

Staklene fasade

Leljak, Lea

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:227531>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-22**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Lea Leljak

STAKLENE FASADE

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Lea Leljak

STAKLENE FASADE

ZAVRŠNI ISPIT

Izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Lea Leljak

CURTAIN WALLS

FINAL EXAM

Izv.prof.dr.sc. Bojan Milovanović

Zagreb, 2024.

SAŽETAK

Staklo kao građevinski materijal posljednjih desetljeća jedan je od najpopularnijih materijala za dekoriranje i gradnju. Svoje početke uporabe u građevinarstvu pronalazi u stolariji, a kasnijim razvojem industrije prelazi na uporabu nosivih elemenata i fasada. Intenzivan razvoj građevinarstva uza tehnologiju i tehnološke procese donio je niz novih inovacija i spojeva materijala kako bi se dostigli novi dometi dimenzije građevina. Razvijene su staklene fasade koje su postale nezaobilazne u građevini kod građevina za tercijarne djelatnosti. Tema rada su staklene fasade, početak razvoja i mogućnosti koje pružaju. Ovaj rad je osvrt dosadašnjeg razvoja staklenih fasada i njezinih dijelova, mogućnosti razvoja i proširenja uporabe s ciljem objašnjavanja svojstava i zahtjeva kojima staklena fasada mora udovoljiti. Staklena fasada objašnjava se kao cjelina i po dominantnim materijalima od kojih se izrađuje, odnosno stakla i metala.

Ključne riječi: staklo, fasada, staklene fasade, ventilirane staklene fasade, energetska učinkovitost, metalni profili, aluminij

SUMMARY

In recent decades, glass has become one of the most popular materials for decoration and construction. Its initial use in construction was in carpentry, but with the later development of the industry, glass transitioned to the use of hanging elements and facades. The rapid growth of construction, alongside technology and technological processes, has led to numerous innovations and material combinations, enabling new achievements in building dimensions. Glass facades have been developed and have become indispensable in buildings intended for tertiary activities. The topic of this paper is glass facades, their early development, and the possibilities they offer. This work provides an overview of the current development of glass facades and their components, the potential for further growth, and expanded applications describing the properties and requirements that glass facades must meet. Glass facades are explained both as a whole and in terms of the dominant materials from which they are made, primarily glass and metal.

Key words: glass, facade, glass facades, ventilated glass facades, energy efficiency, metal profiles, aluminum

SADRŽAJ

| | |
|---|------------|
| SAŽETAK | i |
| SUMMARY | ii |
| SADRŽAJ | iii |
| | |
| 1. UVOD | 1 |
| 2. POVIJESNI PREGLED STAKLENIH FASADA | 3 |
| 3. OSNOVNA OBILJEŽJA STAKLENIH FASADA | 6 |
| 3.1. Definicija staklenih fasada | 6 |
| 3.2. Prednosti staklenih fasada..... | 7 |
| 3.3. Mane staklenih fasada..... | 8 |
| 4. PODJELA STAKLENIH FASADA | 9 |
| 4.1. Podjela prema tehničkoj izvedbe | 9 |
| 4.2. Podjela dvostrukih staklenih fasada prema načinu ventiliranja..... | 16 |
| 4.3. Sustav panela | 16 |
| 5. NORME..... | 18 |
| 6. MATERIJALI KORIŠTENI U STAKLENOJ FASADI..... | 20 |
| 6.1. Staklo | 20 |
| 6.1.1. Staklo s metalnim premazom ili Low-E staklo | 21 |
| 6.1.2. Kaljeno staklo..... | 22 |
| 6.1.3. Laminirano staklo..... | 23 |
| 6.1.4. Izolacijsko staklo | 24 |
| 6.2. Metali profili | 25 |
| 6.2.1. Čelični profili | 25 |
| 6.2.2. Aluminijski profili | 26 |
| 6.2.3. Glavne značajke metalnih profila | 26 |
| 6.2.4. Toplinski most..... | 27 |
| 6.2.5. Komore | 28 |
| 7. ZAHTJEVI ZA STAKLENE FASADE | 29 |
| 7.1. Energetska učinkovitost..... | 29 |
| 7.2. Vatrootpornost | 30 |
| 7.3. Zvučna izolacija | 31 |
| 7.4. Vodootpornost i zrakonepropusnost | 33 |
| 8. INOVATIVNA RJEŠENJA | 34 |
| 8.1. Fotonaponske ćelije..... | 34 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 8.2. | Sustavi s roletama za preusmjeravanje svjetlosti..... | 34 |
| 8.3. | Samoperivo staklo | 36 |
| 9. | ZAKLJUČAK | 37 |
| 10. | POPIS LITERATURE | 38 |

1. UVOD

Staklo je građevinski materijal koji je posljednjih godina postao dominantan materijal zbog svojih mehaničkih svojstava i estetike koju pruža. Poglavitom radi estetike koju pruža populariziran je u društvu i pronašao primjenu u građevinarstvu od detalja do čitavih nosivih elemenata. Radi mehaničkih svojstva kao što su trajnost i otpornost na djelovanja okoliša te visoke tlačne čvrstoće koristimo ga kao nosivi element. [1] Razvojem industrije i tehnologije unaprijeđeno je staklo i time smanjen učinak njegovih mana. Staklo kao materijal iako ima visoku čvrstoću ima i veliku krhkost, stoga je njegova uporaba ograničena. Usprkos krhkosti odnosno njegovom lomu bez prethodne najave, fizičke osobine kao što su prozirnost i refleksija doprinose upotrebi. Nekoć kao detalj, a danas u upotrebi nosivog elementa i posebno zanimljivih staklenih fasada. [1]



Slika 1.: Poslovna zgrada [2]

Staklene fasade dale su novu dimenziju arhitekturi i građevinarstvu, motivaciju za istraživanje svojstava i mogućnosti koje daje staklo u primjeni fasadnih sustava. Staklene fasade povećavaju vrijednost grada, estetikom i veličinom kako građevine tako i fasade i prizoru koji ostavlja na gledatelja. Staklene fasade su suvremene fasade čija uloga u odnosu na tradicionalne fasade (npr. Žbukane fasade) nije samo zaštita od vanjskog utjecaja okoliša na zgradu, već estetika te kasnijim razvojem na mogućnosti proizvodnje električne energije kao nusprodukta.[1,3]

Dakako uza estetiku i zaštitnu ulogu, staklena fasada mora zadovoljiti zahtjeve za fasadne sustave koji uključuju toplinsku i zvučnu izolaciju, dostatnu vatrootpornost, zaštita od buke, gospodarenje okolišem (npr. Proizvodnja električne energije), trajnost za vrijeme uporabe, vodonepropusnost, zrakonepropusnost, seizmička stabilnost i dr. [4].

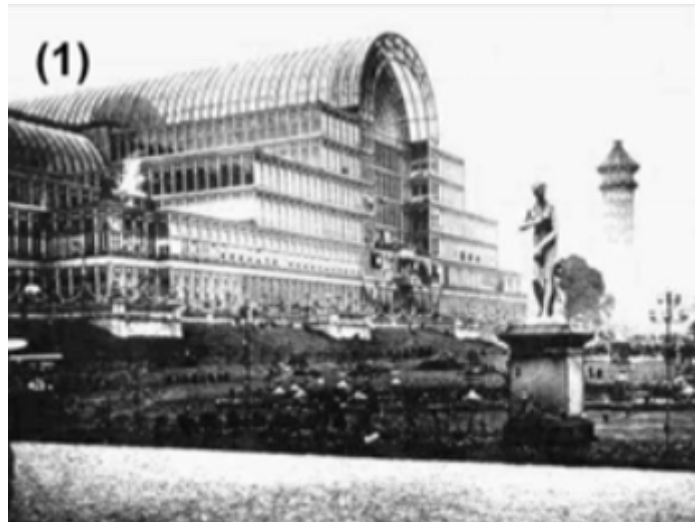


Slika 2.: Žičara Sljeme [2]

Staklene fasade ostavile su pečat u modernoj arhitekturi i građevinarstvu, njihov razvoj i širina mogućnosti koje pružaju razlog su njihove primjene na najpoznatijim građevinama modernog doba, Burj Khalifa, Ciudad de las Artes y las Ciencias (Grad umjetnosti i znanosti), Agbar Tower (neboder u Barceloni), kazalište Ptičje jaje u Kini, žičara Sljeme i mnoge druge. Cilj rada je predstaviti vrste staklenih fasada koje postoje, njihovu usporedbu s ostalim tradicionalnim i modernim fasada kako bi se objasnili razlozi uporabe staklenih fasada koji nisu isključivo radi estetskih efekta koje pružaju kako bi se pridonijelo stvaranju i proširivanju kulture. Estetika je prvo što promatrač vidi, no radom se objašnjavaju zahtjevi koje staklene fasade trebaju zadovoljiti svojim svojstvima i problematika koja proizlazi odabirom staklene fasade. Problemi staklenih fasada vezani su uza staklo montaže, stoga je u radu objašnjeno staklo koje se upotrebljava u fasadnim sustavima. Time se obrazložila uporaba staklenih fasada na dubljoj razini i dokazuje, kako osim estetike koja je promatraču i današnjem dobu jedna od najbitnijih stavki, prednosti uporabe staklenih fasada temelje se na svojstvima i mogućnosti upotrebe staklenih fasada koje tradicionalna fasada ne može pružiti (npr. multifunkcionalno; proizvodnja električne energije i zaštita od vanjskih faktora). [3,4]

2. POVIJESNI PREGLED STAKLENIH FASADA

Korištenje stakla datira 5000 ili 6000 godina prije nove ere. Njegova uporaba krenula je u malim količinama u svrhu ukrašavanja, kasnije se proširilo na gotovo sve aspekte ljudske uporabe. Razvoj stakla označavao je potpuno novi smjer razvoj građevinarstva koji je bio izazovan s obzirom na svojstva stakla. Svoju uporabu u građevinarstvu, staklo je prvo pronašlo u uporabi prozora sa svrhom osvijetljavanja prostora. S prozora pa sve do nosivih elemenata i fasadnih sustava, staklo je pronašlo primjenu u gotovo svakom dijelu građevinarstva. [1,3] Prekretnica staklenih fasada smatra se Crystal Palace sa staklenim krovom i vanjskim staklenim zidovima, izgrađena 1851. godine. Slika 1 prikazuje Crystal Palace u Londonu.



