je karakteristična za ESG. Komadi stakla s tupim rubovima više jedan ispod drugog uglavnom u većim komadima. Maksimalno dopuštene veličine krhotina navedene u DIN 1249-12 tablica 5 ne odgovaraju više trenutnom stanju tehnike, budući da je ESG danas bitno homogenije prednapregnut te da pokazuje krhotine koje su manje od 1 cm<sup>2</sup>.

Minimalna savitljivost ESG se navodi u DIN 1249-10 s 120 N/mm<sup>2</sup>. ESG uobičajen u trgovini danas ukazuje već tlačna naprezanja površine između 100 N/mm<sup>2</sup> i 150 N/mm<sup>2</sup> tako da se postignu čvrstoće iznad 200 N/mm<sup>2</sup>.

## Emajlirano staklo

Termički prednapeto staklo kod kojeg se tijekom procesa prednaprezanja sloj emajla u boji utiskuje paljenjem. To može biti po cijeloj površini ili samo mjestimično.

## Emajliranje stakla

Kod emajliranja stakla (također se naziva otiskivanje) se keramički slojevi u boji tijekom proizvodnje termički prednapetog stakla utiskuju paljenjem u površinu. Emajl se u roku od nekoliko sekunda rastopi po staklu te tvori čvrsti spoj sa staklenom osnovom. Boje stakla se u biti sastoje od dvije sastavnice; tekućeg stakla (70 % - 95 %) i pigmenta (5 % - 30 %). Debljine slojeva utisnutog emajla iznose 10 – 100 μm, time se ravnomjerno mogu realizirati transparentni i neprozirni slojevi. Keramičke boje su nakon postupka utiskivanja paljenjem krajnje postojane na grebanje i postojane na vremenske utjecaje.

Premazivanja se provode u postupku sitotiska, postupku valjanja ili postupku prskanja. Emajliranje koje se označava i kao staklovina (tvar nužna za pravljenje stakla) zbog tehničkih razloga se obavlja na strani zaštitnog plina izolacijskog stakla. Emajlirane ploče mogu se bez daljnijega dalje obraditi u svrhu dobivanja spojnog sigurnosnog ili izolacionog stakla. Kod spojnog sigurnosnog stakla se utisnuta strana zbog tehničkih razloga većinom priređuje u PVB foliji. Kod izolacijskih stakala premazivanja se raspoređuju u prostoru između ploča kako bi se spriječilo onečišćenje lako konveksnog emajliranja.

Emajliranjem se ipak smanjuje savitljivost stakla, npr. kod emajliranog ESG na  $f_c, t = 70 \text{ N/mm}^2$  tako da je za takve ploče dopušteno manje naprezanja savijanja. Ovisno o koloritu emajlirana stakla mogu pak postati problematična i u termičkom pogledu. Zbog lokalnog zagrijavanja ploča putem djelovanja sunčevih zraka i s tim u vezi povezanog raspona temperature mogu nastati značajna prisilna opterećenja koji mogu dovesti do termički indiciranog zakazivanja funkcija ploča. Stoga bi se tamne boje što više trebale izbjegavati pri oblikovanju ploča na pozicijama koje su izložene djelovanju sunca.

### **ESG Heißlagerung („vruće skladištenje“)**

#### **ZAŠTO JE POTREBAN HEAT-SOAK-TEST?**

Neizbježnim uključivanjem nikal-sulfida u staklenu ploču putem povećanja temperature povećava se i volumen nikal-sulfida. Time se ometa ravnoteža naprezanja ESG ploče. Ova promjena napona razlog je za spontani lom stakla.

Kako bi se nadalje izbjegao spontani lom stakla u ugrađenom stanju, ESG ploče mogu se podvrgnuti HEAT-SOAK-TEST-u. Kod svih postupaka testiranja se putem zagrijavanja ploče od  $290 \pm 10^\circ\text{C}$  i vremena držanja od 4 sata namjerno priželjkuje mogući spontani lom.

U svrhu nedvojbenog prepoznavanja postavlja se znak H na oznaku ploče u obliku natpisa „ESG-H“ kada je riječ o ostakljenjima od ESG koji sprečavaju padove, ESG fasadnim pločama i ESG pločama koje nisu sa sve četiri strane linijski postavljene.

### **Sigurnost stakla od bacanja lopte**

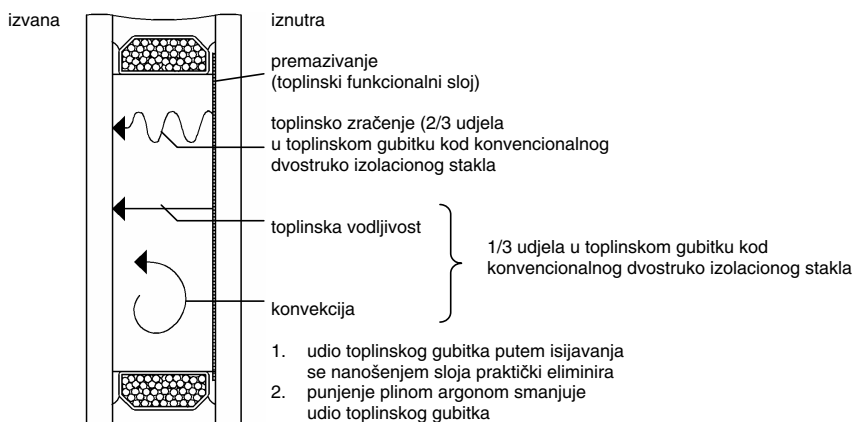
Sigurnost ostakljenja od bacanja lopte se ispituje sukladno DIN 18032 T.3 pomoću stroja za bacanje kojim se dvije vrste loptica (rukometna i hokejaška loptica) bacaju na ostakljenje pod kutom od  $45^\circ$  ili  $90^\circ$ . Već ESG debljine 8 mm i VSG od 2 x 4 ravnog stakla s 0,38 mm PVD folije ispunjavaju ove zahtjeve.

## 2. Ostakljenje za zaštitu od topline i sunca

### Tok topline kroz izolaciono staklo

Tok topline u izolacionom staklu u biti se određuje putem sljedećih sastavnica:

- isijavanje toplinskog zračenja apsorbiranog od strane stakla uslijed mogućnosti emisije površine staklene ploče
- toplinska vodljivost stakla u prostoru između ploča (SZR)
- konvekcija plina u SZR

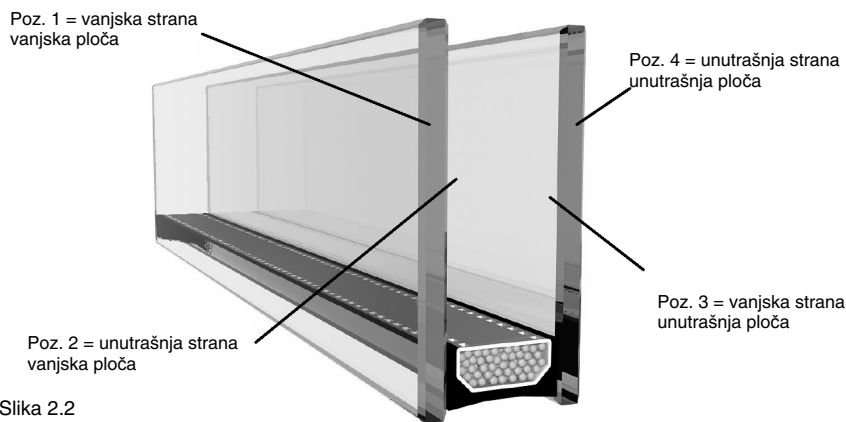


Slika 2.1

Ozrcaljenje (oblaganje zrcalima), pozicija, low-e premazivanje

Izolaciona stakla se označavaju staklima za toplinsku izolaciju ako je barem na jednoj ploči nanesen sloj toplinske izolacije. Premazivanje može značajno smanjiti gubitak toplinske izolacije iz udjela toplinskog isijavanja. Kod izolacionih stakala se premazivanje plemenitim metalima ili metalnim oksidima većinom raspoređuje u prostoru između ploča kako bi se izbjegla oštećenja prilikom korištenja i čišćenja.

Premazivanja se kod izolacionih stakala s toplinskom zaštitom se uobičajeno raspoređuje na poziciji 3, tj. na vanjskoj strani unutrašnje ploče izolacionog stakla.



Slika 2.2

Ako se premazivanje u posebnim slučajevima rasporedi na poz. 2, može se promijeniti vizualni utisak prilikom promatranja stakla. Osim toga smanjuje se stupanj prolaznosti ukupne energije, g-vrijednost izolacionog stakla, za oko 2-3 %. Trenutno se primjenjuje pretežiti udio izolacionog ostakljenja u području stakla s toplinskom izolacijom.

Toplinsko zračenje iznosi oko 2/3, a toplinska vodljivost i konvekcija ukupno iznose 1/3 toplinskog gubitka. Bitno za toplinski gubitak je dakle toplinsko zračenje a time i sposobnost emisije staklene površine. To iznosi oko  $e = 0,85$  kod stakla na koje nije nanesen izolacijski sloj, tj. pojednostavljeno to znači oko 85 % topline se isijava na staklenoj površini. Jednim sasvim tankim metalnim slojem (debljine od samo  $10 \text{ nm} = 1/100.000 \text{ mm}$ ) ova se mogućnost emisije smanjuje na oko  $e = 0,04$ , a da se ne utječe na optički vidljivu propusnost svjetla kroz staklo. Stoga se stakla/izolaciono premazivanje nazivaju i low-e stakla odnosno low-premazivanje (low-e = low-emissivity). Premazivanje je tako učinkovito budući da slojevi reflektiraju samo dugovalne toplinske zrake a propuštaju kratkovalne vidljive sunčeve zrake.

Svatko poznaje ovaj efekt kod automobila koji je duže vremena bio na suncu: Kratkovalne sučeve zrake prodiru kroz staklene površine, zagrijavaju sjedišta u automobilu koja pak reflektiraju dugovalne toplinske zrake. One se samo djelomično prodiranjem kroz staklene površine odbijaju, a unutrašnji prostor postaje vruć. Premazivanjem sloja toplinske zaštite dio toplinskog zračenja koji izlazi van se značajno smanjuje.

### Punjenje plinom i stupanj punjenja

Korištenjem plemenitih plinova kao što su argon, ksenon ili kripton koji su značajno teži od zraka dodatno se smanjuje udio gubitka iz konvekcije plina u prostoru između ploča.

Vrlo interesantno pitanje je i takvo: Ostaje li plin uistinu u SZR? Odgovor je: Jasno DaNe! Ne jer nikakavzalijepljeni rubni spoj ne može biti apsolutno nepropusan.

Da jer je – uz pretpostavku precizne proizvodnje – rubni spoj dovoljno nepropustan kako bi se desetljećima nakon toga osigurao nezatni pad u toplinskoj izolaciji. Ova norma dopušta plinske gubitke od 1 % na godinu.

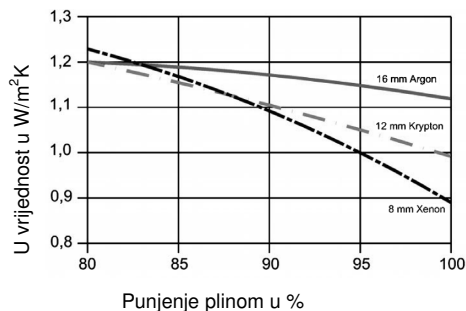
S obzirom na tehniku proizvodnje stupanj punjenja plinom se ne može povećavati proizvoljno. S jedne strane, 90 % punjenja plinom se može izvesti u laboratoriju, ali iskreno gledajući, u masovnoj proizvodnji stakala s toplinskom izolacijom, predstavlja još uvijek želju.

Mogućnost emisije i isijavanja: $\epsilon_n = 0,04$ (argon)					
Stupanj punjenja plinom	80 %	85 %	90 %	95 %	100
SZR:					
6	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
12	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
14	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
15	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
16	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Tablica 2.1

Kao što se iz tablice može prepoznati, kod stupnja punjenja plinom od 90%, SZR 16 mm i mogućnost emisije od  $\epsilon_n = 0,04$  proizlazi Ug vrijednost od 1,2 W/m<sup>2</sup>K. Povećanje stupnja punjenja plinom bi povećala Ug vrijednost na željeni iznos 1,1 W/m<sup>2</sup>K, ipak kao što je poznato s obzirom na tehniku proizvodnje nije sigurno.

Ug vrijednost za mogućnost emisije  $\epsilon_n = 0,04$   
Pilkington Optitherm™ SN



Slika 2.3

Brzo se prepoznaje: Što je stupanj punjenja veći, utoliko je niža = povoljnija Ug vrijednost.

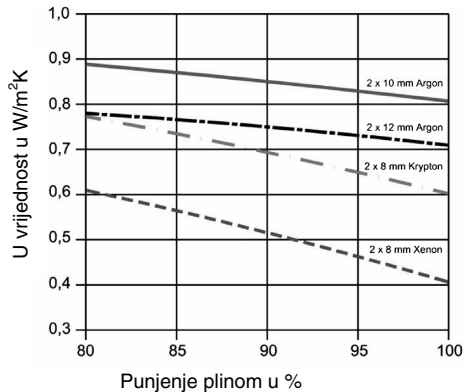
- Kod relativno skupljeg plemenitog plina kriptona i kod još puno skupljeg plina ksenona koji se ne može dobiti u većim količinama poboljšanje je posebno upečatljivo vrlo velikim stupnjevima punjenja.

- Pomoću formule EN 673 dovoljno je računalna igrica da se pronađe (ili da se u dijagramu očita) koliki mora biti minimalni stupanj punjenja da bi se progurala olimpijada U-vrijednosti 1,2  $\Rightarrow$  1,1  $\Rightarrow$  1,0  $W/m^2K$  itd.
- U ekstremnom slučaju (koji više nije podoban za praksu) može se dvoslojnom konstrukcijom izolacionog stakla postići vrijednost od 0,9  $W/m^2K$  ili čak (pri nanošenju izolacionog sloja s  $\epsilon_n = 0,02$ ) vrijednost od 0,8  $W/m^2K$ .

Kome to još nije dovoljno, može to još povećati.

