

## OSNOVNE KARAKTERISTIKE PROZRAČIVANIH STAKLENIH PROČELJA

Kod pročelja poslovnih građevina kao plašt zgrade vrlo se često upotrebljavaju stakleni elementi. Velike staklene površine omogućavaju prirodno grijanje zimi, u proljeće i jesen, no ljeti mogu biti uzrokom pregrijavanja prostora.

- na dvostruka pročelja – dvostruka ostakljena ravnina s međustaklenim prostorom u kojemu je obično zrak.

Kod jednostrukih se pročelja sprječava pregrijavanje prostora i uravno-



Zgrada opere u Oslu sa staklenim pročeljem

Iskorištavanje dnevne svjetlosti pridonosi smanjivanju umjetnoga osvjetljenja. Stakleno se pročelje mora prilagođavati promjenjivoj svjetlosti i vremenskim uvjetima, usklađivati toplinske gubitke i dobitke te omogućiti prozračivanje i iskoristivost dnevne svjetlosti pri čemu je najvažnija zaštita od pregrijavanja odnosno kontrola osunčavanja.

Najpovoljnijim se rješenjima približavamo uporabom selektivno prozirnoga stakla, sjenilima i zaklopcima za prozračivanje. Za analizu prirodnoga osvjetljenja i tokova odnosa u dvostrukom pročelju potrebna je odgovarajuća programska oprema.

S obzirom na osnovne vrste, staklene se pročelja dijele:

- na jednostruka pročelja – jedna ostakljena ravnina i

težuje unutarnja klima na sljedeće načine:

- zaštita od sunca ugrađena je u sustav ostakljenja (sunčana zaštita stakla koja odbija sunčevu energiju iako se smanjuje propusnost vidljivoga sunčeva zračenja)
- vanjska zaštita od sunca (rolete, žaluzine)
- međuprostorna zaštita od sunca (lamelle ugrađene između stakla, s ručnim ili elektroničkim upravljanjem)
- unutarnja zaštita od sunca (vertikalne lamelle u obliku zavjesa, roleta, žaluzina).

S obzirom na učinkovitost najprikladnija je vanjska zaštita od sunca jer toplinski dobitci, koji nastaju od izravnog sunčeva zračenja, ostaju izvan plašta zgrade.



Stakleno pročelje s elementima zaštite od sunca na zgradi Terrence Donnelly Centra za molekularna istraživanja Univerziteta u Torontu

Kod zgrada visine više od 20 m vanjska se zaštita od sunca, zbog utjecaja vjetra, ne preporučuje. Unutarnja je zaštita manje učinkovita jer toplina ulazi u prostor i potrebno ju je iz njega odvesti van.



Primjer vanjske zaštite od sunca

Dvostruka pročelja imaju određene prednosti pred jednostrukim pročeljima. Tako se može bitno smanjiti potrošnja primarne energije, s najpovoljnijom iskoristivosti zračnih tokova, sunčeve energije, dnevne svjetlosti i sposobnosti građevine da akumulira toplinu. Kod dvostrukih je pročelja vanjska staklena stijena u većini slučajeva iz sigurnosnoga kaljenog ili lijepljenog stakla.



Dvostruko pročelje na zgradi u londonskome Cityju

Kroz otvore za zrak omogućeno je prozračivanje međuprostora pročelja. Vanjska stijena djeluje kao zaštita od buke i vremenskih nepogoda. Međuprostor može biti prohodan i služiti za održavanje obaju staklenih pročelja. S obzirom na uporabu može biti podijeljen po vertikalnim ili horizontalnim osima ili katovima ili nedijeljen. Unutarnje je ostakljenje dvostruko i osigurava zaštitu od toplinskih gubitaka zimi. U pročeljnom međuprostoru smještena je i zaštita od sunca koja unutarnji prostor štiti od ljetnoga pregrijavanja. Zrak se u pročeljnom prostoru zbog uzgona diže i izlazi kroz gornje odvodne otvore (zaklopce se otvaraju s obzirom na temperaturu zraka), a istodobno na donjem dijelu pročeljnoga prostora ulazi hladan zrak iz okoline. Prostori koji graniče s pročeljnim međuprostorom prozračuju se umjetno, kroz otvore u unutarnjoj pročeljnoj stijeni. Međuprostor pročelja s bočnih je strana zatvoren.

