

# Staklo u zgradarstvu

---

**Marić, Ena**

**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:237:588692>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-17**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ena Marić

# **STAKLO U ZGRADARSTVU**

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ena Marić

# STAKLO U ZGRADARSTVU

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ena Marić

# **GLASS IN BUILDINGS**

FINAL EXAM

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ena Marić

# STAKLO U ZGRADARSTVU

ZAVRŠNI ISPIT

Izv. prof. art. dr. sc. Silvio Bašić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

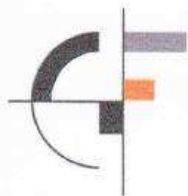
Ena Marić

# **GLASS IN BUILDINGS**

FINAL EXAM

Izv. prof. art. dr. sc. Silvio Bašić

Zagreb, 2024



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Ena Marić (Ime i prezime)	0082066052 (JMBAG)
------------------------------	-----------------------

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Staklo u zgradarstvu (Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)
---

Glass in buildings (Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)
---

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

 (Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)
---

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

 (Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)
--

Datum:

24.06.2024.
-------------

Mentor:

izv.prof.art.dr.sc. Silvio Bašić
----------------------------------

Potpis mentora:

--

Komentor:

------



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Ena Marić, 0082066052

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

Staklo u zgradarstvu

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

25.06.2024.

Potpis:

Ena Marić





OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

Ena Marić, 0082066052

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

Staklo u zgradarstvu

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

Silvija Bašića

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

02.07.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

25.06.2024.

Potpis:

Ena Marić

## SAŽETAK

Ovaj završni rad bavi se istraživanjem stakla, odnosno mogućnostima njegove primjene u zgradarstvu s naglaskom na staklene konstruktivne elemente. Tema završnog rada obrađena je podjelom na nekoliko dijelova. U prvom dijelu rada, staklo je opisano kao materijal. Objašnjen je značaj njegove strukture i njegova mehanička, kemijska, optička, toplinska i električna svojstva koja su bitna za njegovu primjenu u arhitekturi i građevinarstvu. Također je opisan način dobivanja stakla budući da je staklo umjetan materijal. U drugom dijelu rada opisana je povijest upotrebe stakla od njegove pojave pa do danas. Sljedeći dio ovog završnog rada bavi se vrstama stakla koje se koriste u zgradarstvu. Dan je njihov pregled s njihovim glavnim značajkama koje diktiraju način na koji se staklo može koristiti. Poglavlje koje slijedi opisuje primjenu stakla kao konstrukcijskog elementa, tj. kao zida, grede, stupa i sl. Osim toga opisane su i staklene obloge. Na samom kraju rada daju se tri primjera izvedenih zgrada koje u svojoj konstrukciji imaju staklene elemente.

**Ključne riječi:** staklo, konstrukcijski elementi, staklene obloge, vrste stakla, svojstva stakla

## SUMMARY

This final paper deals with the research of glass, specifically its applications in buildings with an emphasis on glass structural elements. The topic of the paper is divided into several parts. In the first part of the final paper, glass is described as a material. The significance of its structure and its mechanical, chemical, optical, thermal, and electrical properties, which are important for its application in architecture and construction, are explained. The process of glass production is also described, since glass is an artificial material. The second part of the paper covers the history of glass usage from its appearance to the present day. The next part focuses on the types of glass used in construction. An overview is provided, highlighting their main characteristics that dictate how glass can be used. The following chapter discusses the application of glass as a structural element, such as walls, beams, columns, and others. Glass facades are also described. Finally, the paper concludes with three examples of completed buildings that incorporate glass elements into their construction.

**Key words:** glass, structural elements, glass facades, types of glass, glass properties

---

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ii</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>iii</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. STAKLO</b> .....	<b>2</b>
2.1. Definicija stakla.....	2
2.2. Svojstva stakla.....	2
2.2.1. Gustoća .....	2
2.2.2. Amorfna struktura i viskoznost.....	2
2.2.3. Kemijska postojanost.....	4
2.2.4. Mehanička svojstva .....	4
2.2.5. Toplinska svojstva.....	5
2.2.6. Električna svojstva.....	6
2.2.7. Optička svojstva.....	6
2.3. Proizvodnja stakla.....	7
2.3.1. Sastav stakla .....	7
2.3.2. Proces proizvodnje.....	8
<b>3. STAKLO KROZ POVIJEST</b> .....	<b>9</b>
<b>4. VRSTE STAKLA U ZGRADARSTVU</b> .....	<b>10</b>
4.1. Obično ravno staklo .....	10
4.2. Zakrivljeno staklo .....	11
4.3. Kaljeno staklo .....	11
4.4. Toplinski ojačano staklo.....	12
4.5. Laminirano staklo.....	12
4.6. Izolacijsko staklo.....	13
4.7. Stakla za zaštitu od požara.....	14
4.8. Žičano spregnuto staklo .....	14
4.9. Staklene opeke.....	15

---

<b>5.</b>	<b>STAKLO KAO KONSTRUKCIJSKI ELEMENT U ZGRADARSTVU.....</b>	<b>16</b>
5.1.	Stakleni podovi, stubišta i mostovi.....	16
5.2.	Stakleni zidovi.....	18
5.3.	Stakleni stupovi.....	19
5.4.	Staklene grede.....	20
5.5.	Staklene ograde.....	20
5.6.	Staklene nadstrešnice.....	21
5.7.	Stakleni krovovi.....	22
<b>6.</b>	<b>STAKLENE OBLOGE .....</b>	<b>24</b>
6.1.	Kontinuirana staklena obloga .....	24
6.2.	Strukturalna staklena obloga.....	25
6.3.	Polustrukturalna staklena obloga.....	27
6.4.	Kombinirana staklena obloga.....	27
6.5.	Ventilirane staklena obloga .....	28
6.5.1.	Spider obloga.....	29
6.5.2.	Dvostruka ostakljene obloga.....	29
6.5.2.1.	Neprekinute dvostruke ostakljene obloge.....	29
6.5.2.2.	Prekinute dvostruke ostakljene obloge.....	30
6.6.	Element obloga.....	31
<b>7.</b>	<b>PRIMJERI PRIMJENE STAKLA NA IZVEDENIM ZGRADAMA.....</b>	<b>32</b>
7.1.	7 <sup>th</sup> St. Thomas.....	32
7.2.	La Samaritaine .....	34
7.3.	Seona Reid Builidng.....	36
<b>8.</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>39</b>
	<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>40</b>
	<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>47</b>

## 1. UVOD

Staklo je anorganski, amorfni materijal čija neuređena struktura uzrokuje njegovo najznačajnije svojstvo, prozirnost. Upravo to svojstvo omogućava široku uporabu stakla u svakodnevnom životu, od umjetnosti, arhitekture i građevinarstva do industrije.

Staklo je poznato čovjeku od davnina. U početku je korišten za izradu ukrasa, manjih posuda i sličnog. Kako se razvijala proizvodnja stakla, predmeti su postajali kompleksniji i sve učestaliji u građevinskim pothvatima. Prva uporaba u zgradarstvu bila je u obliku prozora, u zadnjih nekoliko desetaka godina to se bitno mijenja. Uloga stakla u arhitekturi i građevinarstvu postaje sve značajnija i sve šira pa se staklo sve češće počinje koristiti kao konstrukcijski element. Ova pojava je uzrokovana napretkom u izradi sve kvalitetnijeg i izdržljivijeg stakla koje ima dobre mehaničke, kemijske, optičke, toplinske i električne karakteristike što je iznimno bitno za konstrukciju u kojoj se nalazi staklo. Uz to, jedinstveni izgled stakla nudi različite mogućnosti u oblikovanju konstrukcije bez da se narušava njezina otvorenost i kontinuitet kao što je slučaj neprozirnim konstrukcijskim elementima.

Svojstva stakla uvelike ovise o njegovom sastavu i načinu proizvodnje. Danas je dobro poznato koji kemijski elementi poboljšavaju kvalitetu stakla, a koji je smanjuju. Ovisno o sastavu i proizvodnji dobivaju se različite vrste stakla koje su pogodne za izradu različitih staklenih elemenata.

Obzirom na to sve, danas se sve češće viđaju konstrukcije koje imaju staklene obloge, zidove, stupove, grede, krovove... Ti svi stakleni elementi daju novu i zanimljivu formu građevinama.

Ovaj završni rad daje pregled svega navedenog. Najprije se objašnjava pojam stakla u formi građevinskog materijala. Pojašnjavaju se njegova svojstva, ali i povijesni razvoj. Objašnjene su vrste stakla koje su značajne za zgradarstvo i elementi koji se od njih mogu načiniti. To je sve potkrijepljeno primjerima iz prakse.

## 2. STAKLO

U ovom poglavlju će biti pojašnjena definicija stakla i njegova svojstva kao građevinskog materijala.

### 2.1. Definicija stakla

Staklo je definirano kao anorganski materijal, odnosno smjesa uglavnom metalnih oksida i najzastupljenijeg silicijevog dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). [1] Valja spomenuti da ga nema u prirodi, već je ljudska tvorevina, tj. umjetan materijal. [2]

### 2.2. Svojstva stakla

Kada je riječ o svojstvima i osobinama stakla, jedno od najznačajnijih je njegova prozirnost. To svojstvo uzrokuje amorfnu strukturu stakla i njegova viskoznost. Još jedna vrlo bitna osobina stakla jest njegova odlična postojanost u različitim kemijskim uvjetima. Budući da je staklo tako široko rasprostranjeno u svakodnevnoj uporabi, prvenstveno zbog svoje prozirnosti, bitna su i njegova optička svojstva. Osim toga bitna su i mehanička svojstva obzirom da je staklo danas nezaobilazan građevinski materijal. [3] Obzirom da je staklo zbog svoje strukture izotropan i homogen materijal, njegova svojstva su jednaka u svim smjerovima. [4] Svojstva će biti detaljnije objašnjena u sljedećim poglavljima.

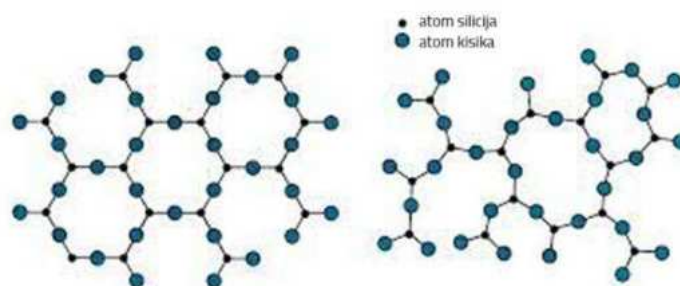
#### 2.2.1. Gustoća

Gustoća stakla u prosjeku iznosi  $2,5 \text{ g/cm}^3$ , ali ta vrijednost može varirati zbog toga što gustoća ovisi o sastavu stakla. Tako da različita stakla mogu imati i veća odstupanja od navedenog iznosa. Gustoća je svojstvo koje ovisi i o toplinskoj obradi stakla pa tako stakla koja su ohlađena brzo imaju manju gustoću od onih koja su se duže hladila. [2]

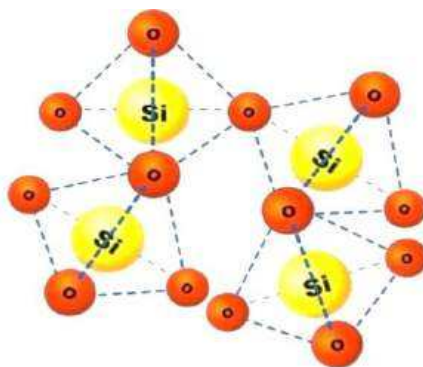
#### 2.2.2. Amorfnu strukturu i viskoznost