- S jedne strane bi se skupa Low-E premazivanje izolacionim slojevima s fizikalnom mogućnošću emisije od 2 % koja se ne može manje ponuditi, većinom (čak i pogrešno) nazvali „1,0-premazivanje“. Za njih vrijedi najbliže ista slika kao i prije. Krivulje bi se u tome pomaknule za jednu desetinu prema dolje.
- S druge strane se mora imenovati daleko polje trostrukog (ili u ekstremnom slučaju čak četverostrukog) izolacionog stakla, s po jednim Low-E premazivanjem po SZR i s istim mogućnostima varijacija vrsta premazivanja, varijacija prostora između ploča i vrsta plinova, stupnjeva punjenja plinom ili čak mješavina plina. Slika 3 pokazuje za četiri trostrukog izolacione konstrukcije kako se olimpijada toplinske izolacije može tjerati sve do ekscesa.

Ug vrijednost za mogućnost emisije  $\epsilon_n = 0,04$ , trostrukog izolacionog stakla Pilkington Optitherm™ SN



Slika 2.4

### Držači razmaka

Materijali držača razmaka se danas optimiraju kako bi se smanjio toplinski gubitak ovog toplinskog mosta („topli rub“). Umjesto aluminijskog ili pocinčanog čelika koristi se u tu svrhu umjetni materijal (npr. TIS-držać razmaka) ili plemeniti čelik. Time su moguća poboljšanja U vrijednosti za oko 0,1  $W/m^2K$ .

### Staklo za zaštitu od sunca (briselej staklo) b-faktor, g-vrijednost, UV-propusnost

Isto tako kao kod ostakljenja s toplinskom izolacijom stanje tehnike kod izolacionih stakala sa zaštitom od sunčevih zraka su danas vrlo tanki premazi od plemenitih metala. Time se postiže visoka propusnost svjetla pri istovremenom smanjenju propusnosti ukupne energije.

Premazi se za razliku od ostakljenja s toplinskom zaštitom (poz. 3) uobičajeno raspoređuje na poziciju 2, tj. na unutrašnjoj strani vanjske ploče izolacionog stakla (slika 2).

Često se kod visokovrijednog ostakljenja danas bira kombinacija od premaza sa zaštitom od sunca na poz. 2 i premazi s toplinskom zaštitom na poz. 3. Osim premaza koji su gotovo neutralno bezbojni mogu se izabrati reflektirajući premazi koji su se ranije birali. Korištenje termički poboljšano držača razmaka (vidi rubni držači razmaka) ima dodatnu prednost da se smanjuje kondenzat u rubnom području izolacionog stakla.

Kod naknadne izmjene pojedinih ploča mora se obratiti pozornost na činjenicu da se mora omogućiti podudaranje boje i egzaktno ista prozirnost upravo kod stakla sa zaštitom od sunca iz različitih proizvodnih serija kod proizvođača. Posebice kod ostakljenja s velikim površinama i premazima srebrom vidljiva su odstupanja. Isto tako kod premazanih izolacionih ostakljenja nastupaju dobro vidljiva izobličenja (konveksno ili konkavno) koji se mogu svesti na klimatska djelovanja (naziva se efekt klime, efekt pumpe ili efekt katedre)

Dodatno uz propusnost svjetla, UV-propusnost, ukupnu propusnost energije, U-vrijednost i uz indeks reprodukcije boje se za stakla sa zaštitom od sunčevih zraka navodi se srednji faktor propusnosti b i selektivnost S.

#### Srednji faktor propusnosti (b-faktor)

Srednji faktor propusnosti b – također nazvan „shading coefficient“ – je odnos ukupne propusnosti energije (g vrijednost) nekog ostakljenja prema g vrijednosti jednoslojne ploče debljine 3 mm (g vrijednost = 87 %) tj.  $b = g/87$  [%]. S obzirom na g vrijednost dvoslojnog izolacionog stakla proizlazi  $b = g/80$  [%].

g-vrijednost ukupna propusnost energije g odnosi se na područje valne duljine od 300 nm do 2500 nm. Ona je zbroj iz direktno propuštenog zračenja i sekundare predaje topline prema unutra (isijavanje i konvekcija).

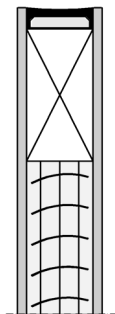
Za novi postupak prema EnEV moraju se koristiti vrijednosti koje su izračunate prema DIN EN 410. Alternativno se mogu koristiti stare vrijednosti iz Saveznog registra ako se povećaju za 2 %.

#### UV propusnost

UV propusnost UV za ultraljubičasto zračenje se prema DIN 410 navode za područje valne duljine od 280 do 380 nm.

## Žaluzine u prostoru između ploča

Uvođenjem žaluzina u SZR (prostor između staklenih ploča) na tržište stvoreno je funkcionalno i istovremeno elegantno rješenje za zasjenjenje i usmjeravanje svjetla privatnih, javnih i industrijskih zgrada.



rukovanje žaluzinama rukom  
rukovanje žaluzinama motorom  
rukovanje žaluzinama daljinskim upravljanjem

Slika 2.5

## Prednosti žaluzina u SZR

- zasjenjuju i sprječavaju poglede unutar stana ili radnog prostora
- sprječavaju sunčeve zrake koje smetaju i prenose difuzno svjetlo u sredinu prostorije
- stvaraju idealno radno svjetlo odozgor, posebice za radna mjesta gdje se nalaze monitori
- apsolutno su osjetljiva na vremenske utjecaje i nije ih potrebno održavati
- mogu se ugraditi u sve postojeće sustave profila
- nema dosadnih šumova vjetra, nema opasnosti od trganja pri većim brzinama vjetra
- nema negativnih utjecaja na oblim fasade, budući da nije potrebna nikakva nadogradnja

Ugradnja u izolaciona stakla štiti žaluzine osobito dobro od prašine, onečišćenja, oštećenja uslijed vode ili vlage, mehaničkih oštećenja kao i materijalnih oštećenja.

## Kompaktne rolete u prostoru između slojeva staklenih ploča

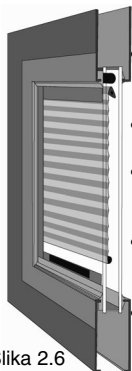
18

Noviji izum su kompaktne rolete koje se sastoje od polieterske folije i koje su obostrano vakuumski metalizirane aluminijem. Debljina aluminijskog sloja pri tome određuje udio prijenosa svjetla. U pogledu tehničke izvedbe postoje takve kompaktne rolete sa stupnjevima transmisije (prijenosa svjetla) 0 % = vizualna zaštita, 1 % = ograničena prozirnost i 6 % = povećana prozirnost ...

Folija ima valovitu strukturu što doprinosi njenoj mehaničkoj stabilnosti unutar prostora između staklenih ploča. Pogon se obavlja pomoću istosmjernog motora. Roleta i električni pogon su tako kompaktni da se u potpunosti mogu integrirati u prostor između staklenih ploča.



Daljnje prednosti naspram žaluzina su:



- homogenim zamračenjem postiže se optimalna zaštita zasjenjenjem kod radnih mjesta gdje se nalaze monitori i ekrani uz istovremenu vidljivost prema van
- nema traka i vrpca kao kod sustava žaluzina
- manja g-vrijednost štedi učinak hlađenja ljeti pri većoj ugodni putem jasne redukcije temperature staklene ploče prema unutrašnjosti prostorije
- zaštita od sunca (faktor smanjenja  $F_s$ ) se može usporediti sa zaštitom od sunca koje je postavljena izvana
- reducirana U-vrijednost štedi energiju za grijanje u zimskom periodu

Slika 2.6

### Promatranje prečki u pogledu toplinske tehnike

Budući da utjecaj prečki na protok topline do sada nije bio dovoljno uziman u obzir, institut Ift Rosenheim je u oslanjanju na izračun koeficijenata protoka topline s obzorom na dužinu ( $\Psi$ -vrijednosti) držača razmaka za višeslojna izolaciona stakla prema prEN 10077 izračunao  $\Psi_{prečke}$ -vrijednosti za konstrukcije stakala s prečkama.

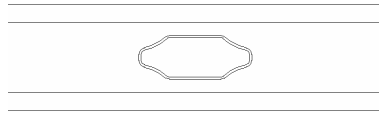
Za izračun  $U_w$ -vrijednosti nekog prozora s prečkama proširuje se poznata formula prema DIN En ISO 10077-1 za koeficijent prolaznosti toplines obzorom na dužinu  $\Psi_{prečke}$ .

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \Psi_g + l_{prečke} \Psi_{prečke}}{A_g + A_f + A_g \cdot A_f}$$

$\Psi_{prečke}$  koeficijent prolaza topline s obzorom na dužinu konstrukcija s prečkom u W/(mK)

$l_{prečke}$  dužina konstrukcije s prečkom u m

**Prečka u prostoru između staklenih ploča**



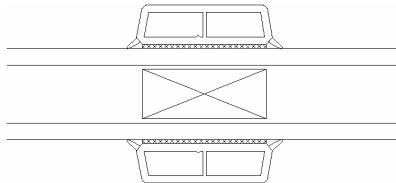
Slika 2.7

$\Psi_{\text{prečke}}$  i  $U_w$  vrijednost za prečku u prostoru između staklenih ploča

Konstrukcija ostakljenja	$\Psi_{\text{prečke}}$ u W/(mK)	$U_w$ u W/(mK)
4/16/4, 90% argon, $\epsilon_{n,3}=0,04$	0,01	0,02
4/16/4, zrak, $\epsilon_{n,3}=0,1$	0,02	0,02

Tablica 2.2

**Prečka s držačem razmaka u prostoru između staklenih ploča**



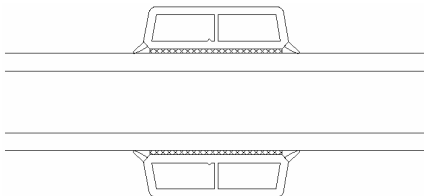
Slika 2.8

$\Psi_{\text{prečke}}$  i  $U_w$  vrijednost za nalijepljenu prečku s držačem razmaka u prostoru između staklenih ploča

Konstrukcija ostakljenja	$\Psi_{\text{prečke}}$ u W/(mK)	$U_w$ u W/(mK)
4/16/4, 90% argon, $\epsilon_{n,3}=0,04$	0,03	0,04
4/16/4, zrak, $\epsilon_{n,3}=0,1$	0,03	0,03

Tablica 2.3

### Prečka bez držača razmaka u prostoru između staklenih ploča



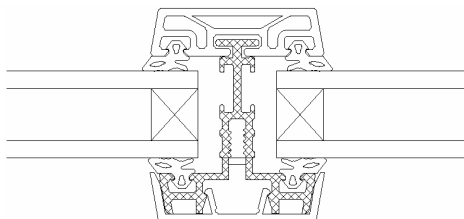
Slika 2.9

$\Psi_{\text{prečke}}$  i  $U_w$  vrijednost za nalijepljenu prečku bez držača razmaka u prostoru između staklenih ploča

Konstrukcija ostakljenja	$\Psi_{\text{prečke}}$ u W/(mK)	$U_w$ u W/(mK)
4/16/4, 90% argon, $\epsilon_{n,3}=0,04$	0,03	0,04
4/16/4, zrak, $\epsilon_{n,3}=0,1$	0,03	0,03

Tablica 2.4

### Prečka koja dijeli staklo



Slika 2.10

$\Psi_{\text{prečke}}$  i  $U_w$  vrijednost za prečku koja dijeli staklo

Konstrukcija ostakljenja	$\Psi_{\text{prečke}}$ u W/(mK)	$U_w$ u W/(mK)
4/16/4, 90% argon, $\epsilon_{n,3}=0,04$	0,16	0,19
4/16/4, zrak, $\epsilon_{n,3}=0,1$	0,13	0,15

Tablica 2.5

Posljedice:

U praksi se dokazao utjecaj prečki na protok topline putem ispitivanja prema DIN EN ISO 12567-1 ili izračunom prema DIN EN ISO 10077-1. Tvrtka GEALAN preporučuje da se prema mogućnostima uvijek provede točan izračun budući da su tu svrhu stave na raspolaganje egzaktnije vrijednosti. Za konstrukcije prečki za koje ne postoji nikakav detaljniji dokaz, mora se koristiti korekcijska vrijednost prema DIN V 4108-4 (usporedi tablicu).

Tip prečke	Korekcijska vrijednost $U_w$ u $W/(mK)$
Nasjedna prečka	+ 0,0
Prečka u prostoru između staklenih ploča (jednostavni križ prečki)	+ 0,1
Prečka u prostoru između staklenih ploča (višestruki križ prečki)	+ 0,2

Tablica 2.6

Prikazani izračuni i korekcijske vrijednosti navedene od strane instituta ift Rosenheim pokazuju da nasjedne (nalijepljene) prečke bez prečki s držačem razmaka dovode do smanjenja protoka topline. Ako ne postoji nikakav detaljni dokaz putem ispitivanja ili izračuna, može se zanemariti utjecaj nasjednih (nalijepljenih) prečki na  $U_w$ -vrijednost prozora.

### Tabelarni prikaz veličina koje se mogu dostići

Ciljana Ug-vrijednost (W/m <sup>2</sup> K)	Mogućnost emisije $\epsilon_n$ za Low-E-promatranje	Konstrukcija izolacionog stakla	Plemeniti plin (ostatak zrak)	Minimalni stupanj punjenja (%)
1,0	0,04	4-10-4	kripton	94
(1,0)	(0,02)	(4-16-4)	(argon)	(100)
<b>1,0</b>	<b>0,02</b>	<b>4-10-4</b>	<b>kripton</b>	<b>86</b>
<b>0,9</b>	<b>0,04</b>	<b>4-8-4</b>	<b>kсенон</b>	<b>90</b>
<b>0,9</b>	<b>0,02</b>	<b>4-8-4</b>	<b>kсенон</b>	<b>86</b>
0,8	0,04	4-8-4	kсенон	94
0,8	0,04	4-10-4-10-4	argon	91
0,8	0,02	4-8-4	kсенон	91
<b>0,8</b>	<b>0,02</b>	<b>4-10-4-10-4</b>	<b>argon</b>	<b>80</b>
<b>0,7</b>	<b>0,04</b>	<b>4-12-4-12-4</b>	<b>argon</b>	<b>88</b>
0,7	0,02	4-8-4	kсенон	95
<b>0,7</b>	<b>0,02</b>	<b>4-12-4-12-4</b>	<b>argon</b>	<b>80</b>
0,6	0,04	4-8-4-8-4	kripton	95
<b>0,6</b>	<b>0,02</b>	<b>4-8-4-8-4</b>	<b>kripton</b>	<b>90</b>
<b>0,5</b>	<b>0,04</b>	<b>4-8-4-8-4</b>	<b>kсенон</b>	<b>88</b>
<b>0,5</b>	<b>0,02</b>	<b>4-8-4-8-4</b>	<b>kсенон</b>	<b>83</b>
0,4	0,02	4-8-4-8-4	kсенон	93

Tablica 2.7

(Sve vrijednosti izračunate prema DIN EN 673)

One konstrukcije koje postignu ciljanu  $U_g$ -vrijednost sa stupnjem punjenja od maksimalno 90 % prihvatljivim u praksi, su zasjenjene i otipkane debelim slovima. Pri stupnjevima punjenja od više od 90% mogućnost proizvodnje u uobičajenoj proizvodnji je prilično upitna. To vrijedi tek za one konstrukcije za koje bi stupnjevi punjenja bili potrebni od 95 % i više; takve se konstrukcije više ne proizvode zbog manjkave relevantnosti u praksi.

