

# Izrada staklenih suvenira

---

**Načinović, Paolo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:721951>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-19**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown

**POLITEHNIKA PULA**

Visoka tehničko - poslovna škola

Završni rad

**IZRADA STAKLENIH SUVENIRA**

Paolo Načinović

Pula, prosinac 2015.



## **ZAHVALA:**

*Zahvaljujem se svom mentoru pred. Mauru Maretiću na usmjeravanju i korekcijama za vrijeme izrade završnog rada i ostvarenja trogodišnjeg cilja, stjecanja diplome stručnog preddiplomskog studija Politehnike Pula.*

*Hvala Marku Celiji i njegovom kolegi koji su mi objasnili proces izrade staklenih suvenira i dozvolili pristup njihovoj radionici, kako bih uspio snimiti cjelovitu izradu staklenog suvenira.*

*Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima i obitelji na pruženoj financijskoj pomoći i podršci kroz život i za vrijeme studiranja, te veliko hvala svim prijateljima i kolegama.*

## IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da sam završni rad na temu IZRADA STAKLENIH SUVENIRA izradio potpuno samostalno, koristeći se literaturom i znanjem stečenim tijekom studija na Politehnici Pula – Visokoj tehničko-poslovnoj školi – Politehničkom studiju u Puli pod voditeljstvom mentora predavača dipl. ing. Maura Maretića. Rad je bio pisan u duhu hrvatskog jezika.

U Puli, prosinac 2015.

Paolo Načinović

Završni rad preddiplomskog stručnog studija Politehnike

**IZRADA STAKLENIH SUVENIRA**

Student: Paolo Načinović

Studijski program: studij Politehnike

Smjer: Inženjerstvo proizvodnje

Mentor: pred. dipl. ing. Mauro Maretić

Pula, prosinac 2015.

## **Sažetak**

U prvom dijelu rada opisana je povijest stakla, kako staklo nastaje te svojstva stakla i njegovo ponašanje sa opterećenjem, toplinom, svjetlom i provodljivošću.

U nastavku rada opisan je proces stvaranja stakla i njegovi oblici obrade prema željama kupaca, vrste stakla koje se najčešće upotrebljavaju i njihova primjena.

Na završetku rada nalazi se praktični dio, koji opisuje kako staklopuhači obrađuju staklo i prave raznovrsne proizvode (suvenire), te sam zaključak i literatura.

## **Summary**

The first part of my work describes the history of glass, how the glass is formed, its properties and its behavior under load, heat, light and its conductivity.

In the following part the process of creating the glass is described and its forms according to the customers wishes, types of glass that are most commonly used and their application.

At the end of my work there is the practical part, which describes how a glassblower processes glass and makes a variety of products (souvenirs), the conclusion and literature list.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. Opis problema.....	1
1.2. Cilj i svrha rada.....	1
1.3. Polazna hipoteza.....	2
1.4. Teze .....	2
1.5. Metode istraživanja.....	2
1.6. Struktura završnog rada .....	2
<b>2. OPĆENITO O STAKLU.....</b>	<b>4</b>
2.1. Povijest stakla .....	4
2.2. Struktura stakla .....	5
2.3. Mehanička svojstva .....	7
2.4. Toplinska svojstva .....	8
2.5. Električna svojstva.....	9
2.6. Optička svojstva .....	10
2.7. Kemijska svojstva.....	12
<b>3. PROIZVODNI PROCES STAKLA.....</b>	<b>13</b>
3.1. Rezanje i brušenje stakla .....	14
3.2. Kaljenje stakla .....	15
3.3. Laminiranje stakla .....	15
3.4. Savijanje stakla.....	17
3.5. Sitotisak .....	18
<b>4. VRSTE STAKLA.....</b>	<b>20</b>
4.1. Float staklo .....	20
4.2. Ornament stakla .....	21
4.3. Polu-reflektirajuće staklo.....	22
4.4. Reflektirajuće staklo .....	22
4.5. Sigurnosna stakla .....	24
4.5.1. Kaljeno staklo.....	24
4.5.2. Laminirano staklo.....	25
4.6. Savijeno staklo.....	25
4.7. Vatrootporno staklo .....	25
4.8. Žičano staklo.....	26



4.9.	Izolacijsko staklo .....	26
4.10.	Nisko emisiono staklo (Low-e).....	28
<b>5.</b>	<b>OBLIKOVANJE STAKLA PUHANJEM (Praktični dio).....</b>	<b>29</b>
5.1.	Postupak izrade figure „Istarski boškari“ .....	30
5.2.	Borosilikatno staklo .....	30
5.3.	Alat staklopuhača .....	31
5.4.	Izrada suvenira.....	44
<b>6.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>POPIS SLIKA I TABLICA.....</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>58</b>

## **1. UVOD**

Tema ovog završnog rada je izrada staklenih suvenira. Staklo je oduvijek fasciniralo ljude. Nekoć se, kao jedan je od prvih trgovačkih proizvoda, smatralo statusnim simbolom faraona i careva. Ono je staro koliko i naš planet. Može nastati na prirodan način ako se udarom munje ili erupcijom vulkana, kamenje dovoljno zagrije. Tada nastaje takozvano “vulkansko staklo” ili opsidijan. Ovim staklastim oblikom kamenja služili su se ljudi kamenog doba, naši su preci od njega pravili oružje, nakit i amajlije. Opsidijan je bio izrazito omiljen kod lovaca i sakupljača.

Najstariji poznati predmeti od stakla su staklene perle iz Egipta i Mezopotamije, a potječu iz 3500. godine prije Krista.

Staklo je materijal čija je primjena poznata od davnina. Zbog svojih karakteristika i danas ima veoma široku primjenu. Relativno je čvrsto, inertno, prozirno i biološki neaktivno. Staklo je zapravo po svojoj kemijskoj strukturi amorfni oflik silicijeva dioksida. Ono se dobiva taljenjem triju osnovnih sirovinih - kvarcnog pijeska (silicijev dioksid), sode (natrijev karbonat) i vapnenca (kalcijev karbonat).

Kao građevni materijal ističe se svojom neprozirnošću, gotovo poput kamena ili opeke, zrcaleći pritom okoliš i predmete u njemu. Istodobno, omogućava sunčevoj svjetlosti nesmetan ulaz u unutrašnjost objekta te neometan pogled prema vani. Posljednjih se desetljeća mnogo koristi u oblaganju visokih građevina te se smatra jednim od najzastupljenijim materijalom moderne arhitekture.

Kao transparentni medij nalazi široku primjenu i u dekorativne svrhe. Različitom obradom stakla dobivaju se različite razine transparentnosti, različiti oblici i boje stakla.

U sigurnosnom se smislu ono može proizvesti kao kaljeno i laminirano.

### **1.1. Opis problema**

Temeljni problem ovog završnog rada predstavlja pribavljanje potrebne literature i dokumentacije, te uz dosadašnja stečena znanja, vještine i iskustva osmisliti sadržaj završnog rada, topisati nastanak stakla, proizvodnju i prikazati proces izrade suvenira metodom puhanja.

### **1.2. Cilj i svrha rada**

Cilj završnog rada je prikazati proces stvaranja stakla, opisati svojstva i vrste stakla te prikazati proces izrade staklenih suvenira.

Svrha pisanja završnog rada je da se dosad stečena znanja primjene u realizaciji završnog rada.

### **1.3. Polazna hipoteza**

Primjenom raznih tehnika i tehnologija obrade stakla oblikuju se taljeni dijelovi stakla da bi se kao krajnji rezultat dobio proizvod, stakleni suvenir.

### **1.4. Teze**

Teze ovog završnog rada jesu: povijest stakla, sirovine za izradu stakla, svojstva stakla, prikaz proizvodnog procesa stakla, vrste stakla te slikama popraćen praktični dio izrade staklenih suvenira.

### **1.5. Metode istraživanja**

U izradi završnog rada korištene su ove metode:

- opisna,
- grafička,
- metoda analize i sinteze.

### **1.6. Struktura završnog rada**

Završni rad obuhvaća uvod, općenito o staklu, proizvodni proces stakla, vrste stakla, oblikovanje stakla puhanjem, zaključak, popis slika te popis literature.

U poglavlju obrađeni su: opis problema, cilj i svrha rada, polazna hipoteza, teze i metode istraživanja korištene u radu.

U drugom poglavlju opisuje se povijest stakla, sastav stakla, te njegova mehanička, toplinska električna, optička i kemijska svojstva.

Treće poglavlje opisuje proizvodni proces stakla, rezanje i brušenje stakla, kaljenje stakla, laminiranje i savijanje stakla te sitotisk.

U četvrtom poglavlju obrađene su vrste stakla, njihova primjena te svojstva svakog navedenog stakla.

Peto poglavlje je glavni dio završnog rada gdje je slikovito i pisano razrađen cijeli proces izrade staklenih suvenira, alati kojima se staklopuhač služi za obradu staklenih suvenira te izrada istih.

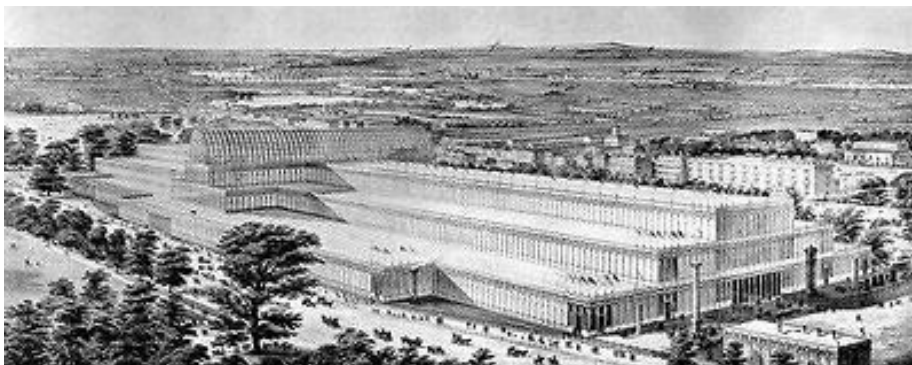
Na kraju završnog rada nalazi se šesto, sedmo i osmo poglavlje. U šestom poglavlju nalazi se zaključak u kojemu je izrađena sinteza rezultata završnog rada. Sedmo poglavlje ispunjeno je popisom slika koje su korištene u radu, i na samom kraju, u osmom poglavlju nalazi se popis literature.

## 2. OPĆENITO O STAKLU

### 2.1. Povijest stakla

Povijest govori da je staklo otkriveno još 5.000 godina prije Krista. Legende kažu su ga otkrili Babilonci, Feničani, Egipćani, ali ništa od toga povijest nije potvrdila. Jedino je sigurno da su pronađeni različiti ukrasni predmeti i posuđe od stakla. Staklo se kao proizvod iz Egipta preko Grčke proširilo do Rima, a tek su Rimljani 100 godina prije Krista počeli ostakljevati prozore na zgradama.

U radoblju od 1.500 godine prije Krista do 500 godina poslije Krista, tehnikom fuzije izrađen je veliki broj posuda, ukrasa. U tom je razdoblju razvijena tehnika puhanja stakla i izrade ravnog stakla valjanjem. Moderna povijest stakla započinje 1851. godine kada je engleski arhitekt Joseph Paxton, za svjetsku izložbu u Londonu, projektirao stakleni paviljon pod imenom "Crystal Palace" (slika 2.1.).



*Slika 2.1. Kristalna palača Josepha Paxtona*

Ta revolucionarna građevina, izrađena od stakla i čelika, potaknula je arhitekta da staklo počnu upotrebljavati kao građevni materijal. Izumeci float proces stakla 1952. godine Sir Alastair Pilkington pokrenuo je revoluciju u staklarstvu. Ovaj proces omogućuje izradu staklenih ploča raznih boja, debljina i dimenzija. Od tada se razvoj tehnologija izrade i upotrebe stakla naglo ubrzao. Danas je izrada stakla moderna industrija visoke tehnologije koja je u mogućnosti proizvesti tisuću ploča stakla dnevno u raznim bojama (najpopularnije su zelena i smeđa). Staklo je dio naše svakodnevnice i život bez stakla danas bi bio nezamisliv.

## 2.2. Struktura stakla

Staklo je materijal koji se ne nalazi u prirodi. Iako poznato i korišteno od davnina i danas je nezamjenjiv materijal u svakodnevnom životu. Staklo se dobiva taljenjem osnovnih sirovina: kvarcnog pijeska, sode i vapnenca. Čisti silicijev dioksid ima talište na 1700°C, te bi bilo jako neekonomično taliti ga na toj temperaturi. Osnovnim sirovinama dodaje se i stakleni krš (oko 30%), jer ima niže talište od osnovnih sirovina, pa povećava brzinu taljenja. Time se uštedi oko 32% energije.

Glavne 3 sirovine za dobivanje natrijeva-kalcijeva-silikatnog stakla ( $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6 \text{SiO}_2$ ) su:

1. Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; natrijev karbonat),

Natrijev karbonat je bezbojan do bijeli kruti kristal koji se u prirodi nalazi kao mineral soda. Lako se otapa u vodi, a otopina natrijeva karbonata djeluje jako lužnata, zbog hidrolize<sup>1</sup>, i nagriza tkiva, (slika 2.2.).



*Slika 2.2. Soda*

---

<sup>1</sup> Hidroliza je razgradnja (raspad, cijepanje) molekula kovalentnih složenih kemijskih spojeva u reakciji s vodom, kidanjem kovalentnih veza, pri čemu se vodikov ion (atom) iz vode spaja s jednim, a hidroksidni ion (hidroksilna skupina) s drugim produktom raspada (proizvodom cijepanja).

## 2. Vapnenac ( $\text{CaCO}_3$ ; kalcijev karbonat),

Kalcijev karbonat u prirodi je najrašireniji i najvažniji spoj kalcija, koji se najčešće nalazi u obliku nama poznatih tvari iz svakidašnjeg života - vapnenac, mramor i kreda - iako različita izgleda, građene su od kristalića kalcita<sup>2</sup> različite veličine, (slika 2.3.).



*Slika 2.3. Vapnenac*

## 3. Kvarcni pijesak ( $\text{SiO}_2$ ; silicijev dioksid).

Silicijev dioksid je prirodni mineral kremen<sup>3</sup>, visokoga tališta i velike čvrstoće. U prirodi se nalazi u 17 oblika, od kojih su najpoznatije amorfne modifikacije kvarc, opal i dijatomejske zemlje, (slika 2.4.)



*Slika 2.4. Kvarcni pijesak*

---

<sup>2</sup> Kalcit ( kalcij) je vrsta vrlo raširenog minerala građenog od kalcijeva karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ) u obliku heksagonskih kristala.

<sup>3</sup> Kremen (kvarc) je polimorfna modifikacija (kristalni oblik) silicijeva dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) i jedan je od najrasprostranjenijih minerala u prirodi. Kristalizira heksagonski, bezbojan je ili različito obojen te proziran i optički aktivan mineral. Na Mohsovoj ljestvici se nalazi pod brojem 7

Dodavanjem sode snižava se talište na oko 1000° C, no time staklo postaje topljivo u vodi (vodeno staklo), pa se to sprječava dodavanjem vapnenca (koji otpuštanjem ugljikovog dioksida prelazi u kalcijev oksid - CaO).

Staklo je pothlađena tekućina amornog sastava koja nema određeno talište, pa zagrijavanjem polako mekša, što omogućuje njegovu obradu puhanjem.

### 2.3. Mehanička svojstva

Čvrstoća stakla ne ovisi o njegovu sastavu. Tlačna čvrstoća je relativno velika, ali je vlačna dosta malena (50-140 N/mm<sup>2</sup>) i izuzetno je ovisna o stanju površine stakla tj. o stupnju oštećenosti. Tako je vlačna čvrstoća stakla s grubo oštećenom površinom stakla svega 12-25 N/mm<sup>2</sup>. Ako se površina plamenom popravi i polira vlačna će čvrstoća narasti i do 100 N/mm<sup>2</sup>.

Tanka, netom proizvedena staklena vlakna odlikuju se dosta velikom vlačnom čvrstoćom (do  $7 \times 10^3$  N/mm<sup>2</sup>). Međutim, kako se ni na uzorku savršene površine ne mogu izmjeriti teorijski očekivane vrijednosti čvrstoće, očito je da su uzrok tome oštećenja u unutrašnjosti stakla.

Prilikom mehaničkog opterećenja staklo se omekšava i plastično se ne deformira kao metali. Naprezanja nastala tlačnim ili vlačnim mehaničkim opterećenjima privremena su i potpuno nestaju nakon prestanka djelovanja opterećenja. Dopuštena naprezanja u staklenim proizvodima ovise o obliku proizvoda, njihovoj namjeni i uvjetima izradbe.

Općenito se traži da privremeno naprezanje ne bude veće od približno 3,5 N/mm<sup>2</sup>, odnosno od 1/4 - 1/8 vrijednosti vlačne čvrstoće.

Tvrdoća nekih industrijskih stakala dosta je velika, a općenito iznosi 4,5 do 7,5 na Mohsonovoj ljestvici<sup>4</sup>. Staklo je u čvrstom stanju elastično. Modul elastičnosti SiO<sub>2</sub>-stakla iznosi  $50 \times 10^3$  do  $90 \times 10^3$  N/mm<sup>2</sup>, a mijenja se dodatkom ostalih komponenata. Posebno je visok modul elastičnosti aluminosilikatnih stakala.

---

<sup>4</sup> Mohs-ova ljestvica je niz od deset minerala poredanih po tvrdoći koji se koriste za procjenu relativne tvrdoće drugih minerala ili tvari.



