

VISEĆE STAKLENE FASADE I STAKLENI NOSAČI KAO NOSEĆA KONSTRUKCIJA

Miroslav T. Bešević¹

UDK:

Režime: U ovom radu se daju osnovni principi prorašuna nosećih staklenih konstrukcija-nosača i vrši dimenzionisanje debljine stakala u visećoj fasadi u funkciji opterećenja, koja na njih deluju. Ovi nosači se koriste najčešće u krovnim konstrukcijama, u starim gradskim jezgrima jer ne narušavaju eksterijer. Karakteristike lagane fasadne obloge razlikuju se od konvencionalnih čeličnih ili betonskih nosećih konstrukcija. Staklo ne može da naprste kao beton i mnogo je krtije-lomljivije u odnosu na čelik. Zahvaljujući niskim vrednostima Young-ov modula elastičnosti koji je kod staklenih nosača oko 1/3 u odnosu na čelik, izvijanje i veliki ugibi su od velike važnosti pri dimenzionisanju i oblikovanju. Staklo je krt materijal koji je slab pri pritisku zbog molekularne strukture koja nije u formi kristalne rešetke. Staklo kao gredni nosač se ponaša na savijanje slično čeliku. Kada je staklo opterećeno preko sopstvenih granica, lom se javlja odmah bez upozorenja, za razliku od čelika i aluminijuma, gde prvo dolazi do plastičnih deformacija. Kaljena sigurnosna stakla su prikladna za korištenje u stambenim i poslovnim objektima (stupnici, vrata, pregradni i pomicni zidovi, balkonske ograde i ograde stepeništa), u sportskim objektima (otporno na udarce lopte), u blizini grijačih odnosno vrućih tijela (spriječavanje termo loma), za izradu staklenih fasada te za raznovrsno unutarnje i spoljačnje korištenje (zaštita protiv buke na auto putevima, stanice, reklamni panoci, vitrine,...).

Ključne reči: staklo, stakleni nosači, čelič, aluminijum, izvijanje, dimenzionisanje, ugibi, standardi, lom.

1. UVOD

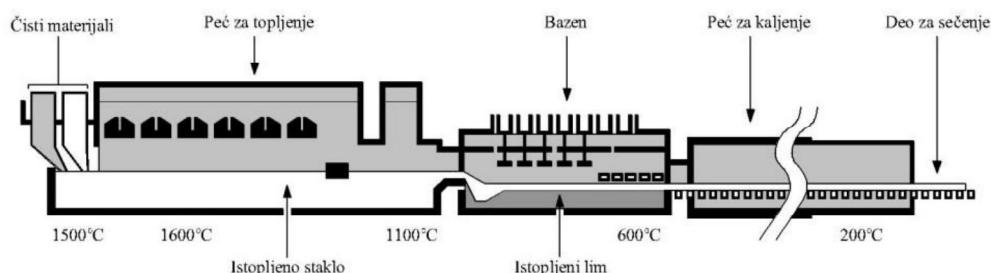
Staklo je krt materijal koji je slab pri pritisku zbog molekularne strukture koja nije u formi kristalne rešetke. Kada je staklo opterećeno preko sopstvenih granica, lom se javlja odmah bez upozorenja, za razliku od čelika i aluminijuma, gde prvo dolazi do plastičnih deformacija. Napon ili trenutak promene distribucije opterecenja ne pojavljuje se u staklu, zato često dolazi do lokalnih, a zatim posledičnih globalnih krahova. Veće opterećenje i veća površina pod opterećenjem ukazuju na veću verovatnoću za pucanjem. Uprkos strukturalnih nedostataka stakla, njegova upotreba je neizbežna jer su stakleni elementi transparentni i estetski pogodni jer mogu da se prilagode po obliku i boji tako da odgovaraju različitim projektantskim potrebama. Možemo videti da većina nagrađenih projekata u inostranstvu sadrže elemente od debelog stakla. Staklo je nastalo