Izuzetak (naveden u zagradi) u tablici 2.7 tvori samo premazivanje koje se ranije nazivalo „1,0-premazivanje“ sa svojom fizikalnom mogućnošću emisije  $\epsilon_n = 0,02$  ispod koje se vrijednosti ne može ići i uobičajeni punjenjem plinom argonom. Čisto računski rečeno uspjela se postići  $U_g$ -vrijednost od 1,0 W/m<sup>2</sup>K, ako se njezin prostor između ploča debljine 16 mm točno u 100% iznosu popuni plinom argonom, ali ni jednog jedinog stupnja manje! Time se, samo u svrhu usporedbe, treba pokazati da „1,0 stakla“ punjenja plinom argonom s dvoslojnim staklom pod realnim okolnostima prema danas važećim normama više ne mogu postojati!

### 3.) Zvučna izolacija

#### Dokazana mjera zvučne izolacije $R_w$

Mjera zvučne izolacije  $R$  nekog konstrukcijskog dijela ovisna je o frekvenciji zvuka pri čemu se građevinsko-akustično područje proteže od 100 Hz do 3150 Hz. S vrijednošću  $R$  navodi se 10-struki logaritamski odnos učinka zvuka koji se pojavljuje na konstrukcijskom dijelu prema učinku zvuka koji se reflektira konstrukcijskog dijela.

Poboljšanje zvučne izolacije za 10 dB stoga djeluje na smanjivanje za pola učinka zvuka koji se reflektira od konstrukcijskog dijela, tj. buke.

Dokazana mjera zvučne izolacije  $R_w$  se izračunava prema DIN EN 20140 T.43 putem mjerenja u usporedbi prema odnosnoj krivulji i na vodi se u [dB].

Vrijednosti zvučne izolacije nekog konstrukcijskog dijela se potom unose u dijagram najprije u ovisnosti o frekvenciji, na kojem se dijagramu prenosi frekvencija između 100 i 3150 Hz i odnosne vrijednosti toplinske izolacije. Time se za različita područja frekvencije može precizno izračunati mjera zvučne izolacije. U svrhu pojednostavljenja ovaj se dijagram potom suprotstavlja normiranom dijagramu prema DIN 4109, pa se usporednim računom reducira na vrijednost koja se navodi u [dB(a)]

#### Vrijednosti prilagodbe spektra $C$ i $C_{tr}$

U svrhu prilagodbe mjera zvučne izolacije određenim standardnim izvorima buke koji su ispitani jednim spektrom zvuka, uvedene su vrijednosti prilagodbe  $C$  i  $C_{tr}$ . Time se već u vrijeme planiranja sasvim ciljano može ići na dotičnu situaciju s bukom. Ocijenjene mjere zvučne izolacije se korigiraju s vrijednostima prilagodbe spektra.

**Vrijednost prilagodbe  $C$  (spektar 1)** uzima u obzir sljedeće izvore buke:

- stambene aktivnosti
- dječja igra
- željeznički promet sa srednjom i velikom brzinom
- promet na autocesti > 80 km/h
- mlazni zrakoplovi na malom rastojanju
- proizvodni pogoni koji pretežito proizvode srednje- i visokofrekventnu buku

**Vrijednost prilagodbe  $C_{tr}$  (spektar 2)** uzima u obzir sljedeće izvore buke:

- gradski cestovni promet
- željeznički promet s malim brzinama
- zrakoplovi s propelerom
- mlazni zrakoplovi na velikom rastojanju
- proizvodni pogoni koji pretežito proizvode duboku i srednje-frekventnu buku

## Zaljевна smola / višeslojno staklo (VG)

Konstrukcija višeslojnog stakla (VG) odgovara konstrukciji VSG, ali se kao materijali koji se postavljaju između ne koriste PVB-folije nego drugi materijali, uobičajeno su to reakcijske smole debljine od 1 mm do 4 mm.

Tehničke prednosti pri proizvodnji i za specijalne namjene (npr. višeslojno staklo sa solarnim čelijama koje se nalaze unutra) čine primjenu višeslojnog stakla interesantnom. Ako želite izraditi primjerice uska, duga stakla koja bi trebala imati provrte, onda se sa zaljevnim smolama mogu bolje minimizirati tolerancije u području provrta nego što je to slučaj kod procesa laminiranja VSG-a. Zaljevne smole se mogu koristiti kao jednokomponentni materijal s otvrdnjavanjem pod ultraljubičastim svjetlom ili višekomponentni materijal. Jednokomponentni materijali imaju prednost prilikom obrade. Posebno stakla za zvučnu zaštitu se favorizirano proizvode od višeslojnog stakla sa zaljevnom smolom budući da se zaljevna smola po svom sastavu može primijeniti u specijalnim područjima frekvencije.

## Ploče za zvučnu izolaciju s folijom

U području zvučne izolacije se također nude specijalne folije za zvučnu izolaciju. Optilam Phon je višeslojno staklo sa specijalnom folijom debljine 0,76 mm ili 1,14 mm koja pokazuje izvrsne osobine zvučne izolacije. Optilam Phon se može koristiti i kao ploča za zvučnu izolaciju i kao izolaciono za zvučnu izolaciju PHONSTOP®L. Konstrukcije s PHONSTOP®L imaju prostor između staklenih ploča od 16 mm i punjenje plinom argonom, tako da su moguće vrijednosti do 1,0 W/m<sup>2</sup>K.

## Punjenja plinom

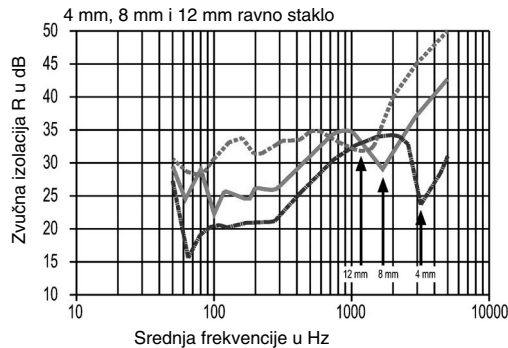
Korištenjem plinova s visokom specifičnom težinom od zraka, npr. sumporov heksafluorid (SF<sub>6</sub>), može se povećati zvučna izolacija ( $R_w$ -vrijednost) staklenih ploča. Ipak staklene ploče punjenje plinom posebice kod niskih frekvencija imaju lošiju zvučnu izolaciju nego staklene ploče punjenje zrakom s istom  $R_w$ -vrijednošću. To bi se trebalo uzeti u obzir pri prometnim šumovima s velikim udjelom dubokih frekvencija (npr. ceste s jakim kamionskim prometom). U buduću će atesti staklenih ploča stoga dodatno uz mjeru zvučne izolacije  $R_w$  sadržavati još i vrijednost prilagodbe spektra  $C_{tr}$  ( $tr$  = Traffic tj. promet) koji daje informacije o smanjenoj izolaciji prema šumovima cestovnog prometa. Njemački Savezni ured za zaštitu okoliša preporučuje da se u svrhu zaštite klime odrekemo od ugradnje staklenih ploča za zvučnu zaštitu s SF<sub>6</sub>.

Punjenja plinom sa sumporovim heksafluoridom (SF<sub>6</sub>) u izolacionim staklenim pločama za zvučnu zaštitu pospešuju efekt staklenika. SF<sub>6</sub> spada u skupinu plinova koji utječu na klimu s maksimalnim potencijalima efekta staklenika. Već jedna tona (t) plina SF<sub>6</sub> oštećuje atmosferu reda veličine koja se može usporediti s 24.000 t sumporovog dioksida (CO<sub>2</sub>). Gotovo polovica svih dosadašnjih emisija plina SF<sub>6</sub> u atmosferi potječe iz staklenih ploča za zvučnu zaštitu. Pri prosječnom trajanju izolacionih staklenih ploča od 25 godina će najkasnije prilikom zbrinjavanja staklenih ploča će kompletna količina plina otići u atmosferu. Zbog uvođenja staklenih ploča punjenih plinom otprilike prije 20 godina će se osloboditi i u atmosferu otići velike količine plina za punjenje. To dovodi do daljnjeg porasta emisije stakleničkih plinova čak i u slučaju trenutne zabrane punjenja staklenih ploča plinom SF<sub>6</sub>. Također i uz aspekt uštede energije punjenje staklenih ploča plinom SF<sub>6</sub> ima nedostaka, budući da plin SF<sub>6</sub> umanjuje toplinsku izolaciju staklenih ploča.

### Ponašanje rezonancije, različite debljine staklenih ploča

Zvuk se rasprostire, kao što je već navedeno, u valovima potičući molekule svog dotičnog medija na titraje. Putem ove vrste prijenosa kod zvuka se događa prirodno prigušivanje (ako je čovjek 100 metara udaljen od svog partnera u razgovoru, neće ništa razumjeti što ovaj kaže u normalnoj jačini zvuka). Ovo prigušivanje je ovisno o mediju i kod plina je bitno veće nego u uobičajenim zraku. Najjednostavniji način da se postigne zvučna izolacija je dakle ta da se koristi mnogi stakla. Tako jednoslojna staklena ploča debljine 12 mm ima  $R_w$ -vrijednost od 34 dB, a staklena ploča od 4 mm samo 29 dB.

Utjecaj debljine staklenih ploča na frekvenciju koincidencije



Slika 3.1

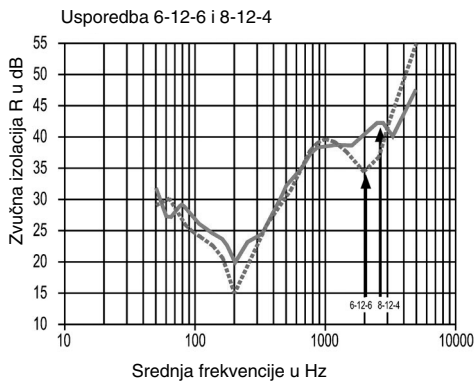
Usporede li se spektri od 4 mm, 8 mm i 12 mm ravnog stakla, vidi se, da svaki od ovih spektara u desnom dijelu ima lom. Tako zvana frekvencija koincidencije je materijalno specifična i ovisna od debljini. Kao fiksna formula vrijedi:

$$f_g = \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

Prema ovoj formuli  $f_g$  za 4 mm Ravno stakla se nalazi pri vrijednosti od 3000 Hz, za 8 mm Ravno stakla pri 1500 Hz, a za 12 mm debljine ravnog stakla pri 1000 Hz što se vrlo dobro slaže sa spektrima na slici 6. Ako se dakle konstrukcija izolacionog stakla izabere s jednoslojnim pločama različite debljine (npr. 4-12-8), tada se, pak, vanjska ploča može dobro oduprijeti buci od 3000 Hz, ipak se ovaj dio filtrira unutrašnjom pločom.



Asimetrična konstrukcija stakla za smanjenje koincidencije



Slika 3.2

Ovom asimetričnom konstrukcijom može se znatno reducirati prekid u području koincidencije, kao što je na slici 7.

### Utjecaj veličine staklenih ploča

Zvučna izolacija staklenih ploča također je ovisna o veličini ploče i obliku ploče; ona je kod ploča većih od 2 m<sup>2</sup> manja izmjerena nego u ispitnom stanju prema DIN 52210. Kvadratni formati ploča imaju lošije osobine nego dugu pravokutni oblici.

Tabelarni pregled vrijednosti izolacije koji se mogu postići

Okvir / krilo (normalne veličine 1,23 x 1,48 mm).

Novim tehnologijama se poboljšavaju vrijednosti zvučne izolacije staklenih ploča. To dovodi do toga da se uvijek iznova provode nova mjerenja cjelokupnih prozora. Najaktualnija izvješća sa ispitivanja mogu se dobiti kod tvrtke GEALAN u Odjelu za savjetovanje arhitekata.

Sustav profila S3000

Staklena ploča	Rezultat ispitivanja
4-16-4	R <sub>w,p</sub> = 32 – 34 dB
6-16-4	R <sub>w,p</sub> = 37 – 40 dB
9GH-16-6	R <sub>w,p</sub> = 42 – 44 dB
10-15-VSG SI 8	R <sub>w,p</sub> = 45 dB
9GH-20-13GH	R <sub>w,p</sub> = 47 dB

Tablica 3.1

Sustav profila S7000 IQ

Staklena ploča		Rezultat ispitivanja
4-16-4	(32 dB)	$R_{w,p} = 35$ dB
4-20-4		$R_{w,p} = 36$ dB
6-16-4	(35 dB)	$R_{w,p} = 38$ dB
8-12-4	(38 dB / SF6)	$R_{w,p} = 39$ dB
8-16-4	(37 dB)	$R_{w,p} = 40$ dB
VSG9-16-4	(39 dB)	$R_{w,p} = 40$ dB
VSG10-16-4		$R_{w,p} = 40$ dB
VSG17-8-6		$R_{w,p} = 41$ dB
9GH-12-6	(44 dB / SF6)	$R_{w,p} = 43$ dB
9GH-14-13GH	(52 dB / SF6)	$R_{w,p} = 47$ dB

Tablica 3.2

Sustav profila S8000 IQ (s 4 komore)

Staklena ploča		Rezultat ispitivanja
4-16-4	(32 dB)	$R_{w,p} = 34$ dB
6-16-4	(38 dB / SF6)	$R_{w,p} = 39$ dB
8-16-4	(37 dB)	$R_{w,p} = 39$ dB
9GH-16-6	(45 dB / SF6)	$R_{w,p} = 42 - 43$ dB
VSG SI 8-16-6	(42 dB)	$R_{w,p} = 43$ dB
VSG SI 8-16-VSG SI 8	(44 dB)	$R_{w,p} = 46 - 47$ dB
9GH-14-13GH	(52 dB / SF6)	$R_{w,p} = 49$ dB

Tablica 3.3

Sustav profila S8000 IQ (sa 6 komora)

Staklena ploča		Rezultat ispitivanja
4-16-4	(32 dB)	$R_{w,p} = 34$ dB
8-16-4	(37 dB)	$R_{w,p} = 39$ dB
VSG SI 8-16-6	(42 dB)	$R_{w,p} = 42$ dB
VSG SI 8-16-VSG SI 8	(44 dB)	$R_{w,p} = 45$ dB
VSG SI 8-24-10	(47 dB)	$R_{w,p} = 46$ dB

Tablica 3.3

#### 4.) Stakla za sprječavanje provala

U ovom odlomku se izričito opisuju zahtjevi koje moraju ispuniti staklene ploče za zaštitu osoba i objekata. Daljnje informacije o temi „Sprječavanje provala“ pronaći ćete u našem praktičnom priručniku br. 9 „Sprječavanje provala“.