Dvostruka pročelja imaju sljedeće prednosti pred jednostrukim pročeljima:

- toplinski su gubici zimi manji
- zaštita od sunca, od vremenskih utjecaja i nečistoća iz zraka

- u usporedbi s pročeljima koja imaju ugrađenu sunčanu zaštitu stakla, u prijelaznom razdoblju omogućavaju visoke solarne dobitke, pri oblačnom vremenu bolju propusnost vidljivoga sunčeva zračenja
- zvučna je zaštita od vanjske buke učinkovitija
- moguće je prozračivanje kroz prozore i kod visokih zgrada.

Dvostruka pročelja imaju i određene nedostatke. Kako se po pročeljnom međuprostoru može širiti zvuk, dim (u slučaju požara) i vrući zrak, pri projektiranju je potrebno u obzir uzeti sve požarno-sigurnosne zahtjeve građevine.

Prozračivana su dvostruka pročelja na početku investicije skuplja u usporedbi s neprozračivanim pročeljima koja trebaju klimatske uređaje za osiguravanje primjerene klime (ni suvremeni i energijski štedljivi klimatski uređaji nisu jeftini), ali razlika se u cijeni brzo vraća jer se u budućnosti mogu očekivati samo više cijene energenata.

#### Vrste stakla

S obzirom na zahtjeve plašta u pročelja se ugrađuju stakla koja su ujedno i toplinska zaštita, zaštita od sunca i zvučna zaštita.

Staklo s toplinskom zaštitom, koja odgovara zahtjevima za racionalnom potrošnjom energije i očuvanju okoliša, ima sljedeće značajke:

- propusnost svjetlosti (LT) > 70 posto
- propusnost energije (g) > 50 posto
- indeks  $R_a$  (pogled kroz prozor) > 97 posto
- vrijednost U (toplinska provodljivost)  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Stakla koja imaju navedene značajke ubrajaju se u toplinskoizolacijska stakla s optimalnom energijskom bilancom. Pri nepromijenjenim kli-

matskim odnosima temperatura na unutarnjoj površini stakla neposredno ovisi o toplinskoj provodljivosti ostakljenja (tablica 1.).

Tablica 1. Ovisnost temperature na unutarnjoj površini stakla o toplinskoj provodljivosti ostakljenja pri vanjskoj temperaturi  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  i unutarnjoj temperaturi  $+21 \text{ }^\circ\text{C}$

Toplinski zaštićeno staklo	
Vrijednost U	Temperatura unutarnjega stakla
$1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$+17 \text{ }^\circ\text{C}$
$0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	$+18 \text{ }^\circ\text{C}$
$0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$+19 \text{ }^\circ\text{C}$

Danas je najraširenije toplinski zaštićeno staklo s toplinskom provodljivošću  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ako se u izolacijskom staklu s toplinskom provodljivošću  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  argon zamijeni s kriptom, toplinska se provodljivost može sniziti na  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ , a pri trostrukom staklu na  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Novije tehnologije upotrebljavaju stakla s mekanim niskoemisijским nanosom s kojim se postiže toplinska provodljivost  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dok su do prije nekoliko godina upotrebljavali tvrde nanose koji su omogućavali postizanje toplinske provodljivosti  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . U nekoliko specifičnih primjera (zakrivljeno staklo) nanošenje niskoemisijškoga materijala nije moguće, stoga se u takvom slučaju rabe niskoemisijška stakla s tvrdim nanosom od kositrenoga oksida. Takva su stakla neutralna po boji, mogu se kaliti, a ugrađuju se kao jednostruko staklo. Propusnost sunčeve topline je dobra, dok je slabija propusnost vidljive svjetlosti i već spomenuta toplinska provodljivost.

Kada se želi dobiti staklo sa zaštitom od sunca, jednome se od stakala u izolacijskom staklu (redovito vanjskom) mora dodati odgovarajući nanos. Nanosom tankoga sloja metalnih oksida povećava se odbojnost (refleksija) energije. Sunčano zašti-

ćeno staklo ima propusnost vidljivega sunčeva zračenja ( $LT > 40$  posto), niske toplinske gubitke odnosno nisku toplinsku provodljivost (vrijednost  $U$ ) i malu propusnost sunčeve energije ( $g$  vrijednost). Takve značajke staklo postiže apsorpcijom kratkovalnih IR (*infrared*) zraka, refleksijom sunčeve energije ili uporabom visokoselektivnih stakala koji zbog odgovarajuće kombinacije nanosa djeluju istodobno kao toplinska zaštita i zaštita od sunca. Suvremena visokoselektivna stakla imaju na unutarnjoj strani vanjskoga stakla mekani višeslojni nanos različitih metala.