¹ Dr. Miroslav T. Bešević, v.prof.dipl. inž. grad., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel: 554-300, e-mail: miroslav.besovic@gmail.com

pre 4000 godina. Početkom ovog veka, nastalo je ravno staklo u tablama izvlačenjem trake stakla iz bazena sa topnjim staklom. Ono je bilo deformisano zbog promenljive viskoznosti stakla, a 1959 proizvedeno je ravno staklo. Staklena traka je provlačena kroz korito i izvlačena kroz valjkove preko pokretne trake na kojoj se hlađi. Korišćena je za armirano staklo i ornament staklo. Danas se najčešće koristi ravno providno staklo i ono se može svrstati u 3 grupe, kao žareno, ojačano topotom i kaljeno staklo. Pošto je staklo krt materijal koji ne može prenositi zatezanje i lom se javlja čim se prvi put pojavi prslina. Usvaja se dozvoljeni napon sa mogućnošću loma od 0,8% za žareno staklo. Takođe, kao kod krtih materijala, staklo je teoretski neotporno samo na zatezanje dok je dozvoljeno naprezanje na pritisak veliko. Proračunski pritisak je 800 N/mm² (St Gobain proizvođač stakla).

2. PROCES PROIZVODNJE

Proizvodnja stakla počinje topnjem u bazeima na temperaturu od 1500 ° C a završava se na 200 ° C, a na kraju se hlađi na 50 ° C, a potom se table ravnog stakla isecaju na potrebnu dimenziju. Na slici br.1 se prikazuje šematski prikaz dobijanja ravnog stakla.



Slika 1. Proces dobijanja stakla

2.1. Naponi u staklu koji se koriste u raznim nacionalnim standardima

Analizirano je šest nacionalnih standarda iz: SAD-a, Velike Britanije, Australije, Kanade, Kine i Japana. U Japanu, se obično koriste podaci dati od strane proizvođača i standard ne daje vrednost napona. U Kanadi, SAD-u standardi propisuju detaljne vrednosti napona. Takođe standardi Australije i Kine, eksplicitno daju dopuštene napone.

Tipične osobine stakla su : Težina = 2500 kg/m³

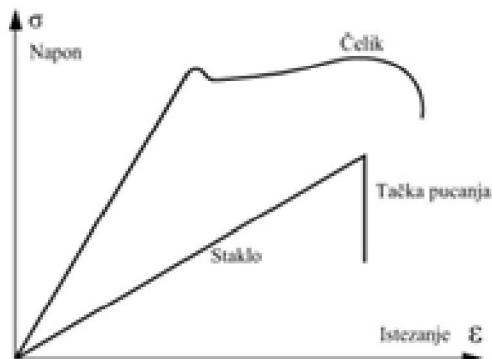
Young-ov modul elastičnosti iznosi: Y= 70 kN/mm² (70MPa)

Modul smicanja i G = 30 kN/mm²

Poasonov koeficijent iznosi μ = 0,22

Koefficijent termičkog širenja α t= 8.5x10⁻⁶ 1 / C°

Dozvoljeno odstupanje/ugibanje (iz Australijskog standarda) je za konstruktivni raspon/60. Odstupanje/ugibanje je veoma važno jer su primedbe uvek zbog prekomernih odstupanja /ugiba. Na slici br. 2 prikazane su uporedne vrednosti napona i dilatacija za noseću konstrukciju od čelika i stakla.



Slika 2. Uporedne mehaničke karakteristike stakla i čelika (σ/ϵ)

Nosivost staklenog panela - stakla zavisi od veličine i vremena trajanja opterećenja odnosno načina oslanjanja (npr., oslanjanje na 4- tačke u uglovima staklene ploče) razlikuje se od zemalje do zemalje. U tabeli br. 2 prikazana su debljine stakala u funkciji vremena trajanja opterećenja.

Tabela 2. Određivanje debljine stakla različitih zemalja

tip stakla	Canada ¹ / USA ²	Australija ³	U.K. ⁴	Kina ⁵
trajanje opterećenja	60 sekundi	3 sekunde	3 sekunde	60 sekundi
koeficijent pterećenja	1.5	1.0	1.0	1.4
kaljeno staklo	20/25 (ivica/centar , ostali slični)	20	41 za $t \leq 6$ 34.5 za $t \leq 8$ 28 za $t \leq 10$	28 za $5 < t < 12$ 20 za $15 < t < 19$
laminirano	40/50	32	-	-
polukaljeno	80/100	50	59	84 za $5 < t < 12$ 59 za $15 < t < 19$

(Sve jedinice su u nastavku N/mm²: t = debljina stakla)

1. Kanadski osnovni standard(1989), "Konstruktivni proračun staklenih objekata", CAN/CGSB -12.20-M89. Prvi se odnosi na centrično naprezanje i drugi na ivična naprezanja.
2. ASTM (1997), "Standardna praksa za određivanje minimalne debljine i vrste stakla potrebna da se odupre određenom opterećenju, E1300-97.
3. Standardi Australija (1994), "staklo u zgradama - Izbor i instalacija".
4. Pilkington Glass (vidi IStructE, konstruktivna upotreba stakla na zgradama, 1999)
5. "Tehnički propisi za inženjeringu staklenih zid zavesa", JGJ 102-96, 1996, Peking, Kina

Pri proračunu prosečnog naprezanja koristi se faktor 2,5. (0,8% verovatnoće loma za kaljeno staklo), Za proračun verovatnoće loma od 0,1%, koristi se faktor 5.