Slika 3.: Crystal Palace [3]

Iako je korištena u 19. stoljeću, tek u poslijeratnom razdoblju sredinom 20. stoljeća staklene fasade kreću s masovnom primjenom i proizvodnjom. [4] Sastavljene od stakla i aluminijskih profila, staklene fasade postale su nezamjenjive na modernim neboderima. Primjer zgrade s staklenom fasadom je Boley Clothing Company u Kansas Cityju, arhitekta Luisa S. Curtissa koja se nalazi na slici 2. [5]



Slika 4.: Boley Clothing Company u Kansas Cityju [4]

Kao i svaki izum, staklene fasade prolazile su određene trendove. U početku su se koristila obična stakla koja su se pokazala energetske neučinkovita. U periodu od 1940.-e do 1960.-e razvile su se nove vrste stakla koje su riješile nedostatke energetske neučinkovitosti ravnog stakla, no i dalje je bio problem toplinske izolacije. Problem toplinske izolacije uočen je za vrijeme naftne krize između 1960.-e i 1980.-e zbog povećanja cijene energenata. Shodno tome tražila su se rješenja koja smanjuju troškove te je tako kao rješenje predstavljeni novi tip stakla koji je imao veću kontrolu propuštanja sunčevog zračenja, stakla s premazima. Daljnjim razvojem tijekom 1980.-ih radilo se na povećanju efikasnosti i energetske učinkovitost staklenih fasada, rješenje koje je bilo predstavljeno su prve dvostruke staklene fasade i ventilirane staklene fasade. Od tada do danas nije prestao razvoj staklenih fasada i tipova stakala. Staklena fasada nije samo građena od stakla već i niz drugih materijala koji su toliko zamjetni, metalni profili, brtvila, izolacija itd. Metalni profili usavršavani su godinama i danas postižu razne oblike i dimenzije kako bi se prilagodili zahtjevima investitora. Metalni profili počeli su kao željezni, a danas su rađeni od kvalitetnijih materijala koji omogućuju trajnost i stabilnost kakva se očekuje od staklene fasade. Građevinarstvo je grana koja proizvodi najveći dio otpada i povećava efekt staklenika. Radi zagađenja okoliša građevinarstvo je pristupilo održivoj gradnji što je utjecalo na staklene fasade. Staklene fasade su postale fasade koje više nisu imale samo ulogu zaštite, već i ulogu proizvodnje energije kada su napravljene prve staklene fasade s fotonaponskim čelijama. [3,4]

Mnoge građevine sagrađene su s staklenim fasadama, prije svega poslovne zgrade, ali i zgrade visokog značenja. Poznata građevina s staklenom fasadom je piramida muzeja Louvre, koju je osmislio arhitekt I.M.Pei. Uza nju poznata građevina sa staklenom fasadom u svijetu je Burj Khalifa. U Hrvatskoj poznate građevine s staklenim fasadama su: žičara Sljeme, zračna luka Dubrovnik, zračna luka Split, IT 5, trgovački centar Avenue Mall, Green Gold. [3,6] Slika 5 prikazuje zračnu luku Split, a slika 6 GTC Matrix. Mnogo je proizvođača i projekatanta koji se bave staklenim fasadama u cijelosti ili nekim njezinim aspektom. Poznata hrvatska tvrtka koja

izrađuje staklene fasade je KFK, uza nju je i ALU-KON, tvrtke koje rade manje dijelove su ALU-FORMA, M.I.Hršak i mnogi drugi.



Slika 5.: Zračna luka Split [2]



Slika 6.: GTC Matrix [2]

3. OSNOVNA OBILJEŽJA STAKLENIH FASADA

3.1. Definicija staklenih fasada

Fasadu i fasadne sustave definiramo kao vanjsku ovojnicu građevine čija je zadaća da štiti građevinu i njezine korisnike od vanjskih utjecaja okoliša i pruža udobnost i sigurnost korisnicima. Staklena fasada je vrsta ovješene fasade koja se oslanja na metalne konzole i profile koji se najčešće izvode od aluminija. [7] Primjer jedne takve fasade je na slici 7 koja prikazuje staklenu fasadu poslovne zgrade koju je izradila tvrtka KFK.



Slika 7.: Urbanest street Vine, London [2]

Na slici 8 shematski je prikaz spoja stakla i metala koji čine staklenu fasadu. Metalni profili se spajaju s staklom pomoću različitih vrsta brtvila. Brtvila spajaju staklo i profile kako bi se zadovoljile svi zahtjevi za stabilnosti i tajnost. Zadaće fasade prema kojima se ona projektira, opisani su u zakonu o gradnji koji definira staklene fasade i zahtjeve koje ona mora zadovoljiti. Ovdje su izdvojeni najvažniji zahtjevi, kao što su: mehanička otpornost, energetska učinkovitost, izolacijska sposobnost, otpornost na udar, otpornost na potresno djelovanje i dr. [7]



Slika 8.: Prikaz stakla pričvršćenog na metalnim nosačima [8]

3.2. Prednosti staklenih fasada

Staklena fasada svojom konstrukcijom i dizajnom propušta više prirodnog svjetla što smanjuje 60 – 70% uporabe umjetnog svjetla u odnosu na ostale vrste fasada. [1] Prodiranjem više prirodnog svjetla smanjena je potrošnja energenata i smanjen je ugljični otisak kod građevina s staklenom fasadom u odnosu na druge. Sam dizajn staklene fasade povećava njezinu energetska učinkovitost radi prozirnih svojstava, no baš kao i druge fasade mogu joj se dodati različiti premazi i mehanizacija povećavajući njezina svojstva. Transparentnost staklenih fasada postiže bolju atmosferu za korisnike građevine u odnosu na istu građevinu s drugačijom fasadom jer dopiranjem više prirodnog svjetla ljudi su produktivniji zbog utjecaja prirodnog svjetla na razinu hormona sreće.

Važna prednost u odnosu na ostale fasade je njezina tvornička proizvodnja u kontroliranim uvjetima i jednostavna montaža na metalnu nosivu konstrukciju. Dizajn staklene fasade i mogućnosti oblikovanja i njezinog prilagođavanja građevini omogućuju stvaranje vizualno atraktivnih građevina jer staklena fasada nema ograničenja u dimenzijama niti zakrivljenosti. [7,6]

3.3. Mane staklenih fasada

Iako imamo značajno razvijenu tehnologiju i tehnologiju izrade stakla i profila, postoje problemi kod staklenih fasada koji zahtijevaju dodatna rješenja i pažnju prilikom projektiranja. Najčešći problemi su korozija stakla, otežano neodržavanje staklenih fasada, deformacija donjeg dijela fasadnog elementa radi težine ulaznih vrata i odabira kliznih vrata i oštećenja stakla radi temperaturnih naprezanja. Neadekvatna montaža i neodržavanje fasada razlozi su razvijanje korozije i kondenzacije stakla koja utječe na vizualni dojam građevine i na zdravlje korisnika građevine. [5]

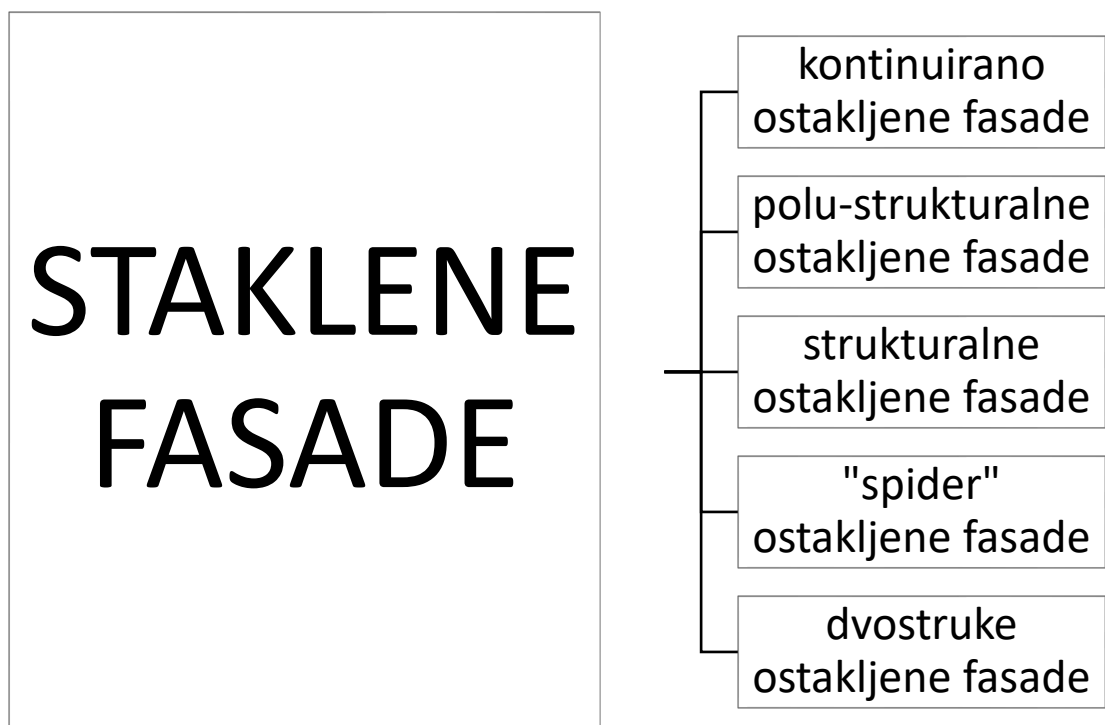
Neadekvatna montaža podrazumijeva upotrebu premalo brtvi, krivo postavljanje hidroizolacije i profila što može biti izazvano nejasnim nacrtima i premalo specifikacija ili neadekvatnim brtvljenjem. Posljedica loše montaže je opadanje fasade ili njezin lom što može biti opasno po život prolaznicima i korisnicima građevine.[5]

Zvučna izolacija staklene fasade slabija je u odnosu na druge vrste fasada stoga zahtjeva uporabu višeslojnih stakala i posebnih folija čime se povećava cijena izrade, prijevoza i održavanja staklene fasade. Staklene fasade pružaju mnoge načine poboljšana i rješavanja svih navedenih nedostataka, ali kompleksnošću staklene fasade raste cijena i težina montaže. Veličina i dizajn razlozi su otežanog održavanja i čišćenja staklenih fasada. Staklo je krhak materijal stoga su te fasade više podložne oštećenjima od primjerice kamene fasade ili betonske za vrijeme nepovoljnih vremenskih uvjeta. [9,10]

4. PODJELA STAKLENIH FASADA

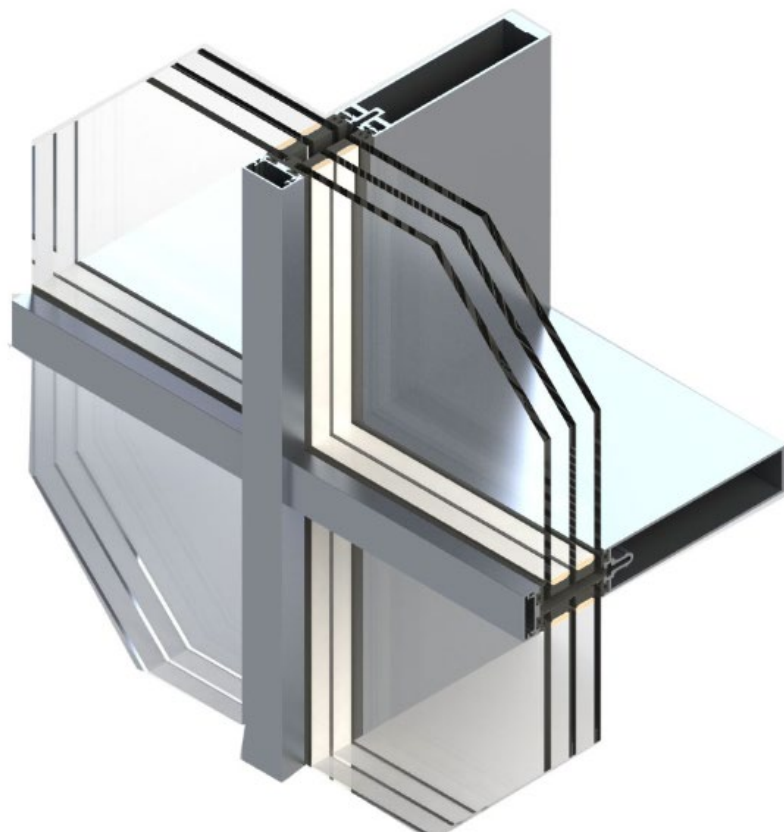
4.1. Podjela prema tehničkoj izvedbe

Staklene fasade mogu se podijeliti na različite kategorije, klasično se dijele prema tehničkoj izvedbi kako je prikazano na slici 9. Podjela se temelji na različite metode izradbe i montaže te vidljivosti osnovnih dijelova fasade. Staklene fasade su karakteristične po dominaciji stakla koji se oslanja na sustav metalnih nosača, najčešće aluminijskih, a druga vrsta su panelne staklene fasade koje su opisane u 5.3. poglavlju. [11]



