

Школска 2022/23

Студијски програм:  
**ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ**

Основне струковне студије



Предмет: **РЕЦИКЛАЖНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ**

**Наставник: Бобан Цветановић**  
**сарадник: Наталија Петровић**



# РЕЦИКЛАЖА СТАКЛА

Предавање 7

Најстарији познати предмети од стакла су стаклене перле из Египта и Месопотамије, а потичу из 3500. године пре н.е.

Египатске занатлије су до 1500. године пре н.е., открили начин израде шупљих посуда од стакла, јер су из тог доба сачуване 3 вазе које су пронађене у гробу фараона Тутмосиса.

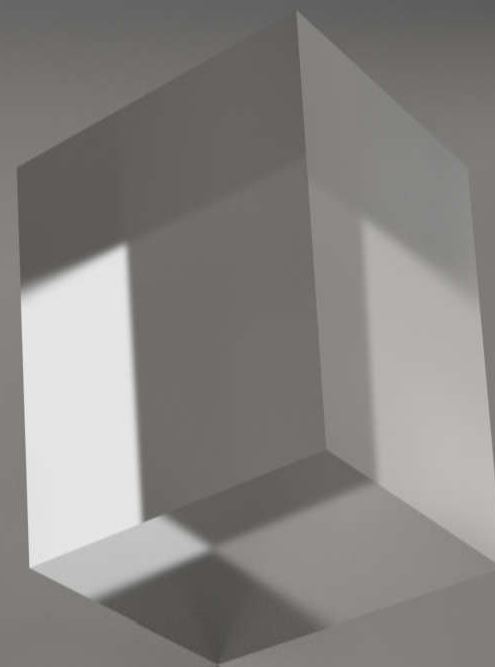




## **Основне карактеристике стакла**

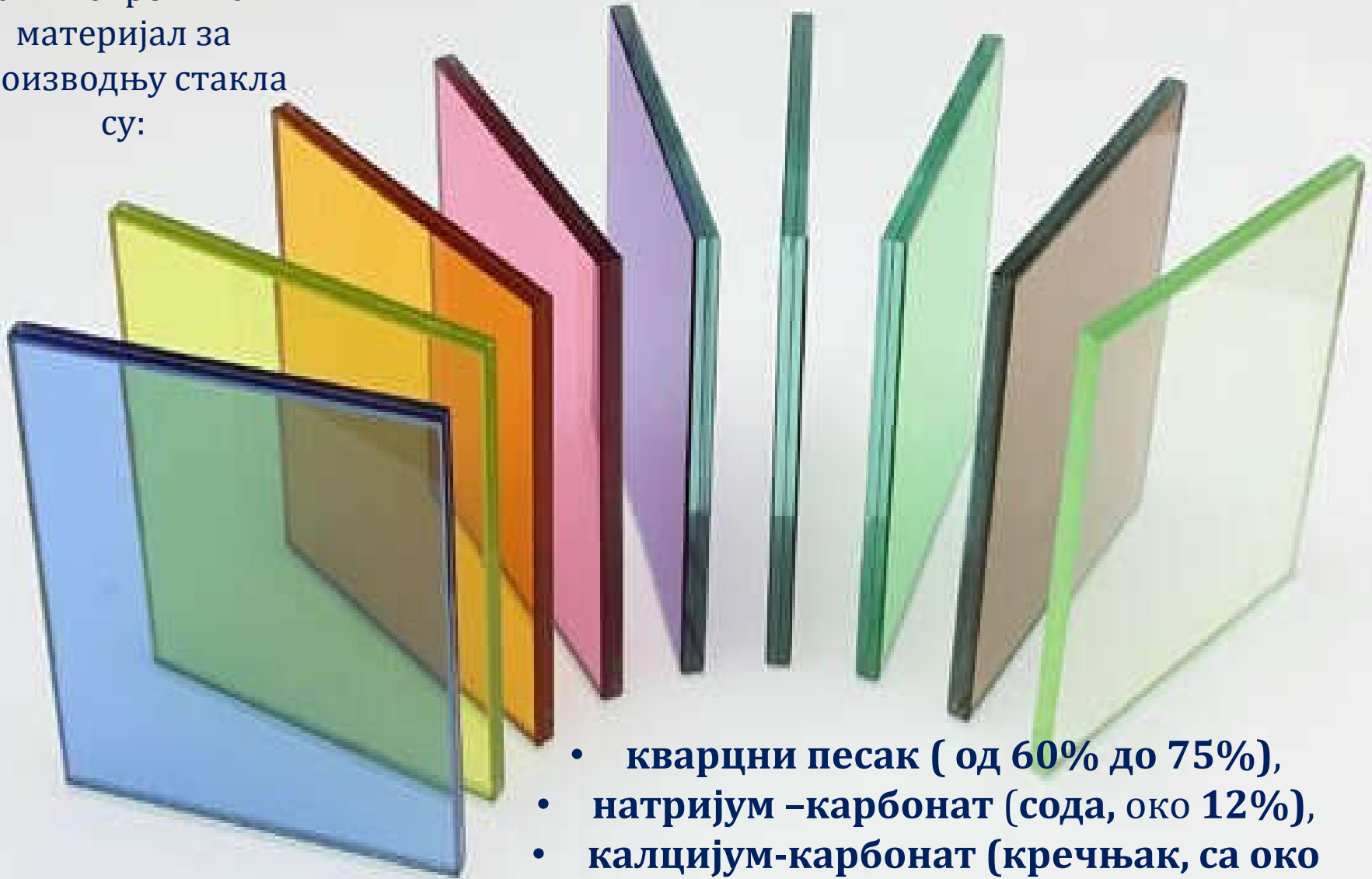


**Стакло је прозирни силицијумов диоксид.**



Ради се тврдој и кртој, биолошки неактивној,  
материји, насталој загревањем и хлађењем.

Главни сировински  
материјал за  
производњу стакла  
су:



- кварцни песак ( од 60% до 75%),
- натријум -карбонат (сода, око 12%),
- калцијум-карбонат (кречњак, са око 12%),
- адитиви...



Готово све врсте стакла праве се од песка тј. од  
**дробљеног кварца,**  
**који садржи силицијум-диоксид**





**Песак садржи и мало  
гвожђа, које даје стаклу  
израђеном од обичног  
песка зеленкасту боју**



Да би направили  
**потпуно чисто,**  
**безбојно стакло,**  
произвођачи стакла  
додају одређену  
количину **селена.**



Овај минерал даје  
стаклу благо  
црвенкасту нијансу,  
која поништава  
зелену, и због тога  
стакло изгледа  
сасвим прозирно.



Флаше се нпр. производе у две основне боје (смеђа и зелена) и неколико нијанси.

У зависности од жељене нијансе **смеђе** боје, истопљеном стаклу се додају **кобалт, кадмијум-сулфид, сумпор** итд.



**Зелена боја се добија додавањем једињења хрома или цинка.**  
Хром има изражену особину бојења, зато се стаклене крхотине од зеленог стакла не смеју користити у великим количинама при производњи смеђег стакла (квари смеђу боју)  
**Кобалт се користи и за тамноплаву боју, манган за љубичасту, гвожђе за зелену**

---

**Смеђе стакло** апсорбује највише ултраљубичастиог зрачења, тако да нуди најбољу заштиту од потенцијално штетне светлости. На пример, пиво би упропастило упијање светлости.

**Зелено стакло** и даље има заштиту од светлости, али не толико и пошто течности попут вина и сокова могу бити изложене малој светлости, а да се не покваре укуси, често се флаширају у зелено стакло.