Najznačajnije svojstvo stakla je njegova prozirnost, a ona je ostvarena zbog amorfne strukture stakla. [1] Amorfnu materijali su oni koji nemaju uređenu, kristalnu strukturu, nego baš suprotno od toga (slika 1). [5] Uređena struktura atoma amorfni materijala vidljiva je samo kod bliskog poretka, a u daljem, tj. kod atoma na većoj međusobnoj udaljenosti nema

nikakve uređenosti.[2] Tako je kod stakla osnovna gradivna jedinica poliedar, najčešće atom silicija okružen četirima atoma kisika u obliku tetraedra (slika 2). Obzirom na amorfnu strukturu, poliedri su povezani u trodimenzionalnu mrežu, ali na nepravilan način. Oni tvore nekristaliziranu, neuređenu strukturu. Takva struktura se javlja zbog toga što se staklo dobiva hlađenjem i stvrđnjavanjem taline prilikom čega ne dolazi do kristalizacije, tj. ne nastaje pravilna struktura. [3] Uslijed prelaska stakla iz tekuće taline u čvrsto stanje ono dobiva svoj čvrsti oblik, ali uz to zadržava pojedine osobine tekućine. Viskoznost je jedna od njih i upravo je velika viskoznost jedno od najbitnijih svojstava stakla. Viskoznost karakterizira trenje unutar tekuće ili plinovite tvari zbog nejednakih gibanja njihovih slojeva. [6] Prilikom hlađenja, odnosno uz opadanje temperature taline stakla ona stalno raste (slika 3) i smanjuje pokretljivost atoma i onemogućuje da se atomi povežu u pravilnom rasporedu. Što će reći da je viskoznost zaslužna za nekristaliziranu strukturu stakla koja mu dalje prozirnost. [7] Viskoznost stakla u tekućem stanju iznosi do 10 Pas (paskalsekundi). Pri iznosu viskoznosti od  $10^{6.6}$  Pas staklo je pogodno za oblikovanje u njegov konačni oblik. Najveća viskoznost je postignuta kada se staklo stvrdne i je u rasponu od  $10^{12}$  Pas do  $10^{13.5}$  Pas. [2]

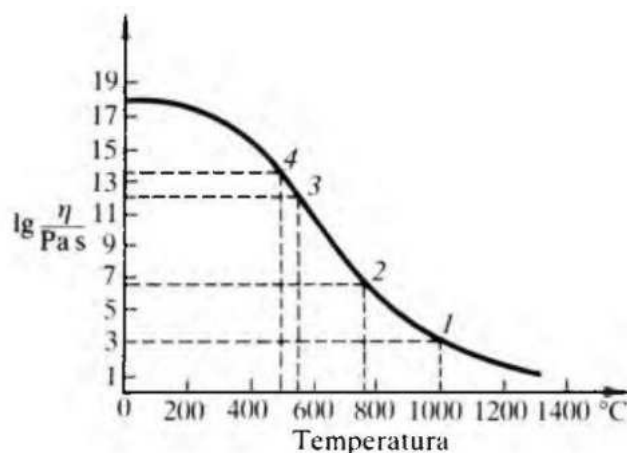


**Slika 1:** Kristalna i amorfna struktura (staklo) (Izvor: [8])



**Slika 2:** Tetraedri od atoma silicija i kisika u trodimenzionalnoj strukturi (Izvor [9])





Slika 3: Ovisnost viskoznosti o temperaturi (Izvor [2])

### 2.2.3. Kemijska postojanost

Staklo je kemijski vrlo postojano, tj. dobro se ponaša pri različitim kemijskim utjecajima što će reći da je staklo kemijski prilično inertno. Generalno gledajući ima dobru otpornost u pogledu djelovanja vode, kiselina, lužina, otopljenih soli i atmosferilija. Ipak, valja napomenuti kako kemijska izdržljivost ovisi o kemijskom sastavu stakla i da nisu sva stakla jednako otporna. Tako je primjerice, staklo čistog alkalijsko silikatnog sastava vrlo slabo otporno i topivo u vodi. Otpornost stakla može se poboljšati promjenom njegova sastava u vidu smanjenja udjela alkalijskim metala i povećanja udjela spojeva poput kalcijevog oksida, magnezijevog oksida, aluminijevog oksida i borovog trioksida. Osim toga, silikatna stakla ne pokazuju iznimnu otpornost prema jakim lužinama te fluorovodičnoj i fosfatnoj kiselini. Stakla poput borosilikatnih, kvarcnih i alumosilikatnih imaju vrlo dobru postojanost pri djelovanju kiselina, a stakla koja u svom sastavu imaju cirkonijev dioksid iznimno su otporna na lužine. Također, otpornost stakla smanjuje se povećanjem temperature. Kada je staklo neotporno i duže vrijeme je izloženo štetnim djelovanjima, nastupaju oštećenja u obliku замуćenje površine stakla i u obliku pojave sitnih pukotina.[2]

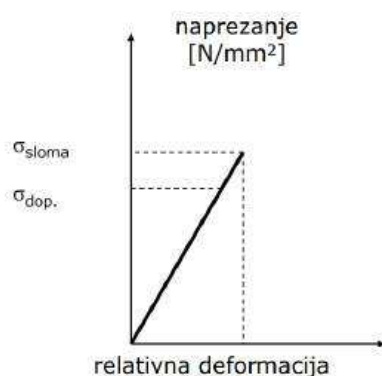
### 2.2.4. Mehanička svojstva

Kada je riječ o mehaničkim svojstvima stakla, bitno je spomenuti da staklo ima prilično visoku čvrstoću i tvrdoću. [10] Ta svojstva ovise o obliku i načinu oblikovanja, tj. izrade stakla. [2] Čvrstoća opisuje mogućnost materijala da se odupre unutarnjim naprezanjima uzrokovanih djelovanjem opterećenja, a tvrdoća sposobnost da se materijal odupre prodiranju drugog u njegovu površinu. Budući da staklo nastaje hlađenjem taline i da se u tom procesu najprije stvrdnjavaju vanjski slojevi pa tek onda unutarnji, u unutarnjim

slojevima nastaju naprezanja obzirom da oni teže skupljanju kojem se odupiru vanjski očvrtnuli slojevi. To rezultira velikom čvrstoćom i tvrdoćom stakla. [10] Tako je vrijednost tlačne čvrstoće u granicama između 500 i 1000 N/mm<sup>2</sup>, međutim vlačna čvrstoća stakla i čvrstoća na savijanje su ipak nešto manje te se staklo ponaša nepovoljno u vlaku. Vlačna čvrstoća iznosi od 30 do 80 N/mm<sup>2</sup>, a čvrstoća na savijanje od 20 do 50 N/mm<sup>2</sup> za obično staklo i od 100 do 200 N/mm<sup>2</sup> za kaljeno staklo. Tvrdoća stakla prema Mohsovoj skali tvrdoće nalazi se u rasponu od 5 do 6. [3] Mohsova skala prikazuje relativne tvrdoće materijala pridružujući im vrijednosti u rasponu od 1 do 10 uspoređujući ih s pojedinim materijalima kao što su dijamant koji ima najveću tvrdoću vrijednosti 10 ili na primjer talkom koji ima najmanju vrijednost 1. [11]

Također je napomenuti da je staklo krhki materijal što znači da ima malu sposobnost deformiranja. [2] S povećanjem napreznja, deformacije rastu sporo, a zatim dolazi do naglog loma uzorka bez prethodnih značajnih deformacija što je suprotno od duktilnih materijala koji prije loma trpe velike plastične deformacije. Kod stakla se prije loma javljaju samo elastične deformacije kao što se vidi iz radnog dijagrama (slika 4). [12]

Modul elastičnosti stakla kreće se u vrijednostima između 48 000 i 83 000 N/mm<sup>2</sup>. [3] Iznos modula elastičnosti ovisi o vezi atoma u strukturi. Što je ona čvršća, vrijednost modula je veća. [11]



**Slika 4:** Radni dijagram stakla (Izvor: [3])

### 2.2.5. Toplinska svojstva

Specifični toplinski kapacitet iznosi oko 0,8 Jg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> pri sobnoj temperaturi. Vrijednost se mijenja s povećanjem temperature. Osim o temperaturi, specifični toplinski koeficijent ovisi

i o sastavu stakla. O tome ovisi i koeficijent toplinske provodljivosti koji iznosi oko  $0,84 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . [2]

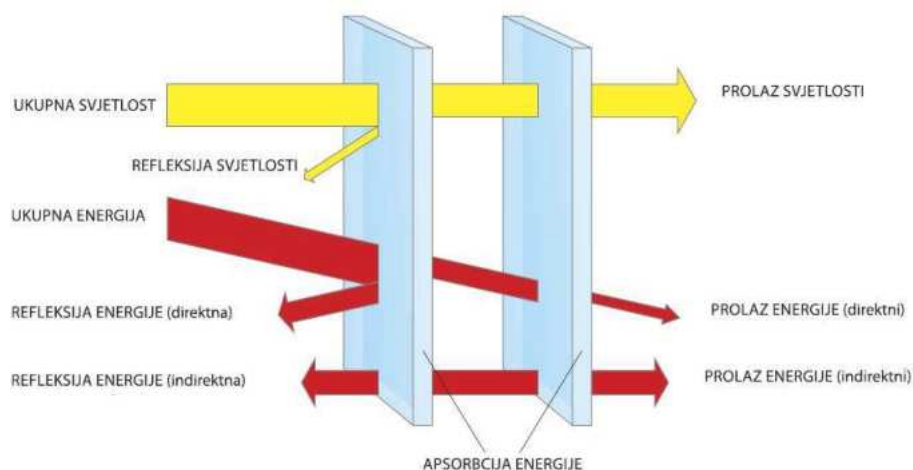
Uz specifični toplinski koeficijent i koeficijent toplinske provodljivosti, bitan je i toplinski koeficijent koji opisuje toplinsko rastezanje stakla. Ono svakako ima značajnu ulogu u procesu proizvodnje i oblikovanja stakla obzirom na to da se tada zagrijava i hladi na različite temperature. [2]

### 2.2.6. Električna svojstva

Staklo je opisano kao dielektrik, tj. dobar izolator. Budući da ne sadrži slobodne ione i elektrone ili je njih zanemarivo malo onda ne može provoditi električnu struju. Električna otpornost se kreće u vrijednostima od  $10^{10}$  do  $10^{11} \Omega\text{cm}$  [3]

### 2.2.7. Optička svojstva

Jedno od najvećih posebnosti stakla jest to što je ono prozirno. Staklo ima sposobnost propuštanja zraka vidljive svjetlosti i to oko 90 posto. Osim toga propušta i osamdesetak posto sunčeva zračenja. U tom postotku je vrlo malen udio ultraljubičastog zračenja. [3] Dio svjetlosti ne prolazi kroz staklo, već se apsorbira i reflektira, ali je to znatno manji udio od udjela svjetlosti koja prolazi (slika 5). [2]



**Slika 5:** Ponašanje sunčevih zraka u kontaktu sa staklom (Izvor [13])

## 2.3. Proizvodnja stakla

U ovom poglavlju biti će objašnjen proces proizvodnje stakla, od izbora sirovina za dobivanje stakla do samog proizvodnog postupka.

### 2.3.1. Sastav stakla

Kao što je već ranije spomenuto, staklo je umjetan proizvod koji nastaje kao smjesa najčešće silicijeva dioksida i oksida drugih kemijskih elemenata.