Slika 9.: Tipovi staklenih fasada prema tehničkoj izvedbi [10]

Kontinuirano ostakljene fasade jedne su najstarija vrsta staklene fasade čija je karakteristika montaža na gradilištu dio po dio. Izrađuje se konstrukcija, najčešće od aluminija koja se sidrima pričvršćuje za građevinu te se na nju postavljaju stakleni paneli. Profili se postavljaju u dva smjera: vodoravno i okomito i najčešće su jednakih dimenzija kako bi se olakšala montaža. Prostor između stakla i profila popunjuje se brtvilom na silikonskoj bazi ili EPDM guma (etilen-propilen-dien-monomer) čija uloga je osiguravanje vodonepropusnosti, zaštita od UV zračenja i ostalih vremenskih uvjeta kojima je fasada izložena. Proizvodnja i dopremanje ovakvog tipa staklene fasade je vrlo jednostavno i brzo, bez poteškoća za bilo koji prijevoz, kopneni ili vodeni. [6,12]



Slika 10.: Geometrija kontinuirane fasade [8]

Polu-strukturalne ostakljene fasade je vrsta staklene fasade čija je karakteristika da se koristi kod viših građevina u odnosu na kontinuirane staklene fasade. Ovaj tip fasade zajedno s strukturalnom fasadom brži je i jednostavniji za montažu u odnosu na kontinuirani tip staklene fasade. Brtvila koja se koriste su na silikonskoj bazi i EPDM guma jednako kao i kod kontinuirane fasade. Nadalje bolje podnosi opterećenja, posebno opterećenja vjetrom i potresno djelovanje u odnosu na kontinuiranu fasadu. U odnosu na kontinuirane, polu-strukturalne ostakljene fasade po obodima imaju minimalno vidljive metalne profile i one dolaze najčešće kao unaprijed složene okvirne jedinice. [6,13] Na slici 11 imamo primjer zgrade s takvom fasadom, a slika 12 prikazuje kako se profili s vanjske strane fasade minimalno vide u odnosu na vanjsku stranu kontinuirane fasade koju prikazuje slika 10.



Slika 11.: Polu-strukturalna fasada [8]



Slika 12.: Geometrija polu-strukturalne fasade [8]

Strukturalna ostakljena fasada je vrsta fasade kod koje se ne vide metalni nosači s vanjske strane fasade, odnosno njezina montaža vrši se na način da se staklo lijepi za metalnu konstrukciju. Brtvila koja se koriste su na silikonskoj bazi ali drugačija u odnosu na prijašnje navedena. Jedan od korištenih je strukturalni silikon, kojim se stakla lijepe za profile bez uporabe dodatnog pričvrstnog materijala, i dvokomponentni silikon. Obe vrste stvaraju čvrstu vezu između stakla i profila koja se odupire opterećenju i prenosi ga zajedno s vlastitom težinom. Dizajnom strukturalna fasada bolje se prilagođava geometriji građevine i lakša je za postavljanje od kontinuirane. Kako se njome stvara kontinuitet, olakšan je odvod vode i čišćenje fasade, a za razliku od prva dva tipa kod njih se ne zadržava prljavština na profilima. [6,12,13]

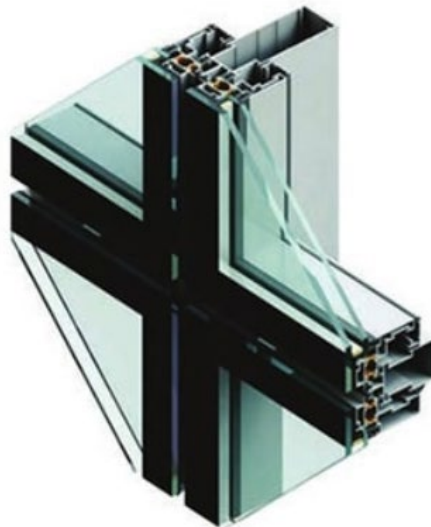
Na slikama 13, 14 i 15 prikazan je zračna luka u Splitu koja ima strukturalnu fasadu koja je ravna i zakrivljena u radijusu, imamo prikaz s vanjske i unutrašnje strane fasade kako bismo uočili razliku strukturalne fasade u odnosu na prethodno objašnjene. S vanjske strane nemamo vidljive metalne profile, dok s unutrašnje strane imamo, a slika 15 je prikaz samog spoja četiri staklena panela.



Slika 13.: Zračna luka Split [2]



Slika 14.: Zračna luka Split [2]



Slika 15.: Geometrija strukturalne fasade [8]

Spider staklena fasada je vrsta strukturalne fasade koje je ime dobila prema jedinstvenim nosačima na koje se pričvršćuje staklo. Nosači su točkastog izgleda i najčešće izrađeni od nehrđajućeg čelika. Uloga nosača je da drže staklene panele i pružaju otpor deformacijama koje se javljaju prilikom vanjskih djelovanja na fasadu. Svojom izgledom je iznimno zanimljiva i prepoznatljiva, a karakteristike ima strukturalne staklene fasade, odnosno nosači su smješteni

s unutarnje strane fasade, a brtvilo koje se najčešće koristi je na silikonskoj bazi između staklenih panela pružajući otpornost toplinskom pomicanju fasade.[8,12]

Slika 16 prikazuje Polikliniku sunce koja je ima spider fasadu, a slika 17 uvećano prikazuje nosače iz dva pogleda.



Slika 16.: Poliklinika Sunce [2]



Slika 17.: Nosači na spider fasadi [8]

Dvostruke fasade su fasade koje se sastoje od dva sloja između kojih je zračni prostor koji može biti ventiliran ili neventiliran. Prostor između je najčešće ventiliran jer se izmjenom zraka povećava energetska učinkovitost fasade i toplinska izolacija jer zračni prostor ima ulogu barijere. Ventiliranje može biti prirodno ili prisilno. Ukoliko je prisilno, između dva sloja dodaje se mehanizacija koja kontrolira i upravlja ventiliranjem. Mehanizacija može biti sustav ventilatora. Osim mehanizacije za upravljanje ventiliranjem, dodaju se zaštite od sunca, npr. žaluzine, rolete, folije. [12,13] Vanjsko staklo je u odnosu na unutrašnje bolje kvalitete,

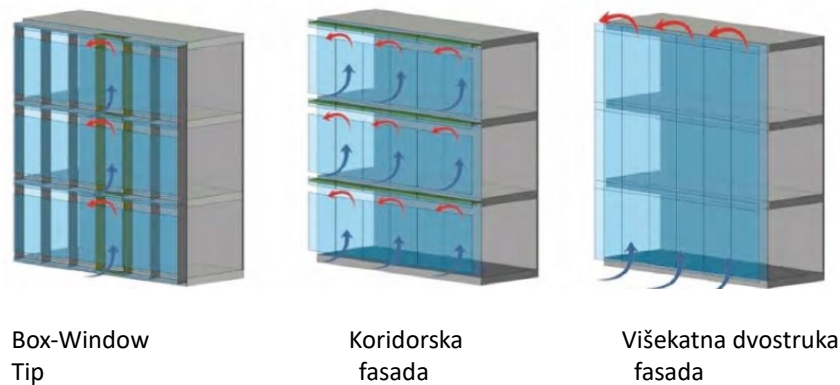
odnosno riječ je o sigurnosnom staklu, dok unutarnje staklo može biti manje sigurno. Također vanjsko staklo je obično i bolje izolacijsko staklo što može otežati rad primjerice fotonaponskih ćelija koje se često postavljaju između staklenih panela.[14]



Slika 18.: Dvostruka fasada na Poslovnom centru Adris [2]

Dvostruke fasade, iako je skuplja i zauzima veću površinu, je energetske učinkovitija od jednostruke fasade. Jedan od razloga je smanjivanje gubitka topline do 25% u odnosu na jednostruke fasade. Zvučna izolacija je poboljšana zbog uporabe dodatnog stakla 10 – 12 dB u odnosu na jednostruke fasade. [13] Mehanizam rada na uštedi energije jest efekt dimnjaka koji se javlja ljeti. Vanjska površina unutarnjeg stakla hladi se propuštanjem toplog zraka, iz međuprostora na vrh. Zimi se stvara usporena kružna cirkulacija zraka u međuprostoru smanjujući potrebe za grijanjem. [12,13]

Dvostruke staklene fasade dijele se prema načinu ventiliranja, ali i prema geometriji. Prema geometriji razlikujemo: višekatnu dvostruku fasadu, koridor dvostruku fasadu, box-window tip i shaft-box tip. Na slici 19 prikazana je navedena podjela s obzirom na geometriju fasade.



Slika 19.: Podjela dvostruko staklenih fasada [13]

4.2. Podjela dvostrukih staklenih fasada prema načinu ventiliranja

Načini ventiliranja ovise o tome imamo li mehanizaciju ili ne, stoga razlikujemo: pasivne, aktivne i hibridne dvostruke fasade.

Pasivna dvostruko ventilirana fasada koristi prirodnu ventilaciju koja se temelji na izmjeni zraka radi razlike u temperaturi i tlaku smanjujući time toplinsko opterećenje na fasadu.

Aktivna ventilacija podrazumijeva korištenje mehanizacije kao što su ventilatori kako bi se osigurala cirkulacija zraka u jednom ili na način da cirkulira unutar zgrade. Mehanizacija zahtjeva energiju za pokretanje, ali su troškovi manji ukoliko se pravilno projektira ili se ugrade fotonaponske ćelije koje proizvode električnu energiju.

Hibridna ventilacija koristi pasivnu i aktivnu ventilaciju. U povoljnim vremenskim uvjetima koristi se pasivna ventilacija, a u nepovoljnim vremenskim uvjetima se koristi mehanizacija. [13,14]

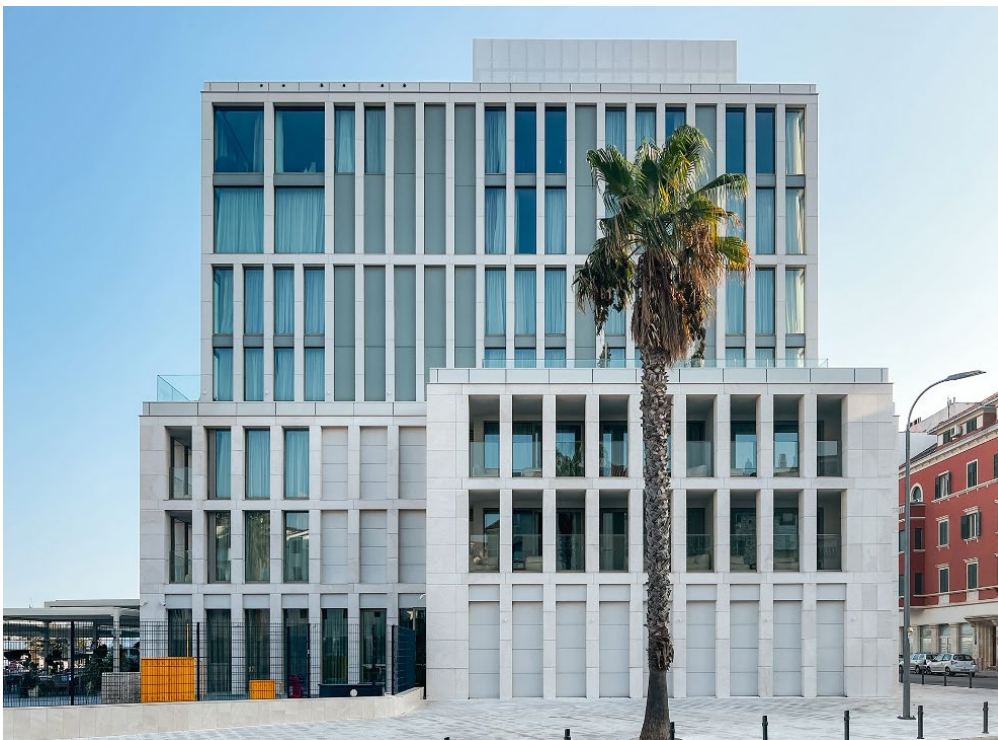
4.3. Sustav panela

Uza navede tipove staklenih fasada postoje i panelni sustavi koje sačinjavaju tvornički napravljene jedinice koje se montiraju na gradilištu. Sastoje se od stakla i drugih materijala koji su značajnije vidljivi u odnosu na prethodno opisane tipove i time se postiže raznolikost u dizajnu. Do sad smo spominjali samo metal kao dodatan materijal, no ovdje može biti kamen, beton i dr.