##### Specijalna folija za višeslojno sigurnosno staklo (VSG)

Kao folija u višeslojnim sigurnosnim staklima uobičajeno se koristi folija od polivinil-butirala (PVB-folija) debljine 0,38 mm. To je elastična folija s velikom postojanošću na kidanje koja pokazuje veliku moć prijanjanja za staklo. Ovisno o debljini i broju korištenih folija ovisi i „za staklo uobičajena“ prozirnost VSG-staklenih ploča. Za optičko oblikovanje fasada PVB-folije se mogu dobiti i u zagasitoj izvedbi ili kao obojane.

Kod VSG-staklenih ploča koje se koriste za zaštitu od povreda u slučaju loma stakla dovoljna je jednostruka PVB folija debljine 0,38 mm; npr. P1A- ostakljenja prema DIN EN 356 ili pri A1-ostakljenjima. U slučaju koso postavljenih ostakljenja i pri ostakljenjima koja služe za zaštitu od pada moraju se koristiti barem dvije folije tako da ukupna debljina folija iznosi 0,76 mm. U svim drugim slučajevima proizvođači ravnog stakla snose odgovornost za način kojim će ispuniti zahtjeve za odgovarajuće sigurnosno staklo. Tako može biti potrebno da se u svrhu ispunjavanja posebnih zahtjeva koriste 3 ili više slojeva PVB folije.

##### Klase zaštite za sprječavanje provala

Prema ostakljenjima prozora koji sprječavaju provale prema DIN V ENV 1627 ff ovisno o traženoj klasi otpora postavljaju se različiti zahtjevi. Za usporedbu zahtjevi odnosnih klasa otpora koji se odnose na staklo uspoređeni su s dosadašnjim oznakama prema DIN 52290 nove norme EN 356 u tablici koja se nalazi ispod teksta.

Klasa otpora DIN V ENV 1627	Ostakljenje prema DIN 52290 (staro)	Ostakljenje prema DIN EN 356
WK 1	nema*	nema*
WK 2	A3	P4A
WK 3	B	P6B**
WK 4	B2	P6B
WK 5	B2	P7B
WK 6	B3	P8B

Tablica 4.1

\*) Trebalo bi se koristiti višeslojno sigurnosno staklo

\*\*) Za korelaciju postojećih izvješća sa ispitivanja. Kod novih ispitivanja smije se koristiti ostakljenje P5A prema DIN EN 356.

Osim toga postoje zahtjevi prema VdS s vlastitim klasama otpora o čijem prikazivanju će još biti riječi.

Konstrukcija stakla i težina dvoslojnog izolacionog stakla s klasama zaštite  
 Popis prosječnih proizvoda koji se mogu dobiti na tržištu:

Ostakljenje prema DIN EN 356	Ostakljenje prema DIN 52290 (staro)	Minimalna debljina s SZR 16 mm u mm	ca težina u kg/m <sup>2</sup>
P4A	A03	30	30
P5A	A03	31	32
Ostakljenje prema DIN EN 356	Ostakljenje prema DIN 52290 (staro)	Minimalna debljina s SZR 16 mm u mm	ca težina u kg/m <sup>2</sup>
P6B	B1	32	52
P6B	B1	37	66
P7B	B2	38	68
P7B	B2	45	86
P8B	B3	50	90

Tablica 4.2

### 4.3 Klase zaštite za sprječavanje propucavanja

Zahtjevi i postupci ispitivanja u svrhu sprječavanja propucavanja prozora i vrata regulirani su u normama DIN EN 1522 (zahtjevi) i DIN EN 1523 (postupci ispitivanja). Potrebna stakla su definirana u DIN EN 106.

Ispitivanje predviđa pucanje na ispitnu ploču u tri navrata pri čemu se pogodci moraju učiniti u utvrđenom razmaku. Klase otpora se razlikuju putem specijalnog kalibra. Dodatno se utvrđuje razlika da li se pogodak dogodio s tragom krhotina ili bez traga krhotina.

Budući da su va ostakljenja koja sprječavaju propucavanje izrađena od višeslojnog, asimetrički konstruiranog VSG stakla, ovi tipovi stakla imaju naravno bolju osobinu sprječavanja provala.

Ostakljenje prema EN 1522 i EN 1523	Oružje / kalibar	Ostakljenje prema DIN 52290	Ostakljenje prema DIN EN 1063
FB 1	puška / 22 LR	-	BR1
FB 2	ručno vatreno oružje / 9 mm Luger	C1	BR2
FB 3	ručno vatreno oružje / .357 Mag.	C2	BR3
FB 4	ručno vatreno oružje / .357 Mag. ručno vatreno oružje / .44 Rem. Mag	C3	BR4
FB 5	puška / 5,56 x 45	-	BR5
FB 6	puška / 5,56 x 45 puška / 7,62 x 51	C4	BR6
FB 7	puška / 7,62 x 51	C5	BR7

Tablica 4.3

Ostakljenje prema DIN EN 1063	Ostakljenje prema DIN 52290 (staro)	Minimalne debljine za izvedbe izolacionog stakla	ca težina u kg/m <sup>2</sup>
BR1	-	21/27	30/44
BR2	C1	31/39	54/74
BR3	C2	32/47	55/93
BR4	C3	36/53	65/107
BR5	-	43/59	76/123
BR6	C4	49/75	93/162
BR7	C5	81	177

Tablica 4.4

Kod ostakljenje koja sprječavaju propucavanje u DIN EN 1063 naspram stare norme DIN 52290 pored novih oznaka djelomično postoje jasni zahtjevi kod ispitnih kriterija. Iz tog razloga se klase otpora između stare norme DIN 52290 i aktualne norme DIN EN 1063 mogu usporediti samo ograničeno.

Bez dodatnih posebnih mjera prozori od umjetnih materijala nisu prikladni za elemente koji sprječavaju propucavanje. Daljnje informacije o temi sprječavanja propucavanja dobit će npr. na internetskim stranicama Ureda za gađenje Ulm na adresi [www.beschussamt-ulm.de](http://www.beschussamt-ulm.de).

#### 4.4. Alarmna stakla

Alarmna stakla se sastoje od jedne ESG-ploče na koju je utisnuta ili paljenjem utisnuta električki vodljiva alarmna petlja. Ova petlja vodiča ili, pak, alarmni pauk priključena je na alarmni uređaj. Prilikom napada na staklo ESG-staklo se raspada po cijeloj površini u sitne komadiće, a petlja vodiča pri tome i dalje ostaje netaknuta, te se alarmni uređaj aktivira. Kod izolacionih stakala ESG ploča bi se svrsishodno trebala nalaziti na strani koja trpi napade.

Sukladno preporuci VdS alarmni pauk bi se kod izolacionih stakala trebao pozicionirati uvijek gore. To također preporučuju mnogi proizvođači alarmnih stakala.

Budući da stakla s alarmnim paukom sa strane proizvodnje podliježu velikim ograničenjima veličina, arhitekt bi se već u fazi projektiranja trebao informirati kod svojih proizvođača stakla o ovim ograničenjima.

Novi razvoj na polju alarmnih stakala koristi električki vodljive osobine funkcionalnog premazivanja na staklu s naknadno uključenom jedinicom za analizu. Moguća su takva alarmna stakla s gotovo svim funkcionalnim slojevima, ukoliko su električki vodljiva i ako se mogu obraditi na ESG. Alarmni sloj se može koristiti na poziciji 2, kao što je to traženo od VdS, ili na poziciji 3. Prilikom korištenja na poziciji 2 mora se obratiti pozornost na to da se smanjuje g-vrijednost izolacionog stakla.

Ovaj razvoj se trenutno nalazi kod VdS na ispitivanju. Prednost je ta da to predstavlja nevidljivu zaštitu.

## 5.) TRAV (Tehnička pravila za korištenje ostakljenja koji štite od pada)

### Kada je potrebna zaštita od pada?

Za takozvanu bočnu zaštitu od pada mora se uvijek pobrinuti kada postoji visinska razlika od barem 100 cm na objema stranama ostakljenja (do sada u Bavarskoj već od 50 cm).

Sigurnost od pada potrebna je i onda ako ostakljenje (ili jedan njegov dio) doseže do visine stubišne ograde. To je uobičajeno područje do 90 cm iznad visine poda, a može varirati ovisno o propisima u pojedinim zemljama i situacijama ugradnje od 80 cm do 110 cm.

### Koje su staklene ploče potrebne u području osiguranja od pada?

Kao prikladno ostakljenje praktički se prihvaća samo višeslojno sigurnosno staklo! I to doduše od 2 x 4 mm nagore, mada se nigdje eksplicitno ne propisuje minimalna debljina stakla. Ali sa štednom verzijom VSG 6 mm, koja je tako omiljena na tržištu, to bi konačno trebalo postati prošlost. Čak i „staklene konstrukcije s dokazanom sigurnošću od udara“ iz pojedinih kategorija (tablice) počinju tek od VSG 8 mm s 0,76 mm PVB.

Tablice u kategorijama podrazumijevaju se kao praktična pomoć i olakšanje u pribavljanju dokaza. Tako se pokazuju stakla koji su godinama prije toga bili izvođeni i testirani na objektima. Pri tome je velika prednost ta: Iste staklene konstrukcije kao u tablici se ne smiju ugraditi bez daljnje dokaza o sigurnosti od udara. To olakšava posao projektantu, izvođaču radova i administrativnim organima. Nažalost uz posebnu cijenu: Naime, navode se samo takva izolaciona stakla koja pokazuju da imaju ESG-kontra-ploču što inače ne bili bilo nužno.

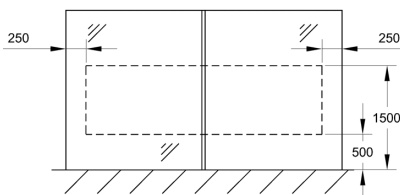
Armirano staklo koje u Njemačkoj i tako i tako već godinama službeno ne vrijedi više kao sigurnosno staklo, smije se primijeniti samo u posebnim slučajevima, i to tako rijetko da se jedva isplati da se u to upuštate.

Kod izolacionog stakla VSG-strana mora uvijek biti okrenuta na „stranu koja prima udar“! To će u većini slučajeva biti strana okrenuta prema prostoriji, dakle tamo gdje bi se osobe mogle sudariti s ostakljenjem. Vrstu kontra-ploče/vanjske ploče pri tome možete birati sami, ukoliko u tu svrhu ne postoje daljnji zahtjevi.

**Razlikuju se tri bitna područja primjene, koji se nazivaju „kategorije“ A, B i C**

**Kategorija A**

Vertikalna ostakljenja koja služe neposrednom preuzimanju poprečne nosive grede, npr. ostakljenja visokih prostora koja ne posjeduju nikakav zasun u poprečne nosive grede za preuzimanje tereta.



Kat.	Tip	Linijsko postavljanje	Širina [mm]		Visina [mm]		Konstrukcija stakla [mm] (počevši iznutra* prema van)		
			min.	max.	min.	max.			
1	2	3	4	5	6	7	8		
A	MIG	Sa svih strana	500	1300	1000	2000	8 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG		1
			1000	2000	500	1300	8 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG		2
			900	2000	1000	2100	8 ESG/ SZR/ 5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG		3
			1000	2100	900	2000	8 ESG/ SZR/ 5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG		4
			1100	1500	2100	2500	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG/ SZR/ 8 ESG		5
			2100	2500	1100	1500	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG/ SZR/ 8 ESG		6
			900	2500	1000	4000	8 ESG/ SZR/ 6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		7
			1000	4000	900	2500	8 ESG/ SZR/ 6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		8
			300	500	1000	4000	4 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG		9
			300	500	1000	4000	4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG/ SZR/ 4 ESG		10
	jedno-struko	sa svih strana	500	1200	1000	2000	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		11
			500	2000	1000	1200	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		12
			500	1500	1000	2500	8 SPG/ 0,76 PVB/ 8 SPG		13
			500	2500	1000	1500	8 SPG/ 0,76 PVB/ 8 SPG		14
			1200	2100	1000	3000	10 SPG/ 0,76 PVB/ 10 SPG		15
			1000	3000	1200	2100	10 SPG/ 0,76 PVB/ 10 SPG		16
			300	500	500	3000	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		17

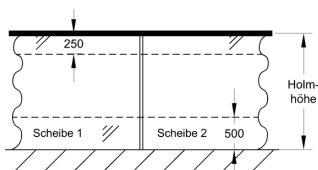
Tablica 5.1

\*: Pojam „iznutra“ odnosi se na stranu koja prima napad, a pojam „van“ je strana pada ostakljenja  
 MIG: višeslojno izolaciono staklo  
 SZR: prostor između staklenih ploča, barem debljine 12 mm  
 SPG: staklo za zrcalo (ravno staklo)  
 ESG: jednoslojno sigurnosno staklo iz stakla za zrcalo  
 PVB: polivinil-butiral-folija



### Kategorija B

Na svom nožištu pomoću stezne konstrukcije linijski postavljeni, nosivi stakleni parapeti čiji su pojedini elementi ostakljenja spojeni pomoću jednog nabijenog, prohodnog nosivog rukohvata.