Kakav će točno biti sastav pojedinog stakla određuje se u prvom koraku proizvodnje. Tada se biraju sirovine s obzirom na njihova svojstva kako bi dobiveno staklo zadovoljavalo sve zahtjeve i željene karakteristike, ali se pritom pazi i na ekološke i ekonomske uvjete. [2]

Naime, postoje osnovne i pomoćne sirovine. Osnovne su one koje izravno utječu na strukturu stakla i u njih ubrajamo mrežotvorce, modifikatore i intermedijarne katione. Mrežotvorni su oni elementi od kojih je načinjena glavna strukturna jedinica stakla, a modifikatori se uglavnom koriste kako bi poboljšali svojstva stakla u procesu prerade. Intermedijarni kationi također utječu na svojstva stakla u pogledu lakše obrade, ali mogu modificirati i svojstva bitna kod uporabe stakla. Pomoćne tvari služe za dodavanje ili odstranjivanje boje iz stakla, za postizanje zamućenog ili bistrog izgleda i slično. [2]

Iako postoji cijeli niz različitih sirovina koje se mogu koristiti za dobivanje stakla, najčešće se koristi manji broj pri svakodnevnoj proizvodnji stakla. [2]

Daleko najzastupljeniji je silicijev dioksid. On se nalazi u sastavu većine stakala kao osnovna jedinica u trodimenzionalnoj mreži. Najčešće se dobiva iz kvarcnog pijeska, a može se dobiti iz kvarcita i kvarcnog brašna. Silicijev dioksid povećava gustoću stakla, viskoznost te mehaničku i kemijsku otpornost, a također i temperature u procesu taljenja i prerade, dok smanjuje gustoću i toplinsko rastezanje. [2]

Borna kiselina i natrijev borat često služe kao sastojak stakla budući da sadrže borov(III) oksid koji može poslužiti kao zamjena za silicijev dioksid u tvorbi osnovne strukture stakla. On ujedno poboljšava svojstva stakla za vrijeme njegove prerade, ali i uporabe. [2]

Alkalijski oksidi natrijev(III) oksid i kalijev (III) oksid su gotovo nezaobilazni sastojci stakala budući da su vrlo korisni modifikatori. Natrijev(III) oksid vrlo uspješno smanjuje viskoznost stakla i točku taljenja, a također olakšava i postupak prerade. Kalijev(III) oksid je s druge strane zaslužan za izrazito sjajnu i glatku površinu stakla, a pospješuje i otpornost stakla na djelovanja temperaturnih promjena. Kalijev(III) oksid se u sastav stakla dodaje u obliku kalijevog karbonata, a natrijev(III) oksid u obliku natrijevog karbonata. [2]

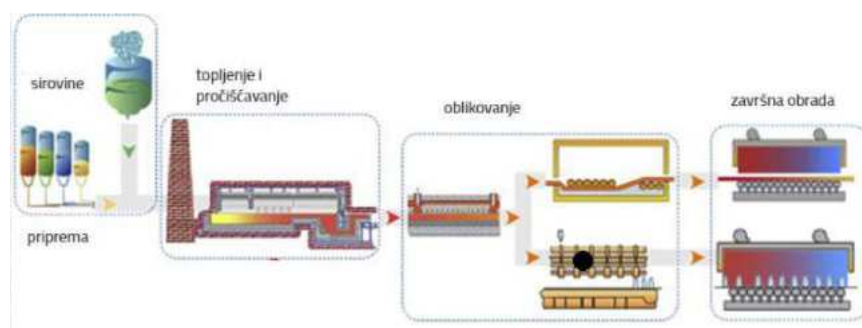
U proizvodnji stakla korisni su i zemnoalkalijski oksidi poput kalcijevog oksida, magnezijevog oksida. Oni povećavaju otpornost u pogledu kemijskih utjecaja. Uz to, kalcijev oksid poboljšava čvrstoću pri rastezanju i savijanju te modul elastičnosti, a magnezijev oksid omogućuje skraćanje vremena proizvodnje stakla obzirom da smanjuje vrijeme bistrenja. Još jedan benefit magnezijevog oksida je to što smanjuje težnju stakla da se kristalizira. [2]

Slično tome, aluminijev(III) oksid također povećava otpor prema stvaranju kristalne strukture i povećava čvrstoće stakla. [2]

### 2.3.2. Proces proizvodnje

Proces proizvodnje stakla ima nekoliko dijelova. Prvi dio, odnosno faza je odabir sirovina i priprava smjese stakla. Taj korak podrazumijeva pripremu sastojaka za izradu taline tako što će se odvagati onoliko sastojaka koliko je određeno prema kemijskim proračunima, oni će se usitniti i izmiješati. Nakon toga je na redu taljenje. Smjesa za talinu se ubacuje u staklarsku peć, najčešće kadnu peć. Tada se smjesa tali na temperaturama višim od  $1000^{\circ}\text{C}$ . kako bi se dobila homogena talina, pristupa se procesu bistrenja i homogeniziranja. Bistrenje je proces u kojem se odstranjuju mjehurići zraka zarobljeni u talini. To se postiže smanjenjem viskoznosti pri temperaturama višim od oko  $1500^{\circ}\text{C}$ . sljedeći proces je homogenizacija. U tom dijelu proizvodnje se staklo hladi u odnosu na temperaturu bistrenja što omogućava raspad sitnih mjehurića i ujednačavanje gustoće stakla pomoću difuzijskog procesa. [2] Kada se staklo ohladi do temperature za obradu, ono se oblikuje. Ovisno o vrsti stakla, može se oblikovati puhanjem, pomoću valjaka, lijevanjem ili izvlačenjem. Na samom kraju se vrši završna obrada stakla. Tako se staklo može brusiti, polirati, matirati, nagrizati, ovisno o željenom efektu površine stakla. [7]

Proces proizvodnje prikazan je na slici 6.



**Slika 6:** Proces proizvodnje stakla (Izvor: [14])

### 3. STAKLO KROZ POVIJEST

U ovom poglavlju dat će se kratki pregled razvoja stakla i tehnologije proizvodnje.

Iako se ne može točno odrediti kada i gdje se staklo prvi put pojavilo u upotrebi, prema određenim pronađenim primjercima može se pretpostaviti da se pojavilo na području između rijeka Eufrata i Tigrisa i to 4000 godina prije Krista. Najstariji pronađeni predmeti su perle čija je površina prekrivena staklenim nitima (slika 7). [2]

Pedesetak godina prije Krista otkriva se puhačka tehnika oblikovanja stakla na području Sirije. To je olakšalo i ubrzalo proces proizvodnje. [15]

S početkom nove ere, Rim postaje središte razvoja proizvodnje stakla. Međutim, nakon pada Rimskog Carstva Bizant postaje vodeći. Posebno se isticao izradom mozaika.[2]

Početak srednjeg vijeka javljaju se prvi stakleni prozori na crkvama u Engleskoj i Francuskoj, a oko 1300. godine i na kućama imućnika. [2]

Oko 1500. godine središte proizvodnje stakla seli se na otok Murano u Italiji, a već se u 16. stoljeću proizvodi sasvim bezbojno staklo po prvi put. U 18. stoljeću se sve više širi upotreba stakla i u 19. dolazi do velikih postignuća na polju proizvodnje stakla u vidu upotreba kadnih peći koje su kontinuirane i Siemensova sustava za loženje peći. Na prijelazu u 20. stoljeće proizvodnja još više napreduje zbog novih strojeva za puhanje i izvlačenje stakla. Staklo se počinje masovno proizvoditi i staklo postaje nezaobilazan građevinski materijal. [2]

Danas je staklo iznimno rasprostranjen i nezaobilazan materijal u znanosti, umjetnosti i svakako u građevinarstvu i arhitekturi. [2]



**Slika 7:** Staklene perle (Izvor: [16])

## 4. VRSTE STAKLA U ZGRADARSTVU

Razlikuje se više vrsta stakla i svaku od njih opisuju drugačija svojstva. Ovisno o njihovim karakteristikama koriste se za različite građevinske proizvode. Ovo poglavlje će dati pregled vrsta stakala koje se koriste prilikom izgradnje zgrada s naglaskom na ona stakla koja se koriste za dobivanje konstrukcijskih elemenata i staklenih obloga.

### 4.1. Obično ravno staklo

Obično staklo (slika 8) se definira kao ono čija svojstva nisu poboljšana pomoću dodatne termičke obrade. [17]

Jedna od karakteristika ovog stakla je to što se kod njega ne javljaju nikakve plastične deformacije prije pojave loma kao kod duktilnih materijala. Zato je obično staklo idealan predstavnik krhkog materijala. Ono djeluje elastično sve do nagle pojave loma. [17]

Kada je riječ o lomu, bitno je napomenuti da ovo staklo puca u obliku velikih komada koji su iznimno oštri pa je to njegova negativna i opasna karakteristika. Lom ovisi o površinskim nesavršenostima poput pukotina, o naprezanjima koja se javljaju uslijed opterećenja, ali i o dimenzijama površine koja se napreže. [17]

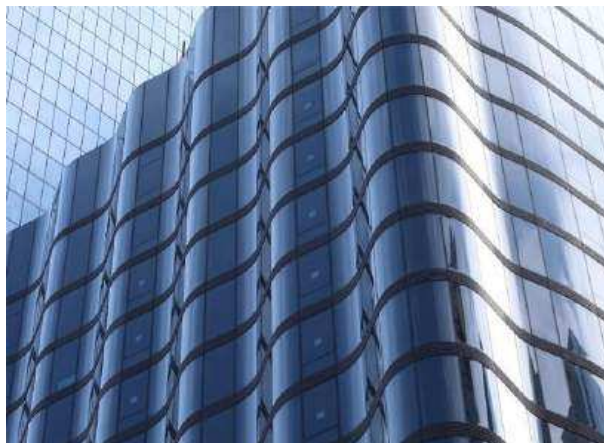
Obično staklo ima primjenu u građevinarstvu i arhitekturi u obliku prozora, a uz to se koristi za ostakljivanje zgrada. [2]



**Slika 8:** Obično ravno staklo (Izvor: [18])

## 4.2. Zakrivljeno staklo

Zakrivljeno staklo (slika 9) može se dobiti zagrijavanjem stakla na temperaturu od  $600^{\circ}\text{C}$  te njegovim oblikovanjem prema kalupu, odnosno savijanjem u više smjerova. Ovo staklo je uobičajeno debljine od 4 mm pa do 19 mm i prema potrebi može biti kaljeno i laminirano. [1]



Slika 9: Zakrivljeno staklo (Izvor: [19])

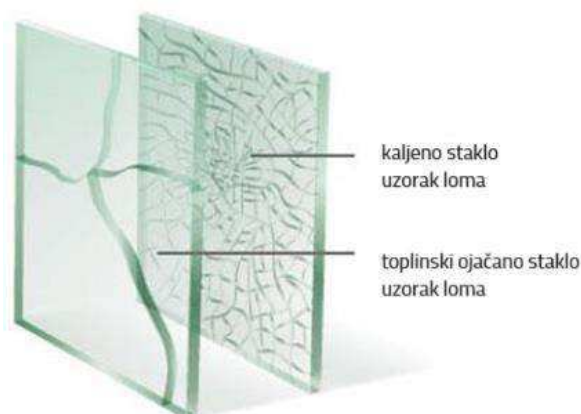
## 4.3. Kaljeno staklo

Kaljeno staklo nastaje termičkom obradom običnog stakla. [2] Staklo se zagrijava na  $620^{\circ}\text{C}$ , nakon čega se vrlo brzo hladi zrakom. Uslijed tog procesa javljaju se tlačna naprezanja u vanjskim slojevima stakla i vlačna u unutrašnjim zbog toga što se najprije hlade, a samim time i stvrdnjavaju, vanjski dijelovi stakla, dok se unutarnji hlade znatno sporije. Oni imaju tendenciju stisnuti se. [17] To uzrokuje velika naprezanja što kod stakla pospješuje mehaničke osobine u pogledu tvrdoće i čvrstoće i njegovu toplinsku otpornost. [2]