Sustavi panela imaju mnogobrojne prednosti u odnosu na staklene vrste jer se izrađuju u tvornici u kontroliranim uvjetima, transport je relativno jednostavan, a montaža je znatno olakšana u odnosu na do sad objašnjene vrste. Usprkos tome postoje nedostaci kao što je visoka cijena transporta.

Panely se montiraju počevši od najviše točke do najviše točke zgrade, a njihovo postavljanje mora biti kontinuirano jer dolaze iz tvornice napravljeni i izrezani da jedan na drugoga se nastavljaju. Takav način postavljanja omogućuje pomake kako bi se očuvala trajnost za vrijeme deformacija i naprezanja uzrokovanih vjetrom. [5]

Dijele se na modularne jedinice, velike panele i sustav prozora. Također mogu koristiti različite vrste stakla i mogu biti ventilirane koje su prethodno opisane. Na slici 20 prikaz je fasade s sustavom panela tvrtke KFK građevina je hotel Ambassador u Splitu završena 2020. godine. Hotel ima kamenu ventiliranu fasadu s ostakljenim aluminijskim otvorima. Prikaz je sustava panela s u kombinaciji 3 materijala, stakla, aluminijska i kamena. [5]



Slika 20.: Hotel Ambassador u Splitu [2]

5. NORME

Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukciju:

Norme navede u nastavku opisuju kako se konstrukcije generalno u što ulaze i staklene konstrukcije projektiraju shodno izloženim uvjetima. Za svako djelovanje postoje norme i nacionalni dodaci, a u nastavku su neke od njih.

HRN EN 1990

Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija

HRN EN 1991-1-1

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada

HRN EN 1991-1-2

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-2: Opća djelovanja -- Djelovanja na konstrukcije izložene požaru

HRN EN 1991-1-5

Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-5: Opća djelovanja -- Toplinska djelovanja

Norme za izvođenje i održavanje staklenih konstrukcija:

HRN EN 357: Staklo u graditeljstvu -- Ostakljenje otporno na požar s prozirnim ili poluprozirnim staklom -- Razredba otpornosti na požar

HRN EN 1288-1: Staklo u graditeljstvu -- Određivanje otpornosti stakla na savijanje -- 1. dio: Osnove ispitivanja stakla

HRN EN 14019: Ovješene fasade -- Otpornost na udar -- Izvedbena svojstva

HRN EN 16759: Ostakljivanje vrata, prozora i ovješениh fasada lijepljenjem -- Provjera mehaničkih svojstava lijepljene veze

HRN EN 12488: Staklo u graditeljstvu -- Preporuke za ostakljivanje -- Načela izvedbe za vertikalno i koso ostakljivanje (EN 12488)

Norme za staklene proizvode, tj. Vrste stakla u fasadi:

HRN EN 1279-5:2008 -- Staklo u graditeljstvu -- Izolacijsko staklo -- 5. dio: Vrednovanje sukladnosti (EN 1279-5:2005+A1:2008)

HRN EN 1863-2:2006 -- Staklo u graditeljstvu -- Toplinski ojačano natrijkalcijsko silikatno staklo -- 2. dio: Vrednovanje sukladnosti/Norma za proizvod (EN 1863-2:2004)

HRN EN 12150-2:2006 – Staklo u graditeljstvu -- Termički kaljeno natrijkalcijevo silikatno staklo -- 2. dio: Vrednovanje sukladnosti/Norma za proizvod

HRN EN 14449:2005 – Staklo u graditeljstvu -- Višeslojno staklo i višeslojno sigurnosno staklo -- Vrednovanje sukladnosti/Norma za proizvod (EN 14449:2005)

Norme za upravljanje energijom:

HRN EN ISO 50001 - Upravljanje energijom

HRN EN ISO 673: 2011, Staklo u građevinarstvu – Određivanje koeficijenta prolaska topline (U vrijednost) – Metoda proračuna

HRN EN ISO 12412-2:2003, Toplinske značajke prozora, vrata i zaslona – Određivanje koeficijenta prolaska topline metodom vruće komore – Dio 2: Okviri

HRN EN ISO 7345: 1987, Toplinska izolacija – Fizikalne veličine i definicije

HRN EN ISO 10211:2007, Toplinski mostovi u zgradarstvu – toplinski tokovi i površine temperature – Detaljni proračuni

Norme koje se odnose na metalne profile:

HRN EN 10021:20XX, Opći tehnički uvjeti isporuke za čelik i čelične proizvode (EN 10021:2006)

HRN EN 10034:2003, I-profil i H-profil od konstrukcijskih čelika -- Dopuštena odstupanja mjera i oblika (EN 10034:1993)

HRN EN 1991-1-2:20XX Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – 1-2 dio: Općenita djelovanja – Djelovanja na konstrukcije izložene požaru (EN 1991-1-2:2002)

HRN EN 1991-1-5:20XX Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – 1-5 dio: Općenita djelovanja – Toplinska djelovanja (EN 1991-1-5:2003)

HRN EN 1999-1-2:2008/Ispr.1:2011 Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija — Dio 1-2: Proračun konstrukcija na djelovanje požara (EN 1999-1-2:2007/AC:2009)

HRN EN ISO 6507-2:2008 Metalni materijali — Ispitivanje tvrdoće prema Vickersu — 2. dio: Provjeravanje i umjeravanje ispitnih uređaja (ISO 6507-2:2005; EN ISO 6507-2:2005) [15]

6. MATERIJALI KORIŠTENI U STAKLENOJ FASADI

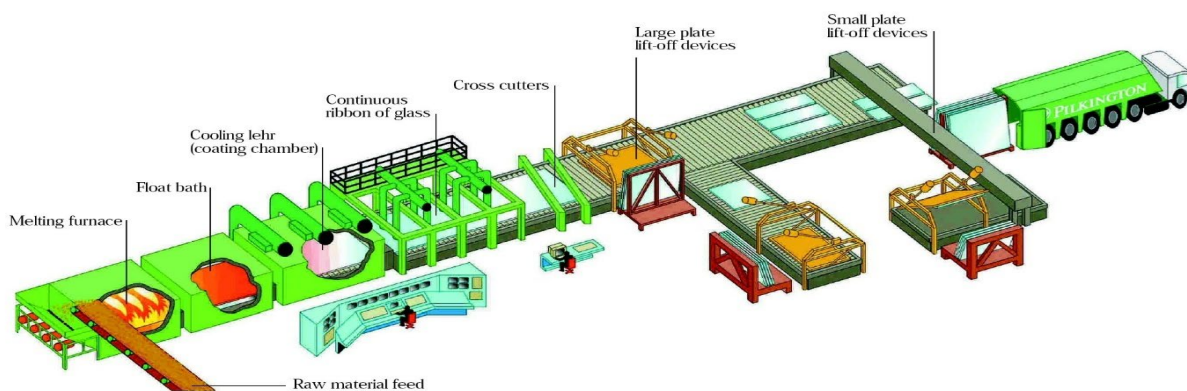
6.1. Staklo

Staklo je krhki, proziran materijal koji propušta 92-95% svjetlosti. Krhak je što znači da puca bez najave, stoga su razvijena poboljšana sigurnosna stakla koja su opisana u podglavljima. U tablici 1 dane su vrijednosti svojstava stakla. Ovisno o zahtjevima projekta odabire se vrsta stakla sa zahtijevanim svojstvima. [16]

Tablica 1.: Svojstva stakla [6,11,16]

| Svojstvo | Vrijednost |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Gustoća | 2500 kg/m ³ |
| Youngov modul | 70 000 Mpa |
| Poissonov koeficijent | 0,23 |
| Vlačna čvrstoća na savijanje | 40 – 70 Mpa |
| Karakteristična vlačna čvrstoća | 45 Mpa |
| Koeficijent toplinskog širenja | 9 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹ |
| Toplinska vodljivost | 1 W x m ⁻¹ K ⁻¹ |

Ravno staklo ili obično je najslabija vrsta stakla koje nije dodatno termički obrađeno kako bi se poboljšala svojstva. Proizvodi se Pilkingtonovim procesom koji započinje taljenjem smjese koja se izliva na metal niskog tališta, npr. kositar. Daljnji plutanjem tekućina se nivelira i hladi čitavim volumenom. Na slici 21 prikaz je postrojenja za proizvodnju ravnog stakla Pilkingtonovim procesom. [4]

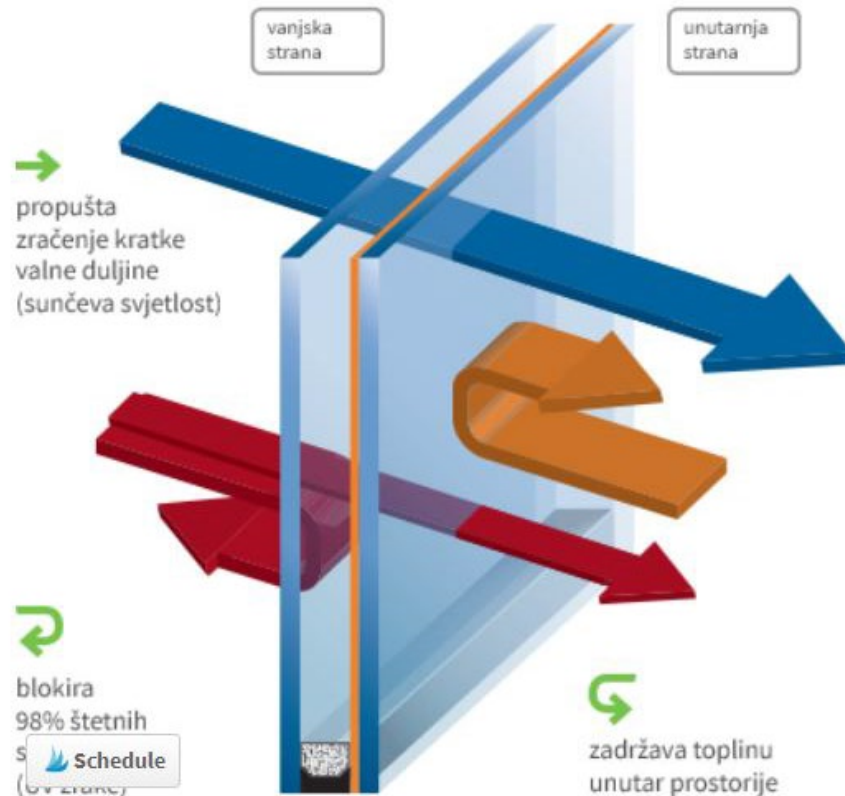


Slika 21.: Prikaz Pilkingtonovog procesa [17]

Ovo staklo nije pogodno za građevine koje zahtijevaju visoku razinu sigurnosti i mehaničke otpornosti radi krhkosti zbog male čvrstoće na savijanje koja iznosi 40 – 70 MPa. [1] Toplinski gubitci su iznimno veliki da bi se ovaj tip stakla koristio kod fasada većih građevina jer postaju energetske neučinkovite. [8]

6.1.1. Staklo s metalnim premazom ili Low-E staklo

Staklo s metalnim premazom je vrsta ravnog stakla ili kaljenog kojem je tijekom procesa proizvodnje nanesen tanak sloj metalnog oksida. Ovisno o trenutku nanošena metalnog sloja razlikuje dvije vrste premaza: tvrdi i mekani premazi. Tvrdi premazi ili pasivni se nanose prilikom procesa izrade, odnosno Pilkingtonov procesa. Stavljaju se na vanjsku stranu stakla i s njime tvore čvrstu vezu. Koriste se u hladnijim klimama jer dozvoljavaju ulazak pojedinih kratkovalnim frekvencijama infracrvenog svjetla u prostor građevine time zagrijavajući prostorije, no ne dozvoljava izlazak iz prostorija. Druga vrsta premaza koja je pogodnija u toplijim klimama jest meki premaz i on se nanosi nakon hlađenja stakla. Ovaj tip premaza koriste se na unutrašnjim ploham stakla. Takva stakla bolje odbijaju UV zrake i time su pogodnija u toplijim predjelima. Čvrstoća ovog stakla ovisi o staklu koje je upotrijebljeno, time su čvršća ona koja se izrađuju od kaljenog stakla. Primjena stakla s metalnim premazom neovisno o vrsti premaza može smanjiti uporabu energenata do 75%. [6] Na slici 22 je shematski prikaz načina funkcioniranja Low-E stakla. Na slici je vidljivo kako toplina ili hladnoća ne prolazi kroz stakla van što omogućuje prostoriji da ostane željene temperature i propuštanje samo pojedinih infracrvenih zraka.