Širina u mm		Visina u mm		Konstrukcija u mm
min.	max.	min.	max.	
500	2000	900	1100	( 10 ESG/ 1,52 PVB/ 10 ESG )
500	2000	900	1100	( 10 TVG/ 1,52 PVB/ 10 TVG )

Tablica 5.2

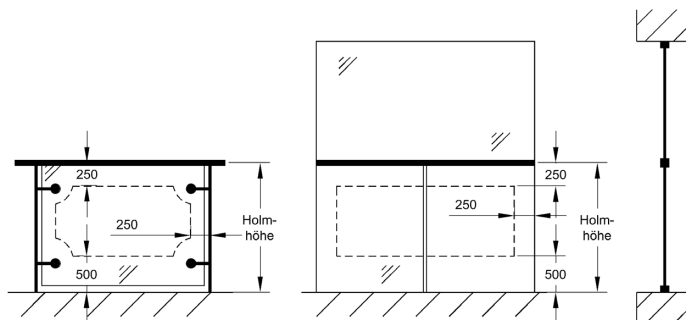
### Kategorija C1 – C3 ostakljenje koje je ispunjeno

#### C1

Na barem dvije nasuprotne strane linijski i/ili točkasti postavljeno popunjavanja ograde

#### C2

Vertikalna ostakljenja koja su postavljena linijski i koja se nalaze ispod poprečnog zasuna raspoređenog u visini rukohvata koji odnosi teret i koja nalaze barem na dvije suprotne strane



Kat.	Tip	Linijsko postavljanje	Širina [mm]		Visina [mm]		Konstrukcija stakla [mm] (počevši iznutra* prema van)		
			min.	max.	min.	max.	8		
C1	MIG	sa svih stran	500	2000	500	1000	6 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG		18
			500	1300	500	1000	4 ESG/ 0,76 PVB/ 4 SPG/SZR/ 6 ESG		19
i		dvostrano gore i dolje	1000	Bel.	500	1000	6 ESG/ SZR/ 5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG		20
C2	jednos	sa svih stran	500	2000	500	1000	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG		21
			1000	bel.	500	800	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		22
		gore i dolje	800	bel.	500	1000	5 ESG/ 0,76 PVB/ 5 SPG		23
			800	bel.	500	1000	8 SPG/ 1,52 PVB/ 8 SPG		24
		dvostrano	500	800	1000	1100	6 SPG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		25
			500	1000	800	1100	6 ESG/ 0,76 PVB/ 6 SPG		26
500	1000	800	1100	8 SPG/ 1,52 PVB/ 8 SPG		27			

Tablica 5.3

\*: Pojam „iznutra“ odnosi se na stranu koja prima napad, a pojam „van“ je strana pada ostakljenja  
MIG: višeslojno izolaciono staklo  
SZR: prostor između staklenih ploča, barem debljine 12 mm  
SPG: staklo za zrcalo (ravno staklo)  
ESG: jednoslojno sigurnosno staklo iz stakla za zrcalo  
PVB: polivinil-butiral-folija

C3  
poprečna greda koji odnosi teret a koja je postavljen ispred



36

Kat.	Tip	Linijsko postavljanje	Širina [mm]		Visina [mm]		Konstrukcija stakla [mm] (počevši iznutra* prema van)		
			min.	max.	min.	max.	8		
C 3	MIG	sa svih stran	500	1500	1000	3000	6 ESG/ SZR/ 4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG		28
			500	1300	1000	3000	4 SPG/ 0,76 PVB/ 4 SPG/SZR/ 12 ESG		29
		sa svih stran	500	1500	1000	3000	5 SPG/ 0,76 PVB/ 5 SPG		30

Tablica 5.4

\*: Pojam „iznutra“ odnosi se na stranu koja prima napad, a pojam „van“ je strana pada ostakljenja  
MIG: višeslojno izolaciono  
SZR: prostor između staklenih ploča, barem debljine 12 mm  
SPG: staklo za zrcalo (Ravno staklo)  
ESG: jednoslojno sigurnosno staklo iz stakla za zrcalo  
PVB: polivinil-butiral-folija

Pozor:

Ako se poprečna greda koji odnosi teret nalazi na strani koja je suprotna udarnoj strani (naravno izvana), staklena se ploča mora izraditi prema kategoriji A.

### Ispitivanje nosivosti sustava od okvira iz umjetnih materijala prema TRAV, poglavlje 6.3.2.c

Izvod iz TRAV (Tehničkih pravila za korištenje ostakljenje koja služe osiguranju od pada)

- c) Drugi sustavi okvira smiju se promatrati kao dovoljno nosivi ako prislon stakla s uтором koji je opterećen udarom izdrži zamjensku silu od 10 kN/m. Dokaz se može obaviti računskim putem ako je to moguće na temelju tehničkih građevinskih odredaba (okvir se sastoji iz reguliranih građevinskih proizvoda i postoje norme za dimenzioniranje koje su obznanjene od strane građevinskog nadzora. Alternativno se dokaz može izvesti u svrhu pokusa od strane priznate ustanove za građevinski nadzor u okviru općeg atesta građevinskog nadzora. Karakteristična nosiva sila (5% fraktil, zadana vjerojatnost 75%) mora barem iznositi 10 kN/m (upravljano ispitivanje s 5 mm/min).

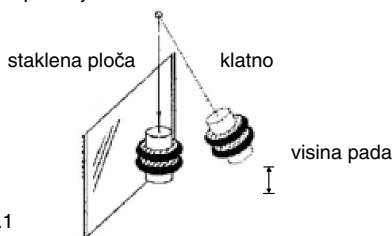
Izvedba	Izvršće ispitivanja	s	Ispitna ustanova	Rezultat ispitivanja
Sustav S8000IQ	502 28478 R1		IFT	Karakteristična nosiva sila prema TRAV računska vrijednost = 15,9 kN/m

Tablica 5.5

### Preispitivanje u pojedinom slučaju pomoću pokusa s klatnom

Donja skica pokazuje napravu za ispitivanje koji se provodi testiranjem s udarnim klatnom prema europskoj normi EN 12600. Dvije zrakom vrlo napunjene gume od ručnih kolica, koje su dopunjene dodatnim teretom do mase od 10 kg, iz prethodno zadane visine pada sruče se na konstrukciju koja služi za osiguranje od pada (dakle ne samo na samo ostakljenje). Pri tome staklo smije čak i napuknuti ali ne smije se stvoriti nikakav otvor. Energija sudara koja se pri tome stvara je značajno veća nego što to čovjek može proizvesti u svrhu testiranja. Rezultat se kao posljedica nalazi na sigurnoj strani.

Metoda ispitivanja



Slika 5.1

## 6.) Promatranje nedostataka

### Smjernice za procjenu kod izolacionog stakla

Općenito je prilikom ispitivanja da li ima nedostataka i manjkavosti mjerodavna je prozirnost ploče, tj. promatranje pozadine a ne pogledna strana. Pri tome zamjerke i reklamacije ne smiju biti posebno markirane.

Ispitivanje jedinica ostakljenja sukladno tablici mora se obaviti na razmaku od oko 1 m prema promatranj površini iz kuta gledanja promatrača koji odgovara uobičajenom korištenju prostora. Ispituje se pri difuznom dnevnom svjetlu (npr. oblačno vrijeme) bez direktnog sunčevog svjetla ili umjetnog osvjetljenja.

Dopuštene osobine za vizualnu kvalitetu stakla za građevinarstvo

Tablica je napravljena za ravno staklo, ESG, TVG, VG, VSG, bilo premazani ili nepremazani	
Zona	Dopušteni po jedinici su:
F	Ravna rubna oštećena koja se nalaze izvana odnosno školjke koja ne utječu na čvrstoću stakla i koja ne prekoračuju širinu ruba
	Školjke koje se nalaze unutra bez labavih komadića stakla koja su popunjena masom za brtvljenje
	Točkasti ili ravni zaostaci kao i ogrebotine neograničeno
R	Strana tijela u staklu, mjehurići zraka, točke, mrlje itd.
	Površina ploče 1 m <sup>2</sup> : max. 4 komada po < 3 mm Ø
	Površina ploče > 1 m <sup>2</sup> : max. 1 komad po < 3 mm Ø po dužnom m dužine ruba
	Zaostaci (točkasti) u prostoru između staklenih ploča
	Površina ploče 1 m <sup>2</sup> : max. 4 komada po < 3 mm Ø
	Površina ploče > 1 m <sup>2</sup> : max. 1 komad po < 3 mm Ø po dužnom m dužine ruba
Zaostaci (po površini) u SZR: bjelkasto sivi odnosno transparentni max. 1 komad 3 cm <sup>2</sup>	
Ogrebotine: zbroj pojedinačnih dužina: max. 90 cm Pojedinačna dužina: max. 30 mm	
Ogrebotina od kose: nije dozvoljena	
H	Strana tijela u staklu, mjehurići zraka, točke, mrlje itd.
	Površina ploče 1 m <sup>2</sup> : max. 2 komada po < 2 mm Ø
	1 m <sup>2</sup> < površina ploče 2 m <sup>2</sup> : max. 3 komada po < 2 mm Ø
	Površina ploče > 2 m <sup>2</sup> : max. 5 komada po < 2 mm Ø
	Ogrebotine: zbroj pojedinačnih dužina: max. 45 mm – pojedinačna dužina: max. 15 mm
Ogrebotine od kose: nije dozvoljena	
R+H	maksimalni broj dopuštenosti kao u zoni R strana tijela u staklu, mjehurići zraka, točke, mrlje itd. od 0,5 do < 1,0 mm su dopušteni bez ograničenja površine osim u slučaju velikih nakupina. O nakupinama je riječ u slučaju ako postoje barem 4 strana tijela u staklu, mjehurići zraka, točke, mrlje itd. unutar površine kruga promjera od 20 cm.

38

Tablica 6.1

Napomene:

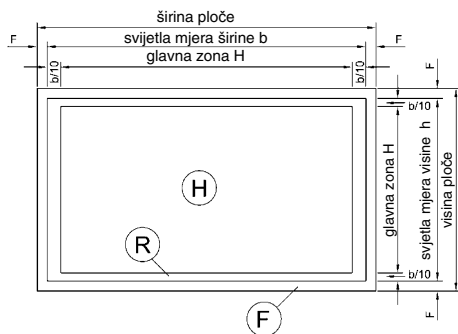
Reklamacije od 0,5 mm se ne uzimaju u obzir. Postojeća polja koja smetaju (Hof) ne smiju biti veća od 3 mm.

Višeslojno staklo i višeslojno sigurnosno staklo (VSG):

1. Dopuštenosti u zoni R i H povećavaju se u učestalosti po jedinici sloja za 50 %.
2. Kod jedinica sa zaljevnom smolom mogu se pojaviti valovitosti uvjetovane proizvodnjom

Jednostruko kaljeno sigurnosno staklo (ESG) i djelomično prednapeto staklo (TVG) kao i višeslojno staklo i višeslojno sigurnosno staklo iz ESG i TVG:

1. Lokalna valovitost na staklenoj površini – osim kod ESG i TVG iz ornarnetnog ili ukrasnog stakla – s obzirom na mjernu dionicu ne smije prekoračiti 300 mm.
2. Deformacija s obzirom na ukupnu dužinu ruba stakla – osim kod ESG i TVG iz ornarnetnog stakla – ne smije biti veća od 3 mm po 1000 mm dužine ruba stakla. Druga, npr. manja dopuštena ispupčenja se moraju dogovoriti. Kod kvadratnih oblika i približnih kvadratnih oblika (do 1:1,5) kao i jednostrukih ploča nazivne debljine stakla < 6 mm mogu se pojaviti veće deformacije.



F = zona utora  
Širina 18 mm (s iznimkom mehaničkih oštećenja ruba nema ograničenja)

R = rubna zona  
Površina 10 % odnosnih svijetlih mjera širine i visine (manje stroga ocjena)

H = glavna zona  
(najstroža ocjena)

Slika 6.1

## Opći naputci

Smjernica predstavlja mjerilo za ocjenjivanje za vizualnu kvalitetu stakla u građevinarstvu. Prilikom procjene nekog ugrađenog proizvoda od stakla mora se početi od toga da se osim vizualne kvalitete moraju uzeti u obzir i obilježja proizvoda u svrhu ispunjavanja svoje funkcije.

Osobina proizvoda od stakla kao što su vrijednosti zvučne izolacije, toplinske izolacije i vrijednosti transmisije i prijenosa svjetla itd., koji su navedeni za odgovarajuću funkciju, odnose se na ispitne ploče prema ispitnoj normi koja se mora primijeniti na odgovarajući način. Kod drugih oblika ploča, kombinacija kao i s obzirom na ugradnju i vanjske utjecaje mogu se promijeniti navedene vrijednosti i optički dojmovi.

Mnoštvo različitih proizvoda od stakla ne dopušta da se tablica prema poglavlju 3 može primijeniti bez ograničenja. Pod okolnostima potrebna je procjena koja se odnosi na sam proizvod. U takvim slučajevima, npr. kod ostakljenja koja sprječavaju napad moraju se procijeniti posebna tražena obilježja u ovisnosti o korištenju i ugradbenoj situaciji. Prilikom procjene određenih obilježja moraju se uzeti u obzir osobine specifične za proizvodnju.

## Vizualne osobine proizvoda od stakla

### a) Vlastita boja

Svi materijali korišteni pri proizvodnji stakla imaju vlastite boje uvjetovane sirovinama koje se koriste pri proizvodnji stakla koje mogu postati izraženije s povećanom debljinom stakla. Kako bi se ispunile zakonske odredbe u pogledu uštede energije, koriste se premazana stakla. I premazana stakla također imaju vlastitu boju. Ova vlastita boja može se različito prepoznati u kontroli i/ili nadzoru. Kolebanja otiska boje moguća su na temelju sadržaja željeznog oksida, procesa premazivanja, premazivanja kao i promjenama debljine stakla i konstrukcije staklene ploče i konstrukcije ploče ne smiju se koristiti.

**b) Izolaciono staklo s prečkama koje se nalaze unutra**

Zbog utjecaja okoline (npr. efekt dvostruke ploče) kao i vibracijama ili ručno potaknutim vibracijama mogu se kod prečki pojaviti šumovi klepetanja. Vidljivi rezovi pila i neznatna ljuštenja boje u području reza su uvjetovani proizvodnim procesom. Odstupanja od pravokutnosti unutar podjela polja stakla moraju se procijeniti uzimajući u obzir tolerancije proizvodnje i ugradnje i cjelokupnog utiska. Djelovanja uzrokovana promjenama dužine zbog temperatura kod prečki u području između staklenih ploča u načelu bi se mogla izbjegavati. Kod otvaranja i zatvaranja prozora i elemenata vrata također se mogu pojaviti šumovi klepetanja kao i prilikom udarca rukometne lopte na površinu staklene ploče. Oni bi se trebali izbjegavati. Raspoređivanje razmačnih elemenata iz umjetnih materijala na križu prečki se u mnogim slučajevima odbija jer se točkastim postavljanjem proizvode koncentrirana opterećenja koja povećavaju rizik loma stakla.

