

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

Историјат прављења стакла

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

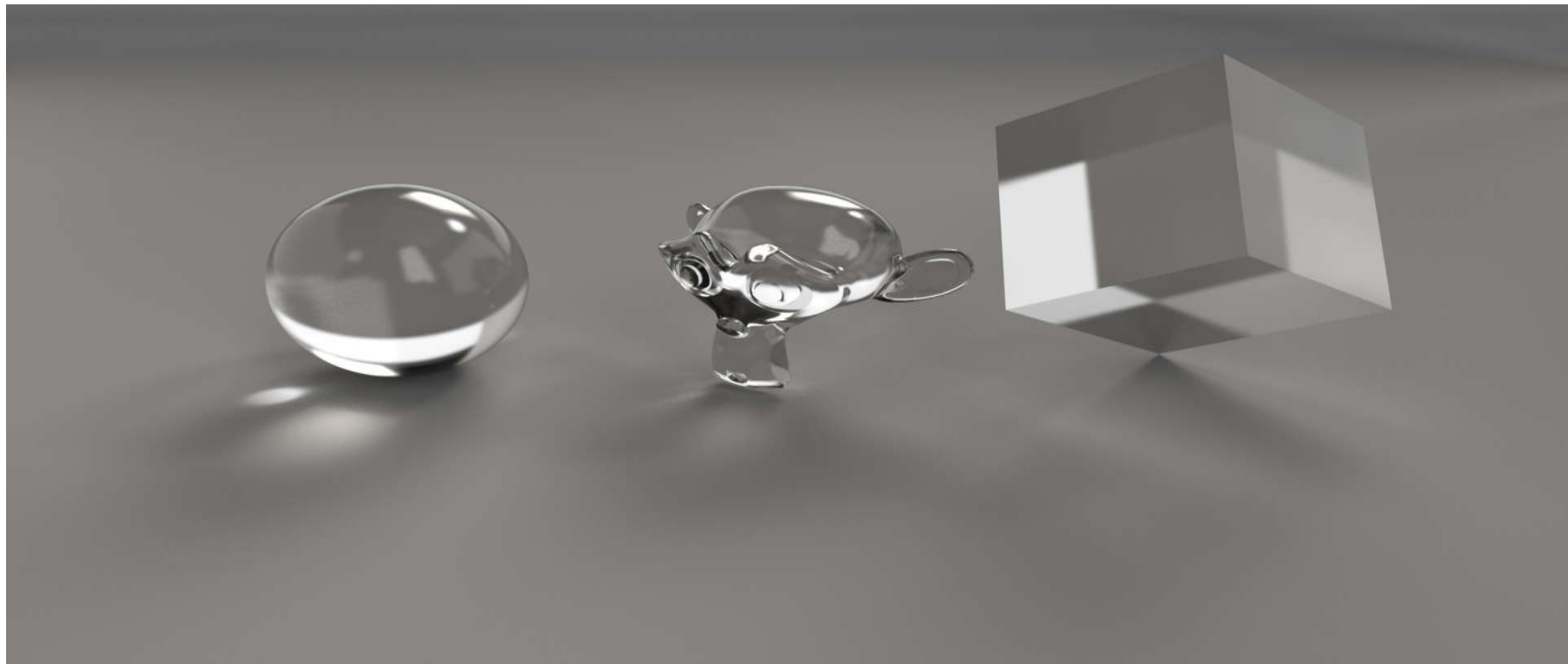


Египатске занатлије
су до 1500. године
пре н.е., открили
начин израде
шупљих посуда од
стакла, јер су из тог
доба сачуване 3 вазе
које су пронађене у
гробу фараона
Тутмозиса.

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...**

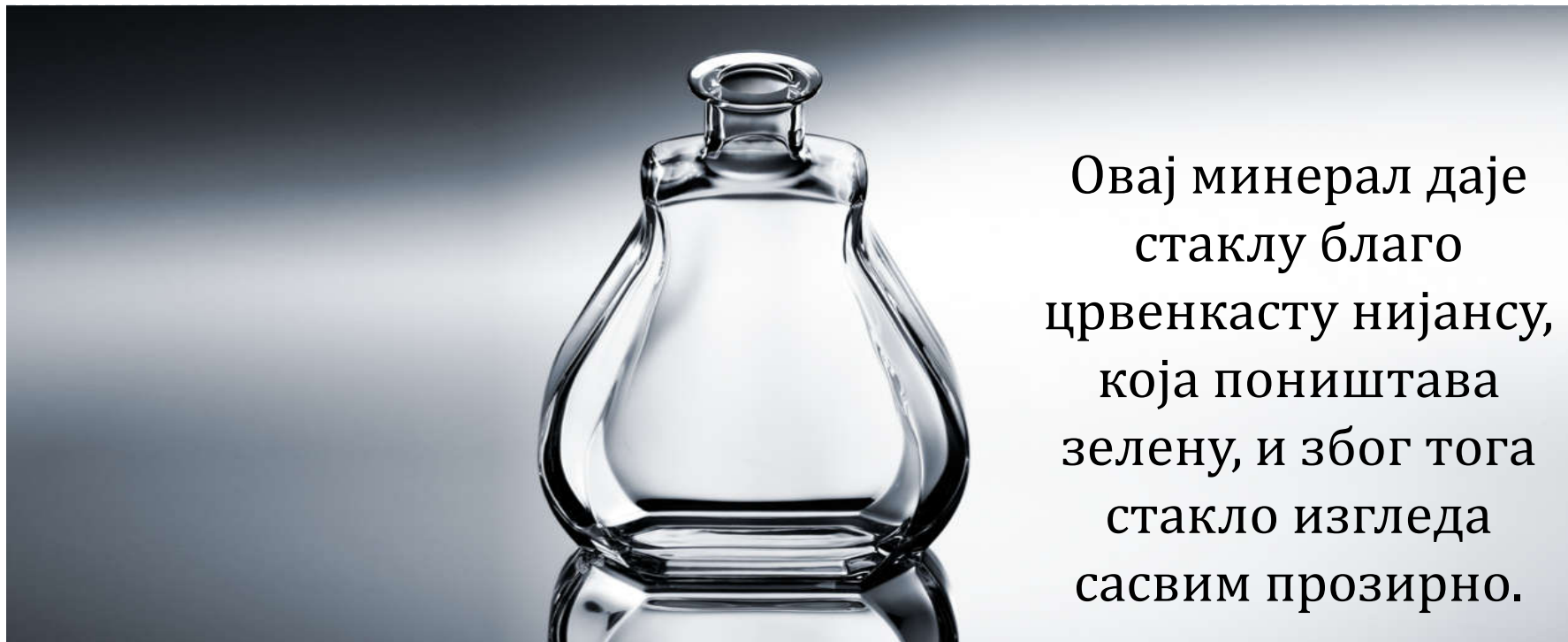
Готово све врсте стакла праве се од песка тј. од
дробљеног кварца,
који садржи силицијум-диоксид.