2.2. Procedura za određivanje debljine stakala

Pri dimenzionisanju staklenih panela(samonosećih stakala) potrebno je da se analiziraju sledeći parametri:

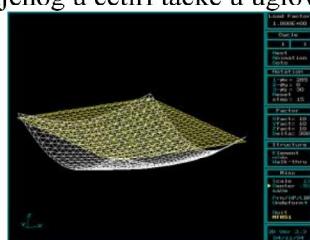
- Određivanje oblika i veličine staklenih panela ,
- Pretpostavljeni granični uslovi duž obe strane staklenog panela, (tj. tačke-oslanjanja na 4-strane, 3-strane ili 2 strane),
- Provera da li se nosači za staklo previše deformišu (ne bi trebalo da se deformišu više od L /180). U suprotnom treba ojačati nosače ili predpostaviti konzervativnije granične uslove.
- Procena opterećenja i tip opterećenja . Veličina i trajanje opterećenja se procenjuje,
- Izračunati naponi (σ) i ugibi (δ) od staklenih segmenata/panela,
- Odrediti debljinu stakla
- Detalji protiv koncentracija napona, izrada, prodora vode itd,

2.3. Raspodela otpornosti materijala

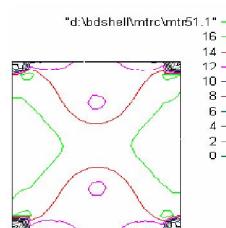
Uzroci pucanja stakla mogu biti (ne po važnosti):

- Preveliki napona od vетра ili drugih opterećenja kao i nedovoljna debljina stakla,
- Naprezanje usled razlike u temperaturi na različitim delovima panela (za 330°C, topote, napon iznosi 20,7 N/mm²),
- Izvijanja zbog velikog pritiska ,
- Oštećenja na površini ili duž ivice,
- Dublje ogrebotina ili udubljenje,
- Izobličenje šava vara,
- Direktan kontakt sa metalnim delovima(npr. prozor aluminijumski okvir) i uključivanje nečistoće kao što su nikl sulfid - veoma česta.

Na slikama 3 i 4 predstavljeni su ugibi i napni u samostalnom staklenom panelu oslonjenog u četiri tačke u uglovima.



Slika 3. Deformisan stakleni panel oslonjen na četiri tačke u uglovima



Slika 4. Naponu staklenom panelu

2.4. Kaljena stakla

Kaljena stakla su višestruko čvršća i tvrđa od normalnih stakala. Kada dolazi do loma kaljeno staklo se raspada u mnogo sitnih djelova i samim tim sprečava povrede ljudi.Uputreba kaljenog stakla je široka, ali navedimo primjenu u građevinarstvu, gde se najviše koriste za staklene strukturalne fasade, senzorska vrata, ulaz u bilo koju javni

objekat, staklene krovove, stepeništa i sl. Da bi proizvelo kaljeno staklo, nakon rezanja na meru potrebno je fino brusiti ivice-rubove stakla kako bi izbjegli lom pri samom procesu formiranja. Staklo je jako osjetljivo i pre ulaska u peć treba kontrolisati kvalitet stakla, jer samo idealno čisto staklo može biti kaljeno. Sam proces kaljenja počinje zagrvanjem stakla na temperaturu od $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $750\text{ }^{\circ}\text{C}$, pa odmah nakon toga rapidno hlađenje na temperaturu od $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prilikom ovog procesa struktura kristalne rešetke se „izvitoperi“ i postiže se željena dinamička svojstva. Kaljeno staklo koje se termički obrađuju omogućava viši stepen mehaničke i termičke otpornosti. Staklo se greje na više od $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, a zatim brzo hlađi ili sporije hlađi (polukaljeno), u oba slučaja na pažljivo kontrolisane brzine. Ovi procesi opterećuju površinu stakla stalnim "zaostalim naponima" i pruža staklu posebne karakteristike. Otpornost na mehaničke i topotne udare je do 2 puta (polukaljeno) ili 5 puta (kaljeno) veća od normalnih svojstava stakla. Lomi se u većim fragmentima s manje rizika od pada kada se staklo razbije. Polukaljeno staklo se primenjuju za visokoreflektirajuća stakla visećih fasada, stakla s velikom apsorpcijom energije, laminirana stakla s kontrolom energije(solarni kolektori). Staklene fasade predstavljaju umjetnička dela visoke tehnologije, posebno kod gradnje visokih zgrada –nebodera. Dekorativni paneli mogu biti načinjeni od različitih materijala kao što su to: metal, kompozitni materijali, keramika, drvo, itd. Takvi građevinski elementi omogućuju veliku slobodu i kreativnost prilikom projektiranja.