**c) Ocjenjivanje vidljivog područja rubnog spoja**

U vidljivom području rubnog spoja a time i izvan svijetle površine stakla mogu se kod izolacionog stakla na samom staklu i na držačima razmaka prepoznati obilježja uvjetovana proizvodnjom.

**d) Oštećenja vanjske površine**

Kod mehaničkih ili kemijskih oštećenja vanjske površine stakla koja se prepoznaju nakon ostakljenja moraju se razjasniti uzroci. Uostalom vrijede pored ostalog sljedeće norme i smjernice:

- Tehničke smjernice staklarskog obrta
- VOB DIN 18 361 „Radovi na ostakljenju“
- DIN EN 572 „Staklo u građevinarstvu“

i odnosni podaci i propisi za ugradnju koje je dao proizvođač.

**e) Fizikalna obilježja**

Od ocjenjivanja su isključene:

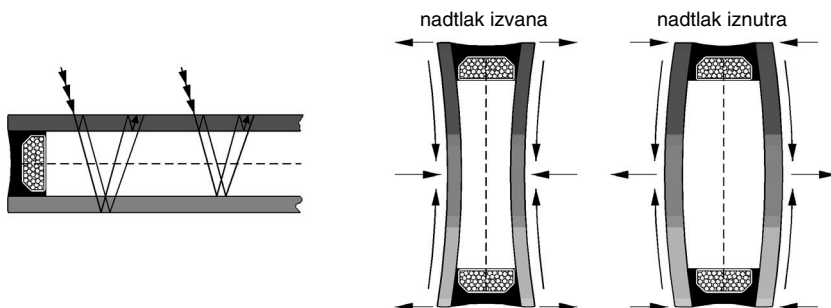
- pojave interferencije
- efekt dvostruke ploče
- anisotropija
- kondenzacija na površinama ploča i vanjskim površinama (kondenzacija)
- ovlaženost staklenih površina

**Pojašnjenja pojmova****a) Pojave interferencije**

Kod izolacionog stakla iz ravnog stakla mogu se pojaviti u obliku boja iz spektra. Optičke interferencije su pojave superpozicije dvaju ili više valova svjetla u slučaju susretanja na jednoj točki.

One se pokazuju putem više ili manje obojanih zona koje se mijenjaju prilikom djelovanja sile pritiska na staklenu ploču. Ovaj fizikalni efekt se pojačava planparalelnošću površina stakla. Ova planparalelnost se brine za prozornost bez izobličavanja.

Pojave interferencije nastaju slučajno i ne može se utjecati na njih.



Slika 6.2

b) Efekt dvostruke ploče

Izolaciono staklo ima volumen zraka / plina koji je uključen putem rubnog spoja čije se stanje u biti određuje putem barometarskog tlaka zraka visine mjesta ugradnje iznad normalne nule (NN) kao i temperature zraka u trenutku i na mjestu ugradnje. Pri ugradnji izolacionog stakla na drugim visinama ugradnje, kod promjena temperature i oscilacija barometarskog tlaka zraka (visoki tlak i niski tlak) nužno se pokazuju konkavna i konveksna savijanja jednostrukih ploča a time i optička izobličenja.

I višestruka refleksije i zrcaljenja mogu se različitog intenziteta pojaviti na površini izolacionog stakla.

Pojačano se ove zrcalne slike mogu prepoznati ako je npr. poleđina ostakljenja zatamnjena ili ako su staklene ploče premazane. Ova pojava je fizikalna zakonitost svih jedinica izolacionog stakla.

c) Anisotropije

Anisotropije su fizikalni efekt kod toplinski obrađenih stakala koje su rezultat interne podjele naprezanja. Moguća je percepcija i opažanje tamno obojanih prstena i traka pri polariziranom svjetlu ovisna o kutu gledanja i/ili promatranje putem polariziranog stakala.

Polarizirano svjetlo postoji u normalnom dnevnom svjetlu. Veličina polarizacije ovisna je o vremenu i položaju sunca. Dvostruko prelamanje može se jače primijetiti pod ravnim kutom ili kod staklenih fasada koje se nalaze pod kutom jedna naspram drugoj.

d) Kondenzacija na vanjskim površinama stakla (stvaranje kondenzata)

Kondenzat se može oblikovati na vanjskoj površini stakla ako je površina stakla hladnija od zraka s kojim je u dodiru (npr. okovane PKW ploče). Stvaranje kondenzata na vanjskim površinama stakla izolacionog stakla određuje se pomoću k-vrijednosti, vlažnosti zraka, strujanja zraka te unutrašnjom i vanjskom temperaturom.

Stvaranje kondenzata na površini staklenih ploča na strani prema unutrašnjosti prostorije pospješuje se u slučaju sprječavanja cirkulacije zraka, npr. dubokim nišama, zavjesama, lončanicama, sanducima za cvijeće, žaluzinama kao i putem nepovoljnog rasporeda grijaćih tijela i slično.

Kod izolacionog stakla s velikom toplinskom izolacijom može se na površini stakla izloženoj atmosferskim utjecajima privremeno stvoriti kondenzat ako je vanjska vlažnost (relativna vlažnost zraka izvana) visoka a temperatura zraka viša od temperature površine staklene ploče.

e) **Ovlaženost staklenih površina**

Ovlaženost staklenih površina može biti različita npr. putem otisaka valjaka, prstiju, etiketa, strukturom papira, vakuumskih sisaljki, putem ostataka brtvenih materijala, silikonskih sastojaka, kliznih sredstava ili utjecajima iz okoliša. Kod vlažnih staklenih površina uslijed kondenzata, kiše ili vode za čišćenje može se vidjeti različita ovlaženost.

## Ponašanje pri lomu i slike loma kod oštećenja stakla

### Osnove

Staklo je fizikalno gledajući pothlađena tekućina i spada u klasu krhkih tj. lomljivih materijala. Kao takav materijal može primiti vrlo velike tlačne sile, ali ne može podnijeti gotovo nikakvo vlačno opterećenje. Ako se putem mehaničkih i/ili termičkih utjecaja dođe do naprezanja u staklu koja prekoračuju ovu manju vlačnu čvrstoću, pojavljuje se lom stakla bez vidljivo plastične deformacije. Posebno ugroženo pri tome je područje ruba stakla.

Daljnja osobina materijala je vrlo mala toplinska vodljivost stakla. To u slučaju koncentriranog toplinskog djelovanja dovodi do uspora topline jer toplina ne može odlaziti. Ako se prekorači maksimalno dopuštena razlika u temperaturi, ovisna o vrsti stakla, dolazi do termički uvjetovanog loma ostakljenja.

Maksimalno dopuštene razlike u temperaturi unutar ploče su za različita stakla navedene u tablici 6.1.

maksimalno dopuštene razlike u temperaturi u površini ploče

	<b>Ravno staklo</b>	<b>TVG</b>	<b>ESG</b>
Postojanost razlike u temperaturi iznad površine staklene ploče	40 K	100 K	200 K

Tablica 6.1

### Lomovi na temelju mehaničkog opterećenja

Lom stakla, uvjetovan mehaničkim opterećenjem, često polazi od područja s povećanim koncentriranim opterećenjima, koja, pak, nastaju npr. zbog zavnutih letvica stakla ili koja mogu nastati uslijed onečišćenja između podloge i izolacionog stakla.

Čak i najmanja oštećenja ruba stakla su polazne točke loma stakla. Kod vrlo malih mehaničkih oštećenja, npr. putem transporta ili ugradnje, polazi se od loma takvih područja.



### **Lomovi na temelju termičkog opterećenja**

Moderna izolacijska stakla moraju danas s obzirom na termičke točke gledišta ispuniti zahtjeve koji djelomice proturječe jedni drugima; tako što:

- energetske intenzivno kratkovalno zračenje ljetnog sunca treba ostati izvan prostorije a
- dugovalno infracrveno toplinsko zračenje, npr. iz zagrijanih prostorija, ne treba dospjeti izvan prostorije.

To se kod danas već uobičajenih izolacijskih stakala s toplinskom zaštitom postiže specijalnim premazima koja na unutrašnjoj strani izolacionog stakla na strani okrenutoj prema prostoru između dvije staklene ploče (pozicija 3) ima zadatak da se pobrine za to da dugovalno infracrveno toplinsko zračenje ne dospjeva van, te da se zadrži jedan dio kratkovalnog zračenja. Kao sporedni efekt se kod ovog stakla u ljetnim mjesecima mora promatrati povećana temperatura za oko 4°, jer ovo staklo značajno smanjuje i noćno rashlađivanje.

Kod intenzivnog sunčevog zračenja ovaj efekt dovodi do toga da se sprječava isijavanje topline apsorbirane u staklenoj ploči prema van putem premaza za toplinsku zaštitu, i da se prostor između staklenih ploča izolacionog stakla može jako zagrijati.

U nastavku teksta navedeni su građevinske okolnosti i mogući uzorci kvara koji mogu dovesti do lokanog prevelikog zagrijavanja izolacionog stakla, a samim time i do mogućeg loma staklene ploče.

### **Grijača tijela, grijače zračilo i ventilator grijanja**

Oni ne smiju direktno djelovati na izolaciono staklo. Minimalni razmak između grijaćeg tijela i višeslojnog izolacionog stakla trebao bi iznositi barem 30 cm, kako bi se izbjegla nedopuštena naprezanja u staklu. Ovaj razmak se može smanjiti na 15 cm ako postoji staklena ploča od ESG okrenuta prema grijaćem tijelu. Inače se mora priključiti zaštitnik zračenja ukoliko se prekorači taj razmak.

### **Djelomična zasjenjivanja**

Posebni uvjeti ugradnje, kao npr. žaluzine postavljene ispred, rolete ili zastori djelomičnim zasjenjenjem stakla mogu voditi do lokalnih razlika u temperaturi u staklu a time do pucanja stakla uslijed pregrijanosti.

Ovaj efekt se može pojaviti putem premazivanja bojama, kao primjerice putem slika na prozorima, ili postavljanjem drugih materijala, kao npr. postavljanjem reklamnih natpisa, i posebno je jasan kod slika prozora s pretežitom tamnim bojama.

### **Skladištenje i transport**

Tijekom skladištenja i transporta naslaganih jedinica izolacionog stakla one se moraju zaštititi od direktnog sunčevog zračenja, jer se jedinice izolacionog stakla inače zagrijavaju unutar paketa transporta.

### Klizna vrata i klizni prozori

Ovdje se mora smanjiti parcijalno zagrijavanje međusobno odvojenih ili otklopljenih krila vrata ili prozora. Ako to nije moguće, rješenje je korištenje ESG stakla.

### Polaganje lijevanog asfalta

Ostakljenje bi trebalo uslijediti tek nakon polaganja lijevanog asfalta. Ako se ovaj redosljed ne može poštivati, izolaciono staklo se mora zaštititi od povećanja temperature koje se mora očekivati prikladnim zaštitom. To vrijedi posebice za premazana stakla.

### Lijevano staklo

Lijevano staklo se koristi za proizvodnju ornamentnog stakla čije se strukture površine proizvode pomoću valjaka. Posebice kod obojanog lijevanog stakla ili sličnog sa žičanim uloškom kod sunčevog zračenja ali specijalno kod stvaranja udarne sjene postoji opasnost neravnomjernog zagrijavanja staklene ploče. U spoju s izolacionim staklom postoji ovdje povećana opasnost od loma uslijed naprezanja parcijalnim zagrijavanjem stakla. U tom slučaju možete si pomoći korištenjem TVG ili ESG.

Prema kranjem kupcu postoji obveza upozoravanja na ovu povećanu opasnost od loma stakla.

### Ponašanje kod loma različitih vrsta stakla

#### **Ravno staklo:** Normalno ohlađeno staklo

se raspada u mnogo krhotina s oštrim rubovima od kojih neki mogu biti relativno veliki i oštrih rubova. Zbog krhotina postoji velika opasnost od povreda.

#### **ESG:** Termički prednapeto jednostruko kaljeno sigurnosno staklo

ima tako zvano „sigurno“ ponašanje u slučaju loma. Ovo staklo se raspada u mnoštvo komadića koji su više ili manje povezani skupa. Lomljenje stakla slijedi bilo direktno nakon oštećenja ili u kasnije.

#### **VSG:** Višeslojno sigurnosno staklo

također ima „sigurno“ ponašanje kod loma. U slučaju loma staklene ploče imaju sliku loma koja odgovara slici loma pretproizvoda. Odnosni lomljeni komadići drže se skupa od strane međusloja. Ovaj međusloj nudi čvrstoću tako da je u tom slučaju značajno smanjen rizik od povreda.