## 2.4. Toplinska svojstva

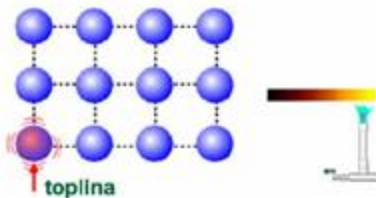
Toplinska svojstva stakla ovise vrlo grubo o sastavu stakla i o temperaturnom području u kojem se staklo nalazi. Jedno od toplinskih svojstva stakla je toplinski kapacitet<sup>5</sup> čija je prosječna vrijednost za većinu toplinskih stakla približno  $0,8 \text{ J}^{-1}\text{K}^{-1}$  (Joule Kelvin) na sobnoj temperaturi. Povišenjem temperature raste toplinski kapacitet.

Toplinsko svojstvo stakla također je njegova toplinska provodljivost koja kod većine stakla iznosi približno  $0,84 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Najveću toplinsku provodljivost na sobnoj temperaturi imaju silicijska stakla ( $1,38 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), a najmanju toplinsku provodljivost imaju olovna stakla ( $0,71 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ).

Od svih svih toplinskih svojstva stakla svakako je najvažnije njegovo toplinsko istezanje<sup>6</sup>, jer je poznavanje toplinskog istezanja stakla pri promjeni temperature bitno pri preradi, za određivanje režima hlađenja, spajanja s drugim vrstama stakla i drugim materijalima. Za većinu stakla u temperaturnom intervalu od 20 do 3000 °C izmjereni su koeficijenti linearnog toplinskog istezanja između  $30 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  (kvalitetno laboratorijsko staklo) i  $90 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  (float staklo).

Toplina kroz dvostruko staklo sa slojem zraka se gubi na sljedeća tri načina:

- Kondukcijom, kod vođenja se prijenos topline ostvaruje molekularnim gibanjem. Do prenošenja topline vođenjem dolazi uslijed prirodne težnje za homogenom razdiobom srednje brzine molekula, a time i temperature u svim dijelovima promatranog sistema. Brže molekule toplijeg dijela sistema se sudaraju s polaganijim molekulama hladnijeg dijela sistema. Kod toga se prve molekule usporavaju a druge ubrzavaju, tako da se srednje brzine molekula u čitavom sustavu izjednačavaju, (slika 2.5.).



Slika 2.5. Kondukcija

<sup>5</sup> Toplinski kapacitet je fizikalna veličina koja pokazuje koliko topline treba nekomu tijelu dovesti da mu se temperatura povisi za 1 K (1°C).

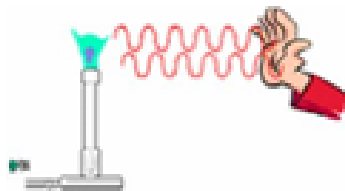
<sup>6</sup> Toplinsko istezanje je svojstvo materije da mijenja obujam, u ovisnosti od temperature.

- Konvekcijom, za širenje topline konvekcijom potrebna je struja nekog fluida (plina ili tekućine) pri čemu fluid prima toplinu na jednom mjestu i odnosi je svojom strujom na neko drugo mjesto, gdje je predaje nekom hladnijem čvrstom tijelu ili se miješa s hladnijim dijelom fluida i njemu predaje toplinu, (slika 2.6.).



*Slika 2.6. Konvekcija*

- Radijacija ili zračenje je prijenos topline pomoću elektromagnetskih zraka. Sva tijela, u čvrstom i tekućem stanju, odaju dio kinetičke energije svojih molekula u obliku energije elektromagnetskih valova koju zrače svojom površinom. Vrijedi i obrnuto, kada elektromagnetski valovi dopiju do površine nekog tijela, jedan njihov dio tijelo apsorbira i pretvara ga u kinetičku energiju svojih molekula, a to znači toplinu, (slika 2.7.).



*Slika 2.7. Zračenje*

## **2.5. Električna svojstva**

Za staklo od električnih svojstava najvažnija je električna vodljivost<sup>7</sup>, jer o tome ovisi mogućnost upotrebe u elektrotehnici, a također i mogućnost taljenja novim postupcima, npr. otpornim zagrijavanjem.

Obična su stakla na sobnoj temperaturi i u suhoj atmosferi dobri izolatori. Međutim, s povećanjem temperature električna vodljivost brzo raste. Njena je ovisnost o sastavu stakla lako uočljiva, jer ovisi u prvom redu o vodljivosti kationa. Na sobnoj su temperaturi

<sup>7</sup> Električna vodljivost, fizikalna je veličina definirana kao omjer jakosti električne struje i napona ako su oni nepromjenjivi s vremenom (istosmjerna električna struja i napon), a obrnuto je proporcionalna električnom otporu.

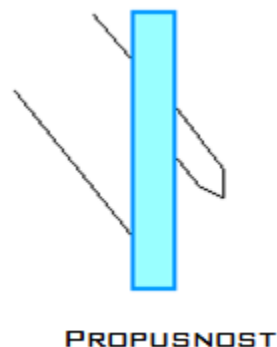
najpokretljiviji alkalijski kationi, posebno natrijevi, dok na višim temperaturama u provođenju struje sudjeluju i kationi većeg naboja.

## 2.6. Optička svojstva

Predodžba o staklu kao materijalu vezana je u prvom redu s njegovom prozirnošću. Naime, obično jednostavno silikatno staklo bez primjesa, staklo koje osim silicijskog oksida sadrži samo neophodne okside alkalijskih i zemnoalkalijskih metala, vrlo slabo apsorbira elektromagnetsko zračenje u vidljivom dijelu spektra, pa u prolaznoj svjetlosti djeluje bezbojno. Međutim, ono je nepropusno za ultraljubičasto i infracrveno zračenje, a samo čisto silicijskostaklo propušta ultraljubičaste zrake u nekim granicama.

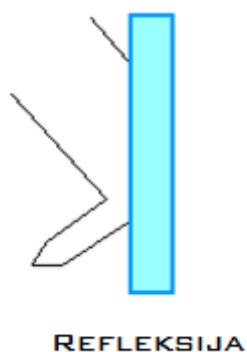
Staklo se razlikuje od skoro svih ostalih materijala sposobnošću da propušta zrake vidljive svjetlosti pa je to temelj njegove široke primjene i nezamjenljivosti u svakodnevnom životu i u najrazličitijim oblicima ljudske djelatnosti. Prozirnost stakla i promjena brzine putovanja svjetlosti pri prolazu kroz staklo uzrok su opažanju niza karakterističnih optičkih svojstava:

- Propusnost (slika 2.8.) izražava direktno propušteni udio zračenja u području valne duljine vidljive svjetlosti u odnosu na osjetljivost ljudskog oka na svjetlost.



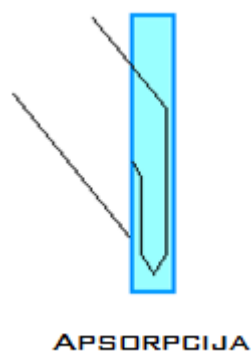
Slika 2.8. Prolaz svjetlosti kroz staklo

- Refleksija (slika 2.9.) zraka svjetlosti koja pada na neku ravninu reflektira (odbija) se tako da je upadni kut jednak kutu refleksije. Reflektirana je svjetlost uvijek manjeg intenziteta nego upadna jer dio energije upadne svjetlosti prelazi u drugo sredstvo (apsorpcija).



*Slika 2.9. Odbijanje svjetlosti od stakla*

- Apsorpcija (slika 2.10.) je pojava upijanja svjetlosti od strane nekih tijela.



*Slika 2.10. Upijanje svjetlosti*

Ta su svojstva u uskoj vezi sa sastavom stakla i neka se od njih mogu s priličnom točnošću izračunati.

Svjetlost se od stakla djelomično reflektira, djelomično se u njemu apsorbira, a preostali dio svjetlosti kroz staklo prolazi i izlazi.

Svjetlost se apsorbira tako što pobuđuje elektrone u staklu, pa je to glavni razlog ovisnosti optičkih svojstava stakla o elektronskoj konfiguraciji, odnosno o vrsti njegovih sastojaka. Od svake površine nekog uzorka običnog Na-Ca stakla reflektira se približno 4% od ukupne količine upadne svjetlosti dok je apsorpcija u kvalitetnom, nebojenom optičkom staklu izvanredno malena. Obojenost stakla rezultat je prisutnosti primjesa. Lom svjetlosti karakteristična je veličina mnogih propusnih medija i može se vrlo točno odrediti. Indeks loma ovisi o valnoj duljini svjetlosti i o temperaturi.

## 2.7. Kemijska svojstva

Vrlo važno svojstvo stakla je njegova kemijska postojanost. Općenito je postojanost kvalitetnog stakla prema vodi, kiselinama i lužinama dobra, no ovisi o sastavu stakla i djelujućem mediju te se značajno pogoršava s povišenjem temperature. Površina neotpornog stakla izloženog dužem djelovanju kemikalija postaje mutna i prekrivena sitnim pukotinama. Čisto alkalijsko silikatno staklo (vodeno staklo) potpuno je neotporno i otapa se u vodi.

Djelovanje većine kiselina na silikatna stakla očituje se u izmjeni kationa iz stakla, prije svega alkalijskih, s vodikovim ionima. Strukturno umreženje ostaje pri tome sačuvano, a na površini se stvara tanki sloj gela koji štiti staklo od daljnjeg razaranja. Silikatna su stakla neotporna prema fluoridnoj (HF) i koncentriranoj fosfornoj kiselini ( $H_3PO_4$ ) u kojima se otapaju.

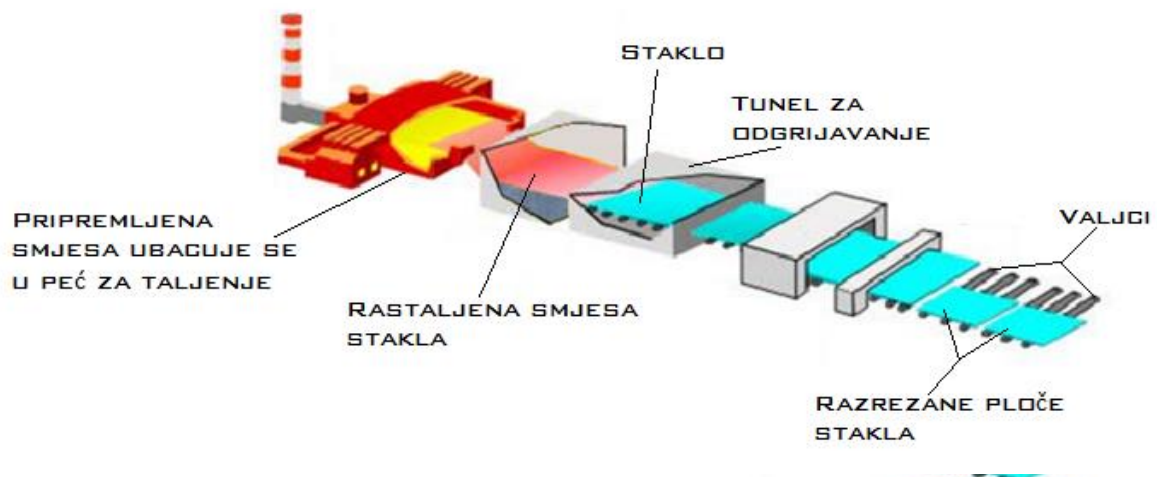
Silikatna stakla su mnogo osjetljivija prema djelovanju lužina u odnosu na kiseline. Jake lužine razgrađuju umreženu strukturu stakla kidanjem Si-O-Si veza (veza između silicijevih iona i kisika).

Djelovanjem vode na staklo dolazi do ionske izmjene vodikovih iona pri čemu se stvaraju skupine Si-OH (silicijev hidroksid), a ostaju hidroksidi oslobođenih metala pa se istodobno očituje i alkalijsko štetno djelovanje.

Zamjenom alkalijskih metala (elementi 1. skupine periodnog sustava: litij, natrij, kalij, rubidij, cezij i francij) u staklu s viševalentnim metalima (poput magnezija, kalcija, aluminijska) bitno se poboljšava kemijska otpornost stakla, zato su prema kemijskim utjecajima otpornija stakla s većim udjelom kalcijeva oksida (CaO), magnezijeva oksida (MgO), aluminijska oksida ( $Al_2O_3$ ), borova oksida ( $B_2O_3$ ) i sl. Osim silikatnog stakla prema kiselinama su vrlo otporna borosilikatna i aluminijsilikatna stakla, a prema lužinama su posebno postojana stakla koja sadrže cirkonijev oksid ( $ZrO_2$ ).

### 3. PROIZVODNI PROCES STAKLA

Grafički prikaz dobivanja stakla prikazan je na slici 3.1. Osnovne sirovine za dobivanje stakla (pijesak i soda) se dopremaju i skladište u silose. Kvarcni pijesak se istresa u usipni koš. Soda i pijesak se mogu dopremiti autocisternama ili željezničkim vagonima. Osoba koja upravlja peći za taljenje povremeno dolazi u upravljačku prostoriju mješaonice i prema određenim receptima namješta program rada - ispuštanje određenih sirovina u određenim količinama. U smjesu se dodaje i određena količina izmrvljenog stakla koje se dobiva mrvljenjem otpadnog stakla. Pripremljena smjesa se transportnim trakama doprema do peći za taljenje i dozirnim sustavom ubacuje u nju. U peći se na temperaturi oko 1800°C tali smjesa sirovina i prolazi kroz valjke koji ostavljaju određeni otisak. Upravljanje peći je automatizirano i njome se upravlja iz upravljačkog prostora. Potreban je povremeni nadzor cijelog sustava, dok je uglavnom trajni nadzor na izlazu lijevanog stakla iz peći (promatrač). U peći izgara prirodni plin putem plinskih plamenika koji su bočno raspoređeni na peći, u slučaju kvara upravljanje radom peći je ručno. Samo gorenje u peći se poboljšava ubacivanjem zraka u peć putem ventilatora koji koriste za pogon električnu energiju. Isto tako, transport stakla, vrtnja valjaka i transport sirovine se ostvaruju putem elektromotornih pogona. Vanjsko hlađenje peći vrši se putem vodenog i zračnog hlađenja, a oba medija se pogone putem pumpi i ventilatora koji koriste električnu energiju.



*Slika 3.1. Prikaz proizvodnog procesa stakla*

Ovisno o valjcima, odnosno uzorku, proizvode se više vrste stakla.

Nakon oblikovanja, iz peći izlazi staklena staza koja ulazi u tunel za odgrijavanje na kojoj se proizvod kontrolirano hladi. Na kraju linije, staklo se reže na određenu dužinu i pakira kao

završni proizvod i odlaže u skladište spremno za otpremu ili se odlaže u međuskladište na daljnju obradu. Tunnel za odgrijavanje koristi električnu energiju za grijanje i hlađenje stakla.

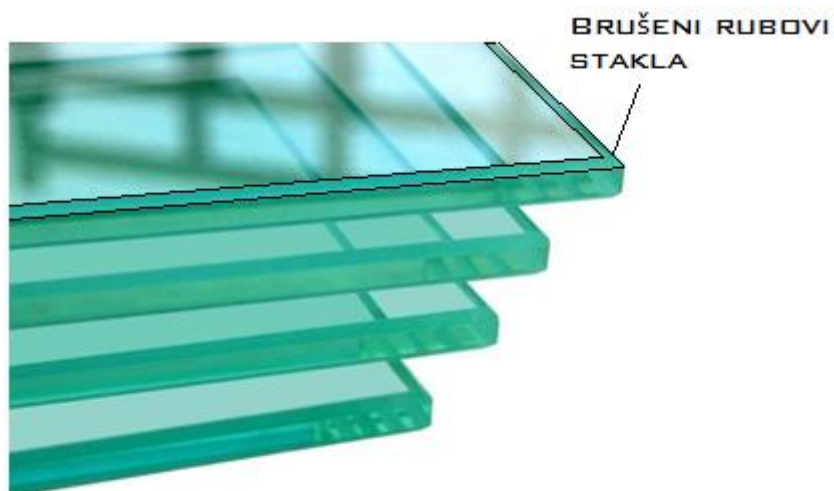
### 3.1. Rezanje i brušenje stakla

Rezanje i brušenje je zajedničko za sve proizvode. Staklo na prijenosnim policama se doprema viličarima do stolova za rezanje koji mogu biti automatizirani, što znači da pokretni uređaj uzima staklenu ploču i stavlja ju na stol (slika 3.2.). Na mjeru izrezane ploče se ponovno stavljaju na prijenosne police i prenose do stolova za brušenje.



*Slika 3.2. Stol za rezanje stakla*

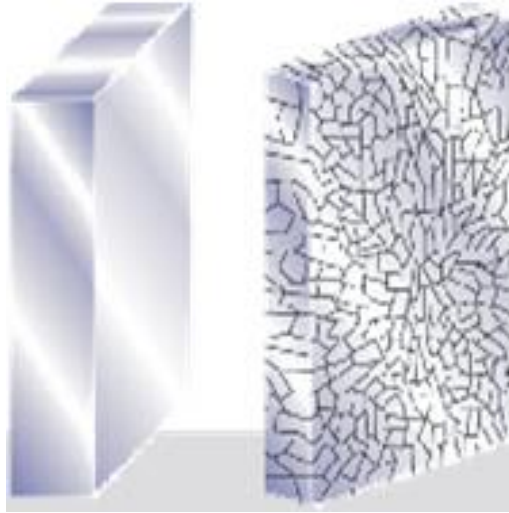
Brušenje se obavlja u mlazu vode ili s lokalnim uklanjanjem staklene prašine koja se pojavljuje kod brušenja. U obje faze se primarno koristi električna energija.