2.5. Strukturalno lepljenje stakla (Laminirana stakla)

Ovo je veoma čest oblik stakala, formiranog lepljenjem dve ili više staklenih ploča. Debljina ovog medjuslojeva je od 0.38 mm, 0.76 mm 1.52 mm itd. Veliki problem za laminirana stakla je valjanost kompozitnih lepkova za vezu pojedinaca stakala. Ako se pretpostavi da je postoji kompozitno dejstvo laminiranog stakla debljine $d = 8+6$ mm. A ako ne, tada se ponašaju kao dva odvojena panela od 8 i 6 mm debljine. Stvarni odgovor za laminirano staklo je negde između ove dve krajnosti.

Za kratkoročna opterećenja, ponašanje je bliže kompozitnom, dok pretpostavke za dugoročno opterećenje je da se ponaša kao odvojena stakla, kako je to prikazano na slici br. 5. Jedana od metoda za ztvrdjivanje je jednostavan test kojim se meri skretanje panela pod određenim opterećenjem, a zatim uporede ta skretanja kako bi se utvrdila kompozitnost laminiranog stakla.



Slika 5- kompozitno /samostalno dejstvo za lamerlirano staklo

Moderna arhitektura najčešće teži 'dematerijalizaciji'. Često se govori o transparentnosti i lakoći, o 'uzimanju natrag' nosiće konstrukcije i naglašavanju oblika ili forme. Staklo kao nosivi konstruktivni element pruža arhitektima i inženjerima posebne mogućnosti oblikovanja. Kako bi se slijedio trend za sve većim staklenim površinama u stanogradnji, poslovanju, potrebno je usvojiti standarde zastakljivanja, koji će sa jedne strane udovoljavati arhitektonskim zahtjevima, a s druge strane preuzimaju statičku funkciju. Na slici br. 6 prikazana je upotreba laminiranog stakla za viseće strukturalne fasade visokih zgrada-solitera odnosno kao noseća konstrukcija stepeništa u zgradama.

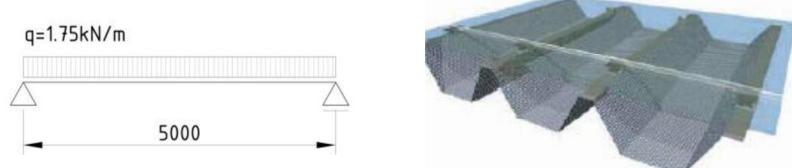


Slika 6 - fasade od lepljenog (lameliranog) stakla i noseća konstrukcija stepeništa