## Slike loma

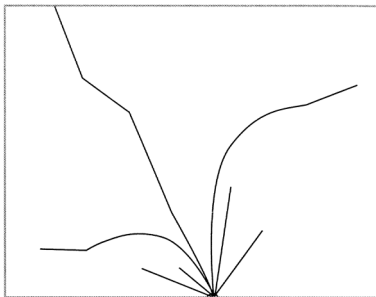
### Lom uzrokovan udarom u rub

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo

**Primjer:** odlaganje na kamenu ili komadu metala, pogrešno rukovanje steznim letvicama stalaka prilikom transporta

**Početak:** ulazni kut u svim pravcima, nije pravokutan, vidi se jasan centar loma na rubu stakla

**Tijek loma:** polazi od centra u obliku zraka, pravocrtni do uglati tijek loma, većinom ne ide do kraja ruba



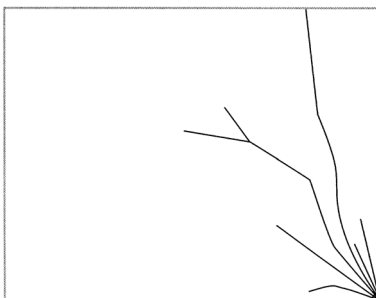
### Lom uzrokovan udarom u kut

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo

**Primjer:** odlaganje na kamenu ili komadu metala, udarac u kut komadom metala, okretanje ili prevrtanje staklene ploče preko kuta

**Početak:** ulazni kut u svim pravcima, nije pravokutan

**Tijek loma:** polazi od kuta u obliku zraka, pravocrtni tijek loma, većinom ne ide do kraja ruba



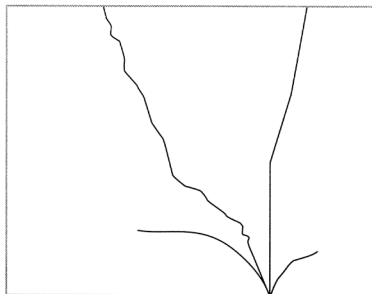
### Lom uzrokovan tlačnom silom u kut

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo

**Primjer:** poddimenzionirane podložne letvice pri velikoj težini stakla, prevelika tlačna sila vijčanim spojem (npr. letvica za staklo), prevelika tlačna sila uslijed zakivanja čekićem kod drvenih letvica bez podložne trake

**Početak:** ulazni kut u svim pravcima, nije pravokutan

**Tijek loma:** polazi od kuta u obliku zraka, pravocrtni do uglati tijek loma, većinom ne ide do kraja ruba



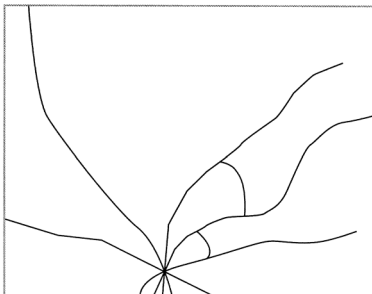
### Rubni lom I

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo

**Primjer:** kamenčići između staklenih ploča, udar alatom, udar čekićem na letvicu za staklo, druga udarna djelovanja

**Početak:** ulazni kut u svim pravcima, nije pravokutan, polazna točka je vidljiva u području ruba

**Tijek loma:** polazi od područja ruba u obliku zraka, pravocrtni do uglati tijek loma, ide do najbližeg ruba, rijetko do nasuprotnog ruba



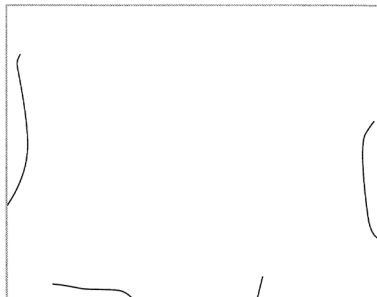
### **Pukotina uzrokovana pritezanjem**

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo

**Primjer:** poddimenzionirane podložne pločice pri vrlo velikom teretu stakla, pogrešno rukovanje nategom podložne kladice, promjena dužine stakla i okvira nije uzeta u obzir

**Početak:** ulazni kut u svim pravcima, nije pravokutan

**Tijek loma:** uvijek polazi od ruba, pravocrtni tijek loma, kratki ulaz, često se vraća do ruba pri dužim lomovima



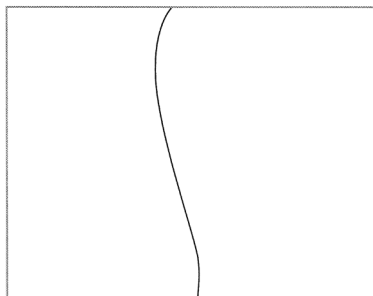
### **Torzijski lom**

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo

**Primjer:** poddimenzionirana debljina stakla, prije svega kod dvostranog skladištenja, oštećena ili ukliještena krila prozora, gibanja u građevinsko objektu s prijenosom tereta na staklenu ploču

**Početak:** ulazni kut u svim pravcima, nije pravokutan

**Tijek loma:** gotovo uvijek se odvija od ruba do ruba, lako valovit, pravocrtni tijek loma, često postoji devijacija ruba uslijed loma



### Rupa uslijed pucnja I

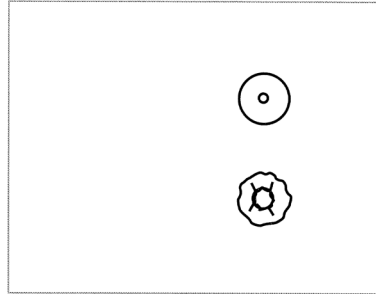
**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, ornamentno staklo, zataljeno staklo, sva monolitna ne prednapeta stakla

**Primjer:** gađanje oružjem

**Početak:** mali, većinom okrugle ulazne rupe

**Izlaz:** jasno veći otvor izlaženja

**Daljnja obilježja:** gotovo okrugla rupa u staklu, glatki rubovi oštih vrhova, rijetko vrlo mali poprečni lomovi



### Rupa uslijed pucnja II

**Vrste stakla:** VSG, višeslojno staklo, elementi zaljevne smole

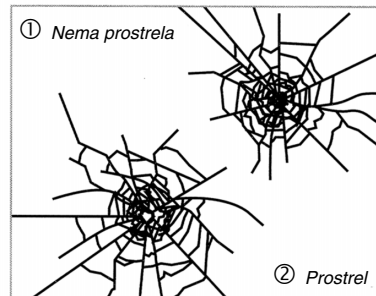
**Primjer:** gađanje oružjem

**Početak:** u centru loma na strani koja je pogođena iz oružja

**Tijek:**

**Nema prostrela:** usitnjeni komadići stakla oko mjesta pogotka, velika površina loma prostire se radijalno i mrežasto oko centra pogotka

**Prostrel:** usitnjeni komadići stakla oko prostrela, velika površina loma prostire se radijalno i mrežasto oko centra pogotka

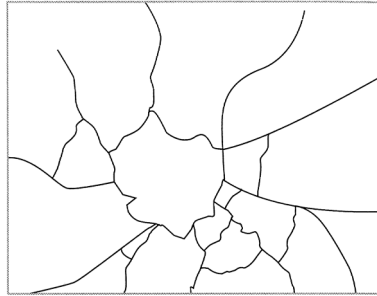


### Lom uslijed bacanja kamena I

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, ornamentno staklo, sva monolitna stakla

**Primjer:** udarac teškim predmetom (čekić i sl.), hitac kamenom za kaldrmu, opekom, drvenom cjepanicom

**Tijek:** neravnomjerna rupa, oštećenje u obliku vrlo grube paukove mreže, pravocrtni do uglati lomovi koji kruže oko centra udara, tijekom loma često ide sve do ruba

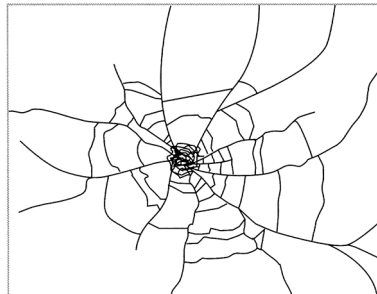


### Lom uslijed bacanja kamena II

**Vrste stakla:** VSG, višeslojno staklo, elementi od zaljevne smole, kod stakla s žičanim uloškom pojavljuje se slična slika loma

**Primjer:** udarac teškim predmetom (čekić i sl.), hitac kamenom za kaldrmu, opekom, drvenom cjepanicom

**Tijek:** oštećenje u obliku grube paukove mreže, pravocrtni do uglati lomovi koji kruže oko centra udara, tijekom loma često ide sve do ruba

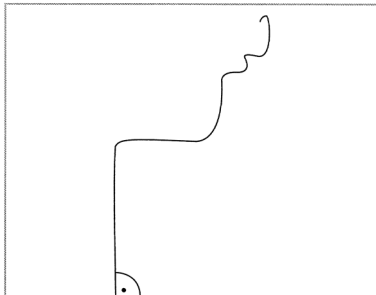


### Termički normalan lom

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo; kod kaljenog stakla moguća su odstupanja zbog žičane mreže

**Primjer:** s unutrašnje strane djelomično pokrivanje staklene ploče kod sunčevog ozračenja, preduboki položaj utora, funkcionalna stakla za zvučnu zaštitu, toplinsku zaštitu i zaštitu od sunca (posebice izolaciono staklo) naslagana u paketu bez pokrivanja u slučaju direktnog sunčevog ozračenja

**Izlaz:** pravocrtno, često i s kukicom

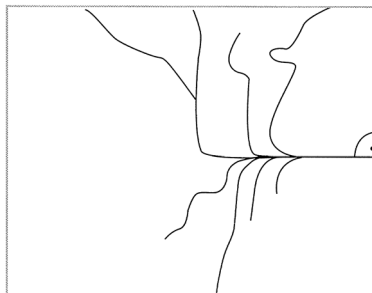


### Vrlo jaki termički lom

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo; kod kaljenog stakla moguća su odstupanja zbog žičane mreže

**Primjer:** plamenik za zavarivanje direktno usmjeren na staklenu ploču, polaganje lijevanog asfalta s neravnomjernom zaštitom staklene ploče, ventilator vrućeg zraka direktno usmjeren na staklenu ploču

**Izlaz:** pravocrtni ulaz, promjena smjera i višestruko lepezasto širenje na hladnoj/toploj zoni, daljnji tijek u obliku meandra





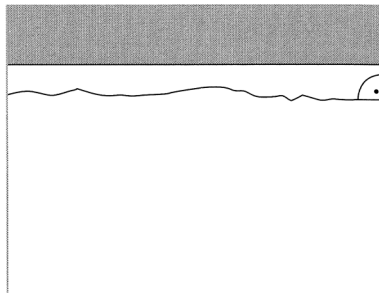
### Termički linijski lom

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo; kod kaljenog stakla većinom se proteže uz žicu

**Primjer:** djelomično zasjenjenje pomoću žaluzina koje se nalaze unutra direktno na staklenoj ploči, sjena putem ispada krova, tamnih površina (naljepnice, reklame, itd.) na staklenoj ploči

**Početak:** pravocrtni ulaz

**Izlaz:** pravocrtni, bez kukice, većinom se proteže od ruba do ruba (u ovisnosti o djelomičnom pokrivanju)



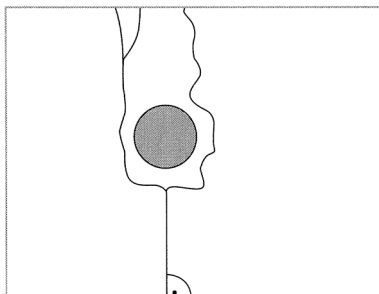
### Termički linijski lom

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom, ornamentno staklo; kod kaljenog stakla moguća su odstupanja zbog žičane mreže

**Primjer:** djelomično zasjenjenje pomoću unutrašnje dekoracije direktno na staklenoj ploči, tamne površine (naljepnice, reklame, itd.) na staklenoj ploči

**Tijek loma:** pravocrtni ulaz, promjena smjera na hladnoj/toploj zoni, moguća je podjela na hladnoj/toploj zoni

**Izlaz:** pravocrtni, bez kukice, većinom protok loma



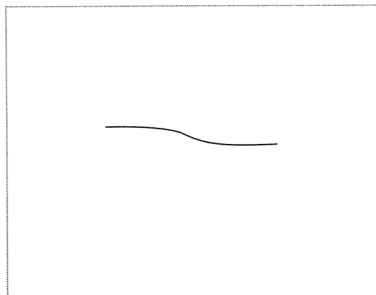
### Termički crvoliki lom

**Vrste stakla:** ravno staklo, vučeno staklo, VSG, višeslojno staklo, ploče sa zaljevnom smolom velike debljine elementa

**Primjer:** plamenik za zavarivanje na površini staklene ploče, ventilator vrućeg zraka an površini staklene ploče, jako koncentrirano opterećenje na površini staklene ploče velikog izloga i sl.

**Početak:** unutar površine staklene ploče, nema početka na rubu stakla, moguće je da nema razlike između početka i kraja

**Tijek:** zmijoliki i crvoliki oblik loma, u centru staklene ploče bez većih promjena pravca



### Aspekt u pogledu prava jamstva

Kod stakla na temelju prethodno opisanih osobina materijala postoji veliki rizik od loma i ogrebotina, pri čemu i najmanja oštećenja mogu dovesti do loma. Zbog današnjih velikih kvaliteta proizvodnje što više se izbjegavaju vlastita naprezanja u staklu. Stoga se lom stakla događa isključivo utjecajima sa strane, te ga proizvođači stakla ne priznaju kao razlog za reklamaciju. Stoga je uobičajeno da se s predajom izolacionog stakla proizvođaču prozora na ovoga prelazi rizik od loma i oštećenja.

## 7.) Samočišćeće staklo

Prije nego bude riječi o vrstama odbijanja nečistoća ili samočišćenja, trebalo bi se pojasniti na koje se načine staklo onečišćuje.

Kako prljavština dopijeva na staklenu ploču?

Postoje različite mehanizmi: npr. direktni kontakt (ptičji izmet), kondenzacija (prijelaz iz plinovitog u tekuće stanje), isparavanje tekućina koje sadržavaju nečistoću (kapljice vode nakon kiše) i taloženje prašine.

Tako se postavljaju dva pitanja:

1. Kako se može smanjiti takvo onečišćenje (odbijanje nečistoća)?
2. Kako se već nataloženo onečišćenje može odstraniti (samočišćenje)?

Pozabavimo se najprije prvim pitanjem. Odbijanje onečišćenja može se ostvariti na način da se prijanjanje prljavštine smanji i da se nadate da će se ne tako tvrdokorna prljavština isprati sljedećom kišom ili da se može odstraniti „ručnim putem“. Ali kako se može postići da prljavština ne bude tvrdokorna. U tu svrhu postoje dvije mogućnosti. Može se promijeniti ili površinsko naprezanje ili površinska struktura.

### Površinsko naprezanje

Dva primjera za površinska naprezanja:

- U čašu se može napuniti više vode nego što to odgovara punom volumenu.
- Težinu nekog tijela nositi će voda.

Oboje funkcionira samo jer površinska naprezanja ruba stakla odnosno vode su dovoljno velika. Površinska naprezanja se mogu sniziti primjerice pomoću tenzida (sredstvima za pranje). To dovodi do doga da se voda prelijeva a da tijelo tone.



Slika 7.1

Na lijevoj slici nožić za brijanje pliva na vodi. Na desnoj je slici površinsko naprezanje vode dodavanjem tenzida toliko smanjeno da je težina nožića za brijanje takva da ju voda više ne može nositi.

### a) Hidrofobija (Odbijanje vode)

Specijalnim premazima može se postići da se poveća površinsko naprezanje stakla. (U gornjim primjerima se, dakle, može napuniti više vode u čašu a tijelo bi sukladno tome moglo biti i teže). Ali što utječe na takvu promjenu površinskog naprezanja? Vjerojatno najpoznatiji primjer je svježe oprani automobil? Ovdje se može vrlo dobro promatrati kako se voda kotrlja u kapljicama – voda teže prianja na auto zbog laka kojim je oplemenjena površina automobila.