*Slika 3.3. Brušeni rubovi stakla*

### 3.2. Kaljenje stakla

Kaljenje je proces zagrijavanja stakla i naglog hlađenja pomoću zraka. Na taj način povećava se površinska napetost u staklu, tj. staklo je 4 do 5 puta čvršće nego normalno ne kaljeno staklo koje prilikom loma puca u sitne komadiće (tzv. sekurit, slika 3.4.).



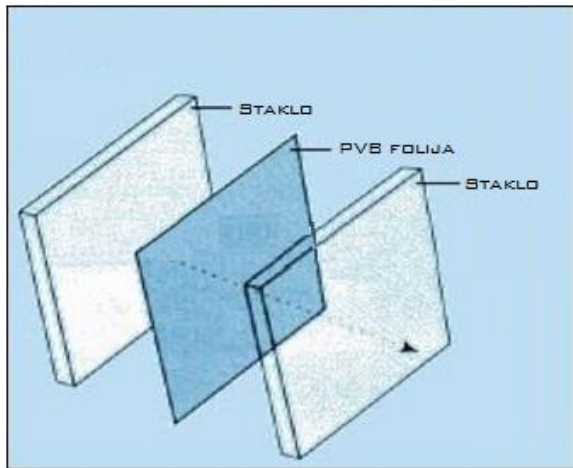
*Slika 3.4. Kaljeno staklo pri pucanju*

Bočna stakla na automobilima i autobusima moraju imati kaljena stakla. Kaljeno staklo može biti istovremeno i savijeno. To se postiže na način da se zagrijano staklo postavi na kalup te se pod vlastitom težinom ili putem prešanja savija na zadani oblik. Za zagrijavanje peći koristi se i električna energija. Rad je automatski, ali je ručno podešavanje pojedinih parametara postupka. Za naglo hlađenje koriste se snažni ventilatori koji su pogonjeni elektromotorima. Uz prostor kaljenja nalazi se prostorija s tlačnim ventilima te kompresorska stanica koja koristi električnu energiju.

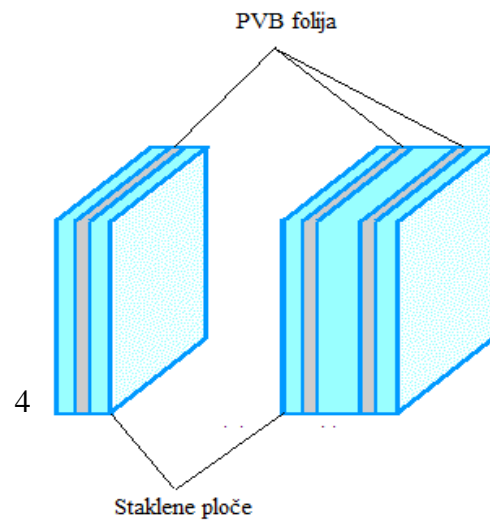
### 3.3. Laminiranje stakla

Laminiranje je postupak lijepljenja dviju (slika 3.5.) ili više staklenih ploča (slika 3.6.) pomoću PVB folije.





*Slika 3.5. Laminirano staklo sa dvoje staklene ploče*



*Slika 3.6. Laminirano staklo sa više staklenih ploča*

PVB (polivinil-butil) folija se u posebnoj sobi (izuzetno čista atmosfera i kontrolirani mikroklimatski uvjeti) umeće između stakla. Staklene plohe moraju biti čiste i odmašćene te se za tu svrhu koristi izopropilni alkohol. Na takav set (staklo/PVB/staklo) montira se gumeni prsten pomoću kojeg se sustavom vakuuma izvlači zaostali zrak. Set se istovremeno i zagrijava i transportira iz sobe u autoklav<sup>8</sup>. Procesom autoklaviranja koji traje oko 8 sati (temperatura oko 200°C i tlak od 12 bar-a) potiče se polimerizacija folije sa staklom koje se vrlo pouzdano slijepi jedno s drugim. Dosizanje temperature i tlaka postiže se električnim grijačima u autoklavu i kompresorima koji koriste električnu energiju.

Na taj način staklo dobiva veću čvrstoću i elastičnost, a ako dođe do loma, PVB folija drži krhotine stakla na sebi (slika 3.7.) i onemogućuje ozljeđivanje ljudi u blizini.



*Slika 3.7. Prikaz lomljenog stakla s PVB folijom*

<sup>8</sup> Grijana hermetička naprava za zagrijavanje stvari pod tlakom na temperaturu višu od njihova tališta.

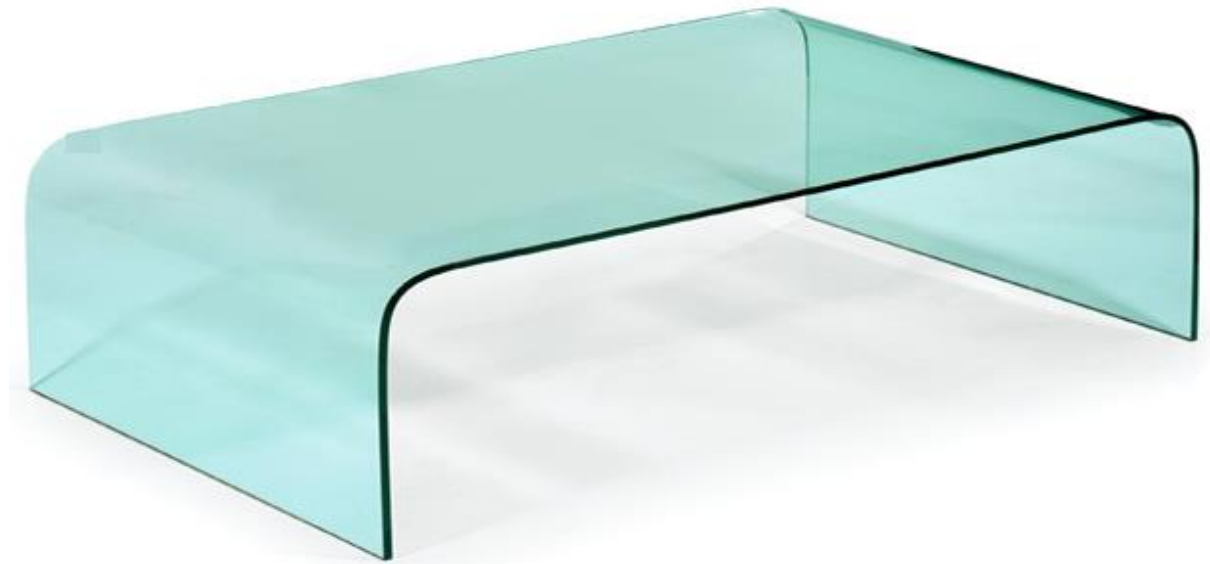
Prednja vjetrobranska stakla u auto industriji moraju biti laminirana. U građevinarstvu gdje postoji potreba za sigurnosnim staklom koristi se laminiranje.

Laminiranjem debljih stakala (10 mm) u više slojeva postiže se neprobojnost stakala. Ovisno o kompoziciji, moguće je proizvesti staklo koje je neprobojno na gotovo sve vrste vatrenih oružja. Upotreba ovakvih stakala je u auto industriji (neprobojna stakla na vozilima), građevinarstvu (neprobojna stakla za banke, mjenjačnice, vojne objekte i sl.).

Za razliku od kaljenog stakla, laminirano se staklo prilikom pucanja ne raspada u male komadiće, već ono ostaje zalijepljeno za foliju. Time se smanjuje mogućnost od ozljeda prilikom pucanja stakla. Laminirana stakla mogu biti ravna (stakleni stol) ili zakrivljena (prednje vjetrobransko staklo na automobilu). Zakrivljena stakla prije postupka laminiranja moraju proći proces savijanja.

### **3.4. Savijanje stakla**

Savijanje je proces u kojemu se ravno float staklo stavlja u posebne peći gdje se nalaze kalupi za savijanje. Zagrijavanjem stakla do točke plastičnosti (450-500°C), ravno staklo položeno na kalup se počinje savijati uz pomoć gravitacije i na kraju poprima oblik kalupa (slika 3.8).



*Slika 3.8. Primjer savijenog stakla*

Kada se savijaju stakla za laminiranje, odjednom na istom kalupu se savijaju dva ili više stakala kako bi bila što manja odstupanja i kako bi se u procesu laminiranja moglo dobiti staklo sa što većim stupnjem prijanjanja.

### 3.5. Sitotisak

Je proces nanošenja boje na staklo. Odrezano, obrušeno i oprano staklo se doprema do sitotiskarskog stroja koji vrlo precizno putem sita (na kojemu se nalazi negativ potrebnog oblika) nanosi boju na staklo. Nakon toga staklo s bojom se transportira u peć za sušenje gdje se boja učvrsti na staklu.

Ovaj postupak se koristi u proizvodnji staklenih vrata na kuhinjskim pećnicama, polica za hladnjake, u proizvodnji stakla za namještaj i, kao što je navedeno, u industriji automobila. Zadnje staklo na automobilima ima ugrađene grijače koji su zapravo tanke linije boje koje sadrži srebro (slika 3.9.).



*Slika 3.9. Grijači u staklu napravljeni putem sitotiska*

Kada kroz te linije pustimo električnu energiju radi električnog otpora razvija se toplinska energija koja grije staklo. Neki tipovi automobila imaju crne rubove na staklima koji se isto proizvode putem sitotiska.

## 4. VRSTE STAKLA

### 4.1. Float staklo

Kada kažemo "float staklo" (slika 4.1.), mislimo na obično ravno, najčešće potpuno prozirno staklo, ono koje svakodnevno koristimo u najvećem broju slučajeva.



*Slika 4.1. Float staklo*

Takvo staklo je danas najrasprostranjenije i sve se više koristi u arhitekturi bilo da se radi o interijerima ili eksterijerima odnosno fasadama, nadstrešnicama, prozorima, vratima ili pregradnim stijenama, ogradama i slično.

Takvo je staklo moguće tretirati u samoj proizvodnji, na primjer dodavanjem pigmenta, mijenjajući mu tako boju, ili naknadno, površinski, bilo jednostrano ili obostrano mijenjajući mu tako svojstva što se najčešće odnosi na kontrolu prolaza sunčeve svjetlosti, toplinske energije, isto tako i UV zračenje i sl.

Spomenuta „float“ stakla tretirana na spomenute načine, uobičajeno se nazivaju; obojena, reflektirajuća, low-e, low iron, antibakterijska, stakla otporna na ogrebotine, ogledala, lakirana, itd.

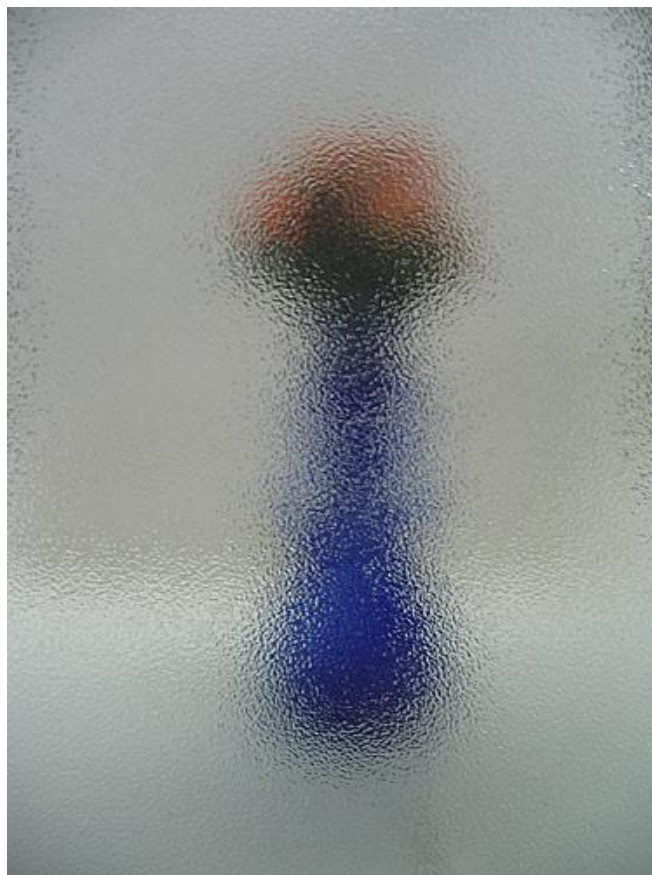
Osim toga, takva stakla se radi dodatne sigurnosti i čvrstoće mogu termički obrađivati kaljenjem, zatim postupkom laminiranja kod kojeg se između dvije ili više staklenih površina stavlja plastična folija, koje također ima više vrsta, debljina, boja, te stupnja providnosti.

Savršeno ravna i glatka površina stakla idealna je podloga i za nanošenje površinskog sloja boje, koja može biti polu ili potpuno netransparentna, ima vanjsku primjenu, poput fasada, nadstrešnica, vjetrobrana, pregrada, i slično, te također u interijerima gdje postaje atraktivna obloga zida, namještaja, ili radne površine.

Ovo se staklo najčešće koristi u današnje doba u građevinarstvu i za dobivanje gotovo svih staklarskih proizvoda. Dostupan je u debljinama od 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19 te 25 mm. Može biti bojano u masi ili na njega stavljen neki nanos te se iz njega izrađuju i ogledala

#### **4.2. Ornament stakla**

Ornament stakla su dekorativna stakla (slika 4.2.) koja se dobijaju tako što se tokom proizvodnje prozirnog "float" stakla šare uzorka utiskuje na jednu ili oba dvije strane.



*Slika 4.2. Ornament staklo*

Postoji mnogo vrsta ornament stakala, većinom u debljini od 4mm. Providnost stakla zavisi od gustine i strukture ornamenta. Ornament stakla se najčešće primenjuju na mjestima gde je poželjno neprovidno staklo koje ipak propušta dovoljno svjetlosti.

Većinom se koriste za zastakljivanje ulaznih vrata, pregradnih sobnih vrata, vrata kuhinjskih elemenata, radionica, garaža, kupaonica.



### **4.3. Polu-reflektirajuće staklo**

Polu-reflektirajuće staklo se tijekom procesa proizvodnje boji u taljevini, a to znači da je staklena masa obojena određenom bojom već u peći. Boja stakla, osim dekoracije, daje polu-reflektirajućem staklu svojstvo "upijanja" svjetlosti i toplinske energije. Time proširuje mogućnosti primjene i bogatstvo izražaja. Primjenjuje se kao podloga za proizvodnju reflektirajućih stakla i ogledala, a u svom osnovnom obliku u automobilske industriji, proizvodnji namještaja, te u građevinarstvu za uređenje interijera, dok je ugradnja u fasade smanjena zbog obaveze kaljenja radi izbjegavanja termo šokova (nagla promjena temperature).

Na polureflektirajuća stakla nanese se metalni oksid sa kojim se zapravo kombinira toplinska zaštita i refleksija. Polu-reflektirajuća stakla su tonirana stakla koja odbijaju zrake sunca, ali bitno manje nego reflektirajuća stakla, i upijaju dio svjetlosti i energije. Kroz polu-reflektirajuća stakla se vidi.

Polu-reflektirajuća stakla u debljini od 6mm uglavnom se upotrebljavaju za rezanje staklenih ploča za stolove i pultove.

Polu-reflektirajuća u debljini 4mm uglavnom se upotrebljavaju za proizvodnju termoizolacijskog stakla za drvenu, PVC i ALU stolariju.

### **4.4. Reflektirajuće staklo**

Reflektirajuće staklo (slika 4.3.) ističe se odličnim energetskim karakteristikama. Reflektirajuće staklo proizvedeno je na način da se tokom proizvodnje stakla, na još toplu masu, nanese prskanjem sloj selektivnih metalnih oksida koji su u tu masu utonuli.

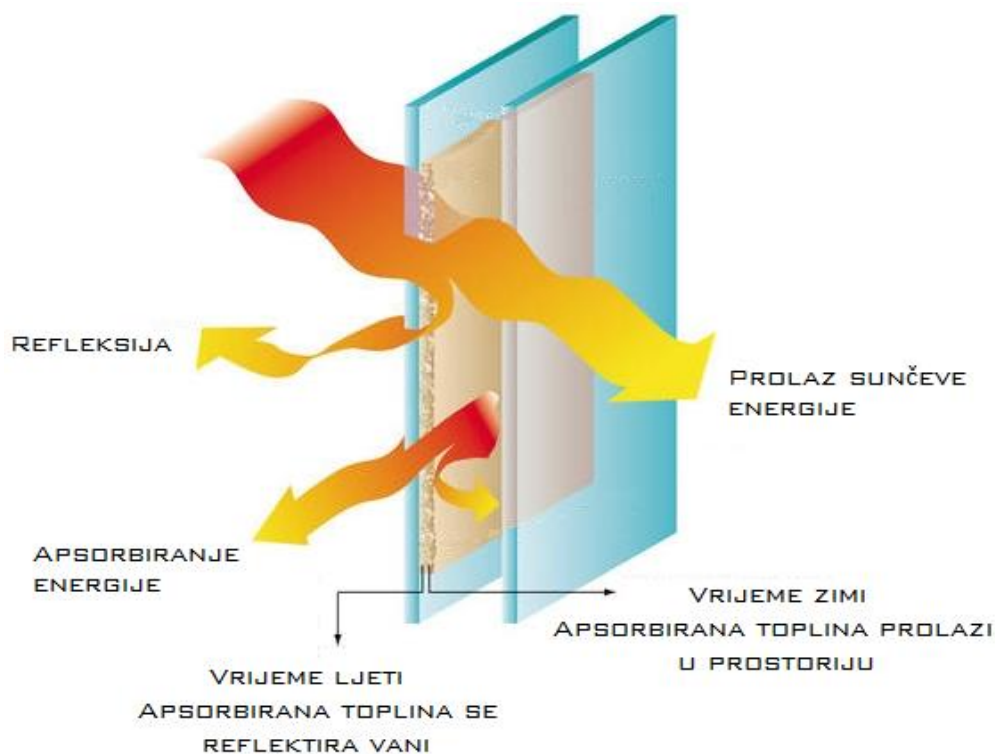


*Slika 4.3. Reflektirajuće staklo*

Reflektirajući sloj je trajno zaštićen staklenom masom i nije podložan nikakvim promjenama svojstva u bilo kakvom obliku kroz vrijeme. Njegova visoko reflektirajuća površina, čini ga čestim izborom kada je potrebno zakloniti unutrašnjost prostora od pogleda prolaznika.