Mana ovakvog stakla je to što se ne može obrađivati u smislu rezanja, bušenja i sl. jer se pri tome lomi. Sve takve obrade moraju biti izvršene prije postupka kaljenja. [1]

Kaljeno staklo se lomi u male komadiće (slika 10) pa se tako smanjuje rizik od ozljede ljudi. Zbog tog svojstva mu je pridružen naziv sigurnosno staklo. [20]





**Slika 10:** Lom kaljenog i toplinski ojačanog stakla (Izvor: [21])

#### 4.4. Toplinski ojačano staklo

Toplinski ojačano staklo slično se proizvodi kao kaljeno staklo. Razlika je u tome što se kaljeno staklo naglo hladi, a toplinski ojačano sporije. Rezultat toga je manja čvrstoća stakla u odnosu na kaljeno. Staklo se lomi na veće komade nego kaljeno staklo pa slični lomu običnog stakla (slika 10). Ovakvo staklo se koristi za visoke zgrade kada je potrebna dobra otpornost stakla na pritiskajuće djelovanje vjetra. [1]

#### 4.5. Laminirano staklo

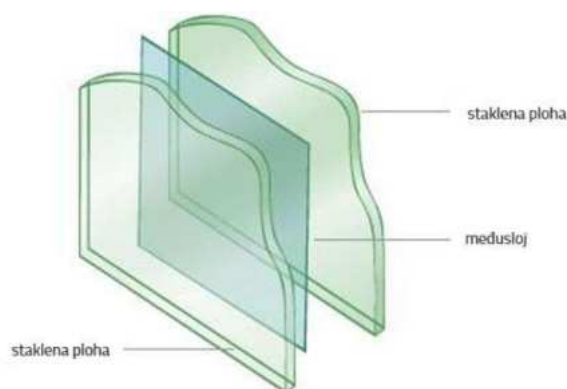
Laminirano staklo (slika 11) nastaje povezivanjem dviju ili većeg broja staklenih ploča plastičnim slojem (slika 12). U ulozu plastičnog sloja može biti smola ili polivinilbutiral (PVB) folija u debljini od 0,4 mm do 6 mm, dok stakleni dio može biti od kaljenog, toplinski ojačanog ili običnog stakla. [17]

Izdržljivost ovog stakla u prvom redu ovisi o vezi staklenog i plastičnog dijela, odnosno o njegovoj posmičnoj otpornosti. Opterećenje, tj. trajanje njegova djelovanja, geometrija plastičnog sloja i temperatura određuju kako će se ponašati veza stakla i međusloja. [17]

Laminirano staklo se uz kaljeno svrstava u sigurnosna stakla s obzirom na to da će plastični slojevi zadržati puknuto staklo ukoliko dođe do loma. Tako će se smanjiti rizik od ozljede staklenim dijelovima. Također, veća debljina ovog stakla omogućava veću otpornost pri prodoru. [17]



**Slika 11:** Laminirano staklo (Izvor: [22])



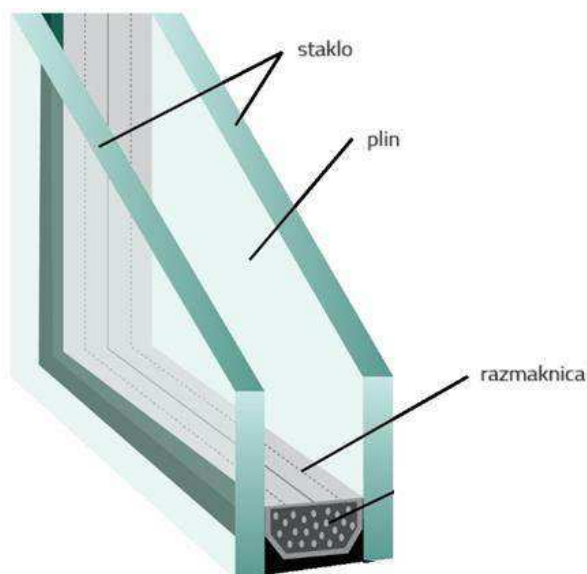
**Slika 12:** Dijelovi laminiranog stakla (Izvor: [23])

#### 4.6. Izolacijsko staklo

Izolacijsko staklo (slika 13) načinjeno je od dvije staklene plohe koje su međusobno povezane na svojim rubovima. Povezuju se aluminijskim ili plastičnim profilima. Prostor između staklenih ploča ispunjava se zrakom ili nekim drugim kemijski inertnim plinom. Koji će plin ispunjavati prostor, ovisi o toplinskim svojstvima koja se žele postići. Staklo i profil se povezuju brtvljenjem.

Još je bitno spomenuti da povećanje i smanjenje temperature utječu na plin koji se nalazi između staklenih ploha. Ovisno o temperaturi, on se može širiti i skupljati pa se tako mogu stvoriti znatni progibi stakla što je nepoželjna pojava. [17]

Ovo staklo koristi se za zvučnu i toplinsku izolaciju. [3]



Slika 13: Izolacijsko staklo (Izvor: [24])

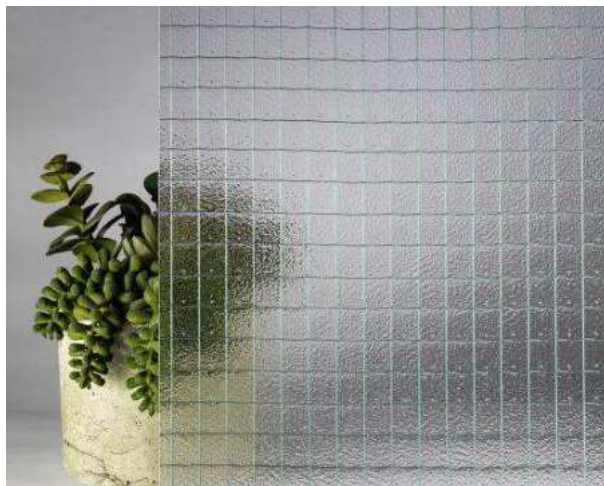
#### 4.7. Stakla za zaštitu od požara

Ova vrsta stakla slična je već spomenutom izolacijskom staklu. Njihove forme su iste, osim u tome što je ispunjena između dvije ploče stakla više nije plin već vodeni gel. On preuzima energiju vatre i zadržava toplinu. [3]

#### 4.8. Žičano spregnuto staklo

Takva vrsta stakla (slika 14) dobiva se postupkom valjanja čelične mreže, učvršćene zavarivanjem, između dvije staklene plohe. Može se koristiti pri izradi laminiranog stakla, dobro podnosi oblikovanje rezanjem, ali ne može biti kaljeno. [1]

Pri lomu žičanog stakla komadi stakla ne otpadaju, već ostaju pričvršćeni uz mrežu. [1]



Slika 14: Žičano spregnuto staklo (Izvor: [25])

#### 4.9. Staklene opeke

Staklena opeka (slika 15), odnosno stakleni blokovi dobivaju se lijevanjem stakla na temperaturi od  $1050^{\circ}\text{C}$ . Postoje blokovi pravokutnih i okruglih stranica, ali najčešći su oni kvadratnih stranica dužine od 115, 190, 240 i 300 mm i debljine od 80 do 100 mm.. [1]

Staklena opeka obično se koristi pri izgradnji ravnih ili zakrivljenih pregradnih zidova. Ova vrsta opeke propušta od 77 do 85 posto svjetlosti. Osim toga ima dobra izolacijska svojstva kada je riječ o toplini i zvuku. Smanjuje zvuk za četrdesetak decibela. [1]



Slika 15: Staklena opeka u bojama (Izvor: [26])

## 5. STAKLO KAO KONSTRUKCIJSKI ELEMENT U ZGRADARSTVU

U zadnjih nekoliko desetaka godina staklo se počinje sve više koristiti kao konstrukcijski element. To su omogućila njegova mehanička svojstva, ali ponajviše ona svojstva koja su karakteristična samo za staklo. Najznačajnije među njima je prozirnost koja daje poseban izgled i prozračnost konstrukcijama. [27]

Iako staklo ima neka odlična mehanička svojstva, bitno je imati na umu da je staklo krhki materijal i da to može stvarati problema pri projektiranju staklenih konstrukcija. Ta mana se može neutralizirati korištenjem različitih stakala koja su modificirana i otpornija, na primjer laminirano staklo, od kojeg je načinjena većina staklenih konstruktivnih elemenata. Prilikom korištenja stakla u ovakve svrhe bitno je paziti na njegovu čvrstoću, stabilnost i prozirnost. [27]

U ovom poglavlju će biti riječ o mogućnostima stakla kao konstrukcijskog materijala u području zgradarstva.

### 5.1. Stakleni podovi, stubišta i mostovi

Stakleni podovi (slika 17), stubišta i mostovi izrađuju se od laminiranog stakla. Koriste se plastični međuslojevi u debljinama od 10 do 25 mm. [1]

Debljina i konstrukcija poda ovisi o opterećenju na elemente. Za to se koristi opterećenje od pješaka. [27] Budući da se laminirano staklo proizvodi u više slojeva, za ove elemente bi se u pravilu morala koristiti stakla sa barem tri sloja. [28]

Budući da je staklo osjetljivo na vlak, bitno je paziti da oštećenja površine budu što manja jer ona povećavaju vlačna naprezanja koja uzrokuju lom. [27]

Osim toga treba paziti na sigurnost ljudi. Obzirom na to da je staklo sklisko, posebice kada je mokro, treba poduzeti mjere vezane za završnu obradu njegove površine. Staklo je potrebno pjeskariti ili prekriti smolom koja će umanjiti skliskost. [1]



**Slika 16:** Primjer staklenog poda (Izvor: [29])



**Slika 17:** Primjer stakleninog stubišta (Izvor: [30])



**Slika 18:** Primjer staklenog pješačkog mosta (Izvor: [31])

## 5.2. Stakleni zidovi

Stakleni zidovi (slika 19) zgrade su poželjni jer korisnicima omogućuju nesmetanu pogled prema okolini zbog svoje transparentnosti, ali ujedno kao svi zidovi pregrađuju prostor. Tako je ovo idealan spoj dobre estetike i funkcije. [27]

Stakleni zidovi kao nosivi dijelovi konstrukcije djeluju usporedivo kao stupovi velike širine. Njihova otpornost prema opterećenjima ovisi o debljini stakla od kojeg su izrađeni, a kako je to najčešće laminirano staklo, ovisi o broju njegovih slojeva. Za staklo koje se primjenjuje kao element koji tvori konstrukciju opasne su pojave koncentracija naprezanja. Kako bi se doskočilo tom problemu, zidovi se po potrebi ojačavaju. Stakleni zidovi moraju moći podnijeti velike progibe bez da dođe do puknuća. Dopušteni progibi se ograničavaju u vrijednostima od  $l/50$  do  $l/200$ . [27]

U praksi se javljaju i pregradni stakleni zidovi koji se često izvode od staklene opeke. Ovakvi zidovi su najčešće kombinacija staklene opeke i nekog drugog materijala, na primjer armiranog betona ili obične opeke. Kada svjetlost prolazi kroz ovu vrstu stakla, ono se raspršuje. To je pogodno za prostore u kojima nije poželjno osvjjetljenje uzrokovano izravnim prolaskom i upadom zraka svjetlosti. [32]

Blokovi od staklenog materijala mogu biti u različitim bojama i vežu se korištenjem morta ili brtvila u zatvorenim prostorima (slika 15). [1]