Slika 22. : Shematski prikaz low-E stakla [18]

6.1.2. Kaljeno staklo

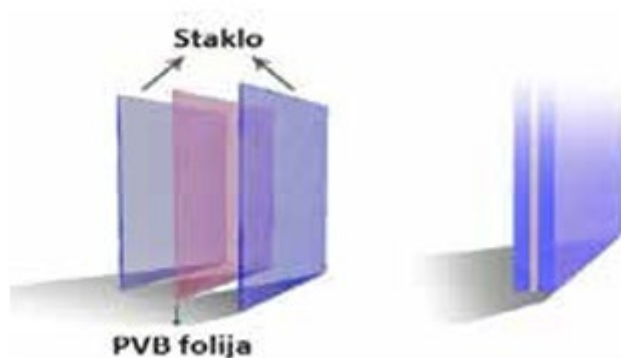
Kaljeno staklo je poboljšano ravno staklo koje se dobiva postupkom zagrijavanja i naglog hlađenja kako bi se nanijela dodatna naprežanja. Nanošenjem naprežanja povećava se čvrstoća stakla na 120 – 200 MPa.[6] Istraživanja su pokazala kako tako poboljšano staklo može podnijeti opterećenja 3 do 4 puta veća nego ravno staklo, a osim toga, radi svojstva da prilikom prelaska granice opterećenja puca na sitne komadiće koji se ne razlete koristi se kao sigurnosno staklo. U usporedbi s ravnim staklo koje prilikom prve pukotine prestaje nositi opterećenje i slomi se, kaljeno staklo kod prve pukotine samo može podnijeti manja opterećenja, odnosno ne slomi se prilikom prve pukotine. Na slici 23 je prikazan je loma kaljenog stakla gdje je vidljivo kako je ono razlomljeno na stine komadiće koji se drže zajedno, odnosno nisu se razletjeli. [6,11]



Slika 23.: Slom kaljenog stakla [8]

6.1.3. Laminirano staklo

Laminirano staklo je staklo izrađeno od najmanje dvije staklene ploče između koje se nalazi jedna sloj PVB folije ili smole kako se u slučaju puknuća dijelovi stakla ne bi raspršili, već ostaju zalijepljeni radi čega se smatra vrstom sigurnosnog stakla.[8] Čvrstoća na savijanje obično je manja od kaljenog stakla, iznosi oko 100 MPa. [6] Na slici 24 vidljivo je kako je laminirano staklo višeslojno staklo spojeno PVB folijom.



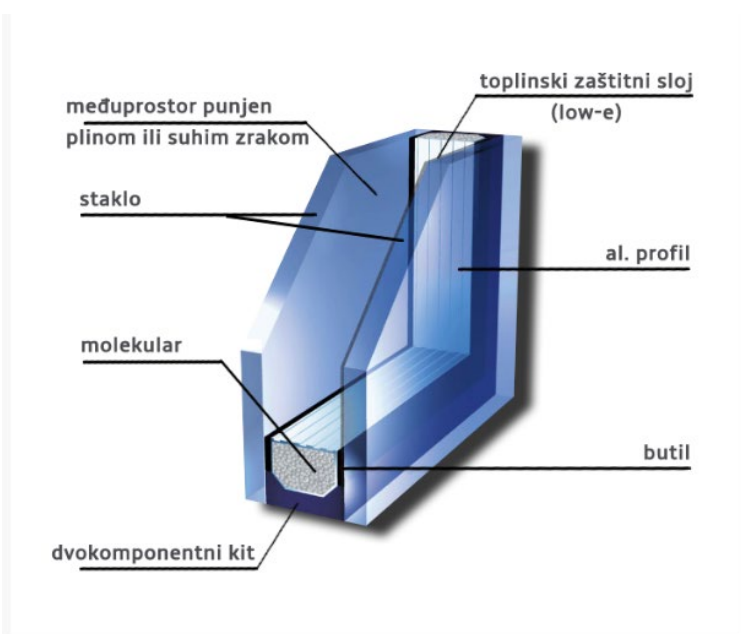
Slika 24.: Prikaz slojeva laminiranog stakla [19]

Ovakav tip stakla pogodan je za građevine kod kojih se radi sigurnosni razloga mora osigurati čitava površina, (npr. Banke, trgovački centri). Prednost laminiranog stakla jest sigurnost za vrijeme izvanrednih vremenskih nepogoda, za vrijeme potresa. Nadalje u usporedbi ravnog stakla i laminiranog, laminirano radi PVB folije ima bolja zvučna izolacijska svojstva. Laminirano staklo ima sposobnost filtriranja štetnih UV zraka što za prednost ima ugodan boravak ljudi u prostoru i očuvanje vrijedne imovine. [11]

6.1.4. Izolacijsko staklo

Izolacijsko staklo je staklo koje se sastoji od dva staklena panela između koji se nalazi vakuumski prostor debljine do 0,2 mm ili neki plin radi poboljšanja zvučne i toplinske izolacije. Zbog vakuuma unutar staklenih panela, izmjena topline je onemogućena zbog čega je ova vrsta stakla izuzetno dobra kao toplinsko izolacijsko staklo. Vakuum služi kao barijera koja onemogućuje prijenos i gubitak topline. [6,12]

Osim vakuuma, koristi se argon koji je inertan i bezbojan plin. Argon je relativno jeftin zbog čega se koristi najčešće od plinova, veličina razmaka stakla za argon iznosi 16 mm.[6] Usporava prijenos topline konvekcijom i smanjuje gubitak topline. Drugi plinovi se krypton i xenon čija su izolacijska svojstva bolja od argona, ali se rjeđe koriste zbog visoke cijene. Neovisno o vrsti ispunje, izolacijska stakla imaju bolju energetska učinkovitost od običnog stakla ili jednostrukog stakla. Dokaz tome je U vrijednost izolacijskog stakla s argonom oko $1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kod brtvljenja izolacijska stakala koriste se silikonska ljepila i poliuretanska. [6]. Slika 25 prikazuje vakuum izolacijsko staklo s metalnim premazom jer se radi poboljšanja energetske učinkovitosti znaju dodavati takvim premazi na poboljšana stakla koja mogu biti jednostruka i dvostruka.



Slika 25.: Shematski prikaz vakuum izolacijskog stakla [20]

6.2. Metali profili

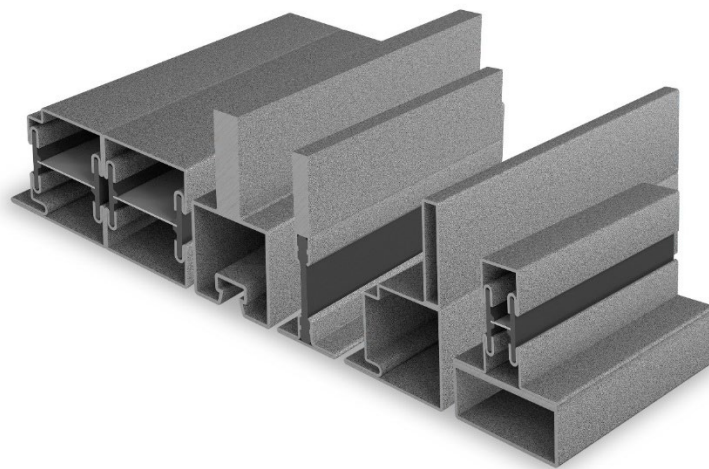
6.2.1. Čelični profili

Jedan od materijala u izradi okvira ili samo pojedinih dijelova za ojačanja konstrukcije staklene fasade je čelik. Čelik je legura željeza sa smanjenom količinom ugljena. Vrijednosti svojstva čelika variraju ovisno o vrsti čelika i primjesama koje se koriste za poboljšavanje svojstava čelika. U tablici dva navedena su svojstva i vrijednosti koja variraju s obzirom na vrstu čelika i njegove obrade. [16]

Tablica 2.: Svojstva čelika [11,16]

| Svojstvo | Vrijednost |
|---------------------------------|--|
| Gustoća | 7850 kg/m ³ |
| Električna provodljivost | 6 – 10 Sm/mm ² |
| Toplinski koeficijent istezanja | 23 – 24 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹ |
| Toplinska vodljivost | 45 – 60 W/Km |
| Granica tečenja | 250 – 1200 MPa |

Mehanička svojstva čelika su razlog korištenja čeličnih profila u staklenoj fasadi, no pretežno se koristi aluminij kao dominirajući materijal jer nije podložan koroziji kao što je čelik. Čelik se radi korozije mora zaštititi, npr. hladno ili toplo cinčanje kako ne bi fasada izgubila uporabljivost. Profili koji se koriste su raznih oblika i dimenzija, a izrađuju se u skladu s normom EN 1090. Čelični profili koriste se za veće dimenzije visine i širine sustava te kao pričvrsti i spojni materijal. [16]



Slika: 26.: čelični profili raznih poprečnih presjeka [21]

6.2.2. Aluminijski profili

Aluminij je metal koji se dobiva iz rude boksita Bayerovim postupkom. Aluminijski profili zastupljeniji su u korištenju kod staklenih fasada jer su mu svojstva bolja i otporan je na koroziju. Oni također dolaze u različitim dimenzijama i poprečnim presjecima. Najčešći oblici poprečnog presjeka koji se koriste su I, L, T i U profili. Najčešće se koriste dvije legure aluminija: 6063-T5 s čvrstoćom od 150 MPa i 6063-T6 s čvrstoćom od 250 MPa. [22]

Tablica 3.: Svojstva aluminija [16,18]

| Svojstvo | Vrijednost |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Gustoća | 2700 kg/m ³ |
| Električna provodljivost | 34,8-38 Sm/mm ² |
| Toplinski koeficijent istezanja | 24 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹ |
| Toplinska vodljivost | 209,3 W/Km |
| Granica tečenja | 30 – 500 MPa |

Prednosti aluminija kao građevinskog materijala važno je promatrati i kroz mogućnost recikliranja. Naime aluminij je materijal koji se može neograničeno puta reciklirati na način da se očisti od nečistoća i ponovno tali baš kao i staklo, pri čemu ne gubi mehanička svojstva. Reciklaža je posljednjih godina sve važnija i dio je održive gradnje. [23]