**Прозирно стакло** је најприкладније за алкохол, воду, сосове и храну на коју светлост не утиче.

# Reciklažna oznaka za staklo

---

**70 - Bezbojno staklo**

**71 - Zeleno staklo**

**72 - Smeđe staklo**



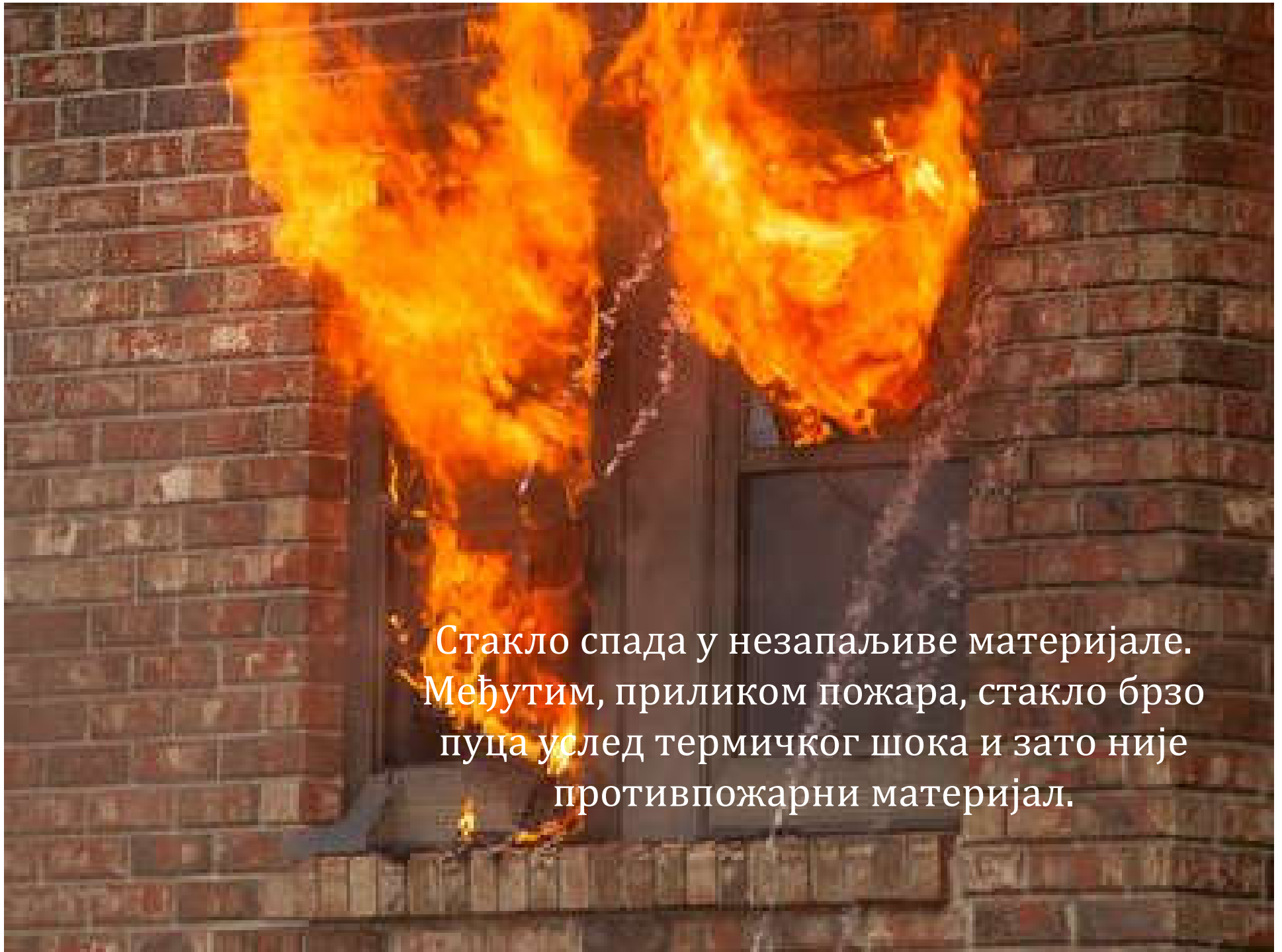


**Посебна област су ауто стакла која су прозирна због високог садржаја гвожђа и не могу се користити за производњу белог стакла.**

## Особине:



- Лако обрађивање на високим температурама
- Механичка чврстоћа на собној температури
  - Провидност
  - Хемијска постојаност
  - **Мала топлотна проводљивост** (коришћење стакла као изолационог материјала)
  - **Мала електрична проводљивост** (коришћење стакла као диелектрика)



Стакло спада у незапаљиве материјале. Међутим, приликом пожара, стакло брзо пуца услед термичког шока и зато није противпожарни материјал.

Развој технологија довео је до нових система који дају стаклу већу отпорност, тако и на пожар.

---

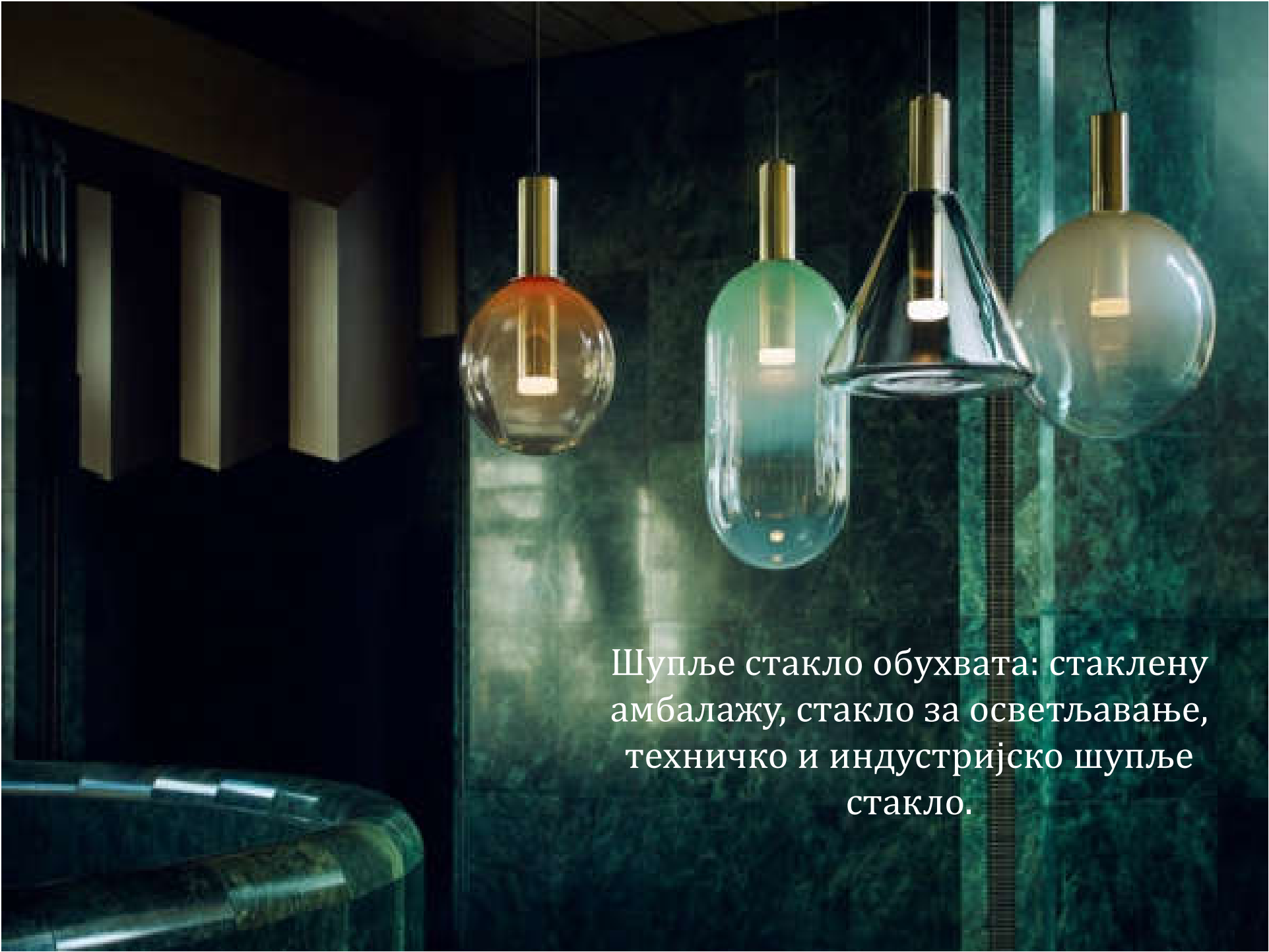


је могуће користити и као пожарну баријеру.

A large, rectangular glass pane is being processed in a factory. The pane is held in place by several red clamps or supports. The background shows a concrete wall and a window with white curtains. The lighting is bright, suggesting an indoor industrial setting.