Reflektirajuće staklo posjeduje specijalan zaštitni premaz koji smanjuje prodor sunčevih zraka i poboljšava toplinsku izolaciju prostorije. Taj premaz također proizvodi efekt ogledala kada se promatra reflektirajuće staklo sa prostora gdje ima više svjetlosti. Najčešće je vanjska svjetlost veća od unutrašnje, pa efekt ogledala ima kada se promatra reflektirajuće staklo od vani. Međutim, u slučaju kada je osvijetljena unutrašnja prostorija i kada je vani noć, efekt ogledala ima kada se promatra staklo iz unutrašnje prostorije.

Reflektirajuće staklo razdjeljuje sunčevu energiju na tri načina: jedan dio reflektira, drugi dio apsorbira, a treći dio prolazi kroz staklo (slika 4.4.)



*Slika 4.4. Ponašanje energije sunca na reflektirajuće staklo*

Glavna primjena ovog stakla je u proizvodnji termo-izolacijskog stakla za drvenu, metalnu, PVC i ALU stolariju.



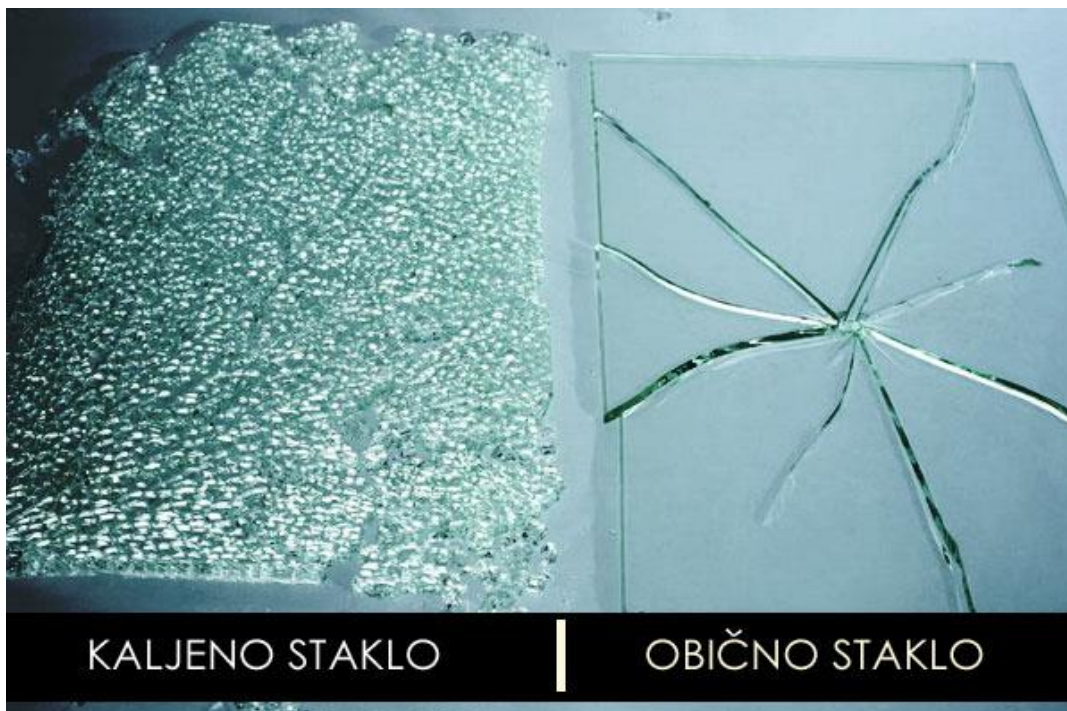
## 4.5. Sigurnosna stakla

### 4.5.1. Kaljeno staklo

Jedna vrsta sigurnosnog stakla dobiva se termičkim procesom koji se naziva kaljenje. Kaljeno staklo se proizvodi na taj način tako što se obično staklo zagrijava na temperaturu  $600^{\circ}\text{C}$  –  $650^{\circ}\text{C}$  i zatim se naglo hladi udarom zraka koji se vrši ravnomjerno na oba dvije strane stakla, sve dok se ne ohladi na temperaturu  $200^{\circ}\text{C}$  –  $320^{\circ}\text{C}$ .

Kaljeno staklo je fizički otpornije 4-5 puta u odnosu na obično staklo. Minimalan pritisak na površinu koju kaljeno staklo mora izdržati je  $120\text{ N/mm}^2$ , a tipičan pritisak loma je oko  $165\text{ N/mm}^2$ . Obično staklo puca na  $40\text{ N/mm}^2$ . Uz ove karakteristike kaljeno staklo ima i povećanu otpornost na promjene temperature i to  $\Delta T=150^{\circ}\text{C}$ .

Prilikom loma, kaljeno staklo se raspršuje u sitne komadiće (slika 4.5.) koji nemaju oštre rubove na koje bi se čovjek mogao povrijediti. Kaljeno staklo se ne može naknadno rezati ili obrađivati. Te postupke je potrebno učiniti prije kaljenja stakla.



*Slika 4.5. Lom kaljenog stakla naprema običnim staklom*

#### **4.5.2. Laminirano staklo**

Druga vrsta sigurnosnog stakla je laminirano ili pamplex staklo. Laminirano staklo čine dvije ili više debljine stakla koje su međusobno vezane specijalnom PVB (polivinil-butil) folijom. Laminirano staklo se ne raspršuje prilikom loma, već komadići ostaju vezani za središnju foliju. Laminirano staklo ne samo što ima odličnu čvrstoću već ima i izuzetno visok učinak UV zaštite.

#### **4.6. Savijeno staklo**

Zagrijavanjem stakla na visoku temperaturu (oko 600°C), dostiže se njegova granica plastičnosti, pa se potom oblikuje željeni oblik pomoću pripremljenih kalupa. Nakon dobivanja oblika se postepeno hladi zrakom.

#### **4.7. Vatrootporno staklo**

Štiti od plamena, dima i toplih. Vatrootporna stakla ne propuštaju toplinu u trajanju minimalno 30, 60, 90 ili 120 minuta, zavisno o potrebi. Izrađuju se od stakla lijepljenom folijom. Ovo staklo osigurava susjedne prostorije od požara, kao i sigurnu evakuaciju ljudi.

Obično staklo u smislu požarne sigurnosti upotrebljivo je samo uvjetno. Ako u neposrednoj blizini stakla dođe do požara, na njegovim površinama za nekoliko sekundi nastaju velike temperaturne razlike; u poprečnoj osi između grijane i hladne površine, a u horizontalnoj i vertikalnoj osi između sredine i ruba stakla.

Rezultat tih razlika jest nastanak napetosti. Vrlo brzo nakon toga staklo se lomi, a djelići slomljenog stakla ispadaju iz okvira i požar se može nesmetano širiti u susjedne prostore.

Vatrootporna stakla se koriste za sve objekte, koji osim potrebnog prirodnog svjetla i vidljivosti, moraju zadovoljiti i uvjet vatrootpornosti.

Osnovni cilj je da postavljena vatrootporna stakla moraju omogućavati prvenstveno učinkovito gašenje te spašavanje ljudi i imovine.

Zbog toga su zadaci protupožarnih stakala tako su vrlo kompleksni:

- štite put za evakuaciju,
- sprečavaju preskakanje požara,
- ograničavaju požarne pojaseve,
- čuvaju život i imovinu i

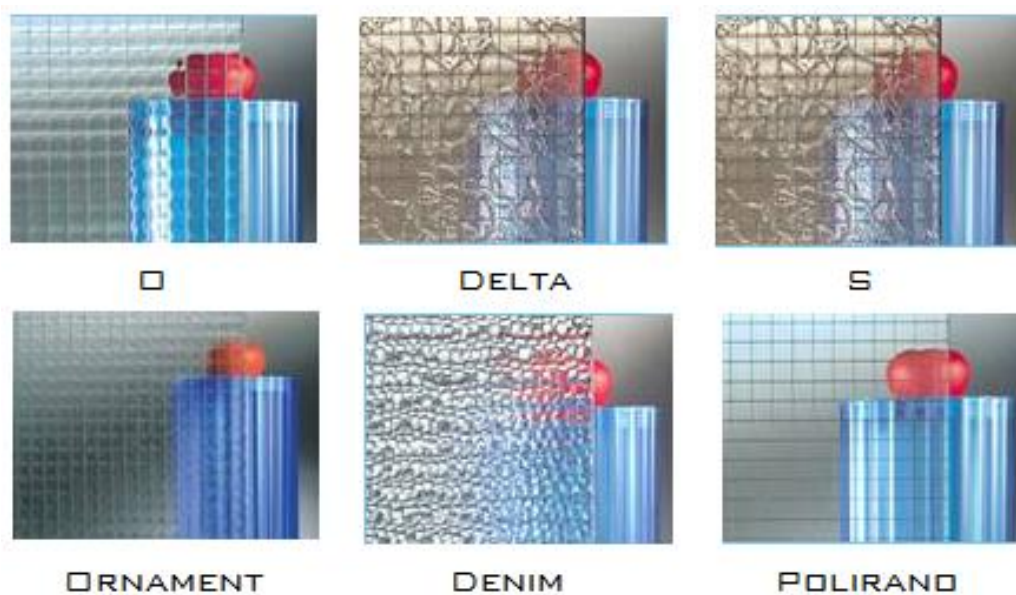
- omogućuju evakuaciju zgrade.

Ta ostakljenja moraju ispunjavati i sljedeće uvjete:

- moraju omogućavati estetski izgled i sigurnost fasade,
- moraju osiguravati višefunkcionalnost fasade,
- omogućavati ostakljivanje velikim površinama i
- omogućavati pojednostavljenje sustava ostakljivanja.

#### 4.8. Žičano staklo

Žičano staklo sadrži žičanu mrežu u sredini stakla. U slučaju razbijanja stakla žica omogućava zadržati staklo da se ne rasipa. Idealno je za garaže, krovista, balkonske ograde i takva područja gdje "industrijski" izgled nije neprivlačan. Žičano staklo, u principu, nije sigurnosno staklo jer djelovi puknutog stakla ipak imaju oštre rubove. Žičano staklo se proizvodi kao čisto i mutno (ornament). Modeli žičanog stakla su: „O“, „S“, „Denim“, „Atlantic“ ili „Ornament“, „Delta“, „Polish“ (Slika 4.6.).



Slika 4.6. Modeli žičanog stakla

#### 4.9. Izolacijsko staklo

Najrašireniji oblik primjene stakla. Nekad su se u prozore i vrata ugrađivala jednostruka stakla. Danas se svi prozori i vrata (osim sobnih) izrađuju sa izo-staklom. Tako se dvostruko

smanjuje gubitak topline, utjecaj buke je manji i održavanje je jednostavnije. Dakle, izolacijsko staklo ušteduje, trajnije je i sigurnije.



Slika 4.7. Struktura izolacijskog stakla

To je kombinacija dva ili više stakla (slika 4.7. A) koja su rubno spojena pomoću metalnog šupljeg profila (distancer najčešće od aluminija, debljine 6-22 mm, C) koji je ispunjen molekularom (zincima koja sprečavaju nakupljanje vlage između stakala, D). Staklo i metal spojeni su butilom (E) koji se nanosi na profil u vrućem stanju te ima funkciju ljepila i izolacije. Kvalitetno izo staklo potom obavezno mora proći kroz prešu da se dobije kompaktniji i trajniji proizvod. Završni dio je kitanje gustom smjesom (F) kojim se na rubu izvede izuzetno kvalitetno brtvljenje te tako zaštićuje međuprostor izolacijskog stakla od prodora vode da ne bi došlo do kondenzacije i zamagljenja unutrašnjeg dijela izo stakla.

Najčešće se izo-staklo izrađuje od dva float (prozirna) stakla najmanje debljine 4 mm. Sve se više radi na način da se jedno ili oba stakla zamjenjuju sa drukčijim staklima sa boljim karakteristikama: low-e (termoizolirajuće staklo - smanjuje gubitak topline za čak 60%), kaljenim (povećane čvrstoće i otpornosti), metalikom (reflektira i smanjuje prolaz svjetla), ornamentom (ukrasna stakla), pjeskarenim (zaštita od pogleda ili zbog dobivanje logotipova i drugih dekorativnih oblika), lamistalom (sigurnosim staklom).

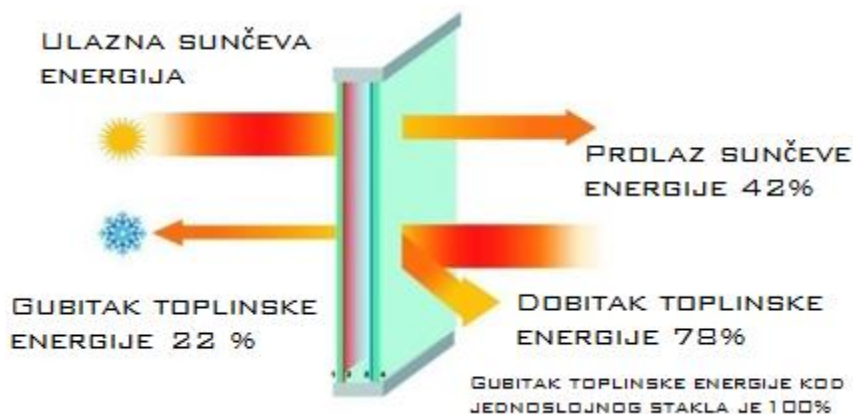
Niti jedno izolacijsko staklo ne bi smjelo imati jedno od stakla tanje od 4 mm. U međuprostoru se nalazi zrak, ali sve više se puni sa plinom (argon, krypton) koji svojim svojstvima poboljšava izolaciju tj. sprečava protok energije.

Estetski dio razvio se u posljednjih desetak godina te se vrlo često između stakala stavljaju ukrasni profili raznih oblika. Najčešće se koriste zlatne (mesing) lajsne širine 10 mm i bijele lajsne uobičajenih širina 10, 18 i 26 mm. Postoje i profili u drugim bojama (srebrna, smeđa, crna), ali rijetko se upotrebljavaju u praksi.

Također između dva stakla stavljaju se i venecijaneri koji se mogu okretati, dizati ili spuštati na mehanički način, automatski način ili pomoću daljinskog upravljača. Tako imamo zaštitu koji ne trebamo održavati jer je izolirana čak i od prašine. Kod ovakvog proizvoda distancer je debljine 18-27 mm.

#### 4.10. Nisko emisiono staklo (Low-e)

Termo izolirajuće (slika 4.8) staklo koje smanjuje gubitak topline za 60% u usporedbi sa klasičnim izolacijskim staklom. Na površini stakla nalazi se mekani nanos tankog sloja od metalnih oksida. Djeluje kao reflektor i zadržava temperaturu u prostoriji. Sloj je okrenut prema unutrašnjosti izolacijskog stakla tako da ga je nemoguće oštetiti. Količina energije koja prolazi kroz staklo mjeri se koeficijentom „U“ u ( $W/m^2$ ). Stari naziv za U faktor bio je „k“ faktor. Izgleda poput običnog float stakla, a često se takav proizvod naziva termo izolacijsko staklo. Smanjuje se mogućnost kondenzacije vodene pare između stakla. Prema zapadno-europskim zakonima U (k) faktor mora biti minimalno 1.5-2.0  $W/m^2K$ . Standardna debljina iznosi 4 mm.



Slika 4.8. Low-e nisko emisiono staklo

## 5. OBLIKOVANJE STAKLA PUHANJEM (Praktični dio)

Puhanje stakla je prije svega umjetnost. Postoji više tradicionalnih tehnika, koje, u kombinaciji, mogu proizvesti različite oblike.

Postoje dva glavna pristupa puhanju stakla – iz peći i na plameniku. Peć je starija metoda, i na taj način nastaju prekrasne vaze i svjetiljke. Tehnika rada na plameniku je noviji izum, prvenstveno zbog toga što drevne civilizacije nisu imale na raspolaganju cilindre s komprimiranim plinovima. Plamenik je alat izbora za ulične i umjetničke sajmove jer je lako prenosivi, te se također upotrebljava u klasičnoj izradi laboratorijskih aparatura i pribora.

Staklopuhač mora obaviti neke predradnje prije nego što stvarno krene puhati, a jedna od tih radnji je i sam izbor stakla. Izbor stakla je od iznimne važnosti. Staklopuhači rade sa staklom koje se topi na nižim temperaturama. Najčešće upotrebljavano staklo je borosilikatno staklo. Jeftino je i ima nisko talište. To ga čini pogodnim za upotrebu u pećima i na relativno hladnijem plamenu plamenika. (Na većim temperaturama plamena izgara i postaje lomljivo.)