Staklo sa zaštitom od sunca, Muzej Mercedes – Benza u Stuttgartu

Stakla s tvrdim refleksnim nanosom odlikuju se, prije svega, visokom odbojnosti sunčeve energije. Ako je metalni nanos okrenut prema okolini (nanos na vanjskoj površini vanjskoga stakla), stakla srebrno-metalne boje imaju visoku odbojnost. U tom se slučaju zbog zrcalnoga efekta predmeti iz okoline oslikavaju na vanjskoj površini više ili manje neutralnoj po boji. U slučaju da su refleksni nanosi nanoseni na bojano staklo, metalni odsjaj preuzima i dio njegove boje (ako je nanos na staklu usmjeren na unutrašnjost odnosno nanosen na unutarnjoj strani vanjskoga stakla). U tom se slučaju refleksija (svjetlos-

ti i energije) smanjuje, ali se povećava apsorpcija. Sva sunčano zaštićena stakla, osim stakla s mekim nanosom, imaju priličan nedostatak, jer koliko je manja propusnost sunčeve energije toliko je manja i propusnost vidljive svjetlosti. To u praksi znači da ostakljenja koja na jednoj strani osiguravaju visoku zaštitu od sunca često smanjuju osvjetljenost unutrašnjosti zgrade. Sunčano zaštićena stakla s tvrdim nanosom metalnih oksida imaju nisku selektivnost ( $LT/g = 35/34 =$  približno 1). To znači da se s rastućom zaštitom od sunca smanjuje svjetlosna propusnost toga stakla. U slučaju izvedbe sunčanih zaštitnih stakala koja imaju nanosen mekani nanos metala (na unutarnjoj strani vanjskoga stakla) karakteristična je visoka selektivnost ( $LT/g = 68/34 = 2$ ) jer stakla uz dobru zaštitu od sunčeve energije još uvijek propuštaju dovoljno vidljive svjetlosti.

Bojano se ravno prozirno staklo dobiva tako da se potrebnim sirovinama (Si, Na, Ca, K) dodaju elementi čije molekule apsorbiraju puno više sunčeva zračenja (dodaju se različiti metali u obliku soli). Na takav način izrađena stakla zbog apsorpcije kratkovalnih IR zraka osiguravaju prilič-



Bojano staklo na pročelju zgrade kampusa San Joaquin Universidad Catolica de Chile u Santiagu

no veću zaštitu od sunca. Kako se zbog toga povećava i apsorpcija vidljive svjetlosti, takva stakla imaju manju propusnost svjetlosti ( $LT$ ), često pogled na staklo ili kroz njega nije neutralan po boji. Apsorpcijska se stakla danas izrađuju u sivoj, zelenoj, brončanoj i plavoj boji. Odbojnost, tj. refleksija svjetlosti je kod takvih stakala uobičajeno puno niža nego kod prozirnoga stakla.

Ako se zbog poboljšane toplinske zaštite ta stakla ugrađuju u izolacijsko staklo s nisko emisijskim staklom, dodatno se poboljšavaju dobici sunčeve energije. U slučaju kad je apsorpcija veća od 50 posto moraju se neka stakla kaliti (što ovisi o veličini i položaju s obzirom na sunce) da bi se spriječila mogućnost nastanka termičkoga loma pri višem toplinskom opterećenju – zagrijavanju stakla.

#### Zvučno zaštićena stakla

Buka iz okoliša velik je problem, pa je stoga u brojnim slučajevima potrebno zgrade dodatno zvučno zaštititi pasivnom zaštitom – zvučno izoliranim ostakljenjem. Suvremeno zvučno izolirano staklo mora imati dobre zvučne značajke (sve do  $R_w = 56$  dB) i dobru toplinsku zaštitu. Zbog toga se ta stakla označuju s tzv. parom vrijednosti koji daje informacije o toplinskoj i zvučnoj izolaciji. Obje su vrijednosti u stalnoj međuovisnosti jer promjena jedne vrijednosti znači istodobnu promjenu druge vrijednosti. Tu međuovisnost određuje ponajprije širina međustaklenoga prostora (MSP) i vrsta plina u njemu. Što je širi MSP, to je bolja zvučna izoliranost. Ako se zrak u MSP-u nadomjesti teškim plinom SF<sub>6</sub> (sumpor heksafluorid) zvučna se izoliranost povećava za 2 do 3 dB.

T. Vrančić

IZVOR: [www.energetika.net](http://www.energetika.net)