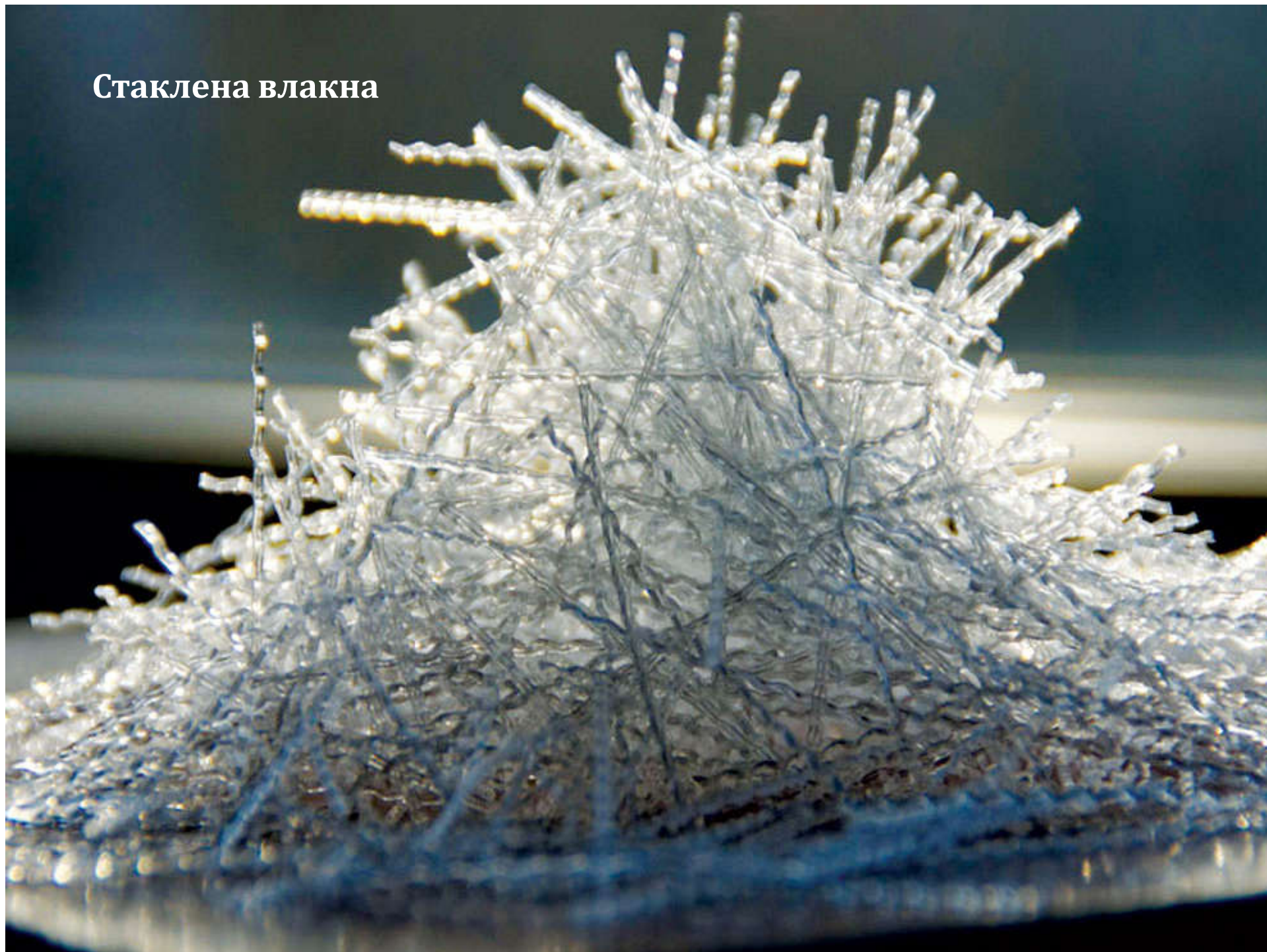
Производе стакларске индустрије сврставају се у три групе:

- **Стаклене плоче**
- **Стаклена влакна**
- **Шупље (дувано) стакло**



Шупље стакло обухвата: стаклену амбалажу, стакло за осветљавање, техничко и индустријско шупље стакло.

Стаклена влакна



## Неке познате врсте стакла

---

### Равно (прозорско) стакло



Сировина се топи на  $1550^{\circ}\text{C}$  и улива у каду напуњену растопљеним калајем на коме стакло плута. На тај начин стакло поприма облик равних површина без пукотина и са изузетним оптичким особинама. Стакло се континуирано хлади и обликује у плоче различитих димензија



## Армирано стакло

Армира се мрежама од хромраних или никлованих челичних нити.

Нема велику пропусност  
светла

## Каљено стакло



Стакло побољшаних механичких особина које се добија загревањем на 550 до 650°C, током три до пет минута и брзим хлађењем у струји ваздуха. Стакло се мора калити на коначни облик и димензију јер се након каљења више не може механички обрађивати (због кртости). Овакво стакло има 5-8 пута већу чврстоћу од равног стакла.

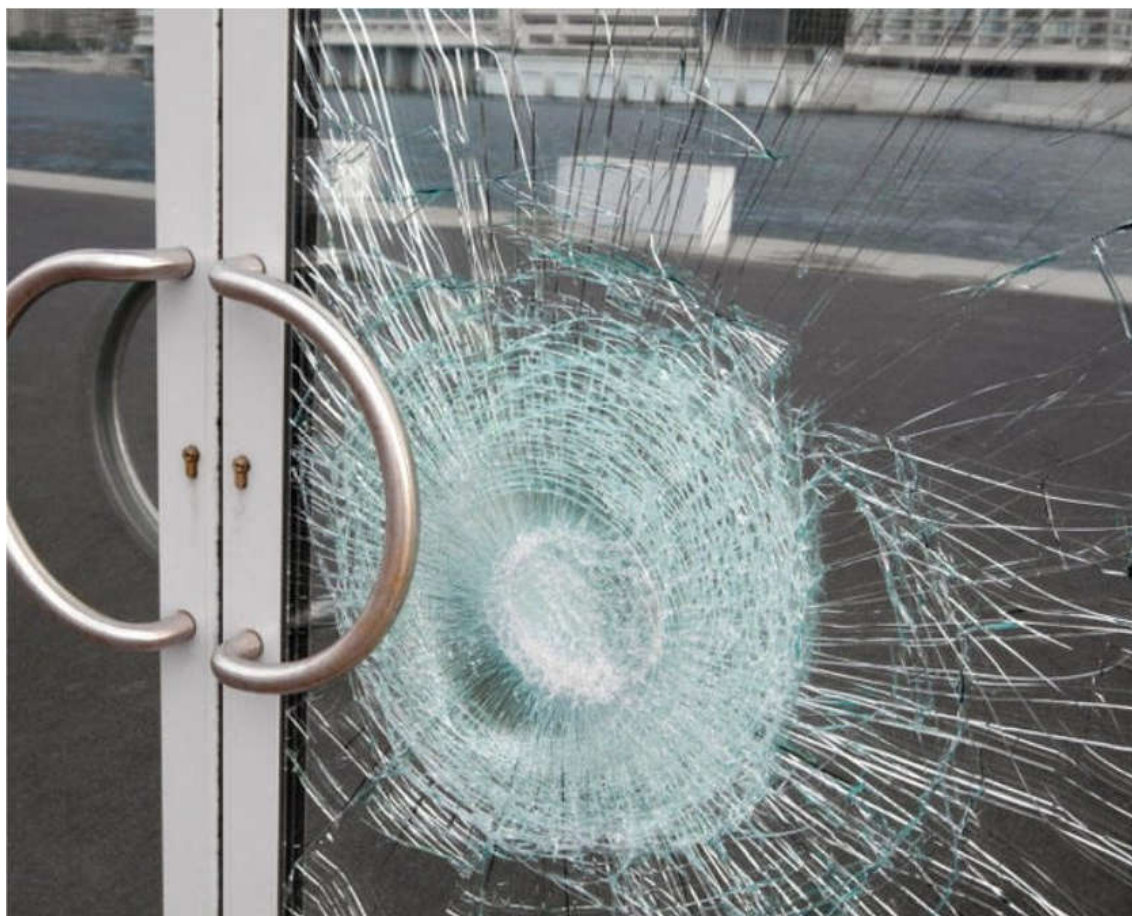
Каљена стакла имају и значајно већу отпорност на температурне промене а приликом евентуалног лома се распрскавају у ситне, безопасне комаде.

---



## Ламинирано стакло

---



Састављено од две или више плоча равног стакла, залепљених фолијом од поливинил-бутирала (ПВБ), која може бити прозирна или у боји.

При ломљењу се не распада на мале комаде већ остаје залепљено за фолију (сигурносно стакло, стакло излога, банака...)