Temperatura i veličina plamena od velikog su značaja. Važno je da staklopuhač bude u mogućnosti zagrijavati dio stakla koji želi dovesti do stupnja taljenja, ostavljajući druge dijelove netaknute. Količina zraka/kisika koja se propušta u plamenik kontrolira temperaturu plamena, dok je količina dovoda propana ili zemnog plina zaslužna za kontrolu veličine plamena. Za velike izratke potreban je veći plamen, dok sama temperatura ima više veze s vrstom stakla koja se koriste. Rad na plameniku daje puno precizniju kontrolu nad plamenom. Regulaciju tih parametara (kisik i acilen) u peći puno je teže izvesti.

Kontrola temperature je također važna jer se neujednačenim zagrijavanjem može stvoriti naprezanje unutar jednog komada stakla, jer se različiti dijelovi hlade i skupljaju različitom brzinom. Previše naprezanja u staklu može uzrokovati nastanak pukotina ili da se stakleni komad razbije pri najlakšem dodiru – pa čak i sam od sebe. Srećom, naprezanja se mogu vidjeti ako stakleni predmet gledamo kroz polarizirano svjetlo, kojeg dobivamo pomoću refleksije na staklenim pločama pomoću specijalnih prizmi izrađenih od kalcita<sup>9</sup> i eliminirati korištenjem peći u kojoj sporo i pažljivo zagrijavamo, a zatim hladimo cijeli komad kad je dovršen.

---

<sup>9</sup> Kalcit je vrsta vrlo raširenog minerala građenog od kalcijeva karbonata u obliku heksagonskih kristala.

Da bi staklopuhač oblikovao staklo, mora biti u mogućnosti primijeniti pritisak iznutra (u samom izratku) kojim kontrolira širenje stakla. Jedini način da to ostvari jest da postoji samo jedan otvor u staklu kroz koji umjetnik može puhati. Vještím dizajniranjem postiže se uvjet da uvijek imaju samo jedan otvor za rad.

Ako je otvor za puhanje na hladnom dijelu staklenog komada, može se puhati izravno u njega, ali ako taj uvjet nije zadovoljen mora se pribjeći upotrebi posebnih alata. Najčešće se koriste cijevi ili crijeva. Na taj način se stvara razmak između usana i topline.

Središnja značajka puhanja stakla je stalno okretanje staklenog komada zbog utjecaja gravitacije. Rastaljeno staklo će curiti, stvarajući nepravilne oblike i stijenke neujednačene debljine, osim ako se stalno ne okreće.

### **5.1. Postupak izrade figure „Istarski boškarin“**

Boškarin je bijelo-sivo govedo dugih rogova koje živi u Istri i simbol je regije. Koristio se u poljoprivredi za oranje polja, za tegljenje kamenja za gradnju kuća, a njegovo meso i mlijeko farmeri su koristili kao hranu. No kada je došlo do modernizacije, a prvi traktori uvedeni za ubrzanje rada na polju, broj boškarina počeo je naglo opadati pa je tako 90-tih godina prošloga stoljeća ostalo samo nekih stotinjak boškarina.

### **5.2. Borosilikatno staklo**

Borosilikatno staklo (slika 5.1.) sadrži mali postotak borova oksida. Odlikuje se malim temperaturnim koeficijentom linearnoga rastezanja i vrlo je postojano prema naglim promjenama temperature, pa se rabi za proizvodnju laboratorijskoga posuđa.



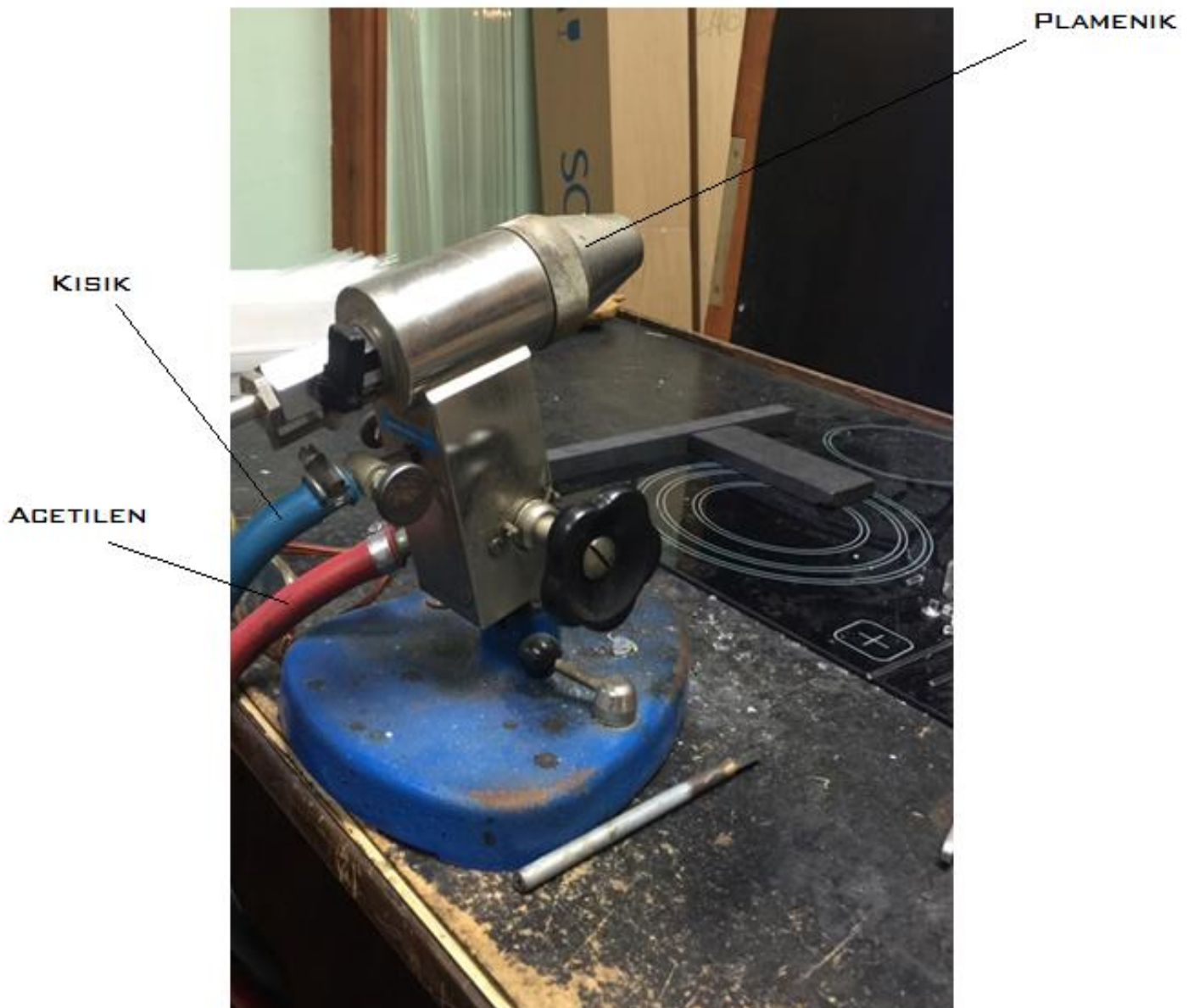
*Slika 5.1. Eprueta od borosilikatnoga stakla*



### 5.3. Alat staklopuhača

Staklopuhači se služe raznim alatom koji im pomaže u izradi raznih figura i suvenira. Većinom alat kojim se staklopuhači služe izrađen je po njihovom zahtjevu.

Staklo puhači koriste plamenik (slika 5.2.) kako bi mogli borosilikatno staklo zagrijati na temperaturu oko 1000°C gdje se staklo počinje taliti pa je pogodno za oblikovanje.



*Slika 5.2. Plamenik*



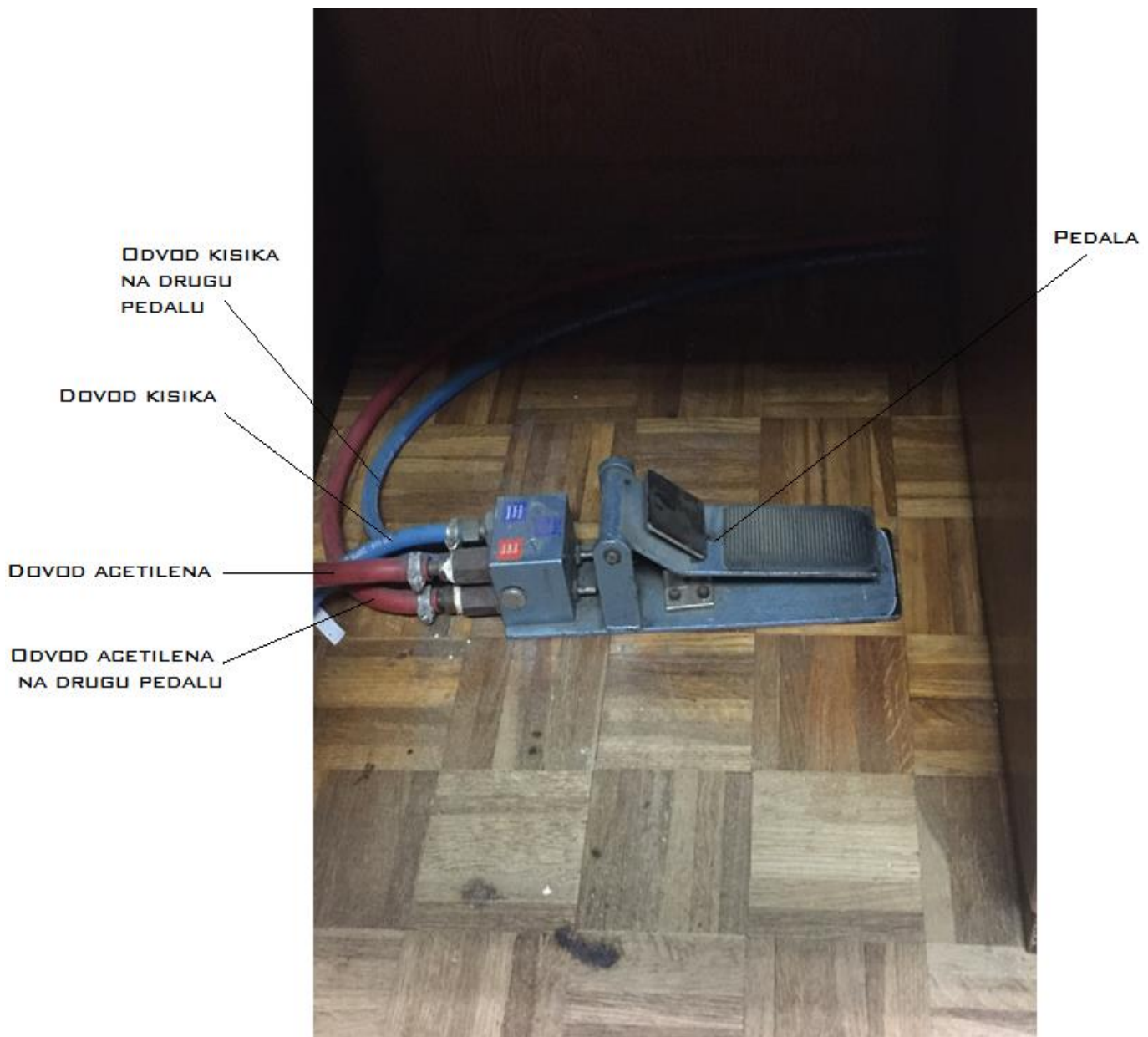
Plamen na plameniku nastaje izgaranjem dvaju plinova, kisik ( $O_2$ ) i acetilen ( $C_2H_2$ ) koji su pohranjeni u bocama (slika 5.3.) i postiže temperaturu od približno  $2800^{\circ}C$ . Acetilen je zapaljiv plin, a kisik podržava/pospješuje gorenje.



*Slika 5.3. Spremnici (bombule/boce) kisika i acitilena*

Radi uštede plina, na tlu se nalazi pedala (Slika 5.4.) sa ventilom na koju staklopuhač gazi nogom radi puštanja smjese plinova da bi se mogli sagorjevati plinovi, kisik i acetilen koji

sačinjavaju plamen, a otpušta je nakon zagrijavanja stakla, radi nepotrebnog sagorjevanja plinova dok se određeni dio stakla oblikuje.



*Slika 5.4. Pedala za regulaciju plamena*

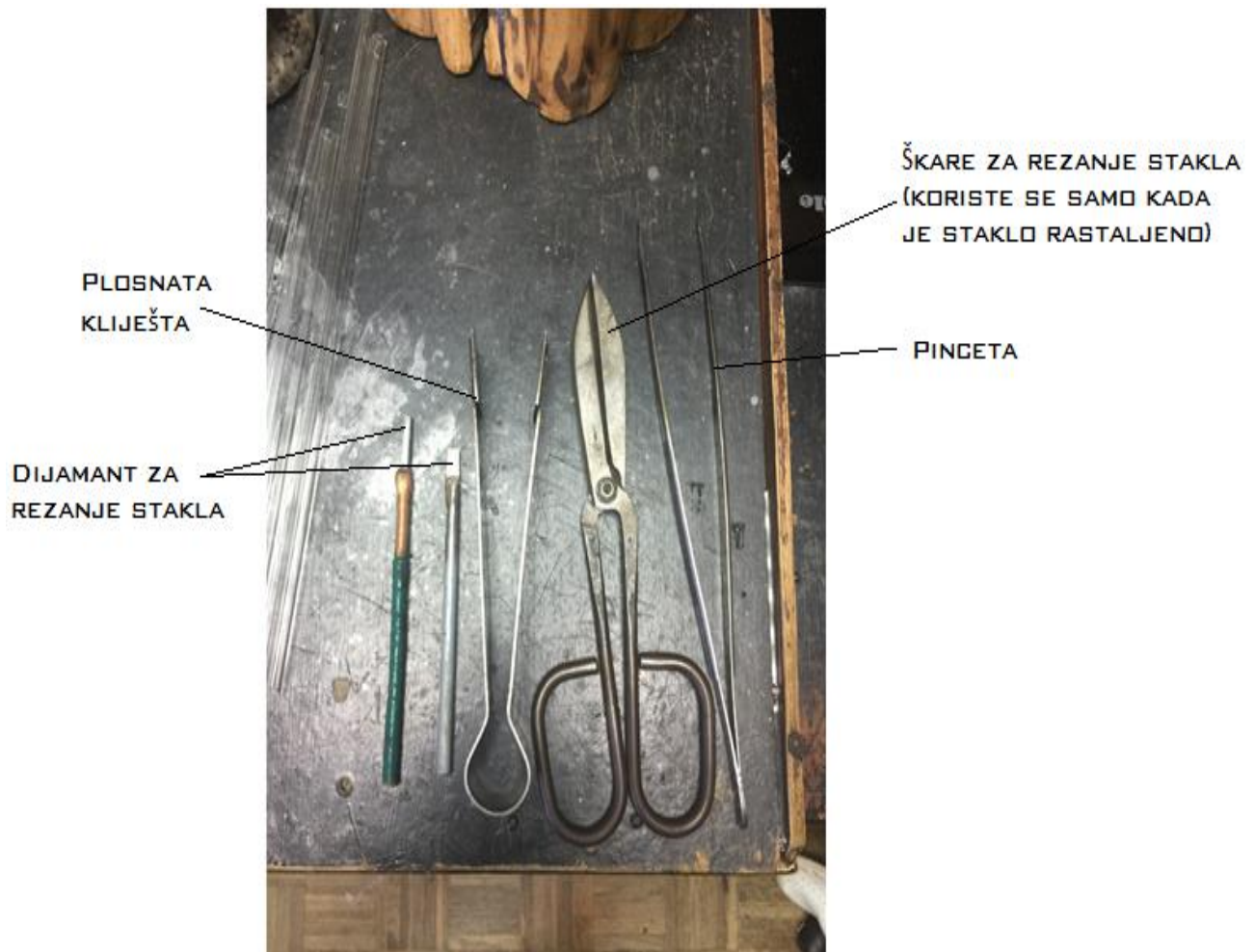
Staklo koje staklopuhač koristi za izradu suvenira i figura dolazi u obliku cijevi, pa ovisno o figuri koja se radi, potrebna količina stakla koju staklopuhač odredi po dugogodišnjem iskustvu, zareže se dijamantom pa se savijanjem staklene cijevi odlomi potreban dio.

Plosnata kliješta služe za pravljenje različitih detalja, npr kada se staklo koje je u obliku cijevi rastali, nastaje okrugla taljevina koja se plosnatim kliještima uhvati i pretisne, pa se rastaljeni dio stakla spljošti i poprima plosnati oblik.

Škarama se reže staklo, ali samo kada je staklo rastaljeno jer je u „tekućem obliku“ pa se može škarama rezati staklo, dok staklo u krutom stanju nije moguće rezati škarama jer bi zbog svoje krhosti popucalo.

Pincetama raznih veličinama staklopuhači se služe da bi rastaljeni dio stakla mogli rastegnuti i oblikovati ga prema potrebi da bi staklo poprimilo željeni oblik.