3. SAMONOSEĆI POLU PROVIDNI - SPREGNUTI MODULARNI KROVNI SISTEM

3.1. Konstrukcija

Glavni cilj ovog projekata, bio je aktiviranje do sada ne iskorišćenog potencijala čeličnog trapezastog profila sa akustičnom perforacijom. Trapezoidno profilisane čelične ploče korišćene su do sada za nadkrivanje industrijskih i drugih objekata srednjih raspona. Perforacija duž ivičnog i centralnog ruba poboljšava akustička svojstva – mada u ovom slučaju to nije bilo glavni cilj, mada nije tretirana njihova prozračnost /prosvetljenost. Kombinovanje metalnih ploča i transparentnog krovnog pokrivača otvara ne samo nove vizuelne i funkcionalne mogućnosti već i nova konstruktivna rečenja, u slučaju kruto vezanih konstruktivnih vezača. Modul se sastoji od čeličnog trapezoidnog profila sa akustičkim perforacijama spojenim sa staklenim krovnim pokrivačem preko (shear) spojnica koje formiraju krutu vezu tako da se ceo složeni presek koristi kao konstruktivni element. Staklo osigurava gornju tetivu sistema i sprečava izvijanje čeličnog profila. Imajući u vidu pozitivne momente savijanja u tavanici sa rasponom preko jednog polja, gde sile pritiska deluju u ravni staklene ploče, kao i silama zatezanja koje se javljaju u centralnom i donjem rubu metalnog profila a u skladu sa specifičnim karakteristikama materijala. Obzirom na način proizvodnje valjanih čeličnih profila, donji deo sistema može biti kontinuiran i iz 1 dela, prema slici.br.7. Širina elemenata određuje se na osnovu širine preseka. Sile pritiska lako se prenose kroz čeonim spoj staklenih ploča. Analiza opterećenja je usvojena za moguća dejstva na krovni pokrivač.



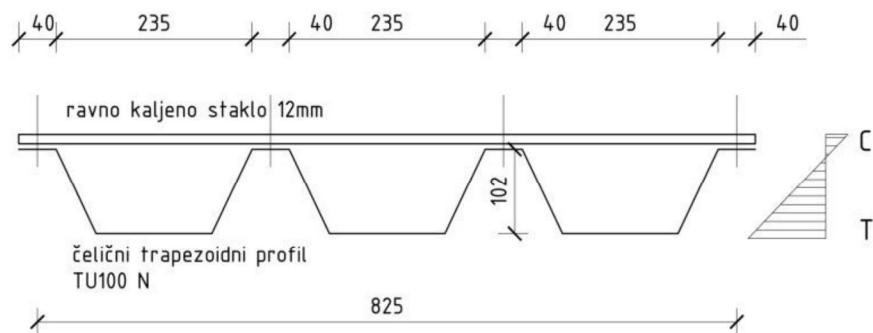
Slika 7. Statička šema konstrukcija stalenog panela i perforiranog čeličnog lima

Projektom je bilo predviđeno raspon od 15 m, a modularni sistem je testiran na prototipu raspona od 5 m. U testiranju je korišćen čelični trapezoidni profil tipa TU100N. Element je 825 mm širok i debljine 1.25 mm, perforirani element ima ugrubo 28% pod perforacijom (otvori su 5mm a osni razmak među njima je 9 mm) . Obzirom na ukrućenje profila u poprečnom preseku , koje je postignuto krutom vezom sa staklenim panelom, profil može biti montiran naopacke , odnosno sa užim naborima na vrhu nasuprot uobičajenoj praksi. Ovi gornji nabori su oko 40 mm široki i služe kao oslonac za staklo , kao manji deo nije perforiran . Stakleni pokrivač je sastavljen od 4 jednakih panela 12 mm debelog kaljenog stakla dimenzija 950 x1245 mm . Iako je staklo korišćeno kao krovni pokrivač nije neophodno da to bude laminirano sigurnosno staklo jer bi u slučaju loma staklo palo u trapezoidnu metalnu podkonstrukciju .



Slika 8. Slegnuta konstrukcija stalenih panela perforirani čelični lim

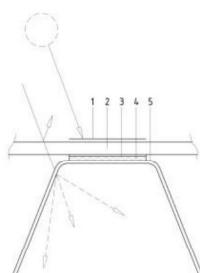
Stakleni krov je povezan sa čeličnim profilom preko ankera sa žljebovima/zarezima proizvedenim specijalno za spojeve sa stakлом (Fischer- (FZP-G). Ove ankere proizvodi/distribuira Saint-Gobain Germany pod imenom Point-XS. Čelični zavrtnjevi prečnika 8 mm povezani su sa stakлом preko rupe sa zarezima/žljebovima i čeličnom pločom preko veze tipa: friction grip. Broj spojnih tačaka uslovljen je distribucijom sile smicanja koja se smanjuje/nestaje od oslonaca (krajeva na kojima je oslonjen element) prema centru elementa. Stoga su središnje staklene ploče spojene sa 2 zavrtnja za čelični profilisani trapezasti lim, dok su ivične staklene ploče spojene sa 4 zavrtnja. Spojevi između ploča realizovani su sa zaptivачima tipa 3 mm. (Klingersil). Duž donje ivice profila formirana je traka bez perforacije kako bi se omogućio mehanički spoj profila i podstruktura preko zavrtnjeva i podupirača.