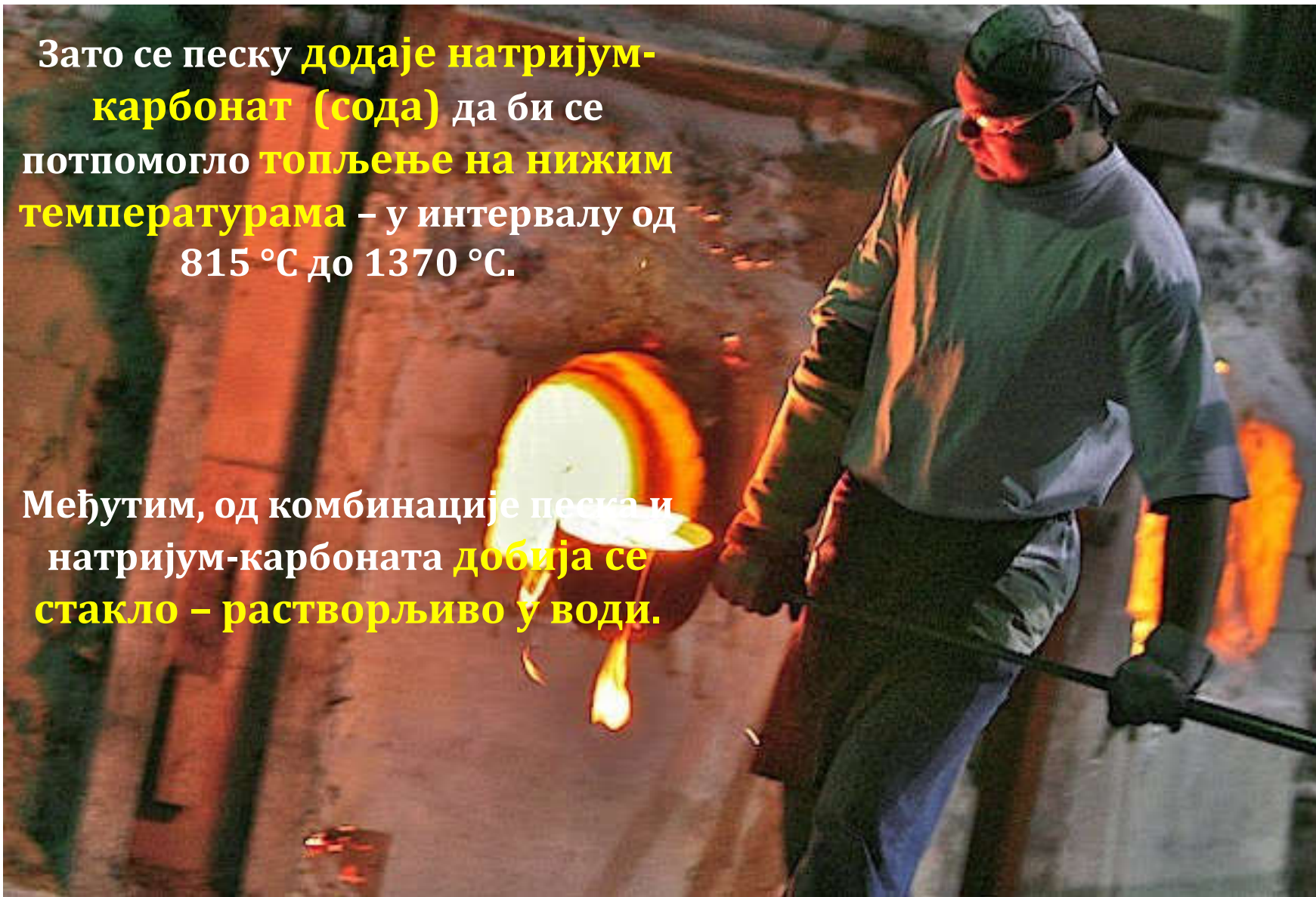
## Производња стакла



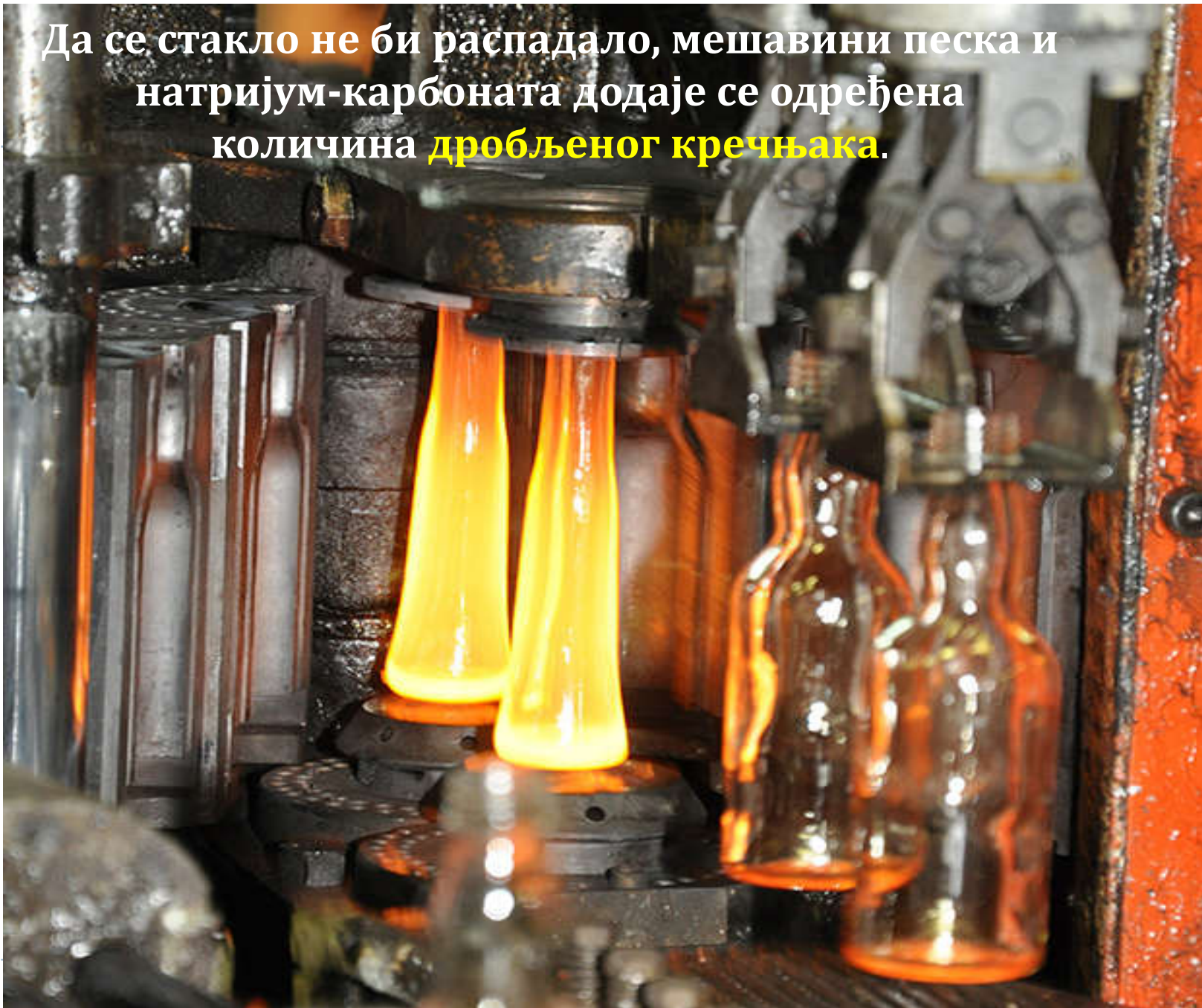
Песак прво мора да се истопи и због тога мора да се загреје до врло високе температуре. **Песак се топи тек на температури од 1704 °C.** Загревање било ког материјала преко 1650 °C захтева много енергије и веома је скупо.

Зато се песку додаје **натријум-карбонат (сода)** да би се потпомогло **топљење на нижим температурама** – у интервалу од **815 °C до 1370 °C.**

Међутим, од комбинације песка и натријум-карбоната **добија се стакло – растворљиво у води.**



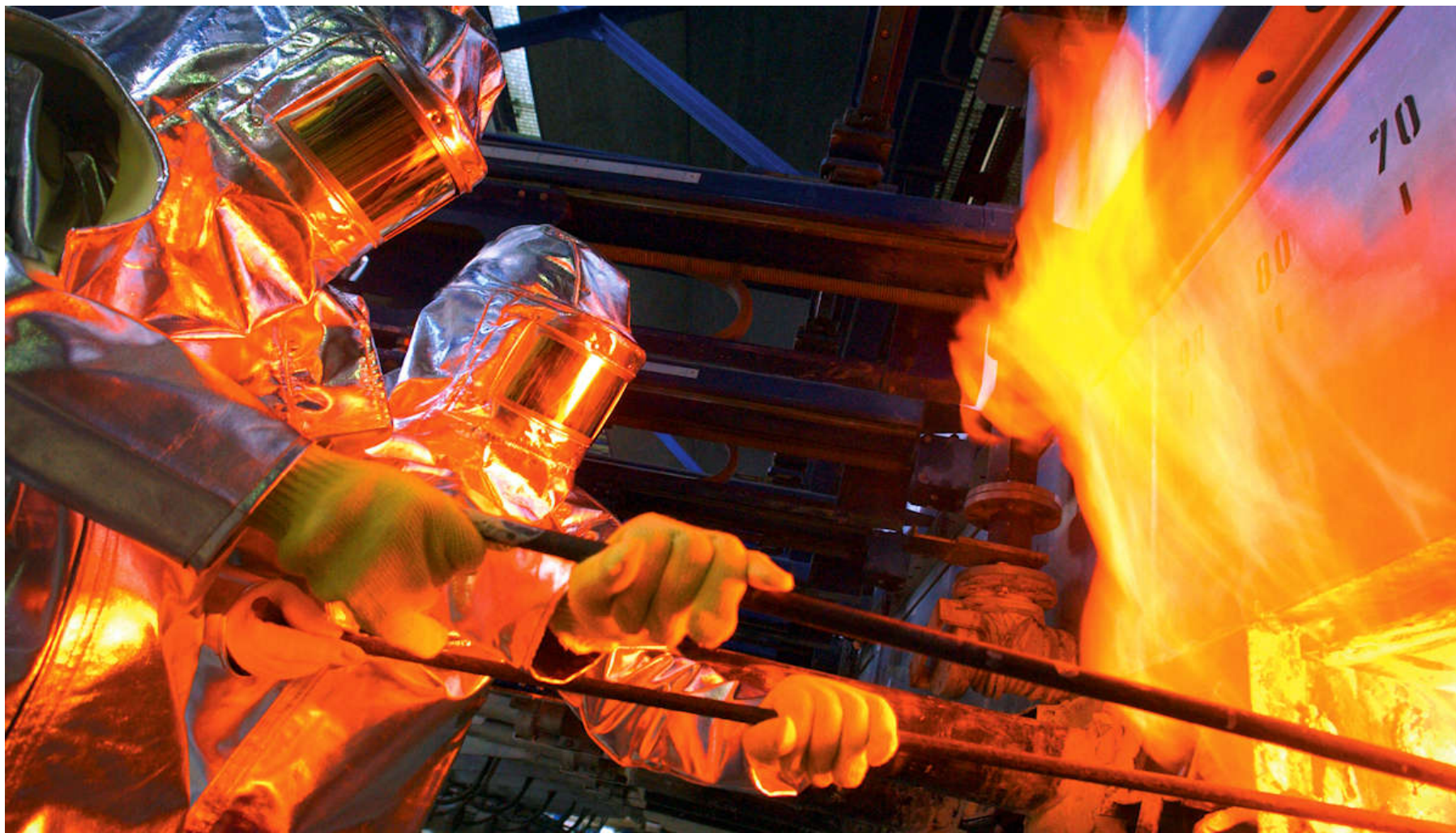
Да се стакло не би распадало, мешавини песка и натријум-карбоната додаје се одређена количина **дробљеног кречњака**.