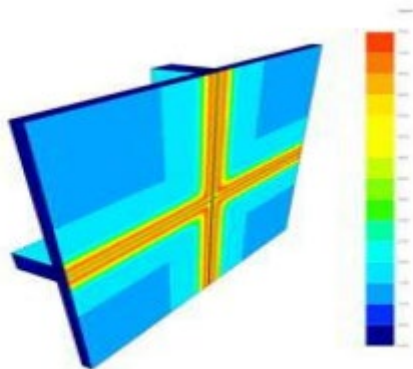
6.2.3. Glavne značajke metalnih profila

Metalni profili nose i prihvaćaju staklene panele stoga su oni glavni nosivi elementi koje postavljamo horizontalno i vertikalno. Njihova uloga je sigurno prihvatiti staklene panele i preuzeti sva vanjska opterećenja na glavnu konstrukciju fasade. Stoga moraju biti projektirani da budu dovoljno čvrsti i odupru se deformacijama. Osim što moraju biti sigurni i pravilno zaštićeni od korozije koja može ugroziti sigurnost i tajnost fasade. Čelične profile posebno treba zaštititi, ali preporučljivo je i aluminijske, štite se površinskim obradama, bojenjem ili cinčanjem. [12]

Metalne profile postavljamo na način da se osigura drenažni sustav radi odvodnje vode. Time se osigurava željena trajnost konstrukcije. Važno je održavati fasadu, posebno mjesta spajanja profila jer su to mjesta najosjetljivija na izložena opterećenja. Ukoliko se štite premazima ili cinčanjem mogu pridonijeti estetskoj vrijednosti fasade. Montaža metalnih profila je jednostavna i brza jer profili su dizajnirani tako da imaju što veću mogućnost fleksibilnosti, jednostavne ugradnje i zamjene kako bi se osigurala mogućnost zamjene ukoliko bude potrebno. [22]

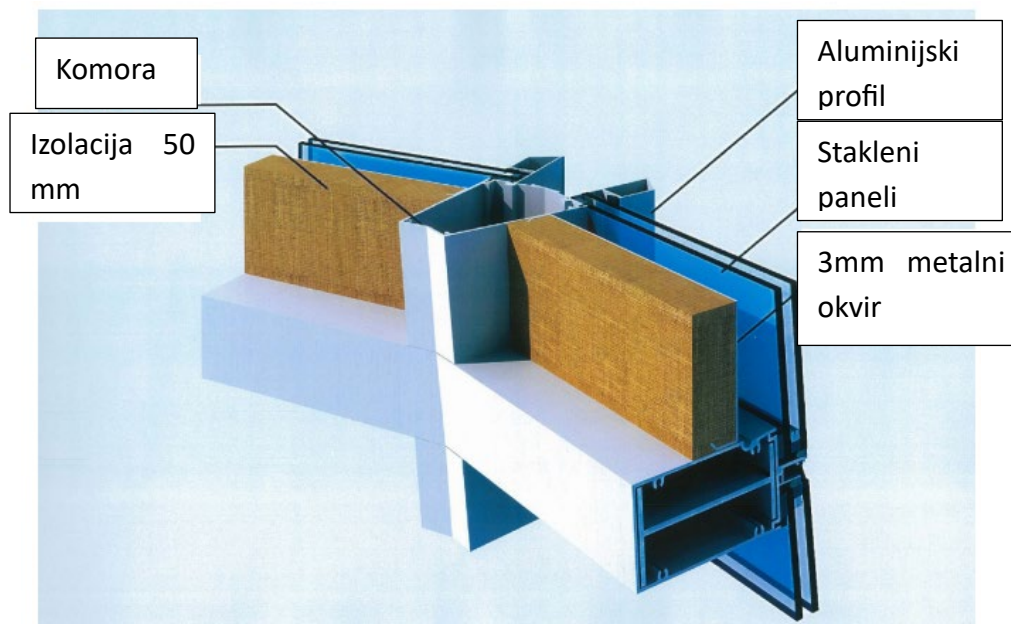
6.2.4. Toplinski most

Toplinski most je mjesto na fasadi na kojem se javlja nepovoljan toplinski tok zbog čega imamo gubitke energije i opasnost pojave kondenzacije vodene pare. Slika 27 prikazuje toplinski most tamo gdje se najčešće javlja, odnosno na spoju različitih materijala.[14] Problem toplinskog mosta na staklenoj fasadi očituje se u gubitku topline zimi, a ljeti omogućuje prodiranje topline što se negativno odražava na energetska učinkovitost građevine, također problem je i povećana vlažnost što omogućava već spomenutu kondenzaciju vodene pare. Problem se može prepoznati po povišenoj potrošnji energenata za hlađenje, odnosno grijanje i problematičnoj plijesni koja ima negativan utjecaj na zdravlje korisnika građevine. [24]



Slika 27.: toplinski most na metalnim profilima [21]

Rješenje za toplinske mostove su prekidi na aluminijskim profilima koji se izrađuju s manje provodnim materijala, npr. materijali izrađeni od PVB-a (polivinil-klorida) ili PA (poliamida), bolja rubna rješenja detalja ili bolji dizajn. Rješenja su tlačne kape ili silikonski spoj kao dodatni materijali, no korištenje dvostrukog stakla ili termalno poboljšano stakla također doprinosi smanjenju toplinskog mosta. [12]. Potrebno je uzeti u obzir i vrstu metala korištenog kod nosača i profila jer je koeficijent toplinskog rastezanja čelika 12×10^{-6} dok je za aluminij dvostruko veći, odnosno 25×10^{-6} što znači da je čelik je manje podložan deformaciji kod toplinskog opterećenja i samim time potrebni su manji razmaci.[22] Slika 28 prikazuje shemu smanjivanja toplinskog mosta pomoću izolacije.



Slika 28.: detalj prekida toplinskog mosta [12]

6.2.5. Komore

Komore su šupljine unutar metalnih profila koji drže i nose staklene panele, a izrađuju se od metala. Imaju višestruku ulogu, pružaju stabilnost i sigurnost, toplinsku izolaciju i pridonose kod sprječavanja toplinskih mostova. Upravo se po ulogama i dijele na toplinske komore i tlačne komore. Toplinske komore najčešće se kombiniraju s materijalom s niskom provodljivošću topline kako bi se poboljšala energetska učinkovitost. Komora zadržava zrak i time smanjuje prijenos topline, odnosno smanjuje U-vrijednost fasade. Tlačne komore su ventilirane i dizajnirane kako bi izjednačile razliku u tlakovima između unutrašnjeg dijela građevine i vanjskog dijela te tako spriječile prodor vlage i nastanak kondenzacije vodene pare. Komore dolaze u raznim veličinama ovisno o projektu, veće komore zadržavaju više zraka, ali su one i složenijeg dizajna. Također mogu se koristiti i za drenažu ili sprječavanje prodora vode. Suprotstavljaju se pomacima i deformacijama građevine, odnosno komora se prilagođava pomacima građevine nastalim pod vanjskim utjecajem opterećenja kako fasada ne bi se slomila. [12,23]

7. ZAHTJEVI ZA STAKLENE FASADE

7.1. Energetska učinkovitost

Posljednjih 10-ak godina u fokus društva stavljeno je globalno zatopljenje i načini smanjenja stakleničkih plinova te održiva i zelena gradnja. Cilj održive i zelene gradnje je da građevina kao sektor djelatnosti smanji svoj postotak u zagađenju planeta Zemlje. Stoga su razvijene mnoge tehnologije i načini gradnje, a samim time i materijali kako bi se pridonijelo poboljšanju kvalitete života. Staklene fasade su fasade koje su prozirne i time propuštaju mnogo sunčeve svjetlosti, no razvojem tehnologije postale su iznimno energetske učinkovite.

Energetska učinkovitost održava se kroz sposobnost smanjenja gubitka topline, što se prikazuje U-vrijednosti ili R-vrijednosti. U-vrijednost ili koeficijent provođenja topline kako mu ime govori mjeri vrijednost prolaska topline i izražava se u mjernoj jedinici W/m^2K . Niska vrijednost označava bolju izolaciju građevine što je dakako poželjnije, pod utjecajem već spomenutih toplinskih mostova vrijednost raste što je nepovoljno. Gubitci topline mogu biti konvencijom, provođenjem i zračenjem. R-vrijednost odnosno toplinska izolacija je recipročna vrijednost toplinske provodljivosti.

Osim U- vrijednosti kod prikaza energetske učinkovitosti koriste se solarno termalne performanse SHGC kojima se iskazuje omjer ukupnog strujanja vidljive i štetne solarne energije s trenutnom. Manja vrijednost faktora je povoljnija, za ostvarenje manjeg faktora odabiru se izolirajuća stakla. CRF faktor je iskaz otpornosti na kondenzaciju, on ne predviđa kondenzaciju već je samo vrijednost omjera temperature površine i razlike temperature vanjskog okoliša.

Na energetske učinkovitost utječe niz faktora, odabir vrste staklenih panela, projektiranje i montaža metalnih profila, brtvljenje, komore te čitava geometrija staklene fasade. Bitno je odabrati odgovarajuće elemente ovisno o klimi i vanjskim uvjetima, ali i pravilno ih spojiti u cjelinu. Jedno od rješenja je odabir niskoemisirajućeg stakla- Low E staklo jer sadrži premaz koji mu omogućuje propuštanje svjetla, ali ne i UV zraka. Drugo rješenje se dvostruke fasade i ventilirane fasade jer one svojim mehanizmom rada smanjuju potrošnju energenata zimi i ljeti. Odnosno odabir materijala koji imaju visoko izolirajuća svojstva i sustava koji imaju visoko učinkovite mehanizme. Novo inovativno rješenje koje povećava energetske učinkovitost su staklene fasade s fotonaponskim ćelijama.

Osim odabira pravilnih materijala, fasada se treba pravilno projektirati u skladu s normom HRN EN ISO 12631:2012 u kojoj su opisane metode izračuna koeficijenta prolaska topline.

Energetska učinkovitost povlači vatrootpornost, termalnu otpornost, vodonepropusnost jer slabljenjem jedne od navedenih energetske učinkovitost se smanjuje. [11,22]

7.2. Vatrootpornost

Cilj svake konstrukcije je ukoliko dođe do požara spriječiti i ograničiti područje djelovanja. Požar nepovoljno utječe jer smanjuje nosivost i uzrokuju toplinska naprezanja. Staklena fasada se ocjenjuje na vatrootpornost u minutama od 30 do 120 minuta. Dva su načina ispitivanja: američki ASTM E2307 standardna ispitna metoda za određivanje vatrootpornosti perimetarskih protupožarnih barijera korištenjem višekalnog ispitnog aparata srednje veličine ili europski BS EN 1364-4:2014 Ispitivanja otpornosti na vatru za nenosive elemente.