Upravo to ponašanje vode na takvim površinama odgovorno je za takvo ime te osobine. Hidro je grčki naziv za vodu, a fobija je grčki naziv za strah. Pojam hidrofobija slikovito opisuje strah vode od takvih površina. Voda se sakuplja u kapljice te tako pokušava pobjeći s površine. Prava svrha premazivanja površine automobila voskom je ta da ne samo voda nego i onečišćenja slabije prianjaju, te da se ispiru sa sljedećom kišom ili prilikom naredne posjete autopraonici (odbijanje onečišćenja odnosno pojednostavljeno čišćenje).

Hidrofobne staklene površine postoje od 80-tih godina 20. stoljeća. Glavna namjena takvih premazanih stakala nalazi se u unutrašnjem području (kabine za tuširanje), budući da gotovo svi naknadno nanoseni premazi nisu trajno postojani na atmosferske utjecaje. Daljnji nedostatak leži u činjenici da kapljice vode zbog većih površinskih naprezanja trebaju veću težinu prije nego što nestanu. Male kapljice nisu dovoljno teške kod vertikalnog ostakljenja. One se suše na staklu i isparavajući ostavljaju mrlje.

### b) Lotos-efekt

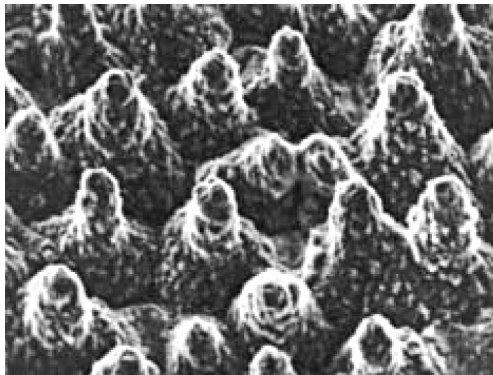
Pored promjena površinskog naprezanja može se – kao što je gore navedeno – promijeniti i površinska struktura. Ovdje je, kao što je to čest slučaj, sama priroda uzor za tehničke osobine.

Tako je površina lotos-cvijeta promijenjena tako da čak i boja ne može prianjati za njega.

Dugo se vremena vjerovalo da se glatke površine mogu posebno lako čistiti. To je, čini se, logično, budući da se, kao što je poznato, s brusnog papira lošije može obrisati prašina nego s polirane čelične ploče.

Ako se promatra površina različitih tijela pod mikroskopom, uočava se da glatka struktura ima više nedostataka. Kod lotos efekta također se radi o smanjenom prianjanju; doduše ovo tu uzrokovano je stupastom ili čvorastom strukturom. Zamislite komad sapuna koji se nalazi na četkici za nokte. Smanjeno prianjanje se postiže time da se kontaktna površina između četke i sapuna drastično reducira (sapun i četka dodiruju se samo na vrhovima čekinja).

### Rasterska snimka Lotos-cvijeta



Slika 7.2

Kako bi se poboljšao efekt, priroda je tijekom razvoja opremila „vrhove čekinja“ lotos-listova hidrofobnim kristalima. Nažalost takve strukturirane površine su uvijek zagasite i pogled kroz njih je zamućen što rezultira upotrebom u području građevinskog stakla.

Osim toga, i kod lotos efekta kapljice trebaju određenu težinu prije nego nestanu s površine.

### c) Hidrofilija

Kod hidrofilije (grčki naziv filija = ljubav) se snižava površinsko naprezanje. (Čaša s vodom može se napuniti sve do kraja.) To znači da je minimalna veličina za kapljice vode koje otječu toliko reducirana da se već i najmanje kapi pretvaraju u ravnomjerni vodeni film. To donosi dvije prednosti:

S jedne strane jednaka količina vode u odnosu prema uobičajenoj površini ravnog stakla vlaži značajno veću površinu – dakle intenzivira se prirodno djelovanje čišćenja.

S druge strane i male „kapljice“ vode otječu ravnomjerno, te na taj način ne ostavljaju nikakve „mrlje od kiše“ na staklenim pločama koje su netom očišćene.

Hidrofilija, dakle, djeluje s jedne strane kao odbijanje onečišćenja budući da je onečišćenje gotovo isključeno putem isparavanja tekućina za koje prijanja prljavština. Poboljšani efekt čišćenja ide s druge strane gotovo već u pravcu „samočišćenja“.

#### d) Fotokataliza

Fotokataliza predstavlja trenutni „non plus ultra“ (tj. nešto nenadmašivo) u razvoju samočišćećeg stakla. Specijalnim premazom omogućava se stvaranje kemijskih tvari na površini stakla. Ove tvari „aktivno“ napadaju organska onečišćenja na površini stakla.

Pomoć za sve one koji nisu kemičari:

Organska onečišćenja: Tvari koje su nastale iz žive materije sadrže atome vodika (C-atomi)

Primjer: smola, ptičji izmet, prašina od cvijeća, ostaci listova ...

Razgrađivanjem na kontaktnoj površini između stakla i onečišćenja smanjuje se prljanje. Manja onečišćenja se u potpunosti rastvaraju.

Na taj način fotokataliza naspram svih drugih efekata predstavlja pravi oblik „samočišćenja“. Svakako ona funkcionira samo u vanjskom području budući da je za proizvodnju „kemijskih tvari“ potrebno ultraljubičasto svjetlo. Ono je sadržano u prirodnom dnevnom svjetlu. Ali izolacionim svjetlom se „isfiltrira“ toliko puno ultraljubičastog svjetla da premazivanje na unutrašnjoj strani ne bi više dobilo dovoljno „pogonskog goriva“.

#### Sažetak

Postoje različite mogućnosti da se omogući odbijanje onečišćenja odnosno samočišćenje na staklenoj površini.

Odluka za određeno oplemenjivanje površine trebala bi se oslanjati na način onečišćenja i na situaciju gdje će se staklo ugraditi. Tako su hidrofobni proizvodi primarno prikladni za primjenu u unutrašnjem području i u području automobila, hidrofilni proizvodi su prikladni kako za primjenu izvana tako i iznutra a fotokatalitični proizvodi prikladni su isključivo za primjenu izvana.

Može se kombinirati i više osobina. To priroda radi primjerice kod lotosovog cvijeta. Ovdje se kombiniraju stupasta struktura i dodatno hidrofobni kristali na „vrhovima čekinja“ kako bi se maksimirao efekt čišćenja.



Prednapeta stakla nude veći otpor protiv zakazivanja funkcija uslijed djelovanja vreline, ipak bez daljnjih mjera ne ispunjavaju zahtjeve koji se traži od protupožarnih ostakljenja.

### **Dimnotijesna vrata**

Dimnotijesna i samozatvarajuća vrata (vrata za zaštitu od dima) opisana su u normi DIN 18095. Isto tako kao i protupožarna vrata moraju i vrata za zaštitu od dima biti opremljena označnom pločicom koja sadrži oznaku proizvođača od strane proizvođača, adresu proizvođača, broj atesta, ispitno mjesto i godinu proizvodnje. Osim toga vrata za zaštitu od dima moraju biti isporučena s uputama za uporabu kojima je priložena i tvornička potvrda proizvođača.

### **Dimnotijesnost**

Vrata za zaštitu od dima imaju zadaću da spriječe prodor dima kroz otvor u zidu u vremenskom razdoblju od oko 10 minuta kako bi se omogućilo spašavanje ljudi i životinja.

Vrata se izlažu diferencijalno tlaku od 0-50 paskala (Pa). Mjeri se količina zraka (stopa propusnosti) koja se pojavljuje kroz fuge. Stopa propusnosti pri diferencijalnom tlaku od 50 Pa ne smije prekoračiti graničnu vrijednost od 20 m<sup>3</sup>/h kod jednokrilih vrata i 30 m<sup>3</sup>/h kod dvokrilih vrata.

Pošto se u slučaju požara i snažnog širenja dima mora računati s povećanim toplinskim opterećenjem, ispitivanja se iznova provode pri temperature od 200°C na dimnoj strani. Pri ovom termičkom opterećenju može se računati s deformacijom vrata koja mogu dovesti do pogoršanja stupnja propusnosti.



## 9.) Koso postavljena ostakljenja

Tehnička pravila za korištenje linijski postavljenih ostakljenja (TRLV) klasificiraju ostakljenja od nagiba s više od 10° prema vertikali kao koso postavljena ostakljenja.

Uobičajena koso postavljena ostakljenja se općenito sukladno planu ne opterećuju prometom osoba. U pojedinačnim slučajevima po njima se u svrhu čišćenja može kratkotrajno i hodati.

Za koso postavljena ostakljenja koja planirano mogu biti opterećena prometom osoba, vrijede pravila za prohodna ostakljenja čiji su zahtjevi, posebice s obzirom na eksperimentalne dokaze, značajno veći. Za koso postavljena ostakljenja prema Tehničkim pravilima za korištenje linijski postavljenih ostakljenja (TRLV) propisano je VSG (višeslojno sigurnosno staklo) iz ravnog stakla kao donje staklene ploče. Za armirano staklo ograničene su mogućnosti korištenja.

Posebice se mora napomenuti da VSG (višeslojno sigurnosno staklo) iz ESG za jednostruka ostakljenja sukladno TRLV nije dopušteno za koso postavljena ostakljenja, nego samo kao gornja ploča izolacionog ostakljenja. Trenutno je stanje tehnike takvo da za koso postavljena ostakljenja koja ne odgovaraju dolje navedenoj tablici (npr. točkasto koncentrirano ostakljenje koje je koso postavljeno), osim dokaza o nosivosti često je potreban i dokaz o preostaloj nosivosti ili se moraju donijeti dodatne mjere (npr. mrežni podnapon). Ovaj dokaz do sada nije definiran ni u jednom propisu i mora se obaviti putem pokusa. Korištenjem VSG iz djelomično prednapetog stakla (TVG) može se pri uobičajenim skladištenjem – s iznimkom dvostranog linijskog postavljanja – početi od toga da pokuša preostale nosivosti pozitivno proteknu. VSG iz TVG se u praksi osim VSG iz ravnog stakla nametnuo kao standard u koso izvedenom području. Nažalost TRLV se još uvijek nije na odgovarajući način prilagodio. Za koso postavljena ostakljenja s površinama ispod 1,60 m<sup>2</sup> i u području privatnih objekata sporno je da li TRLV mora ispuniti prethodno zadane zadatke budući da su u Uredbi o uvođenju TRLV definirane iznimke. Za tipičnu primjenu točkasti koncentriranog pokrivanju izloga staklom su u nekim njemačkim savezним pokrajinama, npr. Hessen i Baden-Württemberg, uz to objavljena i objašnjenja dokaza od strane građevinskog nadzora.

### Dopuštene vrste stakla pri linijski postavljenim koso izvedenim ostakljenjima

x = dopušten	ravno staklo	ESG	VSG iz ravnog stakla	VSG iz ESG	armirano staklo
jednostruko ostakljenja			x		x
izolaciono staklo (gore)	x	x	x	x	x
izolaciono staklo (dolje)	x		x		x

Tablica 9.1

### Olakšice dokaza za vertikalna ostakljenja

Izolaciona ostakljenja postavljena sa svih strana kod kojih se moraju poštivati sljedeći uvjeti su:

Stakleni proizvod:	Ravno staklo iz ESG
Površina:	1,6 m <sup>2</sup>
Debljina staklene ploče:	4 mm
Razlika u debljinama staklenih ploča:	4 mm
Međuprostor između staklenih ploča	16 mm
Opterećenje vjetrom w:	0,8 kN/m <sup>2</sup>

i za visine ugradnje do 20 m iznad ograde pri normalnim uvjetima proizvodnje i ugradnje mogu se koristiti bez daljnega dokaza. Ako dužina kraćeg ruba bude ispod vrijednosti od 500 mm, tada se pak kod ploča iz ravnog stakla povećava rizik od lom uslijed klimatskih djelovanja.

### Dimenzioniranje koso postavljenog ostakljenja

Kod koso postavljenog ostakljenja moraju se uzeti u obzir planirana opterećenja prilikom dimenzioniranja od vjetra, snijega i vlastito opterećenje sukladno DIN 1055. Moraju se voditi uobičajeni statički dokazi sukladno Tehničkim pravilima za korištenje linijski postavljenih ostakljenja.

Ako se po koso postavljenim ostakljenjima može hoditi u svrhu čišćenja, tada se prema DIN 4426 uobičajeno mora dodatno uzeti u obzir vlastito opterećenje od 1,5 kN pri površini od 100 mm x 100 mm u najpovoljnijoj poziciji. Koso postavljena ostakljenja po kojima se može hodati smiju pri tome biti prohodna samo za posebno obučeno osoblje. Dodatno se kod ostakljenja po kojima se može hodati moraju uvesti eksperimentalni dokazi sukladno novom podsjetniku strukovne udruge GS-BAU-18. Ako koso postavljena ostakljenja ne odgovaraju graničnim uvjetima TRLV (npr. kod točkasto koncentriranog postavljanja), potrebni su eventualno i pokusi preostale nosivosti.

## Izvori

Ekkehard Wagner: Oštećenja u staklu; površinska oštećenja; lomovi stakla u teoriji i praksi  
Nakladnik: Hofmann

Priručnik o staklu 2005  
Izdavač: Ravno staklo MarkenKreis GmbH

Priručnik o staklu  
Izdavač: Glas Trosch GmbH – SANCO savjetovanje

Kasper, P.: Slike prozora – lijepe ali opasne  
GFF – časopis za staklo, prozore i fasade, 3/2005, str. 22 ff

Memento Priručnik o staklu 2000  
Izdavač: Saint-Gobain

Oblikovanja u staklu, 6. izdanje  
Izdavač Interpane Glas Industrie GmbH

Pilkington Kompendium izdanje 1 do 10  
Izdavač: Pilkington Deutschland AG

## Impresum

Izdavač:  
GEALAN-odjel za savjetovanje arhitekata  
Hofer Straße 80  
D-95145 Oberkotzau  
Tel.: 0 92 86 / 77-0  
Faks: 0 92 86 / 77-2222  
e-Mail: [info@gealan.de](mailto:info@gealan.de)  
Internet: <http://www.gealan.de>

Dizajn, Litho, slog i tisak:  
Müller Fotosatz&Druck  
Johannes-Gutenberg-Straße 1  
95152 Selbitz  
Tel.: 0 92 80 / 971-0  
Faks: 0 92 80 / 971-71  
e-Mail: [info@druckerei-gmbh.de](mailto:info@druckerei-gmbh.de)  
Internet: [www.druckerei-gmbh.de](http://www.druckerei-gmbh.de)

## Bilješke

## **Bilješke**

## Bilješke

## **Bilješke**