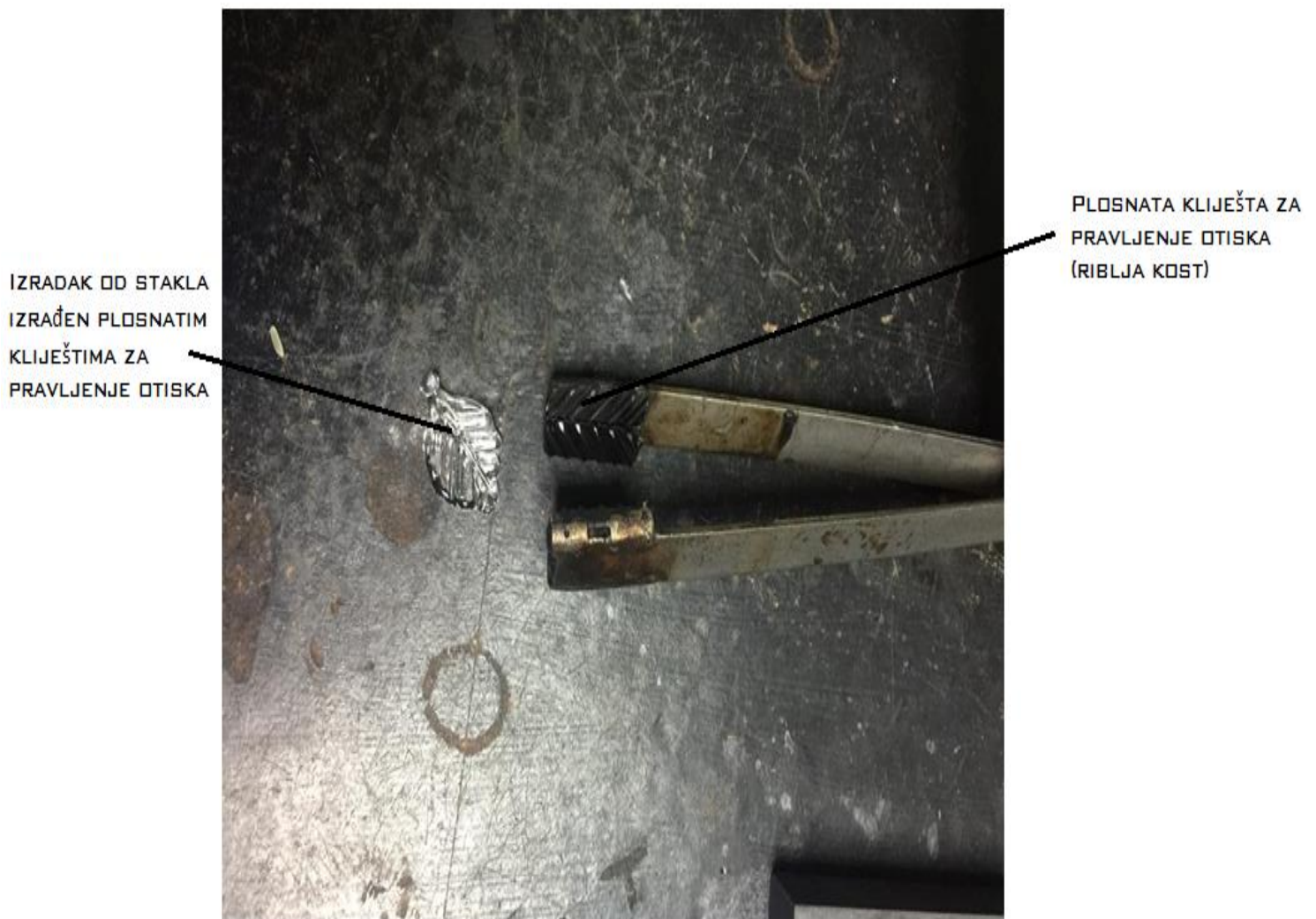
Na slici 5.5. prikazani su gore opisani alati.



*Slika 5.5. Dijamant za rezanje stakla, plosnata kliješta, škare za rezanje stakla i pinceta*

Postoje i plosnata kliješta koja na sebi imaju različite uzorke, koriste se tako da se staklo koje je najprije oblikovano prema željenom obliku rastali pa se kliještima stisne oblikovano staklo i otisne se željeni otisak ovisno o izvedbi kliješta.

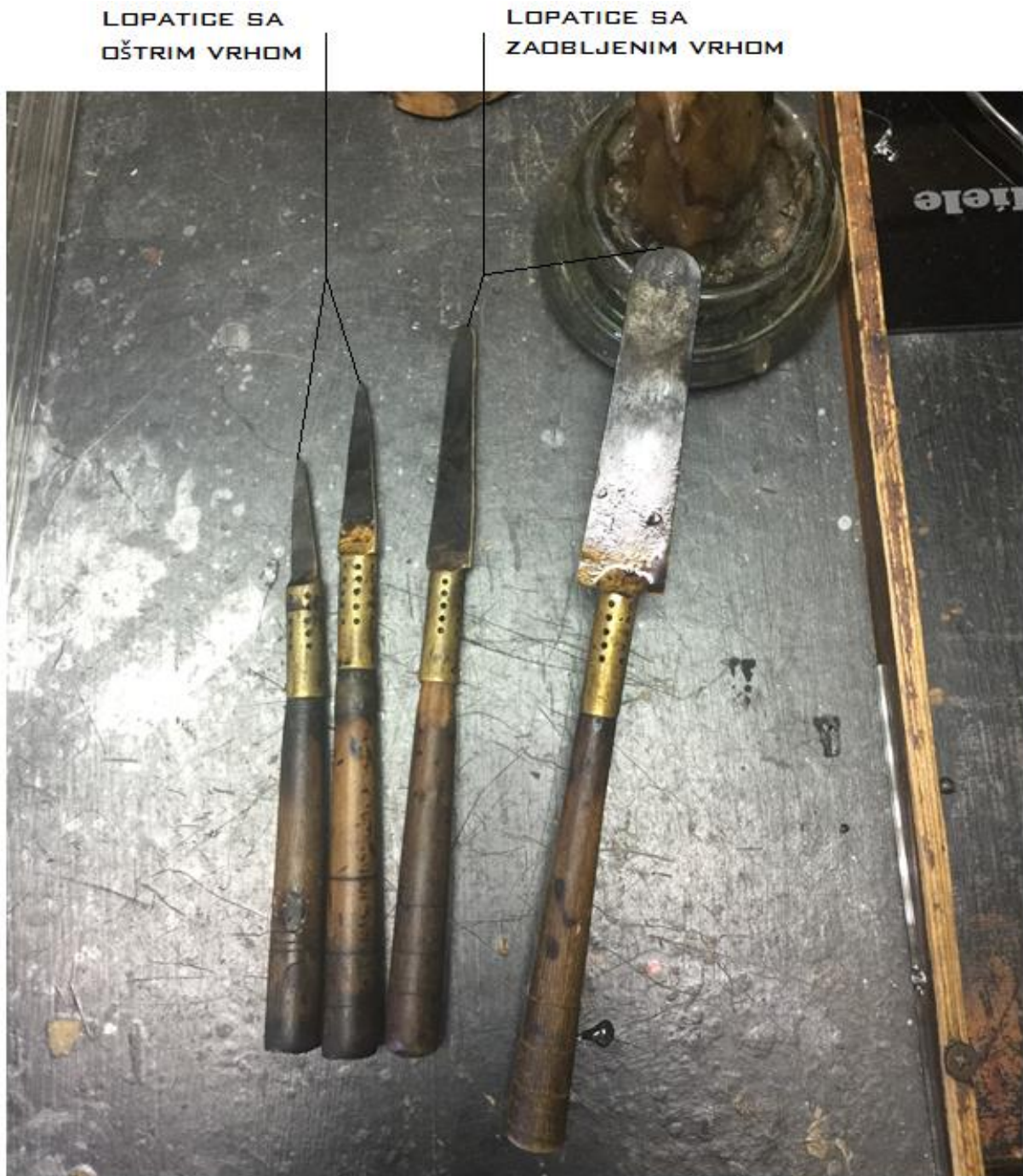
Slika 5.6. prikazuje plosnata kliješta koja na sebi imaju otisak u obliku riblje kosti. Staklo koje se najprije oblikovalo u obliku lista, ponovno se grijalo plamenikom da se rastali i kliještima otisne riblja kost da bi staklo dobilo pravu formu lista, detalje.



*Slika 5.6. Plosnata kliješta za pravljenje otiska*



Malene lopatice (slika 5.7.) koje staklopuhači koriste za oblikovanje stakla, najčešće upotrebljavaju za oblikovanje ruba stakla da bi se dobio plosnati oblik, npr stalak čaše. Postoje lopatice sa oštrim vrhom i lopatice sa zaobljenim vrhom.



*Slika 5.7. Lopatice za oblikovanje stakla*

Prije korištenja lopatice, one se najprije griju pa se mažu pčelinjim voskom da se staklo nebi zaljepilo za lopaticu.

Pčelinjin vosak (slika 5.8.) je prirodni vosak koji izlučuju pčele i od njega grade saće.



*Slika 5.8. Pčelinjin vosak (star 30 godina)*

Prirodna specifična težina kod temperature od 15°C iznosi 0,956kg. +, - 0,003kg. Točka taljenja pčelinjeg voska je od 58 - 64°C i daleko je veća od običnog parafinskog voska gdje je ona već na 30°C. Na temperaturi iznad 65°C pčelinji vosak postaje tekuć i može se prihvatiti za vlakna stijenja za svijeću. Tamnija ili žuta boja se u vosku stvara njegovim kontaktom sa zrakom. Boja ovisi i od prisustva cvijetne peludi te propolisa.

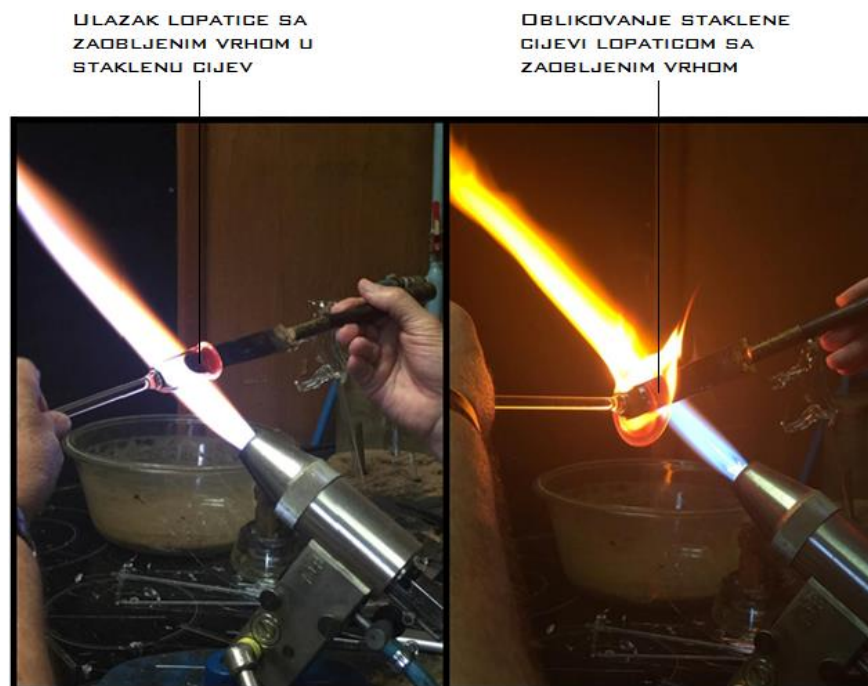


Slika 5.9. prikazuje kako staklopuhač koristi lopaticu sa oštrim vrhom pomoću koje napravi malu rupu na zataljenom staklu, te daljnim ulaskom lopatice u zataljeno staklo pravi veću rupu.



*Slika 5.9. Oblikovanje stakla lopaticama*

Nakon korištenja lopatica sa oštrim vrhom, potrebno je koristiti lopatice sa zaobljenim vrhom kako bi se dodatno oblikovala i proširila rupa na staklenoj cijevi, te dobio konačni izgled dna čaše (slika 5.10).



*Slika 5.10. Oblikovanje lopaticama*

Koriste se i razni držači (slika 5.11.) kojima se staklopuhači služe za držanje izradaka prilikom izrade.



*Slika 5.11. Držać za staklo*



Prilikom izrade složene figurice (npr. figurica boškarina) staklopuhač mora na figurici izraditi četiri noge iste duljine da bi figurica bila u ravnoteži (ne smije biti klimava). To se radi na taj način da se figuricu postavi na grafitnu površinu (slika 5.12.) jer se na grafit ne lijepi staklo i onda se gleda koju nogu treba ponovno zagrijati da bi se je moglo produžiti.

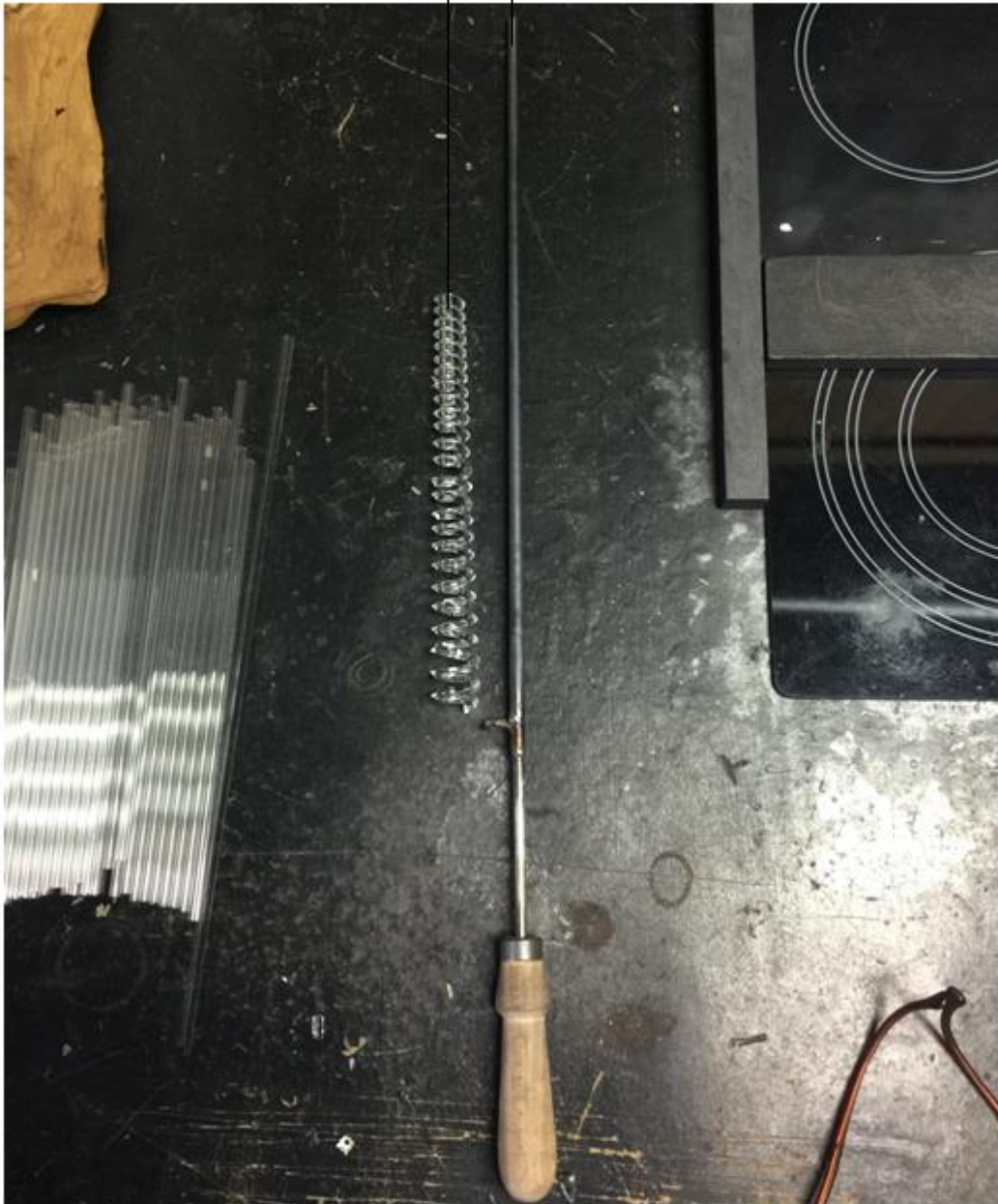


*Slika 5.12. Grafitna ploča sa držačem*

Štap za savijanje stakla (slika 5.13) upotrebljava se kada je potrebno od staklene šipke ili cijevi napraviti spiralu. Koristi se na taj način da se staklena šipka ili cijev rastali na početku te se uhvati na jedan kraj šipke za savijanje, te se daljnjim taljenjem staklene šipke ili cijevi vrti štap za savijanje i na taj se način pravi staklena spirala.