Europskim testom ispituju se i ocjenjuju sva tri načina širenja požara. Požar se širi kroz unutarnji spoj između podne ploče i unutarnje strane okvira zavjese, preko vanjskog dijela odnosno stakla, kroz unutarnju šupljinu nezaštićene ili nepropisno zaštićene šupljine. Slika 29 pokazuje načine širenja. [24]

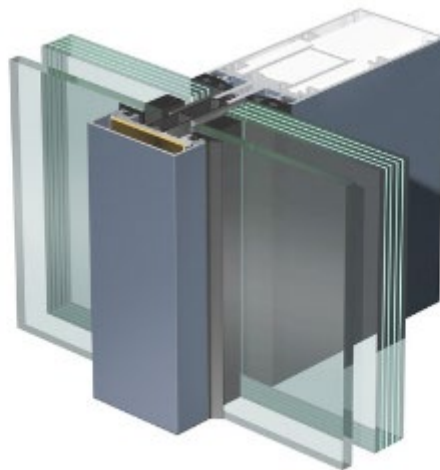


Slika 29.: 1: između podne ploče i unutarnje strane okvira, 2: preko vanjskog dijela fasade, 3: između šupljina u konstrukciji [23]

Staklo je materijal koji puca pod utjecajem požara, a aluminij se deformira, spojevi i brtvila se mogu smatrati zapaljivim materijalima. Kako bi se povećala vatrootpornost potrebno je izabrati materijale s boljim izolacijskim svojstvima koja se pod djelovanjem požara pokazali otporni i djelotvorni. Rješenje je višeslojna fasada s sigurnosnim staklom kao što je laminirano staklo. Prikaz presjeka na slici 30. Laminirano staklo je povoljno jer između svojih staklenih ploča ima foliju koja sprječava širenje požara, a samim mehanizmom pucanja laminirano staklo je sigurnije jer se staklo ne razleti na komade. [5,24]

Ne treba zanemariti manje elemente fasade kao što su brtvila jer je njihova uloga u vatrootpornosti iznimno bitna. Spajaju elemente fasade i odupiru se djelovanjima na fasadu pa tako nastoje zadržati požar na mjestu nastanka. Poželjno je da su brtvila od anorganskih materijala kako bi se spriječilo širenje požara i da su što gušći kako bi se spriječio ulazak dima. [24]

Projektiranjem u skladu s normama HRN EN 357 i HRN EN 1991-1-2/NA osigurava se sigurnost konstrukcije i korisnika u slučaju požara. [6]

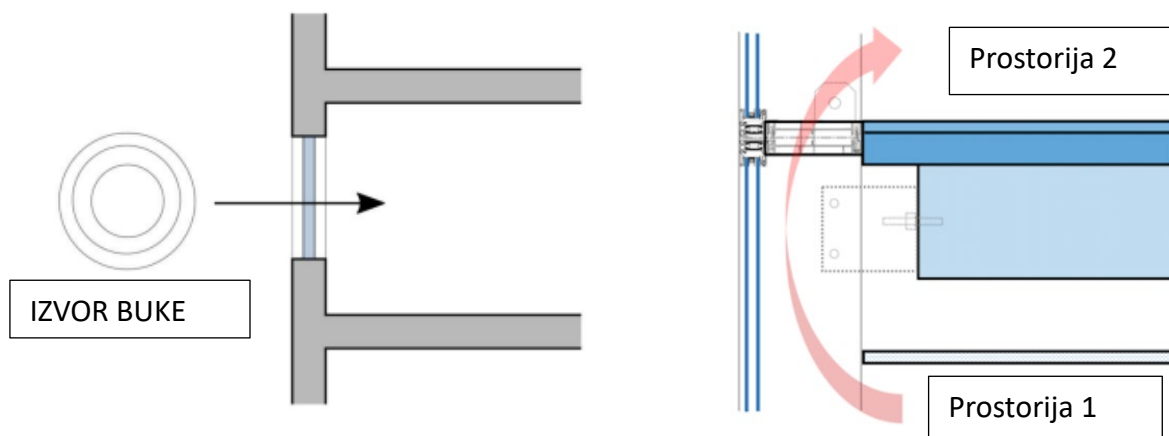


Slika 30.: Višeslojna fasada [8]

7.3. Zvučna izolacija

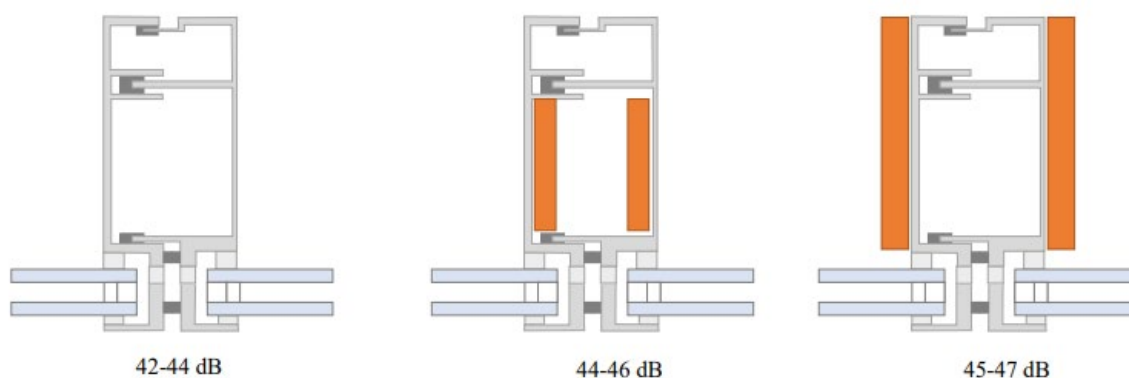
Kod zvučne izolacije cilj je osigurati potrebne razine buke u prostoriji i spriječiti prijenos zvuka između unutarnjih prostorija i vanjskog okoliša. Zvučni valovi prenose se zrakom i pri nailasku na barijeru, u našem slučaju staklenu fasadu oni se mogu odbiti ili će biti propušteni. Nepovoljno je ako se prevelika razina buke prenosi u prostor kroz fasadu jer se time stvara ometajuća atmosfera za korisnike. Vrsta i razina zvučne izolacije ovisi o 3 faktora. Prvi je lokacija, odnosno blizina građevine mjestima intenzivnog prometa, npr. blizina velikih raskrižja i kolodvora. Drugi faktor je zahtijevana razina buke projektom jer kod nekih visoko značajnih projekta kao što su bolnice potrebna je manja razina buke između okoliša i unutrašnjosti. Posljednji faktor je materijal, od kojeg je izgrađena građevina i fasada. [12,25]

Primjerice odabirom jednostruke fasade zvučna izolacija je ograničena na 30 – 35 dB, dok je kod dvostruke fasade ograničenje na 40 – 45 dB. Zatim i odabir stakla utječe na zvučnu izolaciju, primjerice laminirano staklo ima izolaciju oko 34 dB koje je vrsta dvoslojnog stakla, dok troslojno staklo ima izolaciju oko 50 dB. [1]



Slika 31.: Prikaz prijenosa zvučnih valova [24]

Drugi problem koji projektanti moraju riješiti je bočni prijenos zvuka koji se odvija kroz staklo i stupove metalne konstrukcije fasade. Prikaz bočnog prijenosa zvuka je na slici 31. Bočni prijenos je neželjena pojava zbog koje zvuk iz jedne prostorije dopire u drugu putem fasade. Rješenje je postavljanje dodatnih metalnih ploča ili pjenaste ploče pri čemu treba voditi računa i o vatrootpornosti. Slika 32 prikazuje zvučnu izolaciju pri čemu prvi presjek nema nikakvu dodatnu izolaciju, drugi ima dodatne pločice postavljene unutar profila, a kod trećeg presjeka su pločice postavljene s vanjske strane kod svakog načina piše kolika su mu ograničena kod zvučne izolacije i jasno je da je najbolje rješenje postavljanje pločica s vanjske strane jer pruža zvučnu izolaciju od 45 do 47 dB.[12,25]

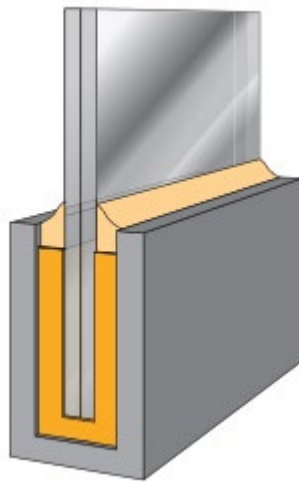


Slika 32.: Zvučna izolacija [25]

Sljedeće rješenje za smanjenje prijenosa zvuka je postavljanje staklenih panela na razmaku, optimalno 200 mm te odabir pravilnih materijala, npr. laminirano staklo koje između stakala ima PVB foliju koja smanjuje prijenos zvuka. Značajno zvučnoj izolaciji pridonose komore koje djeluju kao zvučne barijere, veće komore su bolji zvučni izolatori. [25]

7.4. Vodootpornost i zrakonepropusnost

Vodootpornost i zrakopropusnost su faktori koji utječu na trajnost, funkcionalnost i energetska učinkovitost staklene fasade. Cilj je spriječiti prodor vode koji može nastati pod utjecajem vanjskih utjecaja, npr. kiša. Kako bi se postigla što efikasnija vodootpornost, važno je osigurati sustave drenaže i odvodnje koji u slučaju prodiranja vode nastoje što prije odvest vodu van. Osim toga važno je kvalitetno brtvljenje stakla i metala kako bi se spriječio prodor vode. Brtvljenje se radi kvalitetnim materijalima, npr. silikonske brtve ili specijalne trake.[12] Slika 33 prikazuje narančasto označeno brtvilo koje se postavlja s obje strane stakla u metalnom profilu. Jedno od najpouzdanijih brtvila je EPDM guma koja onemogućuje prodiranje vode i zraka tijekom nepovoljnih vremenskih uvjeta. [6]



Slika 33.: Brtvljenje [21]

Sustavi drenaže i brtvljenja trebaju biti pravilno izvedeni kako ne bi došlo do propuštanja vode. Sustavi prekidanja toplinskih mostova također pridonose vodootpornosti jer oni sprječavaju stvaranje toplinskih mostova i kondenzacije vodene pare. Ukoliko je pravilno projektirano i izvedeno u trenutku nema problema, no dugoročno može se javiti problem starenja materijala jer silikoni koji se izrađuju od polimera imaju manu starenje stoga kod izvedbe i montaže treba dodatno voditi računa o mogućnosti lake zamjene dotrajalih dijelova kako bi se održala energetska učinkovitost zgrade. Održavanje je postalo osviješteno s održivom gradnjom jer upravo održavanjem se smanjuju troškovi i produljuje uporabni vijek fasade. [5]

8. INOVATIVNA RJEŠENJA

8.1. Fotonaponske ćelije

Postoje različiti načini iskorištavanja sunčeve energije jedan od njih su fotonaponske ćelije koje se ugrađuju u dvostruku fasadu radi postizanja što bolje energetske učinkovitosti i smanjenja uporabe energenata. Princip rada fotonaponskih modela sastoji se od upijanja sunčeve svjetlosti, tj. fotona i pretvaranje je u električnu energiju. Njihova primarna uloga je proizvodnja energije, ali imaju i ulogu zaštitu od radijacije, kontrole dnevnog svjetla i kvaliteta boje. Dodatno kod fotonaponskih ćelija, stakla koja se koriste i dalje su većih izolacijskih sposobnosti kako bi se odbijalo zračenje i spriječilo prodiranje direktno na fotonaponske ćelije. [1]

Postoje ćelije različitih materijala: kristalno silikonsko fotonaponsko staklo i poluprozirno tanko film PV staklo.

Kristalno silikonsko fotonaponsko staklo dobiva se iz kristala silicija čija proizvodnja određuje vrstu kristalne ćelije, odnosno hoće li biti monokristalne, polikristalne ili trake i folije. Monokristalne se izrađuju iz jednog kristala silicija i time skupljim metodama kao što je Czochralski tehnika s energetsom učinkovitošću 17-20%. Polikristalne proizvode se jeftinijim postupcima stoga su i dostupnije na tržištu, a učinkovitost im je 14-18%. Posljednje trake i folije proizvode se iz silikona koji se izliva u ignote. [1]

Poluprozirno tanko film PV stakla imaju visoke vrijednosti apsorpcije svjetlosti što ih čini više energetske učinkovitijim.