**Slika 19:** Primjena staklenih zidova u zgradarstvu (Izvor: [33])

### 5.3. Stakleni stupovi

Stupovi generalno nisu najpoželjnija forma u arhitektonskoj praksi obzirom da prekidaju kontinuitet prostora. Zbog toga su posebno zanimljivi prozirni stakleni stupovi jer svojim izgledom ne narušavaju otvorenost i neprekinutost prostora (slika 20). Iz tog razloga se sve više teži korištenju nosivih staklenih zidova u zgradarstvu jer osim nosive funkcije, imaju i estetsku funkciju. [27]

Dobra osobina stakla je to što se dobro ponaša pod opterećenjem od pritiska, tlaka. Usprkos tome, mora se paziti da prilikom korištenja stakla za izgradnju stupova ne dolazi do koncentracije napona, posebice na rubovima. Zbog toga opterećenja moraju biti dobro raspoređena. U tu svrhu se koriste žljebovi pričvršćeni za krajeve stakla koji su žbukom učvršćeni za čelične papuče koje osiguravaju staklo u vidu očuvanja njegovih konstrukcijskih svojstava i drže ih na predviđenom mjestu. [27]

Kod korištenja stakla uvijek postoji opasnost od njegova loma i to naglog, budući da staklo puca bez prethodne pojave plastične deformacije. Posljedično tome, pri korištenju staklenih stupova, mora se paziti na to da konstrukcija može podnijeti njihov gubitak bez urušavanja. [27]



Slika 20: Stakleni stupovi (Izvor: [34])



## 5.4. Staklene grede

Staklene grede (slika 21) se u zgradarstvu javljaju u obliku konzolnih ili oslonjenih greda. Njihova dužina ovisi o vrsti stakla od koje su načinjene. Kada je greda izrađena od laminiranog stakla njezina moguća duljina je nešto veća od one koja se dobiva kod greda od kaljenog stakla. Tako kaljene grede mogu biti duljine do 390 centimetara, a laminirane do 450 centimetara. [27]

Grede su osjetljive na vlačna naprezanja pa se često projektiraju u kombinaciji s kablovima od čelika koji preuzima vlačne napone, dok staklo preuzima tlačna. Druga mogućnost je projektiranje greda s velikom rezervom u odnosu na vlačna naprezanja. [27]

Jako je bitno paziti na to jer vlačni naponu uzrokuju pojavu sitnih pukotina koje izrazito smanjuju nosivost greda i povećavaju mogućnost njihova otkazivanja. [27]



Slika 21: Staklene grede (Izvor: [35])

## 5.5. Staklene ograde

Staklene ograde (slika 22) kao i ostali stakleni elementi omogućavaju nesmetanu vizualnu povezanost prostora. [36] Njihova glavna zadaća je sprječavanje pada ljudi sa stubišta ili ruba poda. [37]

Staklene ograde mogu biti u potpunosti staklene ili mogu biti ukomponirane u metalne ili drvene okvire. [37]

Kod izrade ograda također je najzastupljenije laminirano staklo i to obično laminirano, kaljeno laminirano ili toplinski ojačano laminirano staklo. [38]



Slika 22: Staklena ograda (Izvor: [38])

## 5.6. Staklene nadstrešnice

Nadstrešnice se najčešće upotrebljavaju u eksterijeru zgrada i zaklanjaju prostor ispod sebe. One načinjene od stakla su posebno zanimljive zbog svoje prozirnosti koja propušta svjetlost. Staklene nadstrešnice moguće je ukasiti različitim obradama površina. [39]

Za staklene nadstrešnice najčešće se koristi kaljeno laminirano staklo debljine od 8 do 20 milimetara koje daje sigurnost nadstrešnicama. Prigodno je da to staklo bude samočisteće budući da je nadstrešnica izložena različitim vremenskim uvjetima poput kiše i snijega. [39] Samočisteće staklo je ima karakteristike hidrofilnog materijala pa se kišnica ravnomjerno raspoređuje po površini i ne uzrokuje mrlje nakon sušenja. Osim toga ovo staklo upija ultraljubičasto zračenje koje u kombinaciji s kisikom rastvara organske nečistoće na staklu. [1]

Nadstrešnice mogu biti točkasto oslonjene pomoću zatega (slika 23) ili konzolno učvršćene u zid zgrade (slika 24). [39]



Slika 23: Točkasto oslonjena nadstrešnica (Izvor: [40])



Slika 24: Konzolno oslonjena nadstrešnica (Izvor: [41])

## 5.7. Stakleni krovovi

Stakleni krovovi omogućuju da se prostor osvjetli s iznimno puno sunčevog svjetla. To je posebno pogodno za zatvorene prostore u kojima se nalaze prozori malih dimenzija koji ne propuštaju veliku količinu svjetla ili za prostore bez prozora. [42]

Stakla za krovove moraju biti u mogućnosti izdržati i oduprijeti se opterećenjima od vlastite težine, ali i mogućim dugotrajnijim opterećenjima od snijega. Osim toga ovakva stakla moraju biti otporna na visoke temperature zbog izravne izloženosti sunčevoj toplini. Iz tog razloga za staklene krovove biraju se toplinski ojačana stakla koja imaju veću otpornost prema termičkim utjecajima. [37]

Staklo koje se koristi mora imati dobra mehanička svojstva pa se zato koriste laminirana stakla. Ovisno o željenom izgledu krova, stakla mogu biti prozirna ili mutna te u bojama. [43]

Stakleni krovovi mogu biti podržani staklenim gredama kako bi stakleni izgled bio nenarušen [42] ili mogu biti kombinacija čeličnih okvira i staklenih panela. [37]



**Slika 25:** Stakleni krov (Izvor: [44])

## 6. STAKLENE OBLOGE

Završne obloge zgrada su elementi koji dijele zgradu od vanjskog okoliša. [45] Završne obloge se izvode iz nekoliko razloga. Prvi je zaštita zgrade i njezinih unutarnjih prostora od vanjskih utjecaja, drugi razlog je higijenski jer zatvaranje zgrada olakšava njihovo održavanje i održavanje čistoće, a treći je razlog estetske prirode. [46]

Upravo staklo daje iznimno zanimljive i estetski primamljive obloge obzirom na svojstva stakla pa će u ovom poglavlju biti dane informacije o staklu kao materijalu za izradu obloga.

Razlikujemo nekoliko vrsta staklenih obloga poput kontinuiranih, strukturalnih, element obloga, dvostrukih i takozvanih spider obloga. [46]

### 6.1. Kontinuirana staklena obloga

Ovu vrstu staklene obloge karakteriziraju vidljivi vertikalni i horizontalni nosači, tj. kape. Za izradu kontinuirane staklene obloge koriste se aluminijski profili koji sa svih strana uokviruju staklene panele (slika 26). Stakleni paneli su proizvedeni od običnog izolacijskog stakla, a nosače tvore aluminijski profili (slika 27). [47]

Ovakve obloge imaju mogućnost kombiniranja mreže aluminijskih profila i staklenih panela sa prozorima koji se mogu otvarati na više načina, oko svoje vodoravne donje ili okomite osi. [47]



Slika 26: Detalj kontinuirane obloge (Izvor [48])



Slika 27: Primjer kontinuirane obloge (Izvor: [49])

## 6.2. Strukturalna staklena obloga

Za razliku od kontinuiranih obloga, kod strukturalnih staklenih obloga (slika 28) nosivi profili nisu vidljivi pa je veća pažnja usmjerena prema staklenim panelima. Skrivenost profila se postiže tako što se staklo lijepi na njih silikonom. Metal je na taj način prekriven. Prostor između staklenih panela puni se silikonskom fugom, također otpornom na UV zračenja, ali i na atmosferske utjecaje (slika 29). [50]

Za ovu oblogu također se koristi izolacijsko staklo i to s unutarnje strane laminirano, a s vanjske kaljeno. [50]

Kod ove vrste obloge također je moguće dodavanje prozora koji se otvaraju oko svoje vodoravne gornje osi. [50]



**Slika 28:** Primjer strukturalne obloge (Izvor: [51])



**Slika 29:** Detalj strukturalne fasade (Izvor: [52])

### 6.3. Polustrukturalna staklena obloga

Polustrukturalnu staklenu (slika 30) oblogu karakterizira vidljivost nosivih profila kao kod kontinuirane fasada, ali ovdje ti nosači imaju minimalnu širinu. Za lijepljenje i brtvljenje također se koristi silikon kao u prethodnom slučaju (slika 31). [53]

Korištenje aluminijskih profila pridonosi mehaničkim svojstvima ove obloge. [46]



Slika 30: Primjer polustrukturalne obloge (Izvor: [54])

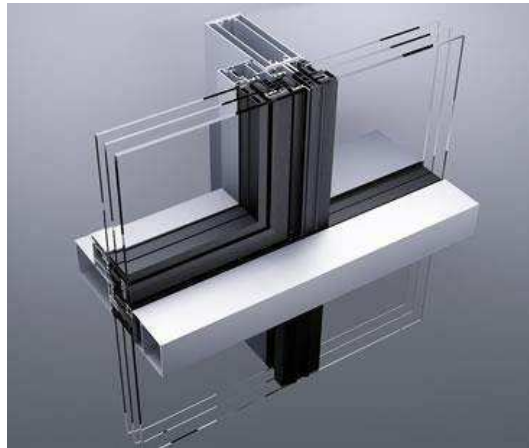


Slika 31: Detalj polustrukturalne obloge (Izvor: [55])

### 6.4. Kombinirana staklena obloga

Kao što samo ime ove obloge kaže, za ovu oblogu se koriste kombinacije fuga i aluminijskih profila, tj. kapa. Stakleni paneli od izolacijskog stakla [56] su povezani okomitim fugama i vodoravnim kapama (slike 32 i 33), ili obrnuto, vodoravnim fugama i okomitim kapama. [46]





**Slika 32:** Detalj kombinirane obloge (Izvor: [57])



**Slika 33:** Primjer kombinirane obloge (Izvor: [58])

## 6.5. Ventilirane staklena obloga

To su obloge koje sa svih strana imaju staklene površine kroz koje struji zrak. Ulazak i izlazak zraka je podložno kontroli. [59]

### 6.5.1. Spider obloga

Primjer ventilirane staklene obloge je spider obloga koja se sastoji od panela izolacijskog stakla koji su povezani čeličnim nosačima. Ti nosači su nehrđajući obzirom da moraju biti otporni na atmosferilije i imaju zanimljiv izgled budući da točkasto prihvaćaju staklo. [59]



Slika 34: Primjer spider obloge (Izvor: [60])

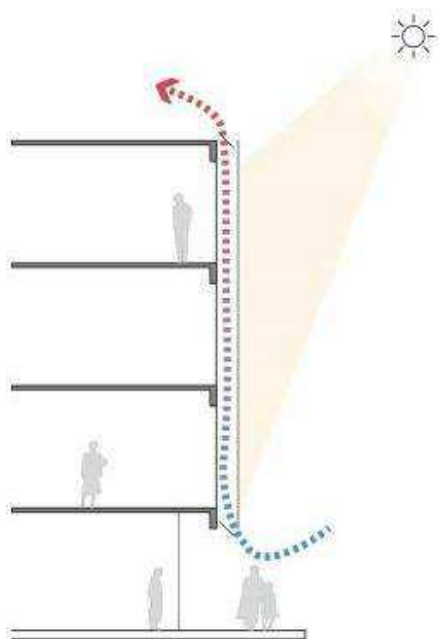
### 6.5.2. Dvostruka ostakljene obloga

Dvostruke ostakljene obloge danas su vrlo poželjne budući da imaju kvalitete koje uključuju dobru zaštitu od buke, utjecaja Sunca, kiše, snijega i sl., a smanjuju i gubitke topline.