Slika 9. Naponi u slegnutoj konstrukciji

Na slici br.10 se daje način veze staklenog panela i trapezastog perforiranog lima.

1. štampana folija
2. stakleni panel
3. podloga-folija
4. Purpen
- 5 . trapezoidni profil



Slika 10. Način spezanja stakla i perforiranog limai

Čelični preseci su dimenzionisani tako da imaju potrebnu nosivost i bez uzimanja u obzir tokom proračuna krutu vezu nosača i staklenog pokrivača, mada se zadovoljavajući kriterijum ugiba postiže samo zajedničkim delovanjem svih komponenti. Pored sila smicanja treba uzeti i druge faktore u obzir pri proračunu veze preko zavrtnjeva a u skladu sa različitim karakteristikama materijala - stakla i čelika i karakterističnim deformacijama koje u njima nastaju. Studija nosivosti prikazuje da je ukrućenost složenog elementa dva puta veća od ukrućenosti istih struktura bez spregnutog delovanja odnosno pojedinačnih elemenata izvan složene strukture. Na taj način spojevi u pet tačaka dostižu 50% efektivne krute veze. Efekat spregnutog delovanja u okviru složenog preseka može se dodatno poboljšati povećanjem broja tačkastih spojeva, čime bi se takođe redukovale deformacije i naprezanje u okviru stakla. Rezultati testova mogu se iskoristiti za izvođenje zaključaka o odgovarajućim rezultatima za druge rasponе i druge preseke profila. Jedinstvena odlika ovog sistema je da su najznačajniji fizički zahtevi integrисани u okviru jednog jednostavnog rešenja. Perforacija čeličnih ploča omogućava apsorbciju zvuka , što je značajno za akustiku u velikim halama , istovremeno ove ploče , integrisane u konstrukciju objekta, služe i kao zaštita od sunca. Upadni zraci sunca prelamaju se preko perforiranog metala, ovim filtriranjem dobija se enterijer osvetljen diskretnim svetлом bez bljesaka i odsjaja. Ambijent se može adaptirati shodno potrebama specifične funkcije regulisanjem količine svetlosti promenom geometrije otvora u perforaciji (različitim šablonima perforacije kao i promenom odnosa puno-prazno) , poprečnim presekom profila kao i završnom obradom metalnih površina. I pored prošupljenosti ploča od svega 28% u odnosu na ukupnu površinu, prototip je imao visok stepen transparentnosti jer su boje (nebo) intezivnije u eksterijeru nego u enterijeru pa je plafon dobro osvetljen . Obzirom da ploča funkcioniše kao unutrašnja zaštita od sunca svaki eventualni toplotni dobitak koji iz toga proizilazi treba evakuisati u zoni žlebova trapezoidno profilisanih stranica. Vizuelno atraktivni efekti mogu se formirati različitim šablonima perforacije i kombinacijama prozirnog i peskiranog stakla.

4. SISTEM STAKLENIH NOSAČA NA STAKLENOM KROVU

Projekti preikatani u ovom delu rada su odabrani sa ciljem da se kvakalitetnije pojasni veza funkcionalnog i estetskog aspekta kroz konkretne primere. Sveobuhvatni-krajnji cilj je formiranje karakterističnog tehničkog rešenja u oblasti staklenih nosećih konstrukcija

prikazane ravne strukture. Nosači se dele na osnovu unutrašnje geometrije sistema, tipa i geometrije nosećih komponenata i geometrije spojeva.

Noseća konstrukcija za krov nad trougaonim atrijumom sastoji se iz staklenih grednih nosača koji su postavljeni na osnovu razmaku od 1.5 m, a na koje su oslonjeni krovni stakleni paneli, koji štite od atmosferskih padavina.(slika br. 10)

Stakleni gredni nosači se pružaju upravno na duže strane trougla i na krajevima su oslonjene na račvaste nosače. U najširoj zoni staklene grede sastavljene su od 2x19 mm kaljenog stakla i premoščavaju raspon od 15.5m . Visina grede zavisi od distribucije momenta savijanja i kreće se do 1.3 m u polovini raspona.