Cilj uporabe fotonaponskih ćelija je smanjenje potrošnje energenata i ugljičnog otiska, a povećanje energetske učinkovitosti. Dodatno su poželjne jer su dio održive i zelene gradnje spajajući primamljivu estetiku i visoku energetske učinkovitost. [1]

8.2. Sustavi s roletama za preusmjerenje svjetlosti

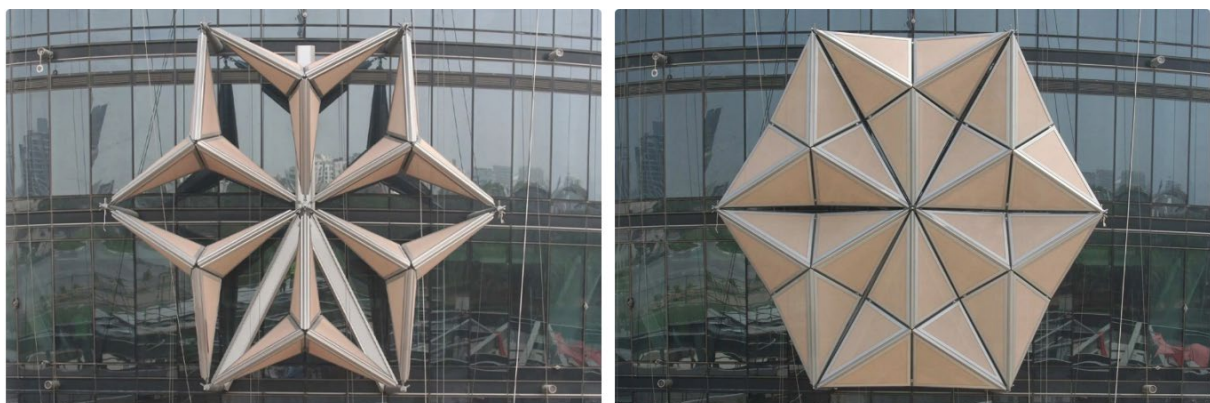
Sustavi roleta mogu se postaviti na vanjskoj ili unutrašnjoj strani staklene fasade. Izrađuju se od metala kako bi bile reflektivne, a upravo zbog toga i dizajna koji često pronalazi inspiraciju u origamiju sustavi s roletama postali su izuzetna atrakcija i predstavljaju novi pristup spajanja učinkovitosti i dizajna. [24]

Rolete dolaze u raznim oblicima kao što je prizma, letvice i dr. Bez obzira na oblik princip rada je jednak. Pokreću se ručno ili automatski kontrolirajući razinu svjetla u prostorijama povećavajući ugodnost korisnika i smanjujući potrebu za umjetnim svjetlom. Sustavi s roletama pružaju dodatnu zvučnu izolaciju od 3 do 5 dB. [24]

Nadalje sustavi s roletama dolaze i u kombinaciji s fotonaponskim ćelijama i time postižu prednosti oba sustava uštede energenata. Na slici 34 prikazana je fasada s roletama, a slika 35 prikazuje detaljni prikaz rada sustava. Konkretno na prikazanoj fasadi rolete se otvaraju i zatvaraju u ovisnosti o potrebi ili željenoj razini propusnosti svjetla. Uza ovakve sustave postoje i napredniji sustavi koji se mogu u potpunosti rotirati i pozicionirati se u svim smjerovima koji su potrebni za ostvarivanje željenih razina propuštanja sunčeva zraka.[24]



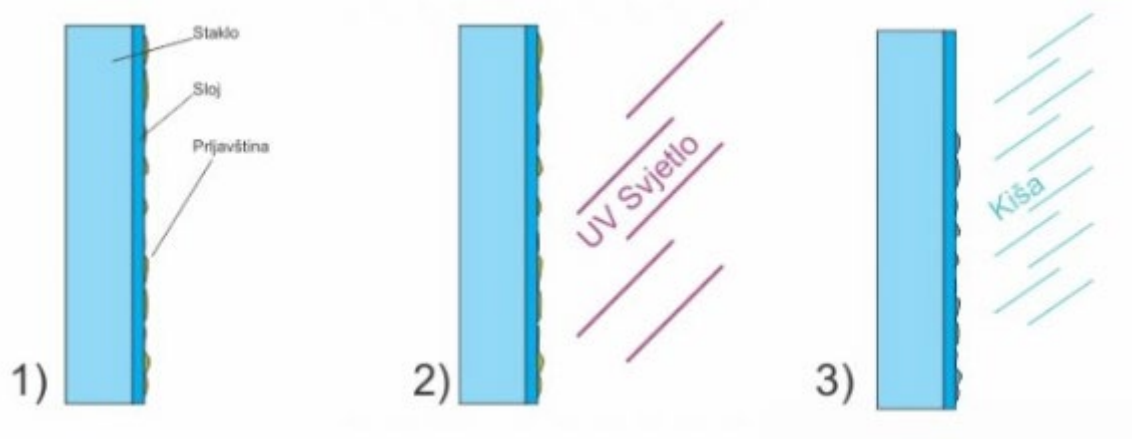
Slika 34.: Al Bahar tornjevi [26]



Slika 35.: Detalj roleta [26]

8.3. Samoperivo staklo

Samoperivo staklo je vrsta stakla koje radi posebnog sloja ostaje čisto neovisno o vremenskim uvjetima koje je izloženo. Radi na dva principa, hidrofilije i fotokatalize. Razlozi odabira takvog tipa stakla leže u održavanju i sprječavanju prianjanja nečistoća na površinu stakla. Posebnim premazima nečistoće se uklanjaju pod djelovanjem svjetla ili kiše. Kod hidrofilnih stakala voda koja dođe u kontakt sa staklom se ravnomjerno raspršuje, dakle nema oblik kapljice i tako čisti površinu. Principom fotokatalize organska se nečistoća razgrađuje kemijskom reakcijom čiji pokretač je sunčeva svjetlost što je pogodnije za područja suhe klime. Kod uporabe ovog tipa stakla treba uzeti brtvilo na bazi polimera jer premazi sa hidrofilnim svojstvima u kombinaciji s ljepljivom na silikonskoj bazi poništava efekt hidrofilije. [8] Slika 36 prikazuje proces čišćenja fotokatalizom. Sunčeve zrake pokreću proces razgrađivanja prljavštine koja se kasnije ispiru kišom.



Slika 36.: Principi čišćenja – fotokataliza [8]

Razlozi odabira ovakvog tipa premaza leže u održavanju i trajnosti fasade, ali i estetski jer je čista površina i prozirna te ako je u kombinaciji s fotonaponskim sustavima ne smanjuje se proizvodnja električne energije koja bi mogla biti smanjena radi tih nečistoća. Prednosti stakla s takvim premazima posebno su vidljiva na troškovima održavanja kod izrazito visokih građevina i u urbanim sredinama gdje je stupanj onečišćenja nešto viši u odnosu na ostala područja. Samoperiva stakla dolaze i u kombinacijama s drugim vrstama stakla kako bi se osigurala bolja toplinska i zvučna izolacija. [6,8]

9. ZAKLJUČAK

Tema ovog rada bile su staklene fasade i njezine glavne karakteristike. Obrađene su na razini cjelokupne fasade i po glavnim dijelovima koji sačinjavaju njezinu geometriju. Obrađivanjem glavnim karakteristikama, odnosno energetske učinkovitosti, voodootpornosti, zrakoootpornosti i vatrootpornosti predstavljeni su razlozi za njezinom uporabom kod visokih građevina. Također u radu su objašnjene mane staklene fasade koje nastaju zbog kombinacija različitih materijala, odnosno stakla i metala, no usprkos tome ostaju omiljena vrsta fasada među arhitektima.

Pogodnosti koje staklena fasada nudi u vidu lake montaže, transporta, mogućnosti recikliranja i povećanju prirodnog svjetla najosnovnije su prednosti, no ono što je dodatno istaknuto radom jest mogućnost poboljšanja fasade. Staklena fasada pruža izvrsnu razinu prilagodbe geometriji građevine i svim izazovima kojima fasada se treba oduprijeti. Dodatna prednost je mogućnost multifunkcionalnosti staklene fasade, odnosno proizvodnja električne energije i sustav ventilacije.

Uza niz prednosti koje staklena fasada pruža i dalje ima mana zbog kojih se staklena fasada usavršava. Usavršava se po dijelovima ili dodatnom opremom kako bi se povećala njezina energetska učinkovitost.

Staklena fasada je najpopularnija fasada radi svih prednosti navedenih u radu i mogućnosti koje pruža u vidu razvoja. Njihova energetska učinkovitost dodatan je faktor zbog kojeg je omiljena fasada. Pažljivim planiranjem, projektiranjem, odabirom materijala, održavanjem staklene fasade su trajne i sigurne, a svojim svojstvima smatraju se održivim i dugotrajnim rješenje za suvremene građevine.

10. POPIS LITERATURE

- [1] GlassTime Handbook, tehnički priručnik. Dostupno na: <https://www.guardianglass.com/eu/en>
- [2] katalog tvrtke KFK
- [3] De Gruyter. "Facade Construction." Dostupno na: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ambra.9783990430873.137/pdf>
- [4] Facade Construction Manual. Dostupno na: https://www.academia.edu/35759010/Facade_Construction_Manual
- [5] Allana, Carter. 2012. "Building Envelope Systems." Dostupno na: <https://iibec.org/wp-content/uploads/2012-bes-allana-carter.pdf>
- [6] Altunkeyik. 2019. "Metal and Glass Curtain Walls."
- [7] Narodne novine. 2017. "Pravilnik o energetsom pregledu zgrade i energetsom certificiranju." Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_06_53_1204.html
- [8] katalog tvrtke Kristal.d.o.o.
- [9] BNP Media Continuing Education. "Curtain Wall Systems." Dostupno na: <https://continuingeducation.bnpmmedia.com/pdf/courses/L352C3531.pdf>
- [10] McCowan, Kivela. 2011. "Performance of Curtain Wall Systems." Dostupno na: <https://iibec.org/wp-content/uploads/2011-03-mccowan-kivela.pdf>
- [11] Boake, T. "Curtain Walls." Dostupno na: <https://www.tboake.com/guides/curtain.pdf>
- [12] Wong, Wan Sie. 2007. "Performance Evaluation of Curtain Wall Systems." Dostupno na: https://sear.unisq.edu.au/3883/1/Wong_Wan_Sie_2007.pdf
- [13] Priručnik za trenere fasadera. 2022. Dostupno na: <https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Prirucnik-za-trenere-FASADER-web.pdf>
- [14] H. Poirazis, Double Skin Façades for Office Buildings, Lund Institute of Technology, Lund University, 2004
- [15] Zakon o gradnji. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/690/Zakon-o-gradnji>
- [16] Ukrainczyk, V. (2001), Poznavanje gradiva, Zagreb, Alcor
- [17] Katalog tvrtke Pilkinton, dostupno na: <https://www.pilkington.com/en/global>
- [18] Katalog tvrtke Zrcalo Osijek, dostupno na: <https://zrcalo.hr/staklo-ponuda/low-energy-staklo/>
- [19] Katalog tvrtke Staklo Gorica

[20] Katalog tvrtke VNUK d.o.o.

[21] katalog tvrtke Jasen America Inc dostupno na: <https://www.jansen.com/en-us/steel-systems/services/profile-configurator.html>

[22] Mercedes Gargallo Sanz de Vicuña, "A Systematic Approach for Unitized Curtain Wall Design Based on Project Requirements and Industry Limitations," 2019.

[23] Ytong. "Toplinski mostovi." Dostupno na: https://www.arhitekti-hka.hr/files/file/pdf/baza-proizvoda/ytong/Toplinski_mostovi.pdf

[24] Curtain Wall Firestopping: The Two Standards," Origin Fire, Dostupno na: <https://www.originfire.co.nz/curtain-wall-firestopping-the-two-standards/>.

[25] Katalog tvrtke Sika d.o.o.

[26] Katalog tvrtke ARUP. Dostupno na: <https://www.arup.com/projects/al-bahr-towers/>