Ово стакло је издржљиво и лако се обликује док је вруће. Осим песка, соде и креча, његова формула захтева одређену количину **оксида магнезијума, оксида алуминијума и борне киселине, као и хемикалије које спречавају настанак мехура у мешавини за производњу стакла.**





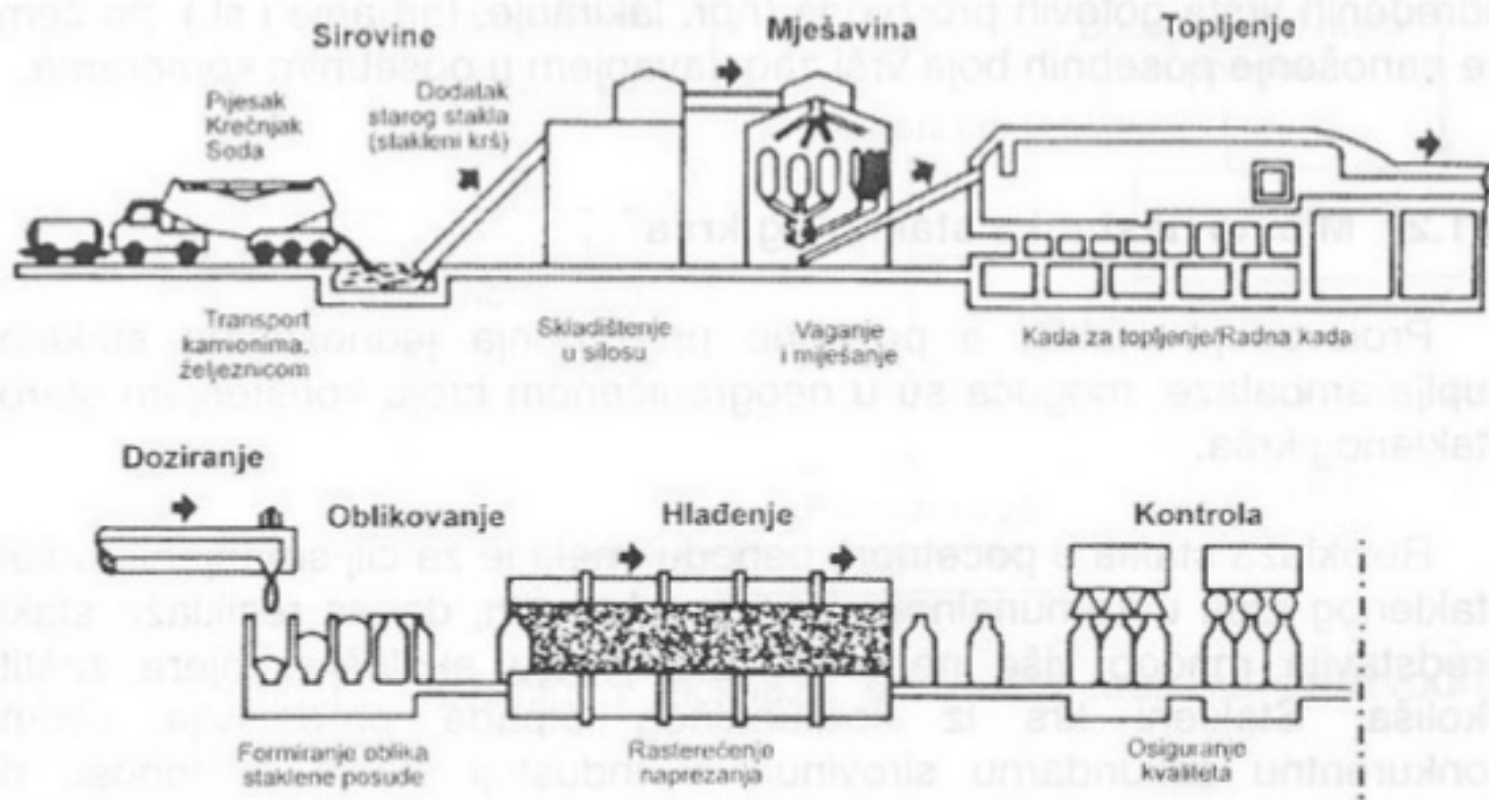
Кад се сви састојци споје, мешавина се убацује у огромну пећ у којој се загрева док се не истопи и пређе у течност. У највећу такву пећ може да стане око 1,3 милиона килограма течност.



Течно стакло се држи на највишој температури док не нестану сви мехури и линије, тако да предмети који се од њега израђују буду савршено провидни.

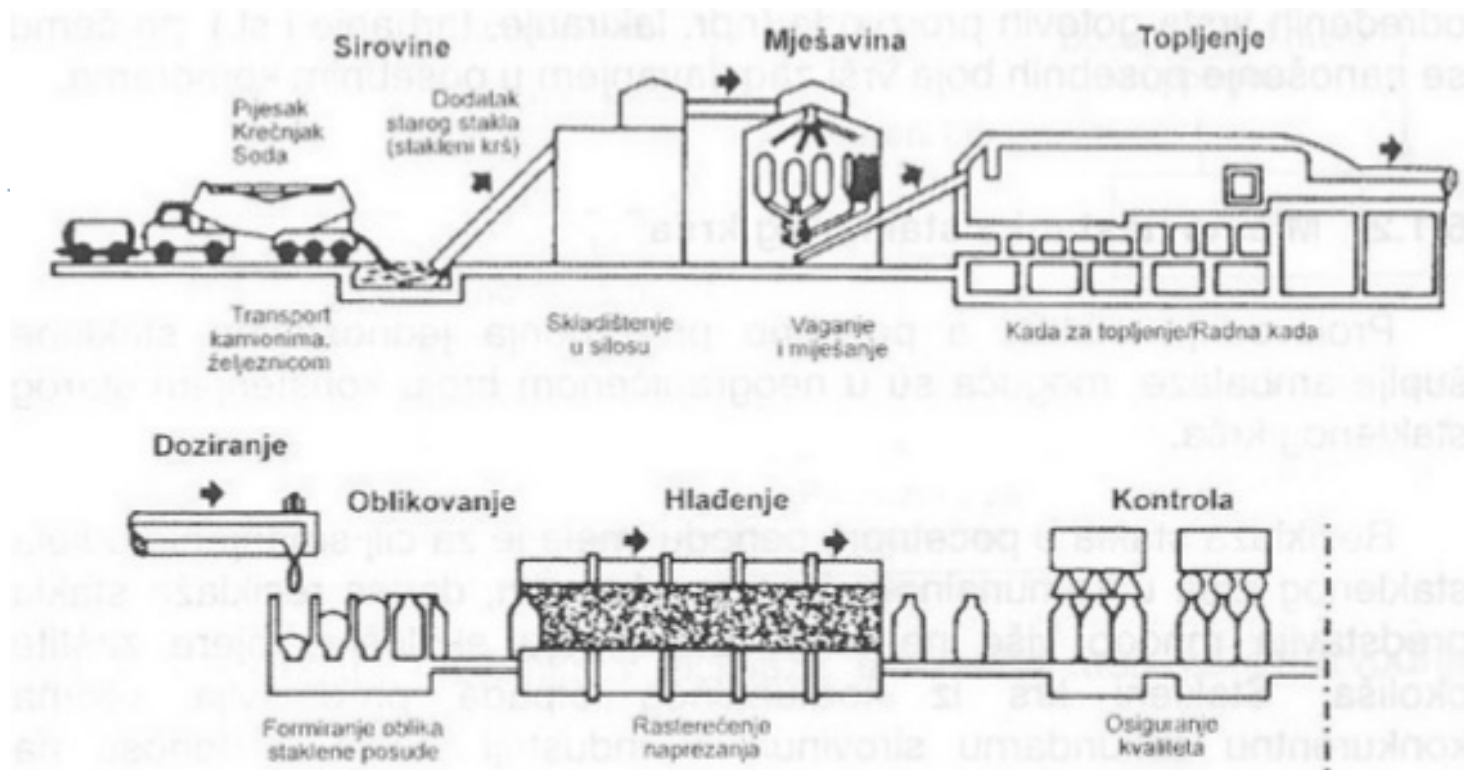
Кад стакло постане глатко, ватра се смањује, тако да се стакло згушњава у лепљиву масу.

Стакло се затим излива у калупе за обликовање.



**Процес топљења.** Сировине (и отпадно стакло) се топе на око 1500°C или више.

**Обликовање стакла.** Континуално текуће стакло се реже на стаклене капи, које се преко жлеба усмеравају у преткалуп. Маса добија свој коначан облик у калупу, увођењем компримованог ваздуха.