Slika 11. Stakleni krovni nosači



Slika 12. Stakleni nosači iz segmenata

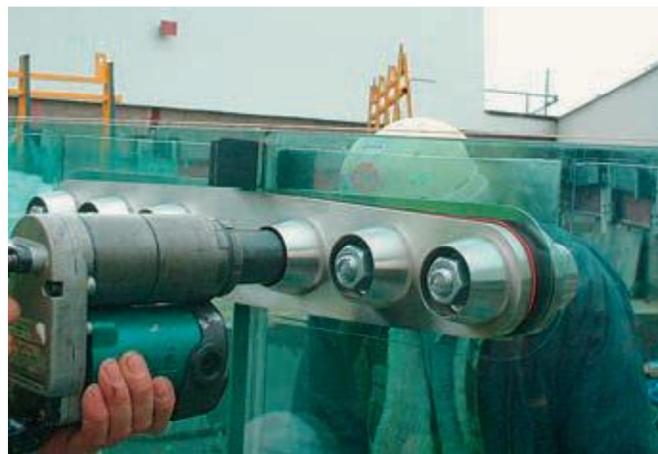
U najširoj zoni raspon atrijuma je 15,50 m. Grede od kaljenog stakla je debljine 2x9 mm formirana je od četiri segmenta spojena spojnicom. (*friction grip*).

Poseban izazov na ovom projektu je kombinacija velikih raspona ali i velikog opterećenja koje se javlja na krovu kao posledica snežnih nanosa koji dostižu i do 3 kN/m^2 . Obzirom da rasponi premašuju dužine u kojima se stakleni elementi proizvode, tako da su staklene grede morale biti formirane iz nekoliko delova. Pa se najduža greda sastoji od 4 elemnta, svaki 3.9 m dužine.

Između 2 središnja elementa javlja se max momenat savijanja od oko 100 kNm , koji se mora preneti kroz spojeve. *Fiction grip veza* može da podnese veći pritisak od veze sa zavrtnjima. Veza tipa *Fiction grip* prenosi sile pritiska i zatezanja i na gornje i na donje stranice stakla. Razvijeni su posebni zaptivači koji omogućavaju jednak prenos opterećenja izmedju slojeva 12 mm debelih ploča od nerđajućeg čelika.

Potrebna je pažljiva priprema za projektovanje spojeva sprovedena je nizom testova koje je potrebno sprovesti. Sile pritiska i zatezanja prenose se kroz svaki spoj (splice joint) preko dvostrukih smaknutih ravnih pločastih delova spoja koji je lociran pri gornjoj i donjoj ivici grede kako bi se formirala unutrašnja spreg sila (poluga) sa što većim rasponom.

Pritisak na kontaktima, koji sprečava izvijanje 12 mm debelih čeličnih ploča ostvaruje se sa preko 6 prednapregnutih M 20 zavrtanja i preusmerava na staklo preko specijalnih podslojeva ojačanih gumenih elemnata-zaptivača.



Slika 13. Detalj spojnica sa prednapregnutim zavrtnjima

Površinski sloj svih kontaktnih površina mora biti savršeno gladak – što je ključno za jednak prenos sile. Poravnavanjem zavrtanja duž ivica omogućava se efikasan prenos sile. Metodom konačnih elemenara, tj. analizama proračuna dokazano je da se ovako ne javlja koncentrisana kritična opterećenja u staklu.

Veličina sile koja se može preneti računa se preko koeficijenta trenja u unutrašnjim slojevima, koji je utvrđen kroz eksperimente.

Testovi zaostalih napona prikazuju da svaki od 19 mm debelih slojeva kaljenog stakla u složenom preseku, može sam da prihvati opterećenje krova, ako su grede osigurane od bočnih izvijanja što je i ostvareno postavljanjem krovnih staklenih panela. Veza je ostvarena preko čeličnih elemenata, čime se formira dodatno ojačanje, koje može da osigura staklenu gredu u slučaju pucanja jednog ili oba sloja stakla složenog staklenog preseka.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su različiti slučajevi primene stakla kao noseće konstrukcije. U prvom delu su prikazane mehaničke karakteristike stakla kao nosećeg konstruktivnog elementa. U drugom delu se prikazuje laminirano staklo i njegova upotreba za viseće staklene fasade i za razna stepeništa u javnim zgradama.

Radi veće sigurnosti stakala u nosećim konstrukcijama samostalno ili spregnuto sa perforiranim čeličnim limom pojačeno je dobijanje i upotreba kaljenog stakla. Kaljena stakla su višestruko čvršća i tvrđa od normalnih stakala i kada dolazi do loma kaljeno staklo se raspada u mnogo sitnih djelova.