STAKLENI IZRADAK  
IZRAĐEN ŠTAPOM ZA  
SAVIJANJE

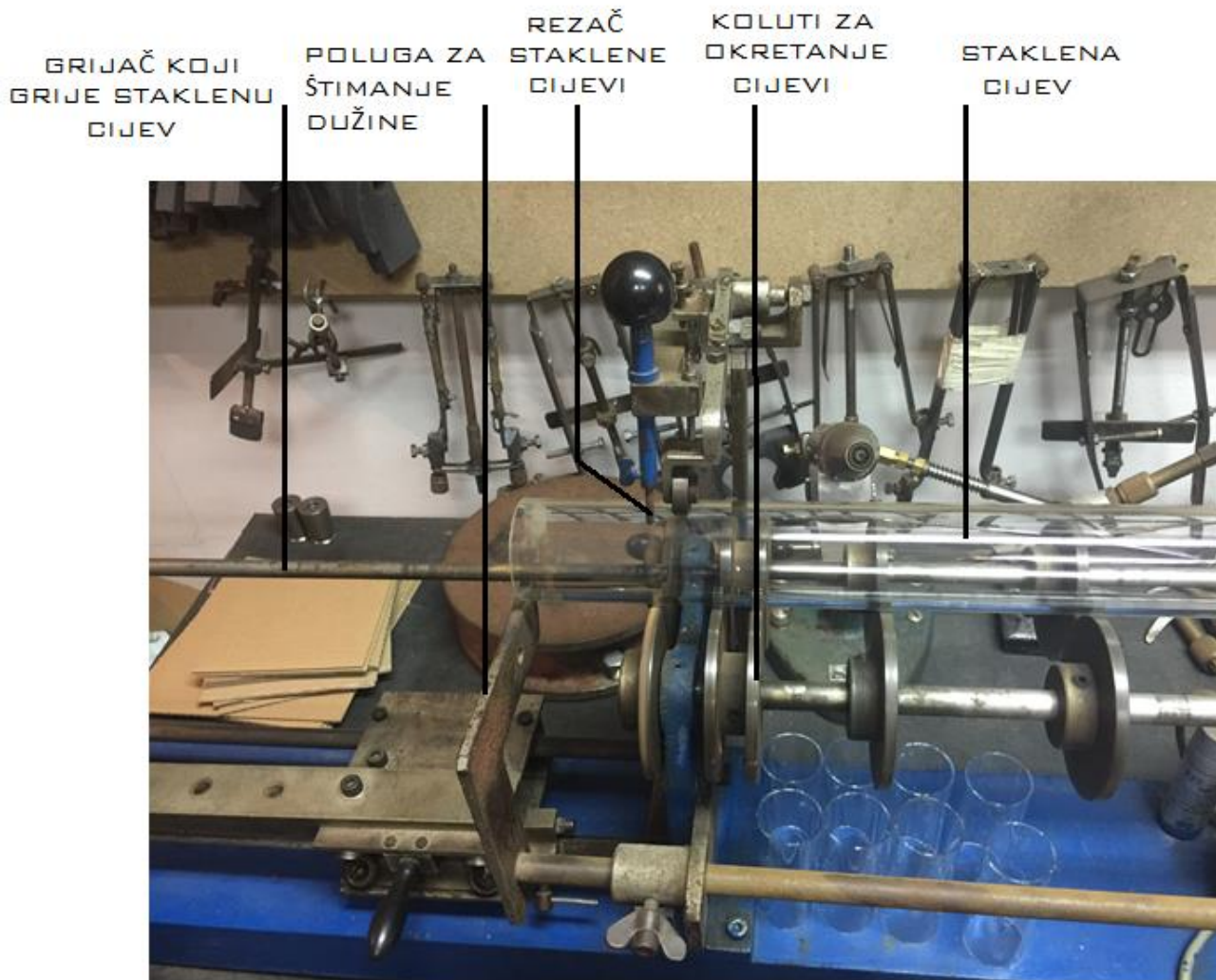
ŠTAP ZA SAVIJANJE



*Slika 5.13. Štap za savijanje stakla*

Kao što je već navedeno, staklene cijevi režu se na taj način da se zarežu kristalom pa se željeni komad odlomi, ali za izradu nekih drugih proizvoda, gdje cijevi moraju biti iste duljine, režu se sa strojem za rezanje staklenih cijevi.

Stroj za rezanje staklenih cijevi (slika 5.14). radi na princip da se staklena cijev postavi na stroj i naštima se da stroj izreže staklenu cijev na određenu duljinu. U staklenoj cijevi nalazi se šipka koja se zagrijava, a za to joj je potrebna električna energija. Kako se šipka grije, tako se i staklena cijev grije, ali samo na mjestu gdje je potrebno prerezati staklenu cijev. Staklena cijev se nalazi na kolutima koji se okreću i na taj se način staklena cijev rotira. Na staklenu cijev koja je zagrijana i koja se rotira, pomoću poluge, na nju se spušta rezač koji na vrhu ima dijamant i reže staklenu cijev na potrebnu dužinu.



Slika 5.14. Stroj za rezanje stakla



Slika 5.15. prikazuje staklene cijevi izrezane na istu duljinu strojem za rezanje.

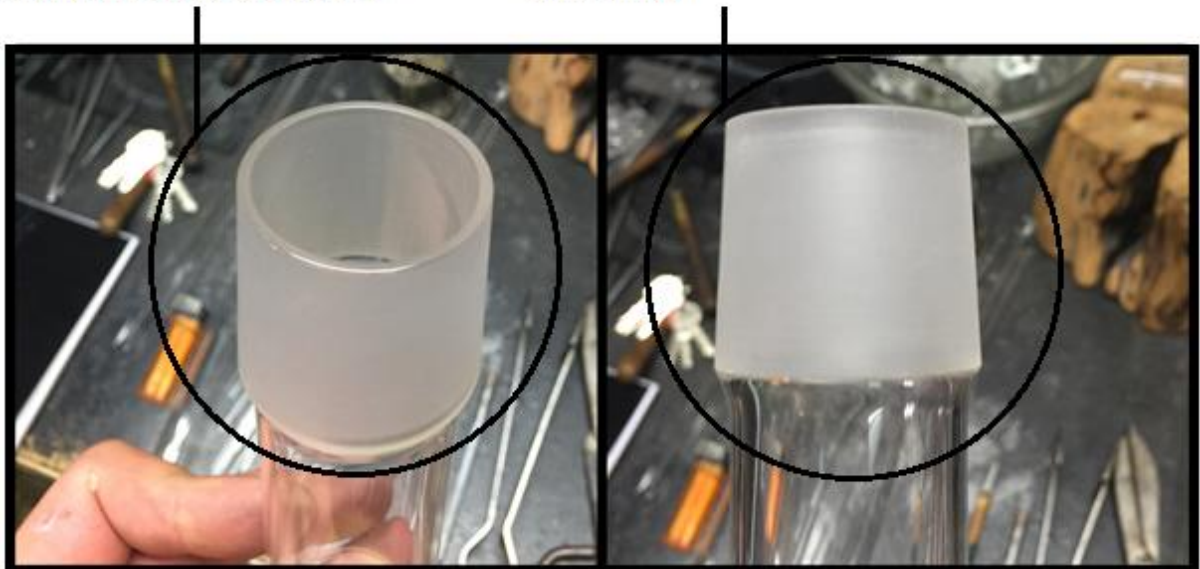


*Slika 5.15. Staklene cijevi*

Alat sa kojim se još staklopuhač služi su razne vrste svrdla koje upotrebljava kada se rade proizvodi čije rupe moraju bit određenog promjera (slika 5.16), pa na tom dijelu staklenog proizvoda staklopuhač mora nanijeti više stakla da bi se dobio određeni promjer rupe.

**RUPA ODREĐENOG PROMJERA  
NAPRAVLJENA SVRDLOM**

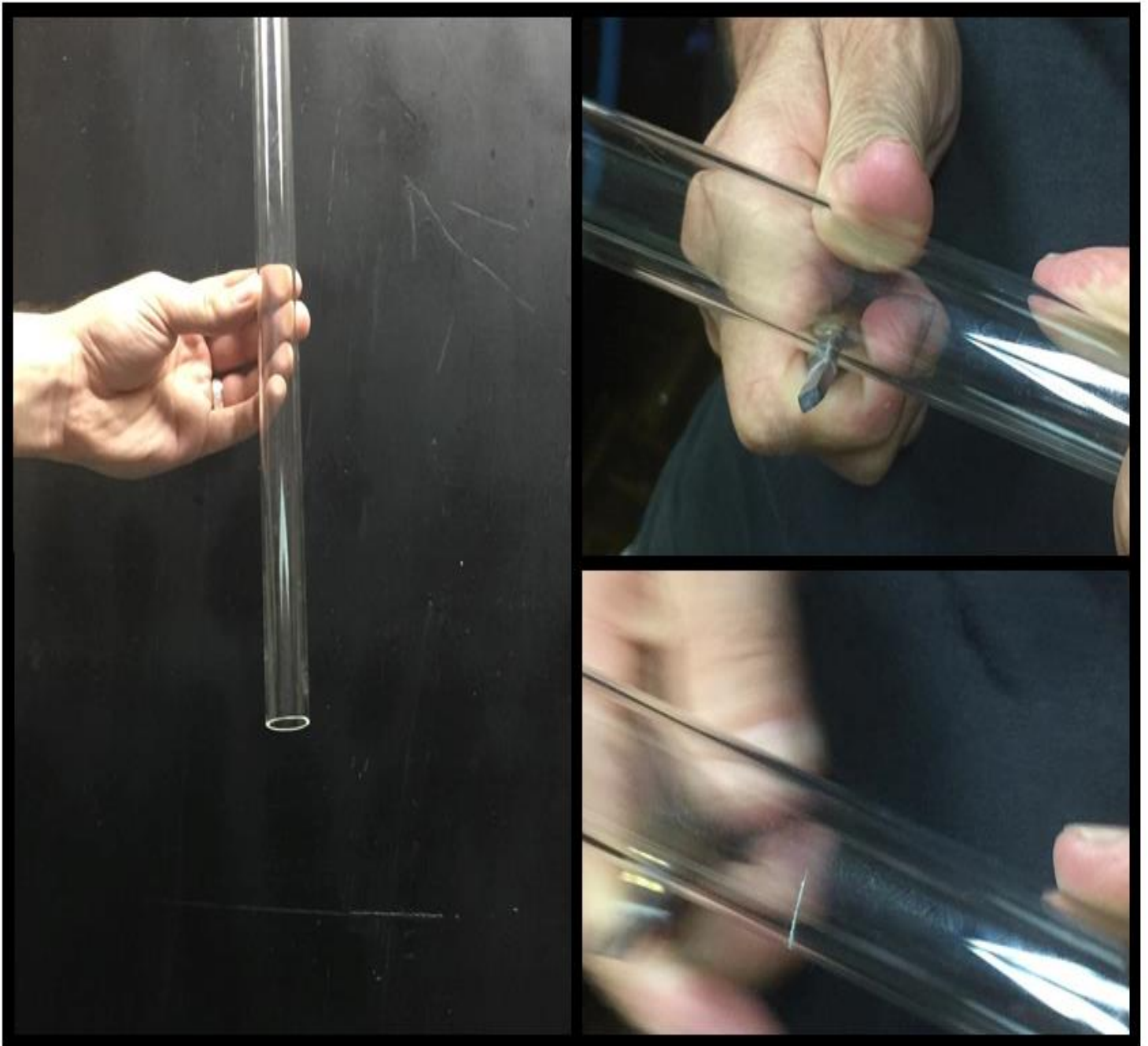
**IZGLED VANJSKOG DIJELA RUPE OBRADENE  
SVRDLOM**



*Slika 5.16. Obradena staklena cijev sa svrdlom*

#### 5.4. Izrada suvenira

Prvi korak pri izradu figurice je da se odabere staklena cijev određene debljine. Ovisno o veličini figurice staklena cijev se zareže dijamantom (slika 5.17.) na onoj duljini cijevi koja je potrebna za izradu figurice te se lomi potreban dio staklene cijevi.



*Slika 5.17. Staklena cijev i zarez staklene cijevi sa dijamantom*

Odrezan dio stakla se uzima i počinje se taliti na plameniku (slika 5.18.), na taj način da ga staklopuhač drži u rukama i rotira. Pošto je staklo slab prijenosnik topline staklo se zagrijava samo na onom djelu gdje se zagrijava plamenikom, pa ga je zbog toga moguće držati u rukama prilikom izrade figurice.



*Slika 5.18. Taljenje stakla*



Kada se staklo zatali, jedan kraj stakla se zatvori dodavanjem stakla na otvoreni kraj staklene cijevi (Slika 5.19.) da bi se moglo puhati u staklo i pomoću zraka koji se zatvara u staklu praviti oblike, a drugi kraj se razvuče da bi se promjer cijevi smanjio te je lakše rukovanje sa obratkom i veći pritisak zraka prilikom puhanja.



*Slika 5.19. Pripremljeno staklo za izradu figurice*

Na slici 5.19. vidi se da staklopuhač u ruci drži još jedan dio stakla, staklenu šipku koja se također tali i taljevina od staklene šipke dodaje se na obrađeni dio izratka (slika 5.20.).



*Slika 5.20. Taljenje staklene šipke*



Slika 5.21. prikazuje prvobitni izgled noge, koji je nastao dodavanjem taljevine na izradak sa rastaljene staklene šipke.

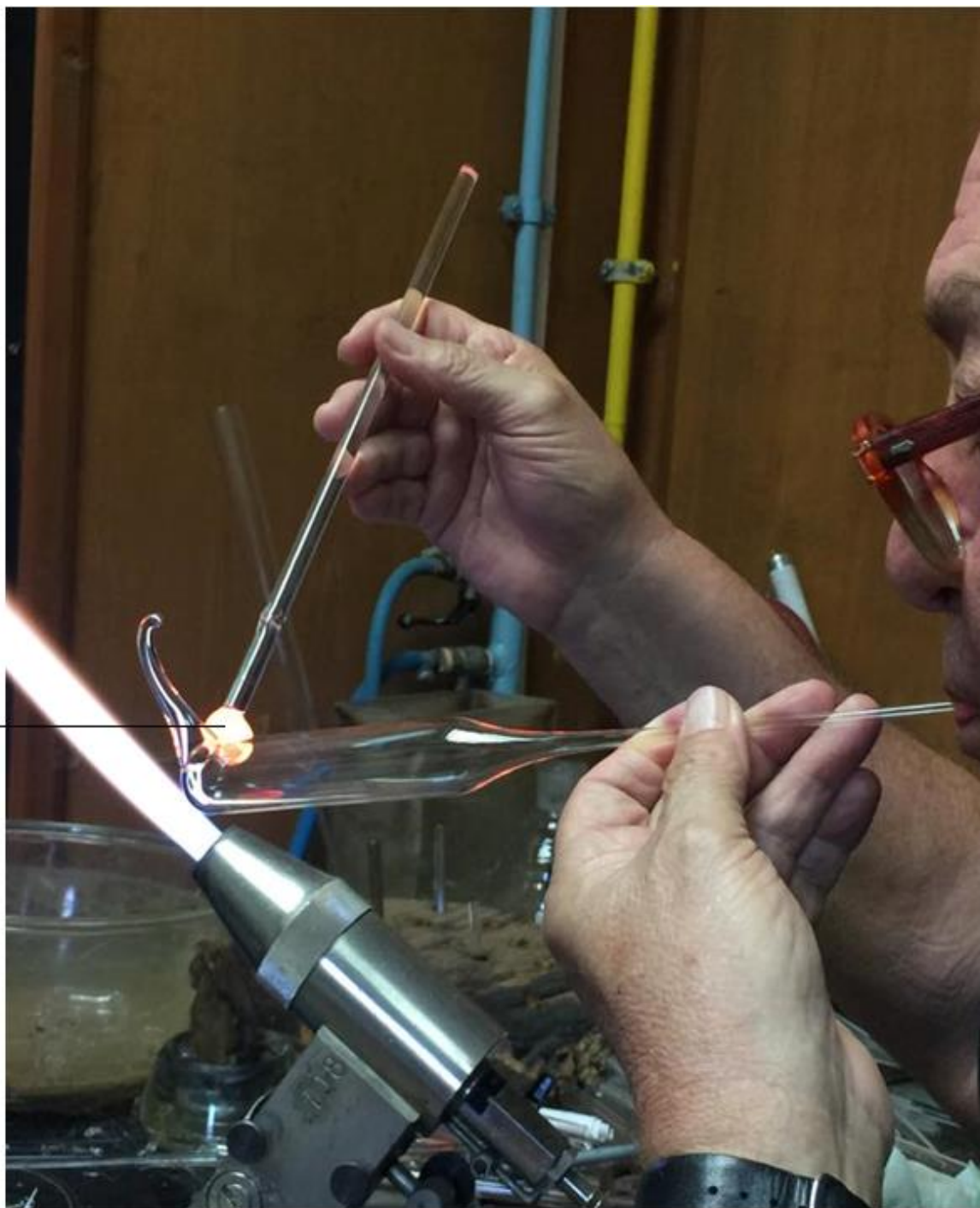


*Slika 5.21. Formiranje prvobitnog izgleda noge*

Staklopuhač je pincetama za oblikovanje formirao prvobitan izgled koji će se kasnije oblikovati dok se ne dobije realan izgled.