**Хлађење.** Стакло се постепено хлади како не би дошло до пуцања, а затим се врши оплемењивање спољне површине стакла ради заштите од гребања и повећања отпорности на лом.

**Инспекција.** Након изласка из коморе за хлађење, стаклени производи се подвргавају визуелним, механичким и електронским испитивањима.

## Животни циклус стаклене амбалаже

---

- ▶ Стаклена амбалажа (флаше, тегле...) идеална је за вишекратну употребу и прави пример активности REUSE, односно поновна употреба производа.



Осим у исте, стаклена амбалажа може се искористити и у друге сврхе, мање или више корисне.







Homesthetics - Inspiring ideas for your home.



# РЕЦИКЛАЖА СТАКЛА

---



---

Стакло је материјал врло погодан за рециклажу и може се бесконачно рециклирати.



**Ограничења рециклаже везана су за **измешаност** више врста материјала и више боја и врста стакала у отпаду.**

---



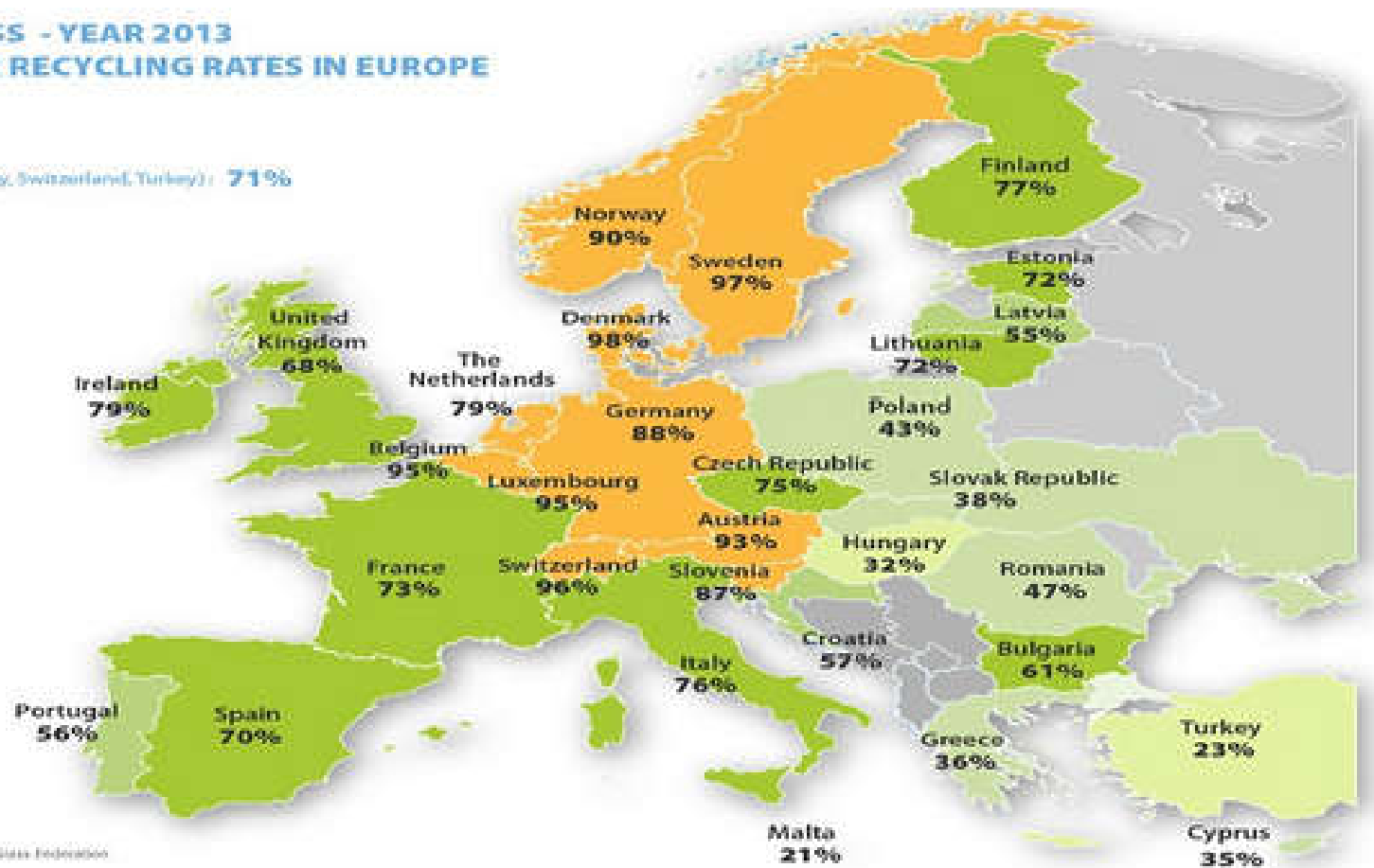
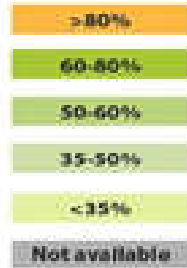
# Рециклажа стакла у Европи

## CONTAINER GLASS - YEAR 2013 COLLECTION FOR RECYCLING RATES IN EUROPE

### AVERAGE RATES

EU28: 73%

EUROPE (including Norway, Switzerland, Turkey): 71%



\*Indicative estimates based on the most recent available data provided by national contact points\*

- 
- ▶ Са више од 25 милијарди рециклираних стаклених боца, ова индустрија је један од најбољих примера кружне економије.
  - ▶ Данска, Шведска, Белгија, Луксембург, Аустрија и Немачка су, са преко 90% рециклиране стаклене амбалаже, земље са највишим европским стопама рециклаже, посебно Данска 98%.
  - ▶ ЕУ28 на стабилних 73%

---

У оквиру индустрије рециклаже стакла, тренутно ради 125.000 радника у Европи.

На пример, у Шпанији је индустрија рециклаже стакла отворила око 11.000 радних места.

---

За Србију не постоје званични подаци за рециклажу стакла (стакло чини 5,44% укупне количине комуналног отпада).

Проблем у сакупљању је мала откупна цена (0,5 дин/кг)

## **Предности рециклаже стакла и њен утицај на животну средину**

- ▶ **Економска уштеда: процена 35%.**
- ▶ **Смањује се употреба примарних сировина (песка и соде) за око 1,1 тону за сваку тону употребљеног стакленог крша (700 кг песка, 200 кг калцита, 200 кг соде).**



- 
- ▶ Такође смањује и количина **утрошене воде за експлоатацију тих сировина.**
  - ▶ Значајна је и заштита вода јер је један од **опасних загађивача сода** која се користи у процесу израде стакла од нових сировина. Тиме се смањује цена стакла и загађење животне средине.

- 
- ▶ **Смањује се потрошња енергије** за топљење стакларске мешавине употребом веће количине отпадног стакла.
  - ▶ **За сваких 10% веће количине стакленог крша** у стакларској мешавини од које се топљењем добија стакло, потребно је **2,5 до 3% мање енергије за топљење**, а емисија CO<sub>2</sub> у атмосфери је мања (**свака тона рециклираног стакла уштеди 315 кг CO<sub>2</sub>** који би отишао у атмосферу, у односу када би се стакло добијало од нових сировина).

- 
- ▶ Растеређују се комуналне депоније (**смањена количина отпада за 7% колико имају удела стаклене крхотине у укупном отпаду**), а тиме се и смањују трошкови рада депонија
  - ▶ Употребом стакленог крша, због мање термичке оптерећености, продужава се и **век трајања стакларске пећи**, што такође производњу стакла чини јефтинијом.

## Рециклажа стакла може да иде у два правца:

---

► искоришћење у сврху добијања производа **различите намене у односу на почетни од кога је настао стаклени отпад**