Sam proces kaljenja počinje zagrevanjem stakla na temperaturi od 650°C - 750°C , pa odmah nakon toga rapidno hlađenje na temperaturu od 50°C .

Prilikom ovog procesa struktura kristalne rešetke se „izvitoperi“ i postižemo željena dinamička svojstva. Otpornost na mehaničke i toplinske udare je do 2 puta (Polukaljeno) ili 5 puta (kaljen-tempered) veća od normalnih svojstava stakla.

Manje deformacije u odnosu na kaljena stakla (posebno važno za visoko reflektirajuća stakla na fasadama). Složeni sistem staklo-čelik sastoji se od poluprforiranih elemenata i stoga ga je lako proizvesti i montirati.

Veliki izbor u okviru staklenih i čeličnih elemenata omogućava raznolika vizuelna rešenja za dati složeni sistem. Rasponi kao i stepen transparentnosti modula može se projektovati na osnovu specifičnih zahteva koji se javljaju u okviru projekta. Nosivost ovog konstruktivnog sistema može se unaprediti korišćenjem trapezoidnih profila od fiberglasa umesto čeličnih profila.

Zahvaljujući srodnim koeficijentima termalnog širenja moguća je kruta veza kroz linearnu adheziju kontaktnih materijala.

LITERATURA

- [1] Bešević.M, "Bearing capacity of cold formed high quality stainless steel members under end axial compression" IZGRADNJA 64 (2010) 7-8, str. 421-428.
- [2] Bešević. M, A.Tešanović: Design of aluminium structures for semistructural facades according to Eurocode-9, ARHITEKTURA I URBANIZAM, 29 / 2010 - jul- avgust,str.45-56.
- [3] Trifković M, Bešević M, Nestorović Ž , "Geodetic measurements methods for halfstructural aluminium facades according to life cycle phases" MATEIJALI I KONSTRUKCIJE/IV 2010 ,str.28-38,
- [4] M.Bešević,A.Tešanović, K.J. Striko, Proračun noseće aluminijumske konstrukcije polustrukturalne fasade prema graničnim stanjima, Zbornik radova Građevinskog fakulteta broj -19, (2010) str.93-103.
- [5] Bešević. M, Landović.A, Eksperimentalno-teorijska analiza parametara od uticaja na nosivost pritisnutih HOP- štapova od nerđajućeg čelika, Zbornik radova Građevinskog fakulteta broj 18, 2008, str.43-54.
- [6] Trifković M, Precizna geodetska snimanja kod trasiranja dalekovoda, Zbornik radova Građevinskog fakulteta broj 20 (2011),

- [7] Lađinović Đ.: Višekriterijumska analiza seizmičke otpornosti konstrukcija armiranobetonskih zgrada. JDGK, Simpozijum '04, Vrnjačka Banja, 29. septembar-1. oktobar **2004.**, Zbornik radova, knjiga 1, P-4, str. 65-76.
- [8] Lađinović Đ., Folić R.: Analiza uticaja teorije drugog reda pri dejstvu zemljotresa. Materijali i konstrukcije, vol. 46, br. 1-2, str. 5-15, **2003**.

GLASS FACADE AND GLASS GIRDERS AS THE BEARING STRUCTURE

Summary: This paper presents basic design principles for the bearing glass structures-girders and glass thickness design within the glass facade as a function of loads that affect them. These girders are primarily used as a roof supporting structures within old town centers because they do not disturb their exterior. Mechanical properties of light facade structures are different to conventional steel or concrete structures. Glass is not allowed to have cracks and it is much more brittle than steel. Due to low values for the Young modulus of elasticity which is for glass approximatively 1/3 of the one in steel, buckling and large deformations are of great significance during the design procedures. Glass is brittle material with low compression strength due to its molecular structure that is not in crystalline state. Steel as a beam girder behave similar to steel in bending. Upon reaching the limit stresses glass failure is sudden and without warning compared to the failures in aluminum and steel girders which have pronounced plastic deformations. Tempered safety glass is suitable for use in residential and office buildings (stairs, doors, partition and sliding walls, balcony and staircase railings), sport facilities (ball shock resistant), near heating installations (prevention of heat failure), for glass facades and different exterior and interior usage (noise protection on highways, terminals, billboards, showcases...).

Keywords: glass, glass girders, steel, aluminium, buckling, design, deformations, codes, failure