Postoji podjela na dvije vrste. [46]

#### 6.5.2.1. Neprekinute dvostruke ostakljene obloge

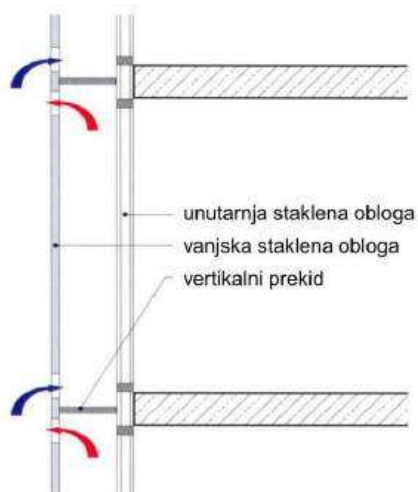
Neprekinute obloge su izvedene u kontinuitetu i omogućavaju kretanje zraka od dolje prema gore. Zrak ulazi pri dnu zgrade i diže se te konačno izlazi van. Ove obloge nude odlična zvučna i toplinska izolacijska svojstva. Međutim, ovakve obloge nisu uvijek najpovoljnije jer pri visokim temperaturama mogu uzrokovati veliko zagrijavanje najviših katova budući da se topli zrak diže prema vrhu zgrade (slika 34). [46]



**Slika 35:** Ventilirana neprekinuta obloga (Izvor: [61])

#### 6.5.2.2. Prekinute dvostruke ostakljene obloge

Prekinute obloge su bolje, ali i financijski manje povoljne. Njima se rješava problem prekomjernog zagrijavanja gornjih katova zgrade jer obloga nije kontinuirana. Kako samo ime kaže, postoje prekidi. Na tim mjestima je omogućen izlazak zraka iz prethodnog dijela i ulazak u sljedeći. Tako ne dolazi do dizanja toplog zraka u najviše dijelove zgrade. [46]



**Slika 36:** Ventilirana prekinuta obloga (Izvor: [46])

## 6.6. Element obloga

Element obloga je predgotovljeni element koji znatno olakšava ugradnju obloge. To je vidljivo smanjenjem potrebnog vremena i radne snage za instalaciju. Nadalje, ova vrsta obloge omogućava brže napredovanje ostalih radova jer se može postavljati kat po kat pa ne usporava radnike na čitavom objektu. [46]

## 7. PRIMJERI PRIMJENE STAKLA NA IZVEDENIM ZGRADAMA

Kako bi se što bolje predočila upotreba stakla u zgradarstvu, zadaća ovog poglavlja je prikaz nekoliko primjera izvedenih zgrada u čijem izgledu dominiraju stakleni elementi.

### 7.1. 7<sup>th</sup> St. Thomas

U Torontu na adresi St. Thomas 7 smještena je zgrada kanadske arhitektonske tvrtke Hariri Pontarini Architects koja svojim izgledom privlači puno pažnje. [62]

Ova je zgrada spoj moderne arhitekture i viktorijanskog izgleda zgrada (slika 37 i 38). Nastala je kao spoj staklene konstrukcije zanimljivog oblika i povijesnog izgleda zgrada ispod te konstrukcije. Tako se dobiva zanimljivi spoj inovativnog stakla i opeke. Prilikom projektiranja ove građevine, arhitekti su bili u stalnom kontaktu sa stručnjacima za kulturnu baštinu i na taj se način očuvao i istaknuo izgled viktorijanskih kuća uz novu modernu konstrukciju. [62]

Novi dio iznad kuća sastoji se od šest etaža koje su sa svih strana obučene u staklenu oblogu. Najzanimljiviji dio ove zgrade je staklo koje je postavljeno u valovitom uzorku. Staklo koje je korišteno je moralo biti konkavno i konveksno savijeno. Za to je korišteno kaljeno i toplinski ojačano staklo u kombinaciji učinkovitim niskoemisivskim premazom kako bi se smanjili gubitci topline. [62]

Osim valovitog izgleda obloge, ističe se i njegova boja. Pomoću keramičke fritre dobiveni su bijeli uzorci na staklu. Oni su tako postavljeni da izgleda kao da staklo prelazi iz prozirnog u bijelo. Kako bi se ta bijela boja što bolje istaknula, bilo je bitno keramičku fritu ukomponirati u vanjske slojeve stakla. To je ostvareno tako što je vanjska ploča obloge od laminiranog stakla, a unutarnja od monolitnog stakla (slika 39). Staklo koje je korišteno ima mali udio željeza jer ono može uzrokovati neželjenu boju. [62]

Ova obloga je sastavljena od stakla koje propušta 68 posto, dok reflektira 11 posto svjetlosti. [63]

Stakleni paneli koji su korišteni su spojeni fleksibilnim silikonskim vezama kako je i uobičajeno kod zakrivljenog stakla. [62]

Namjena ove zgrade je stambena i javna pa će osim stanova sadržavati i poslovne prostore. [62]



Slika 37: 7thSt. Thomas (Izvor: [63])



Slika 38: Presjek zgrade (Izvor: [64])



Slika 39: Shema detalja obloge s monolitnom pločom s jedne strane i laminiranom pločom s druge strane (Izvor: [65])

## 7.2. La Samaritaine

Još jedan primjer zanimljive primjene stakla kao obloge je La Samaritaine.

To je robna kuća u Parizu koja je izgrađena još krajem 19. stoljeća, a zaključno s 2023. godinom je obnovljena. Za projekt obnove bila je zadužena japanska arhitektonska firma SANNA. Uz njih su bio angažiran još niz tvrtki i udruženja. [66]

Ovaj projekt je, kao i prethodni, spoj povijesnog (slika 40) i modernog (slika 41). Povijesni izgled zgrade iz 19. stoljeća oživljen je novih modernim izgledom staklene obloge jedne bočne strane objekta. Obloga reflektira izgled okolnog prostora i tako daje skladnu cjelinu sa starijim dijelom ove građevine, ali ujedno odgovara životopisnoj i užurbanoj ulici prema kojoj je okrenuta. [66]

Za ovaj projekt korišteno je zakrivljeno staklo (slika 42). Ono je tako postavljeno da daje izgled kontinuiranih valova. Obloga je sastavljena od 343 panela stakla koji su zakrivljeni konkavno i konveksno. Stranice panela su duljine 350 i visine 270 centimetara. [67]. Zrcalni izgled ovog stakla daje još jednu posebnost ovoj oblozi. [68]

Stakleni paneli su pridržani pomoću točkastog nosača od nehrđajućeg čelika. [68]

Iza zakrivljenih panela nalazi se obloga od tri sloja stakla koja ima izolacijska svojstva, ali i svojstva zaštite od požara (slika 43). [67]



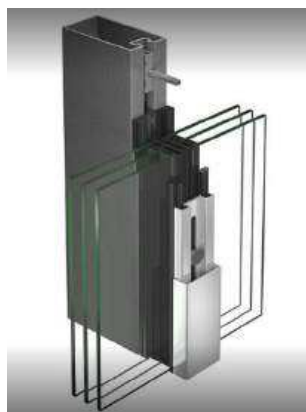
**Slika 40:** Stari dio zgrade (Izvor:[69])



**Slika 41:** Novi dio zgrade (Izvor:[70])



**Slika 42:** Zakrivljena obloga (Izvor: [71])



**Slika 43:** Detalj obloge (Izvor :[72])



### 7.3. Seona Reid Building

Seona Reid zgrada (slike 44 i 45) je Fakulteta za dizajn u Glasgowu [73]. Djelo je arhitektonskog ureda Steven Holl Architects iz 2014. godine. [74]

Smještena je pokraj zgrade Škole za umijetnost u Glasgowu koja je izgledom čista suprotnost. Njezina građa djeluje masivno i teško, a Seona Reid prozračno. Takav dojam se ostvaruje pomoću njezine obloge. [74] Unatoč takvom izgledu, ispod staklene obloge nalazi se također masivna betonska konstrukcija. [73]

Obloga se sastoji od panela dimenzija 273 i 135 centimetara. Radi se o neprozirnim panelima koji su mat i ne reflektiraju svjetlost te daju zelenkasti izgled. Ovisno o dobu dana, izgled ove zgrade se mijenja. Za to je zaslužna staklena obloga koja od sunčeve svjetlosti postaje manje prozirna i bjelija. [73]

Ateljei i ostale prostorije koje zahtijevaju više prirodne svjetlosti nalaze se na sjevernoj strani objekta gdje se nalaze kose plohe (slika 46). [73]

Stakleni paneli su vezani za betonsku konstrukciju točkasto pomoću sidara. Ti spojevi se ne vide iza staklenih panela. [73]

U ovom slučaju je primijenjena ventilirana obloga. U ovom se slučaju sastoji od laminiranog sigurnosnog stakla u kombinaciji sa međuslojem i kaljenim staklom koje je kemijski nagriženo kako bi se dobilo željeni efekt završne obrade (slika 47). [73]

Kose plohe se sastoje od dvostruke obloge sastavljene od toplinski ojačanog stakla s jedne strane i laminiranog stakla s druge strane. Prazan prostor između stakala ispunjen je argonom pa ima izolacijsku svrhu (slika 47). [73]



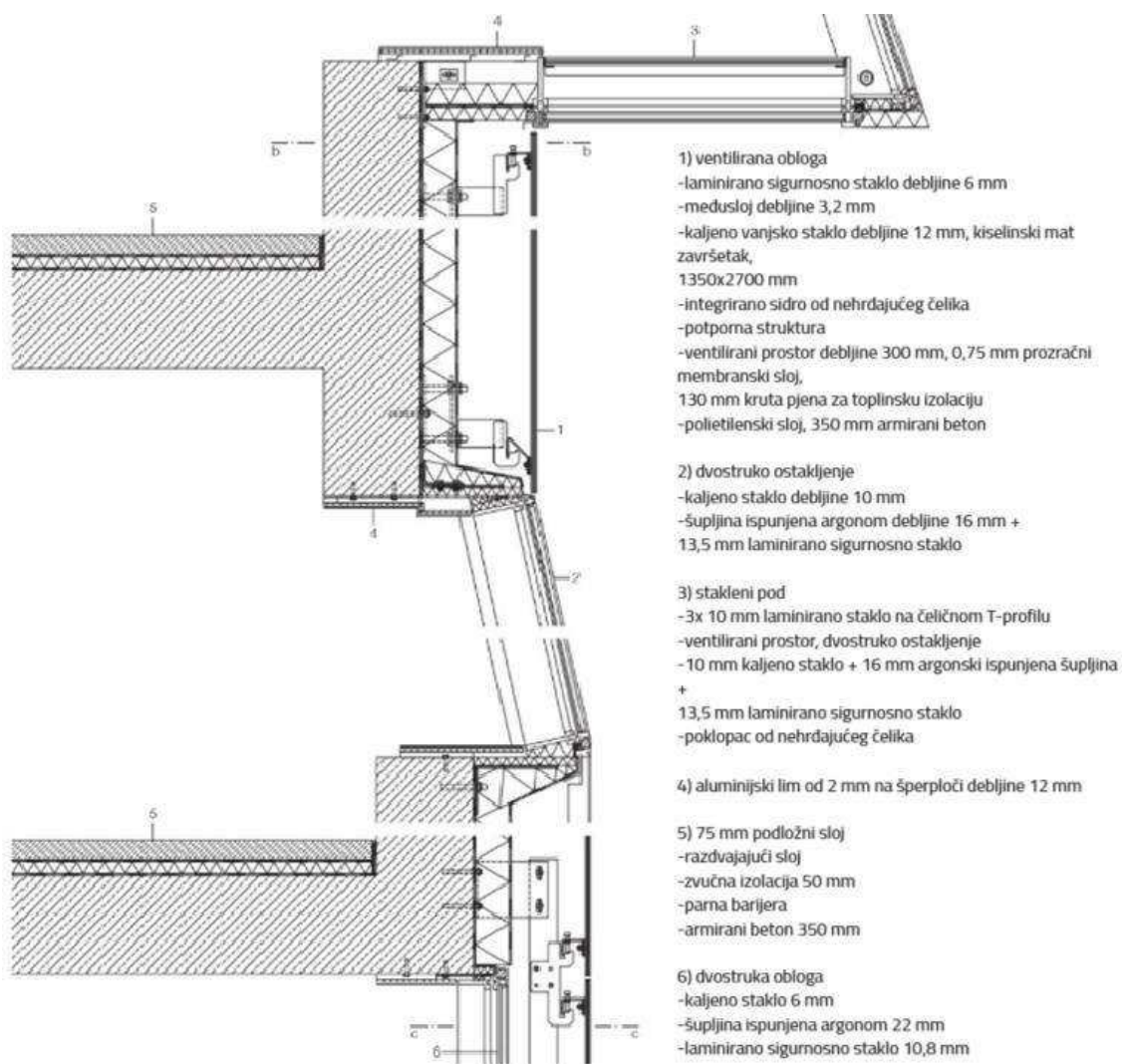
**Slika 44:** Seona Reid Building (Izvor: [74])