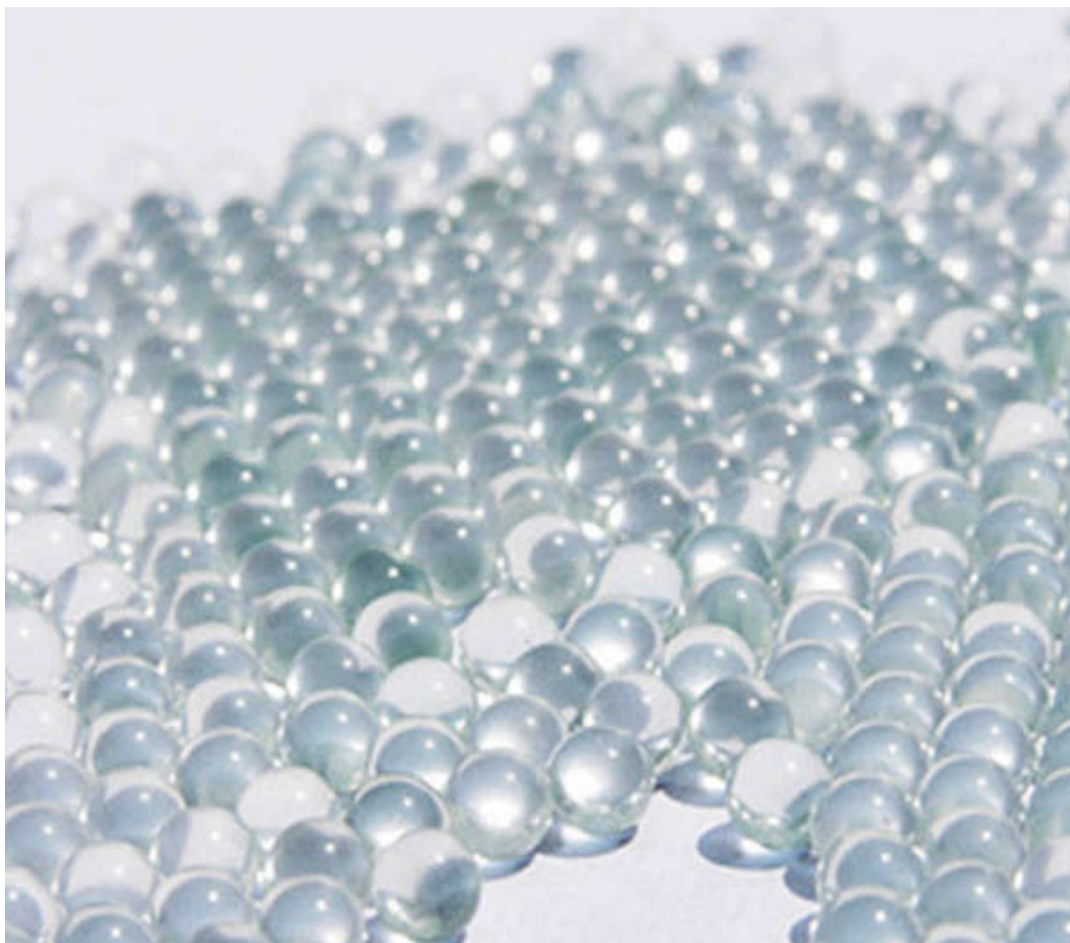
► искоришћење у сврху добијања сировине за **добијање истог или сличних производа, оригиналном производу од кога је настао стаклени отпад**

Искоришћење у сврху добијања производа **различите намене** у односу на почетни од кога је настао стаклени отпад

---

У последње време користе се технологије за добијање **пелета и суперсола**, који се користе у грађевинарству, пречишћавању вода, индустрији намештаја, као изолациони материјали и др.





**Пелети** су комади рециклираног стакла овалног облика и величине **око 10мм**. Могу бити различитих боја, глатке или пескарене површине.

---

Пелет се најчешће  
користи као **слој за  
пречишћавање вода**  
или у хортикултури  
као украсни детаљ.





Пр  
се л

**Меланички разоија у три фракције (прах, ситну и  
крупну фракцију).**





**Прах суперсола је материјал слободног тржишта и успешно се користи за производњу индустријских подова.**

---

Рециклирано стакло се може користити у производњи **керамичких производа за медицину, кухињских елемената, за израду путева (стакло-асфалт), као абразив** итд.



- 
- ▶ Као абразив се користи **код пескарења** јер производи много **мање прашине него остали материјали**. Такође, за пескарење је потребно **мање материјала јер је знатно агресивнији**, а при томе је и **јефтинији** од осталих материјала.
  - ▶ При коришћењу стакла као медијума за филтрацију воде, добија се **ефикасна замена за песак**.

- 
- ▶ У САД се вишак неразврстаних и запрљаних стаклених крхотина прерађују за производњу **стакло-асфалта који се користи за изградњу путева.**
  - ▶ Такав пут има потповршински слој састављен од 60% стаклених крхотина помешаних са асфалтом. Други слој (20цм) садржи 50% раздробљеног стакла и 50% камена, док трећи (дебљине 7,5цм) има 40% стаклених крхотина и 60% песка, кречњака и асфалта. Површински слој (3цм) садржи 36% раздробљеног стакла.
  - ▶ **Стакло се у САД користи и за дренажу будући да има иста дренажна својства као песак и камење**

---

**Искоришћење у сврху добијања сировине за добијање истог или сличних производа, оригиналном производу од кога је настао стаклени отпад**

**Амбалажно стакло чини око 80% укупне количине отпадног стакла.**

**Зато је и већина технологија усмерена ка добијању нове стаклене амбалаже од отпадног стакла!**

Када је у питању добијање сировине, стаклени отпад се може у потпуности рециклирати, што значи да се **од једне тоне стаклених крхотина, уз додатак енергије, добије једна тона нове стаклене амбалаже једнаког квалитета** као и на почетку коришћења.



## Утицај обојеног стакла на процес рециклаже

---

- ▶ **За рециклажу је најпогодније бело плочасто стакло**, мада често у стакленим крхотинама од белог стакла остају и стаклене крхотине од обојеног стакла.
- ▶ Тада се на основу процента заступљености обојеног стакла, одлучује да ли ће се то стакло користити за производњу белог или обојеног стакла.
- ▶ За производњу беле стаклене амбалаже користе се само беле крхотине, док је садржај стакленог крша у боји веома мали. Због тога је **цена белих стаклених крхотина два пута већа од осталих.**



## Максимално дозвољени садржај стакла других боја при рециклажи

---

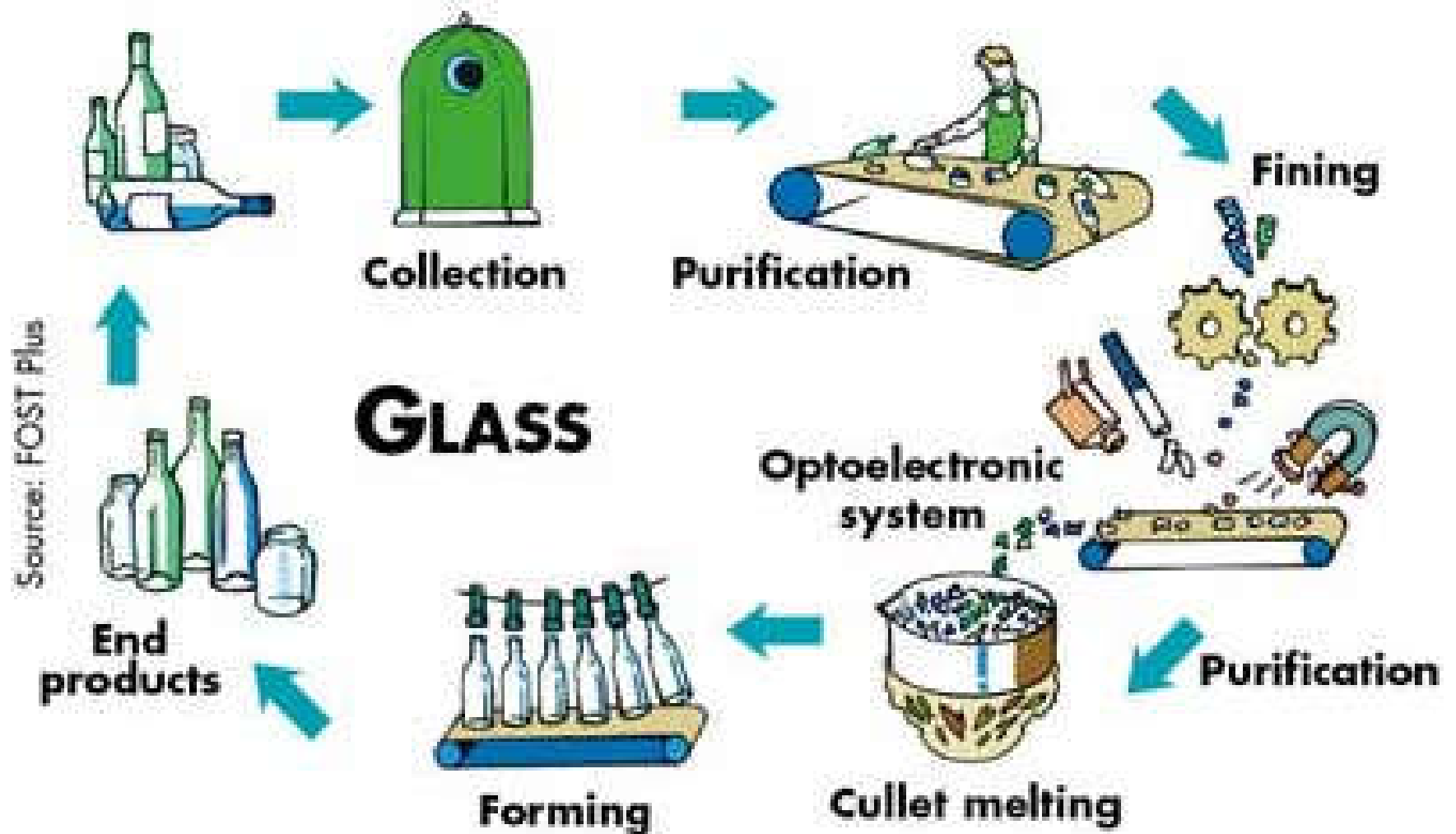
| Максимална количина непожељних боја | смеђе | зелено | бело |
|-------------------------------------|-------|--------|------|
| У белом стаклу                      | 0,05% | 0,1%   | -    |
| У смеђем стаклу                     | -     | 5,0%   | 5,0% |
| У зеленом стаклу                    | 5,0%  | -      | 5,0% |