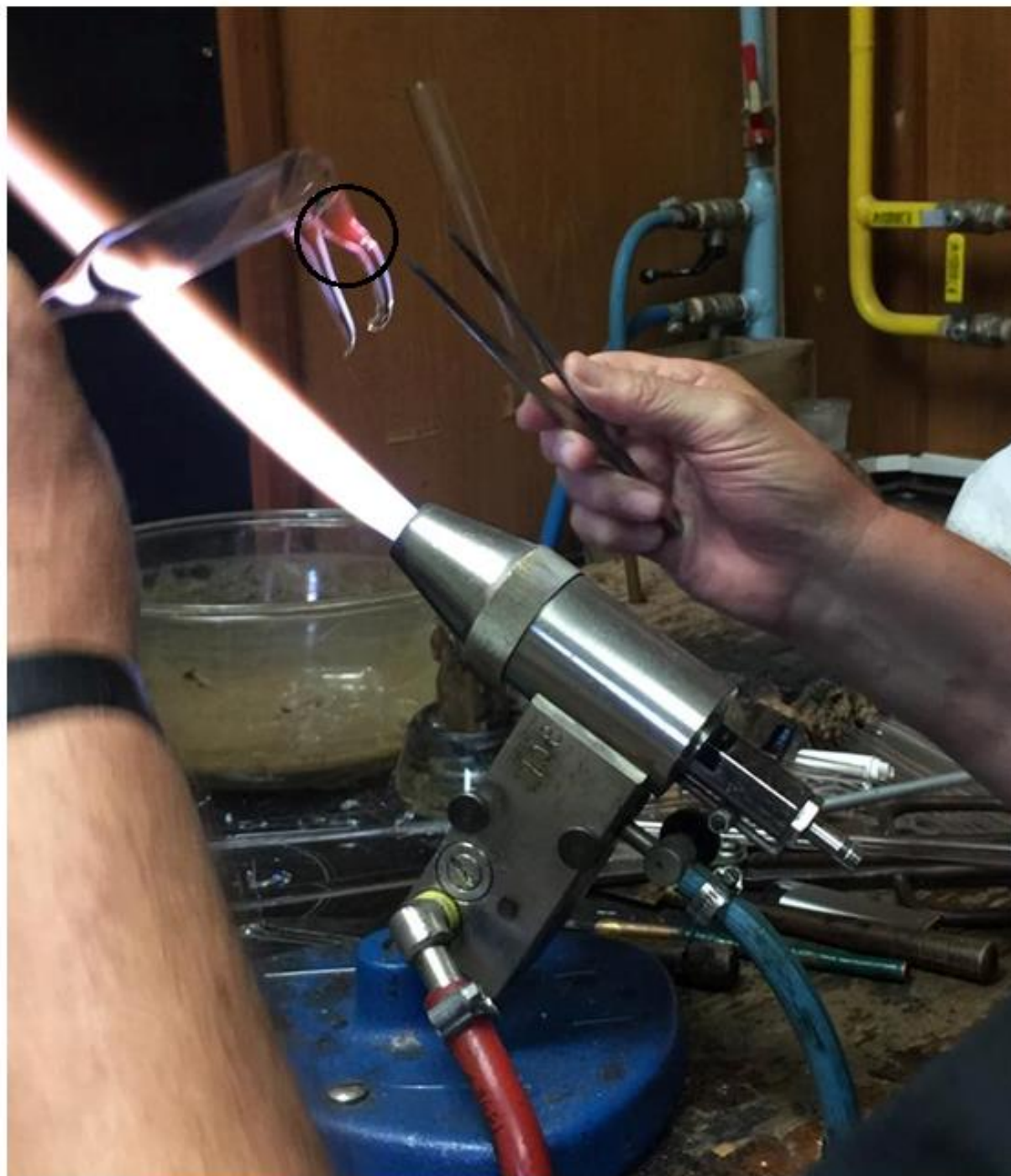
Isti postupak ponavlja se i sa drugom nogom, a na slici 5.22. vidi se dodavanje taljevine na izradak koji će se oblikovati da se dobije prvobitna figura noge.

DODAVANJE TALJEVINE



*Slika 5.22. Dodavanje taljevine na obradak za pravljenje druge noge na izratku*

Prvobitni model noge ponovno se tali i pincetom se oblikuje gornji dio noge (slika 5.23.), but i koljeno figurice.



*Slika 5.23. Oblikovanje gornjeg dijela noge*

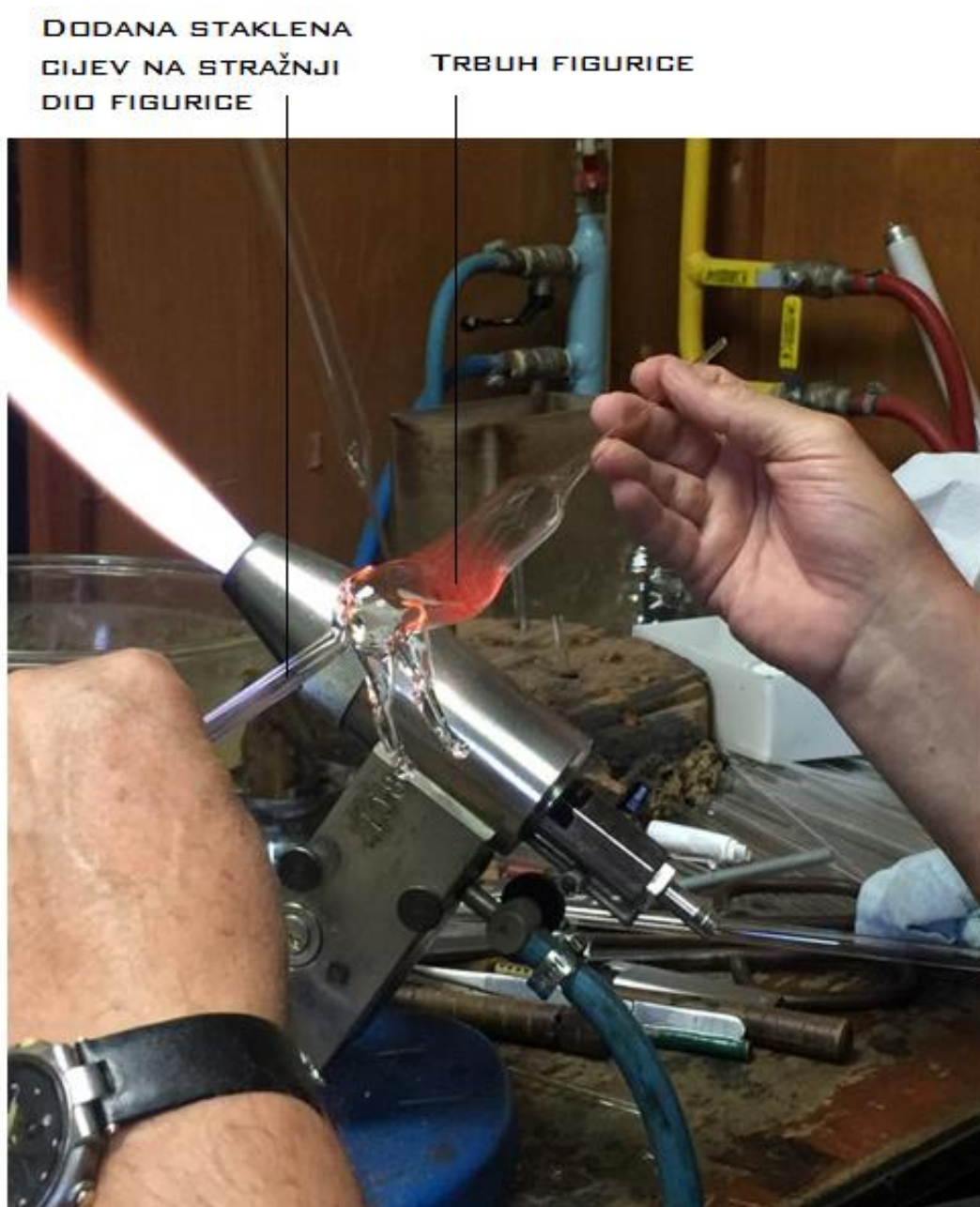


Kada se završi sa oblikovanjem gornjeg dijela noge (but i koljeno) na slici 5.24. prikazano je kako staklopuhač oblikuje doljni dio noge, kopito.



*Slika 5.24. Oblikovanje donjeg dijela noge*

Kada se završi sa oblikovanjem zadnjih nogu, tada je potrebno oblikovati prednji dio izratka, a to se odnosi na izradu glave, oči, uši, rogove i prednje noge.



*Slika 5.25. Dodavanje staklene cijevi na stražnji dio obratka*

Prednji dio izratka izrađuje se na način da se dodaje staklena cijev na stražnji dio izratka (slika 5.25.) kako bi kroz nju staklopuhač mogao puhati zrak, i držati izradak za oblikovanje prednjih nogu i glave.

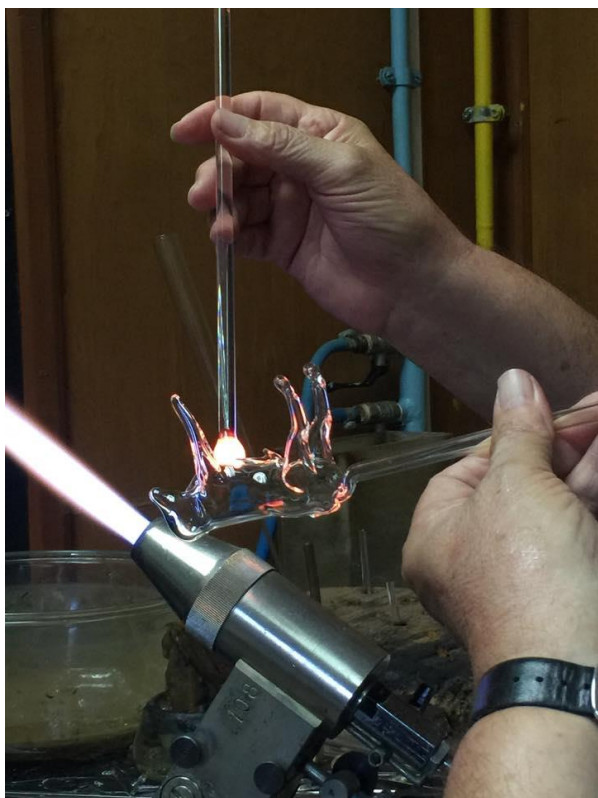
Završenim radnjama prikazanim na slici 5.25. započinje se taljenje prednjeg dijela staklene cijevi (slika 5.26.), pomoću koje je staklopuhač puhao zrak i oblikovao stražnji dio izratka, iz tog razloga da se začepi prednji dio izratka kako zrak koji će staklopuhač puhati kroz stražnju staklenu cijev nebi izašao van kroz prednju staklenu cijev. Prilikom taljenja prednje staklene cijevi, na izratku se pušta taljevina koja se puhanjem kroz zadnju staklenu cijev i uz pomoć pinceta oblikuje na prvobitan model glave.



*Slika 5.26 Odvajanje staklene cijevi i formiranje modela glave*



Nakon oblikovanja glave, dodaje se ponovno rastaljeno staklo nastalo od staklene šipke, te se izvodi ponovni postupak za izradu noge na izratku. Isti princip sa taljenjem staklene šipke i dodavanjem stakle se izvodi za pravljenje rogova i oči, pa se rastaljeno staklo razvuče i oblikova sa pincetom, a kod izrade ušiju doda se taljevina staklene šipke i oblikuje se sa plosnatim kliještima.



*Slika 5.27. Izrada prednjeg dijela izratka*



*Slika 5.28. Izrađen suvenir*

## 6. ZAKLJUČAK

Materijal koji se koristi za izradu staklenih suvenira je borosilikatno staklo koje je vrlo zahvalno prema naglim promjenama temperature, i ističe se malim koeficijentom linearnog rastezanja te je zbog toga vrlo pogodno i staklopuhači ga koriste za oblikovanje stakla metodom puhanja.

Tehnologija izrade potpunog staklenog suvenira zahtjeva iskustvo, te rukovanje slijedećim alatima: naštimavanje smjese (acitilen i kisik), plamenik, kristal za rezanje stakla, plosnatim kliještima, plosnatim kliještima sa otiskom, škare za rezanje stakla, pincetama, lopaticama za oblikovanje stakla, pčelinjim voskom, držačem za staklo, grafitnim pločama, štapom za savijanje stakla, strojem za rezanje stakla i strojem za bušenje stakla.

Za proces izrade staklene figurice bitno je dobra priprema, prije početka oblikovanja stakla potrebno je pripremiti alat i materijal (staklo) kojim će se staklopuhač koristiti. U ovom završnom radu opisan je postupak izrade staklenog suvenira „Boškarin“ i slikovito popraćen na način da se odabire staklo (staklena cijev), izrezalo na određenu dužinu, jedan dio staklene cijevi se začepi taljenjem da bi se moglo staklo oblikovati puhanjem, taljenjem se dodaje staklo koje se oblikuje i izrađuju se stražnje noge, zatim se dodaje staklena cijev na stražnji dio staklene figure i prednji se začepi i oblikuje se glava. Ponovno se staklena šipka tali i dodaje se rastaljena masa stakla pomoću koje se formiraju prednje noge i oblikovaju uši, rogovi i oči. Nakon šta se odrade navedeni postupci, staklena cijev koja je dodana na stražnji kraj staklene figure se tali radi oblikovanja repa, a viša staklene cijevi se odvoji i dobiva se stakleni suvenir.

Polazna hipoteza naveda u uvodnom dijelu završnog rada „Primjenom raznih tehnika i tehnologija obrade stakla, metodom puhanja, oblikovaju se taljeni dijelovi stakla da bi se kao rezultat dobio proizvod, stakleni suvenir“ potvrđuju mnogobrojni zadovoljni kupci.



## 7. POPIS SLIKA I TABLICA

<i>Slika 2.1. Kristalna palača Josepha Paxtona</i> .....	4
<i>Slika 2.2. Soda</i> .....	5
<i>Slika 2.3. Vapnenac</i> .....	6
<i>Slika 2.4. Kvarcni pijesak</i> .....	6
<i>Slika 2.5. Kondukcija</i> .....	8
<i>Slika 2.6. Konvekcija</i> .....	9
<i>Slika 2.7. Zračenje</i> .....	9
<i>Slika 2.8. Prolaz svjetlosti kroz staklo</i> .....	10
<i>Slika 2.9. Odbijanje svjetlosti od stakla</i> .....	11
<i>Slika 2.10. Upijanje svjetlosti</i> .....	11
<i>Slika 3.1. Prikaz proizvodnog procesa stakla</i> .....	13
<i>Slika 3.2. Stol za rezanje stakla</i> .....	14
<i>Slika 3.3. Brušeni rubovi stakla</i> .....	14
<i>Slika 3.4. Kaljeno staklo pri pucanju</i> .....	15
<i>Slika 3.5. Laminirano staklo sa dvoje staklene ploče</i> .....	16
<i>Slika 3.6. Laminirano staklo sa više staklenih ploča</i> .....	16
<i>Slika 3.7. Prikaz lomljenog stakla s PVB folijom</i> .....	16
<i>Slika 3.8. Primjer savijenog stakla</i> .....	17
<i>Slika 3.9. Grijači u staklu napravljeni putem sitotiska</i> .....	18
<i>Slika 4.1. Float staklo</i> .....	20
<i>Slika 4.2. Ornament staklo</i> .....	21
<i>Slika 4.3. Reflektirajuće staklo</i> .....	22
<i>Slika 4.4. Ponašanje energije sunca na reflektirajuće staklo</i> .....	23
<i>Slika 4.5. Lom kaljenog stakla naprema običnim staklom</i> .....	24
<i>Slika 4.6. Modeli žičanog stakla</i> .....	26
<i>Slika 4.7. Struktura izolacijskog stakla</i> .....	27
<i>Slika 4.8. Low-e nisko emisiono staklo</i> .....	28
<i>Slika 5.1. Eprueta od borosilikatnoga stakla</i> .....	30
<i>Slika 5.2. Plamenik</i> .....	31
<i>Slika 5.3. Spremnici (bombule/boce) kisika i acitilena</i> .....	32
<i>Slika 5.4. Pedala za regulaciju plamena</i> .....	33
<i>Slika 5.5. Dijamant za rezanje stakla, plosnata kliješta, škare za rezanje stakla i pinceta</i> .....	34
<i>Slika 5.6. Plosnata kliješta za pravljenje otiska</i> .....	35
<i>Slika 5.7. Lopatice za oblikovanje stakla</i> .....	36
<i>Slika 5.8. Pčelinjin vosak (star 30 godina)</i> .....	37
<i>Slika 5.9. Oblikovanje stakla lopaticama</i> .....	38
<i>Slika 5.10. Oblikovanje lopaticama</i> .....	38
<i>Slika 5.11. Držać za staklo</i> .....	39
<i>Slika 5.12. Grafitna ploča sa držaćem</i> .....	40
<i>Slika 5.13. Štap za savijanje stakla</i> .....	41
<i>Slika 5.14. Stroj za rezanje stakla</i> .....	42
<i>Slika 5.15. Staklene cijevi</i> .....	43
<i>Slika 5.16. Obradena staklena cijev sa svrdlom</i> .....	43

<i>Slika 5.17. Staklena cijev i zarez staklene cijevi sa dijamantom .....</i>	44
<i>Slika 5.18. Taljenje stakla .....</i>	45
<i>Slika 5.19. Pripremljeno staklo za izradu figurice .....</i>	46
<i>Slika 5.20. Taljenje staklene šipke .....</i>	47
<i>Slika 5.21. Formiranje prvobitnog izgleda noge.....</i>	48
<i>Slika 5.22. Dodavanje taljevine na obradak za pravljenje druge noge na izratku .....</i>	49
<i>Slika 5.23. Oblikovanje gornjeg dijela noge .....</i>	50
<i>Slika 5.24. Oblikovanje donjeg dijela noge .....</i>	51
<i>Slika 5.25. Dodavanje staklene cijevi na stražnji dio obratka .....</i>	52
<i>Slika 5.26. Odvajanje staklene cijevi i formiranje modela glave .....</i>	53
<i>Slika 5.27. Izrada prednjeg dijela izratka .....</i>	54
<i>Slika 5.28. Izrađen suvenir .....</i>	54

## 8. POPIS LITERATURE

1. Mičić, D., *Fizika 3*, Pripreme Pomak, Zagreb, 2006.
2. Labor, J., *Fizika 4*, Alfa, Zagreb, 2008.
3. Bujak, D., *Osnovi tehnologije stakla i emajla*, Institut za tehnologiju silikata, Zagreb, 1976.
4. Hajdinjak, R., *Gradimo staklom*, Reflex, Gornja Radgona, 2009.
5. Habuš, A., Stričević, D., Tomašić, V., *Anorganska kemija*, Profil, Zagreb, 2006.
6. Smoljan, B., *Bilješke sa predavanja kolegija Tehnika materijala 1 i 2*, Visoka tehničko-poslovna škola u Puli, Pula, akad. god. 2012/2013.
7. Matika, D., *Bilješke sa predavanja kolegija Tehnologija i proizvodna tehnika 1 i 2*, Visoka tehničko-poslovna škola u Puli, Pula, akad. god. 2012/2013.