**Slika 45:** Seona Reid Building (Izvor: [75])



**Slika 46:** Kose staklene plohe (Izvor: [76])



Slika 47: Detalj obloge (Izvor: [73])

## 8. ZAKLJUČAK

Staklo se koristi u svakodnevnom životu od 4000 godina prije Krista. Tadašnja je primjena bila znatno uža, ali od tada ona raste i širi se. Od uporabe stakla za izradu posuđa, prozora pa do staklenih nosivih elemenata.

Iako arhitekti i inženjeri prije nekoliko godina nisu rado koristili staklo kao element konstrukcije, to se sve više mijenja i interes za korištenjem stakla u raznim konstrukcijama svakim danom postaje sve veći.

Veliki napreci u izradi stakla doveli su do toga da je staklo sve poželjniji element u gradnji. Njegova prozornost daje puno veću slobodu u oblikovanju prostora od ostalih materijala, a poboljšana svojstva stakla ulijevaju dodatno povjerenje kada je riječ o konstrukciji.

Staklo kao konstrukcijski element može se koristiti u formi uskih elemenata poput greda i stupova ili onih širih poput zidova, obloga i krovova. Svi elementi daju zanimljiv izgled građevini.

Iako je staklo poznato kao krhki element koji puca bez najave, njegovim se toplinskim ojačanjima (toplinski ojačana i kaljena stakla ) ili ojačanjima u obliku povezivanja stakla plastičnim slojevima (laminirano staklo) dobivaju vrste stakla koja imaju veću čvrstoću, tvrdoću i otpornost na toplinska djelovanja. To uvelike osnažuje položaj stakla kao sve zastupljenijeg građevinskog materijala.

Osim toga njegove sjajne mogućnosti u izvedbi obloga zgrada dodatno povećavaju njegovu raširenost u građevinarstvu. Danas je razvijen niz vrsta staklenih obloga poput kontinuiranih, strukturalnih, ventilacijskih. One pružaju dobru toplinsku izolaciju, sprječavaju ultraljubičasto zračenje, a ne zaklanjaju pogled iz zgrade prema van, nego otvaraju njezin prostor prema okolini i propuštaju puno sunčeve svjetlosti.

Primjeri poput zgrade u Torontu ili La Samaritaine u Parizu pokazuju koliko staklo može biti impresivno i korisno u građevinarstvu i arhitekturi.

## POPIS LITERATURE

- [1] Lyons A. *Materials for architects and builders*. Amsterdam: Elsevier Ltd.; 2010. Dostupno: [https://kashanu.ac.ir/Files/Content/9781856175197\\_Materials\\_for\\_Architects\\_and\\_Builders.pdf](https://kashanu.ac.ir/Files/Content/9781856175197_Materials_for_Architects_and_Builders.pdf) [Pristupljeno: 02. lipnja 2024.]
- [2] Hrvatska tehnička enciklopedija. Staklo. Dostupno: <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/staklo.pdf> [Pristupljeno: 03. lipnja 2024.]
- [3] Banjad Pečur I., Štirmer N. Staklo. *Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet*. Dostupno: [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/Predavanja\\_3/13](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Predavanja_3/13) [Pristupljeno: 03. lipnja 2024.]
- [4] Proračun staklenih panela i aluminijskih stupova. *Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet*. Dostupno: [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/5\\_-\\_stakleni\\_i\\_aluminij\\_nikola.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/5_-_stakleni_i_aluminij_nikola.pdf) [Pristupljeno: 06. lipnja 2024.]
- [5] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Amorfan. *Hrvatska enciklopedija*. Dostupno: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/amorfan> [Pristupljeno: 02. lipnja 2024.]
- [6] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Viskoznost. *Hrvatska enciklopedija*. Dostupno: <https://enciklopedija.hr/clanak/viskoznost> [Pristupljeno: 04. lipnja 2024.]
- [7] Hrvatska tehnička enciklopedija. Staklo. *Portal hrvatske tehničke baštine*. Dostupno: <https://tehnika.lzmk.hr/staklo/> [Pristupljeno: 04. lipnja 2024.]
- [8] Osnovne kristalne strukture. *Fizika nanomaterijala*. Dostupno: <https://www.phy.pmf.unizg.hr/~atonejc/2%20NNOsnove%20kristalne%20strukture.pdf> [Pristupljeno: 17. lipnja 2024.]
- [9] What is the structure of silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ )?. *Quora*. Dostupno: <https://www.quora.com/What-is-the-structure-of-silicon-dioxide-SiO2%20> [Pristupljeno: 18. lipnja 2024.]
- [10] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Staklo. *Hrvatska enciklopedija*. Dostupno: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/staklo> [Pristupljeno: 06. lipnja 2024.]
- [11] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Mohs, Friedrich. *Hrvatska enciklopedija*. Dostupno: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/mohs-friedrich> [Pristupljeno: 08. lipnja 2024.]

- [12] Šimić V. Eksperimentalni podaci o vezi između naprezanja i deformacija. U: Čolić Ž. (ur.) *Otpornost materijala 1*. Zagreb: Školska knjiga; 2002. str. 88-94.
- [13] Tehničke informacije. *Kristal*. Dostupno: <https://kristal.eu/tehnicke-informacije/> [Pristupljeno: 18. lipnja 2024.]
- [14] Glass Manufacture. *ScienceDirect*. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/glass-manufacture> [Pristupljeno: 18. lipnja 2024.]
- [15] de Lima C. J., Veer F., Çopuroglu O., Nijse R. Advancements and Challenges in Glass Concepts, Manufacturing and Applications. *13th International Congress on Advances in Civil Engineering, 12-14. rujna 2018, Izmir, Turkey, 2018*.
- [16] Ancient Egyptian blue glass beads reached Scandinavia. *ScienceNews*. Dostupno: <https://www.sciencenews.org/article/ancient-egyptian-blue-glass-beads-reached-scandinavia> [Pristupljeno: 18. lipnja 2024.]
- [17] Gere T., Kožar I. Osnovna svojstva stakla kao konstrukcijskog materijala i norme u primjeni. *Građevinar*. 2008;60(12): 1043-1054 Dostupno: <https://hrcak.srce.hr/file/51568> [Pristupljeno: 09. lipnja 2024.]
- [18] Float Glass - Properties and Applications. *AZO Materials*. Dostupno: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=89> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.]
- [19] Curved glass-Classification, Production, application - Properties and Applications. *mornglass.com*. Dostupno: <https://www.mornglass.com/curved-glass-classificationproductionapplication.html> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.]
- [20] Kozłowski M., Malewski A., Akmadžić V., Vrdoljak A. Primjena stakla kao nosivog elementa, 2019. Dostupno: <https://hrcak.srce.hr/file/335773> [Pristupljeno: 10. lipnja 2024.]
- [21] HEAT TEMPERED GLASS. *JNS Glass & Coating*. Dostupno: <https://jnsglass.com/heat-tempered-glass/> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.]
- [22] Laminirana stakla. *RAMA GLAS*. Dostupno: <https://www.rama-glas.com/laminirana-stakla/> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.]
- [23] Laminated glass. *BUILD*. Dostupno: <https://build.com.au/laminated-glass> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.]
- [24] Double Pane Windows. *GLASSDOCTOR*. Dostupno: <https://glassdoctor.com/lexington/double-pane-windows> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.]

- [25] Armirano. *MENSPRED*. Dostupno: <https://menspred.com/staklo-tuzla-zivinice/armirano-staklo/> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.]
- [26] Svestranost staklene opeke. *DOM INFO*. Dostupno: <https://www.dominfo.ba/svestranost-staklene-opeke/> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [27] Rajčić V., Stepinac M., Čizmar D. Građenje konstrukcija iz nosivog stakla i trenutno stanje propisa na tom području-1.dio. *Korak u prostor*. Dostupno: <https://korak.com.hr/korak-034-lipanj-2011-gradenje-konstrukcija-iz-nosivog-stakla-i-trenutno-stanje-propisa-na-tom-podrucju-1-dio/> [Pristupljeno: 10. lipnja 2024.]
- [28] Bos F. P. *Safety Concepts in Structural Glass Engineering – Towards an Integrated Approach*. Zutphen: Wöhrmann Print Service; 2009. Dostupno: [https://www.researchgate.net/profile/Freek-Bos/publication/325343998\\_Safety\\_Concepts\\_in\\_Structural\\_Glass\\_Engineering\\_-\\_Towards\\_an\\_Integrated\\_Approach/links/5b06d7534585157f870a51f7/Safety-Concepts-in-Structural-Glass-Engineering-Towards-an-Integrated-Approach.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Freek-Bos/publication/325343998_Safety_Concepts_in_Structural_Glass_Engineering_-_Towards_an_Integrated_Approach/links/5b06d7534585157f870a51f7/Safety-Concepts-in-Structural-Glass-Engineering-Towards-an-Integrated-Approach.pdf) [Pristupljeno: 12. lipnja 2024.]
- [29] Kako ukopiti stakleni pod u interijer?. *podovi*. Dostupno: <https://www.podovi.org/kako-uklopiti-stakleni-pod-u-enterijer/> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [30] Staklene stepenice. *KAVRAN grupa*. Dostupno: [https://kavran.hr/proizvodi/staklene\\_stepenice/](https://kavran.hr/proizvodi/staklene_stepenice/) [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [31] Glass Bridge and Office Fit Out in Chiswick, London. *MALISHEV ENGINEERS*. Dostupno: <https://malishevengineers.com/portfolio/glass-bridge-communications> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [32] Peulić Đ. Zidovi i zidni elementi od staklenih blokova i ploča. U: Letić M. (ur.) *Konstruktivni elementi zgrada*. Zagreb: Croatiaknjiga; 2002. str. 330-333.
- [33] Glass Walls. *NanaWall*. Dostupno: <https://www.nanawall.com/glass-walls> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [34] *alcam*. Dostupno: <https://www.alcam.com.tr/wp-content/uploads/2022/01/camyapilar1-1-1.jpg> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [35] Glass Beams. *IQ GLASS*. Dostupno: <https://www.iqglassuk.com/products/structural-glass-beams/s63771/> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]