- 
- ▶ Мале количине метала на бази **гвожђа** или **честице стакла** **друге боје** **условљавају** **промену боје** **коначног производа.**
  - ▶ Присуство **олова** у стакленим крхотинама за последицу има појаву **рупа на дну резервоара за растоп и кратког споја** код **електричних пећи** за **топљење.**

| Штетна нечистоћа          | Максимално дозвољени садржај |
|---------------------------|------------------------------|
| Алуминијум                | 5 грама/тони                 |
| Олово                     | 1грам/тони                   |
| Метали на бази железа     | 1 грам/тони                  |
| Керамика, камен, порцелан | 25 грама/тони                |
| Органске компоненте       | Мање од 0,05% укупне масе    |

### Захтеви за чистоћу старог стакла

# Рециклажа отпадног стакла у циљу добијања нове стаклене амбалаже



## Сакупљање и разврставање отпадног стакла

---

Међу сакупљеним стаклом које се рециклира не сме се налазити материјал који ће онемогућити искоришћење отпадног стакла **(керамика или армирано стакло могу онемогућити рециклажу)**

---

**Одвојено од осталог** стакленог отпада треба сакупљати:

- Јако запрљану стаклену амбалажу
- Порцелан, керамику и фарбано стакло
- Екране телевизора
- Армирано стакло
- Сијалице
- Огледала, ватростално стакло, кристал
- Металне затвараче

- 
- ▶ Линије за рециклажу могу аутоматски да одвајају стакло од метала, као и обојене од необојених крхотина.
  - ▶ Могу да прерађују и вишеслојне стаклене плоче (лепљено ауто стакло) и армирано стакло

# Припрема отпадног стакла за рециклажу-млевење стаклене амбалаже



2022-23









(k)



## Линија за припрему отпадног стакла за рециклажу

---

- ▶ Састоји се из две независне целине.
- ▶ У првој се стакло **преддоби на фракције 5 до 6 цм** (друго дробљење је пре самог топљења).
- ▶ Стаклене крхотине се стављају на транспортну траку где се налази и **магнетни сепаратор**, који одваја металне делове.

- 
- ▶ Други циклус обухвата ручну сепарацију и разврставање већих делова отпада, остатака фолије, ситних нечистоћа и прашине (које се ситом одвајају од гранулата).
  - ▶ **Грануле транспортер доводи до оптоелектричних уређаја који их разврставају по боји** и евентуално уводи компримовани ваздух да одстрани нечистоће које су се залепиле за грануле (жица, каменчићи, порцулан)

## Дробљење стакла

---



## Процес топљења и формирања готовог производа

---

- ▶ Пре топљења у 100кг стаклених крхотина може да буде присутно максимално око 10гр керамичких материјала, 6 гр метала и магнетичког отпада, 2 гр немагнетичког отпада (по правилу много мање).
- ▶ **Стакло се дроби на фракцију од 2 до 3мм** (код аутостакала које имају фолију прво се провлачи кроз пресу где се изломи, а после тога се фолија извлачи у ротационом бубњу)



# Здробљено стакло, спремно за претапање назива се кулет (cullet)

---

**Size: One inch**  
**Quality: Sorted/ Washed/ Crushed**  
**Purity: Min.92% green glass**

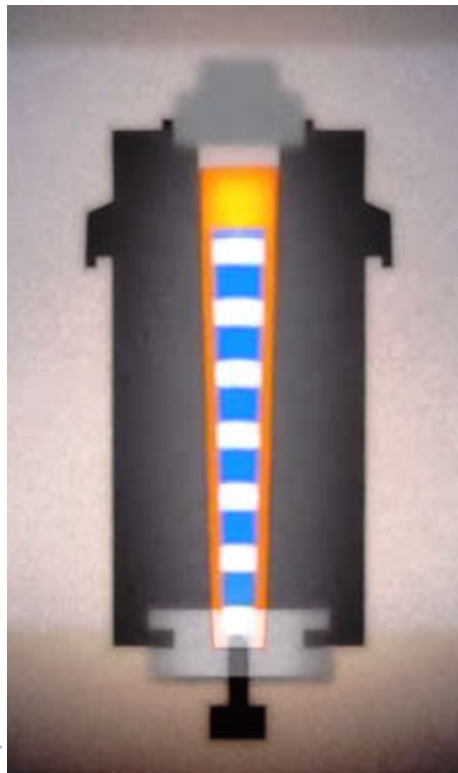


- 
- ▶ Топљење на 1500oC одвија се у три фазе.
  - ▶ Прва фаза је само **топљење**.
  - ▶ У другој, **хомогенизационој, фази одстрањују се ваздушни мехурови** и изједначава састав смесе.
  - ▶ Трећа фаза је **хлађење смесе** до температуре **при којој ју је могуће и даље прерађивати**.
  - ▶ Овако истопљено стакло тече до дозатора где се из растопа одсецају тзв. капи, које даље углавном постају боце за напитке. Након тога се производ хлади, како би добио потребу чврстоћу.

## Принципи израде боца Дувано-дувано

---

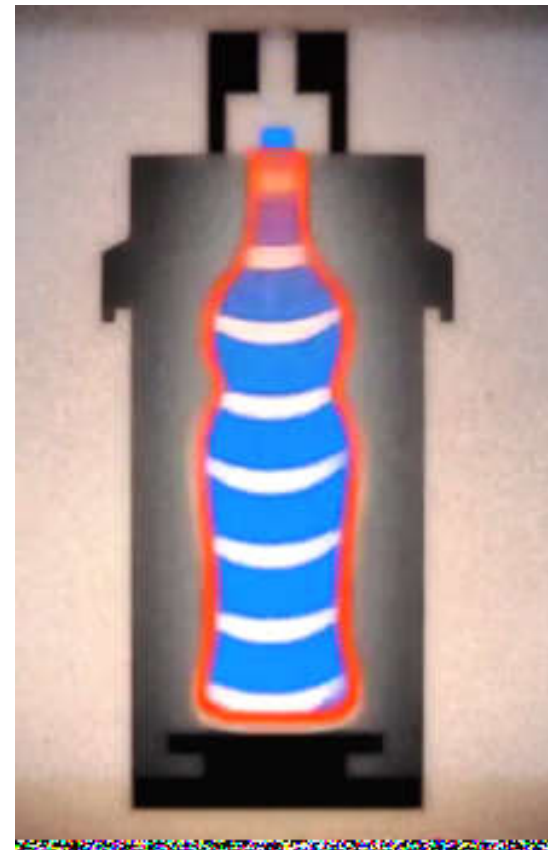
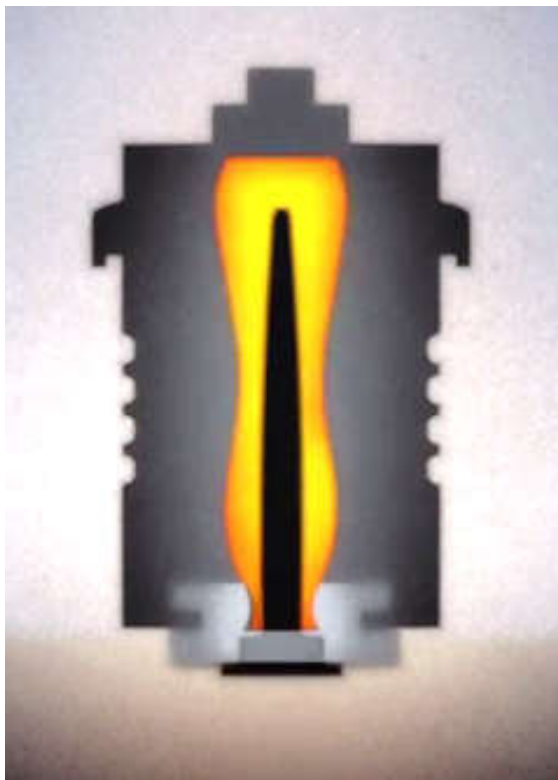
- ▶ Преткалуп – обликује се грло боце које се затим изнутра напуни ваздухом
- ▶ Калуп - добија коначни облик опет удувавањем ваздуха



## Принципи израде боца Пресовано-дувано (за танкозидне боце)

---

- ▶ У преткалуп се убади-упресује језгро
- ▶ У калупу се формира боца удубавањем ваздуха



## ИМПЛОЗИЈА СТАКЛА

---

- ▶ Имплозија стакла је механички процес који изазива деструкцију стакла применом методе „циљане хармоничне вибрације” која је заменила традиционалну методу дробљења стакла.
- ▶ Имплозија смањује стакло до величине фракције који је мањи од 25 мм. Урушени стаклени отпад се може користити у пројектима конструкције као абразив или као адитив у обележавању путева или других саобраћајних апликација.



## И још нешто о отпадном стаклу

---

- ▶ Будистички свештеници из Тајланда су од 1984. године скупљали стаклене боце те од њих изградили храм и читаву околину храма. За тај им је подухват било потребно приближно милион и по боца.





Hvala na pažnji 😊