- [36] Balustrades. *Viridian*. Dostupno: <https://www.viridianglass.co.nz/project/glass-balustrade/> [Pristupljeno: 13. lipnja 2024.]
- [37] The Institution of Structural Engineers. *Structural use of glass in buildings*. London: SETO; 1999.
- [38] Staklene ograde. *GORICA STAKLO*. Dostupno: <https://www.goricastaklo.hr/staklene-ograde-2/> [Pristupljeno: 13. lipnja 2024.]
- [39] Staklene nadstrešnice. *Kristal*. Dostupno: <https://kristal.eu/staklene-nadstresnice/> [Pristupljeno: 14. lipnja 2024.]
- [40] Staklene nadstrešnice. *CENTAR OGRADA*. Dostupno: <https://www.ttm.hr/staklene/staklene-nadstresnice> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [41] Staklene nadstrešnice. *NAŠI RADOVI*. Dostupno: [https://www.interteh.eu/staklene\\_nadstresnice.html](https://www.interteh.eu/staklene_nadstresnice.html) [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [42] Structural Glass Roofs. *IQ GLASS*. Dostupno: <https://www.iqglassuk.com/products/structural-glass-roofs/s63608/> [Pristupljeno: 14. lipnja 2024.]
- [43] Stakleni krovovi - pokrovi. *STAKLOREZ BURIĆ*. Dostupno: <https://staklorez-buric.hr/stakleni-krovovi-pokrovi/> [Pristupljeno: 14. lipnja 2024.]
- [44] What Are the Benefits of Glass Roofs. *MAJESTIC GLASS*. Dostupno: <https://majesticglass.com.au/what-are-the-benefits-of-glass-roofs/> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [45] Nguyen K. TQ, Weerasinghe P., Mendis P., Ngo T. Performance of modern building façades in fire: a comprehensive review. *Electronic Journal of Structural Engineering* 2016;16(1): 69-85. Dostupno: <https://ejsei.com/EJSE/article/view/212/250> [Pristupljeno: 15. lipnja 2024.]
- [46] Samostalna katedra za zgradarstvo. Završne obrade zidova. *Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet*.
- [47] Kontinuirane fasade. *Kristal*. Dostupno: <https://kristal.eu/staklene-fasade/kontinuirane-fasade/> [Pristupljeno: 15 lipnja 2024.]
- [48] FEAL - 60 K KONTINUIRANA FASADA. *Maks*. Dostupno: <http://www.maks.ba/hr/proizvod/39/feal-60-k-kontinuirana-fasada> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]



- [49] SVE ŠTO TREBA DA ZNATE O STAKLENIM FASADAMA. *SAVABI/EN*. Dostupno: <https://savabien.rs/uncategorized-sr/sve-sto-treba-da-znate-o-staklenim-fasadama/> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [50] Strukturalne fasade. *Kristal*. Dostupno: <https://kristal.eu/staklene-fasade/strukturalne-fasade/> [Pristupljeno: 15 lipnja 2024.]
- [51] Dizajn i projektovanje fasada. *GRADIONICA*. Dostupno: <https://gradionica.net/?p=344> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [52] STAKLENE FASADE. *OKNO*. Dostupno: <https://okno.hr/staklene-fasade/> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.]
- [53] Polustrukturalne fasade. *Kristal*. Dostupno: <https://kristal.eu/staklene-fasade/polustrukturalne-fasade/> [Pristupljeno: 16. lipnja 2024.]
- [54] Fasade. *VITAS*. Dostupno: [https://www.vitas.hr/polustrukturalne\\_fasade.html](https://www.vitas.hr/polustrukturalne_fasade.html) [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [55] Aluminijske staklene fasade. *HB PRODUKT*. Dostupno: <https://hbprodukt.com/category/alu-fasade/> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [56] Kombinirane fasade. *Kristal*. Dostupno: <https://kristal.eu/staklene-fasade/kombinirane-fasade/> [Pristupljeno: 16. lipnja 2024.]
- [57] Fasada Aluminik CS55 za moderan poslovni prostor. *Webgradnja*. Dostupno: <https://webgradnja.hr/novosti-dogadaji-predstavljanja/fasada-aluminik-cs55-za-moderan-poslovni-prostor/2881> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [58] Staklene fasade. *Prozori + Vrata*. Dostupno: <https://www.prozorivrata.com/staklene-fasade/> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [59] Ventilirajuće fasade. *Kristal*. Dostupno: <https://kristal.eu/staklene-fasade/ventilirajuce-fasade/> [Pristupljeno: 17. lipnja 2024.]
- [60] STAKLENE FASADE. Dostupno: <https://tim-bg.blogspot.com/2012/04/staklene-fasade.html> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [61] Šta je dvostruka fasada i koji je njen princip rada. *GRADNJA.ME*. Dostupno: <https://www.gradnja.me/clanak/2177/%C5%A0ta-je-dvostruka-fasada-i-koji-je-njen-princip-rada> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [62] 7 St. Thomas- Toronto; Canada. *SBG*. Dostupno: <https://kristal.eu/staklene-fasade/ventilirajuce-fasade/> [Pristupljeno: 17. lipnja 2024.]

- [63] 7 St. Thomas. *GUARDIAN GLASS*. Dostupno: <https://www.guardianglass.com/gb/en/projects/project-details/7-st--thomas> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [64] 7 St. Thomas Building, Toronto by Hariri Pontarini Architects. *ARCHIOBJECTS.02. veljača 2018*. Dostupno: <https://www.archiojects.org/7-st-thomas-building-toronto-by-hariri-pontarini-architects/> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [65] Chahine A. 7 St. Thomas Commercial Development by Hariri Pontarini Architects. *designraid. 26. studenog 2019*. Dostupno: <https://designraid.net/9200/7st-thomas-toronto-hariri-pontarini-architects/> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [66] SunGuard™ SN 68. *GUARDIAN GLASS*. Dostupno: <https://www.guardianglass.com/us/en/our-glass/sunguard-sn-68> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [67] Abdel H. La Samaritaine / SANAA + LAGNEAU Architectes + Francois Brugel Architectes Associes + SRA Architectes. *Arch daily. 23. lipnja 2021*. Dostupno: <https://www.archdaily.com/963774/la-samaritaine-sanaa-plus-lagneau-architectes-plus-francois-brugel-architectes-associes-plus-sra-architectes> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [68] The new transparent skin of La Samaritaine. *PIKLINGTON*. Dostupno: <https://www.pilkington.com/en/global/news-insights/latest/the-new-transparent-skin-of-la-samaritaine#> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [69] La Samaritaine. *FRENER - REIFEN*. Dostupno: <https://www.frener-reifer.com/references/la-samaritaine/> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [70] SANAA Completes Renovation Of Historic La Samaritaine Department Store In Paris. *World architecture. 23. lipnja 2021*. Dostupno: <https://worldarchitecture.org/architecture-news/evfhn/sanaa-completes-renovation-of-historic-la-samaritaine-department-store-in-paris.html> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [71] Crook L. SANAA's overhaul of La Samaritaine department store opens in Paris. *dezeen. 22. lipnja 2021*. Dostupno: <https://www.dezeen.com/2021/06/22/la-samaritaine-department-store-sanaa-opens-paris/> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [72] Ayers A. La Samaritaine by SANAA. *Architectural Record. 29. lipnja 2021*. Dostupno: <https://www.architecturalrecord.com/articles/15247-la-samaritaine-by-sanaa> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]

- [73] Art Academy in Glasgow. *DETAIL*. 2014; 5: 572-576. Dostupno: <https://issuu.com/detail-magazine/docs/bk-dee-2014-5-facades> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [74] Seona Reid Building / Steven Holl Architects. *Arch daily*. 07. ožujka 2014. Dostupno: <https://www.archdaily.com/483381/seona-reid-building-steven-holl-architects> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [75] Seona Reid Building, Glasgow School of Art. *World-Architects*. 25. svibnja 2015. Dostupno: <https://www.world-architects.com/en/architecture-news/reviews/seona-reid-building-glasgow-school-of-art> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]
- [76] Seona Reid Building, Glasgow School of Art. *archello*. Dostupno: <https://archello.com/project/seona-reid-building-glasgow-school-of-art> [Pristupljeno: 21. lipnja 2024.]

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1:</b> Kristalna i amorfna struktura (staklo) (Izvor: [8]).....	3
Slika 2: Tetraedri od atoma silicija i kisika u trodimenzionalnoj strukturi (Izvor [9]) .....	3
Slika 3: Ovisnost viskoznosti o temeperaturi (Izvor [2]) .....	4
Slika 4: Radni dijagram stakla (Izvor: [3]).....	5
Slika 5: Ponašanje sunčevih zraka u kontaktu sa staklom (Izvor [13]).....	6
Slika 6: Proces proizvodnje stakla (Izvor: [14]).....	8
Slika 7: Staklene perle (Izvor: [16]) .....	9
Slika 8: Obično ravno staklo (Izvor: [18]).....	10
Slika 9: Zakrivljeno staklo (Izvor: [19]).....	11
Slika 10: Lom kaljenog i toplinski ojačanog stakla (Izvor: [21]).....	12
Slika 11: Laminirano staklo (Izvor: [22]).....	13
Slika 12: Dijelovi laminiranog stakla (Izvor: [23]).....	13
Slika 13: Izolacijsko staklo (Izvor: [24]).....	14
Slika 14: Žičano spregnuto staklo (Izvor: [25]).....	15
Slika 15: Staklena opeka u bojama (Izvor: [26]).....	15
Slika 16: Primjer staklenog poda (Izvor: [29]).....	17
Slika 17: Primjer stakleninog stubišta (Izvor: [30]) .....	17
Slika 18: Primjer staklenog pješačkog mosta (Izvor: [31]).....	17
Slika 19: Primjena staklenenih zidova u zgradarstvu (Izvor: [33]) .....	18
Slika 20: Stakleni stupovi (Izvor: [34]).....	19
Slika 21: Staklene grede (Izvor: [35]) .....	20
Slika 22: Staklena ograda (Izvor: [38]).....	21
Slika 23: Točkasto oslonjena nadstrešnica (Izvor: [40]).....	22
Slika 24: Konzolno oslonjena nadstrešnica (Izvor: [41]) .....	22
Slika 25: Stakleni krov (Izvor: [44]) .....	23
Slika 26: Detalj kontinuirane obloge (Izvor [48]).....	24
Slika 27: Primjer kontinuirane obloge (Izvor: [49]).....	25
Slika 28: Primjer strukturalne obloge (Izvor: [51]).....	26
Slika 29: Detalj strukturalne fasade (Izvor: [52]) .....	26
Slika 30: Primjer polustrukturalne obloge (Izvor: [54]) .....	27
Slika 31: Detalj polustrukturalne obloge (Izvor: [55]).....	27
Slika 32: Detalj kombinirane obloge (Izvor: [57]) .....	28
Slika 33: Primjer kombinirane obloge (Izvor: [58]) .....	28

---

Slika 34: Primjer spider obloge (Izvor: [60]) .....	29
Slika 35: Ventilirana neprekinuta obloga (Izvor: [61]).....	30
Slika 36: Ventilirana prekinuta obloga (Izvor: [46]) .....	30
Slika 37: 7thSt. Thomas (Izvor: [63]).....	33
Slika 38: Presjek zgrade (Izvor: [64]).....	33
Slika 39: Shema detalja obloge s monolitnom pločom s jedne strane i.....	33
Slika 40: Stari dio zgrade (Izvor:[69]) .....	34
Slika 41: Novi dio zgrade (Izvor:[70]).....	35
Slika 42: Zakrivljena obloga (Izvor: [71]).....	35
Slika 43: Detalj obloge (Izvor :[72]).....	35
Slika 44: Seona Reid Building (Izvor: [74]).....	37
Slika 45: Seona Reid Building (Izvor: [75]).....	37
Slika 46: Kose staklene plohe (Izvor: [76]).....	37
Slika 47: Detalj obloge (Izvor: [73]).....	38