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 ултраљубичастог 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, сосеве и храну на коју светлост не утиче.

Brojčana oznaka i skraćenica 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.

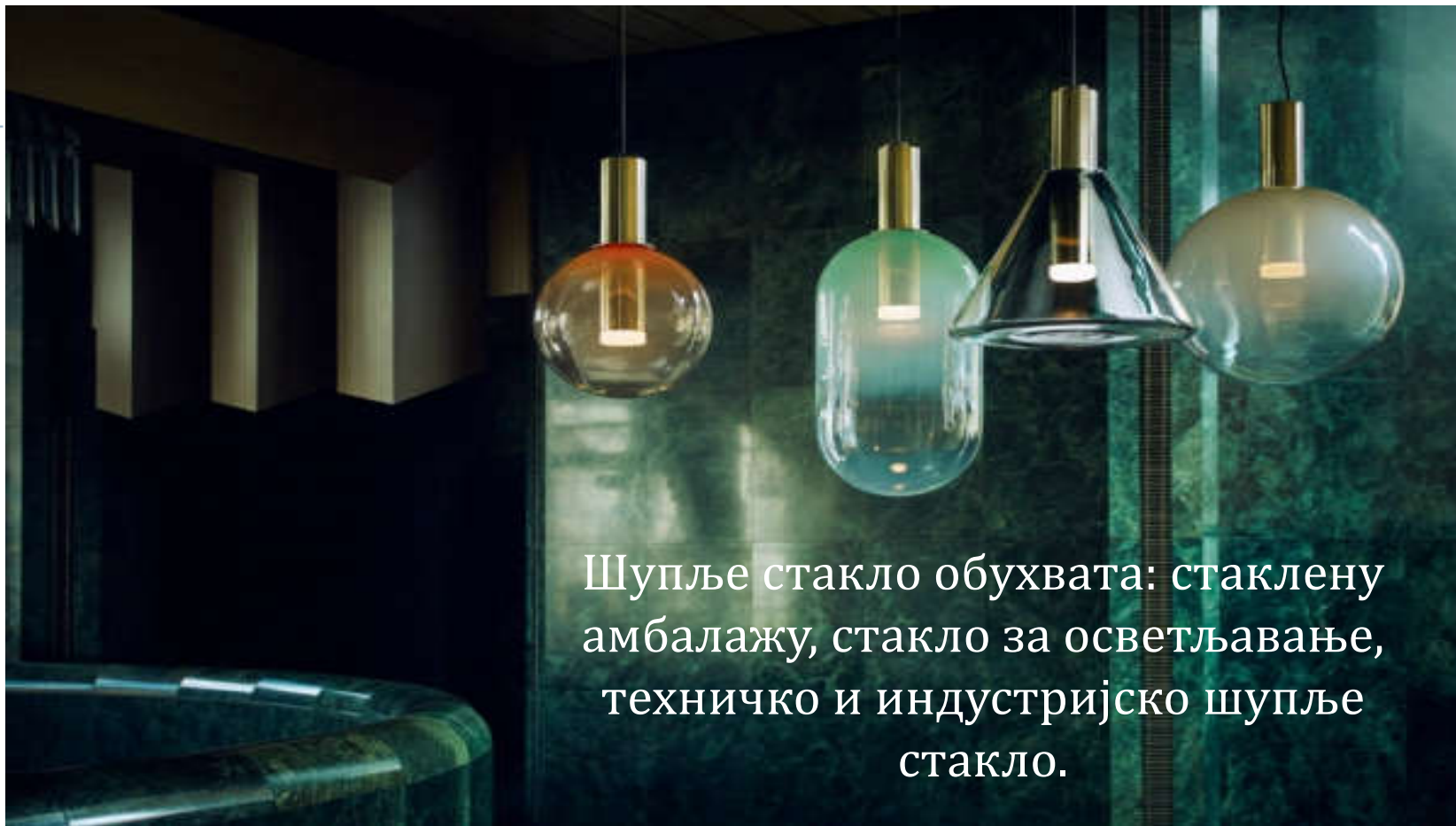


Применом **боросиликатног и вишеслојног стакла са међуслојевима отпорним на високе температуре**, понашање стакла у пожару је измењено и начинило га је материјалом који је могуће користити и као пожарну баријеру.



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°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
хромираних 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

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 **добива 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.**

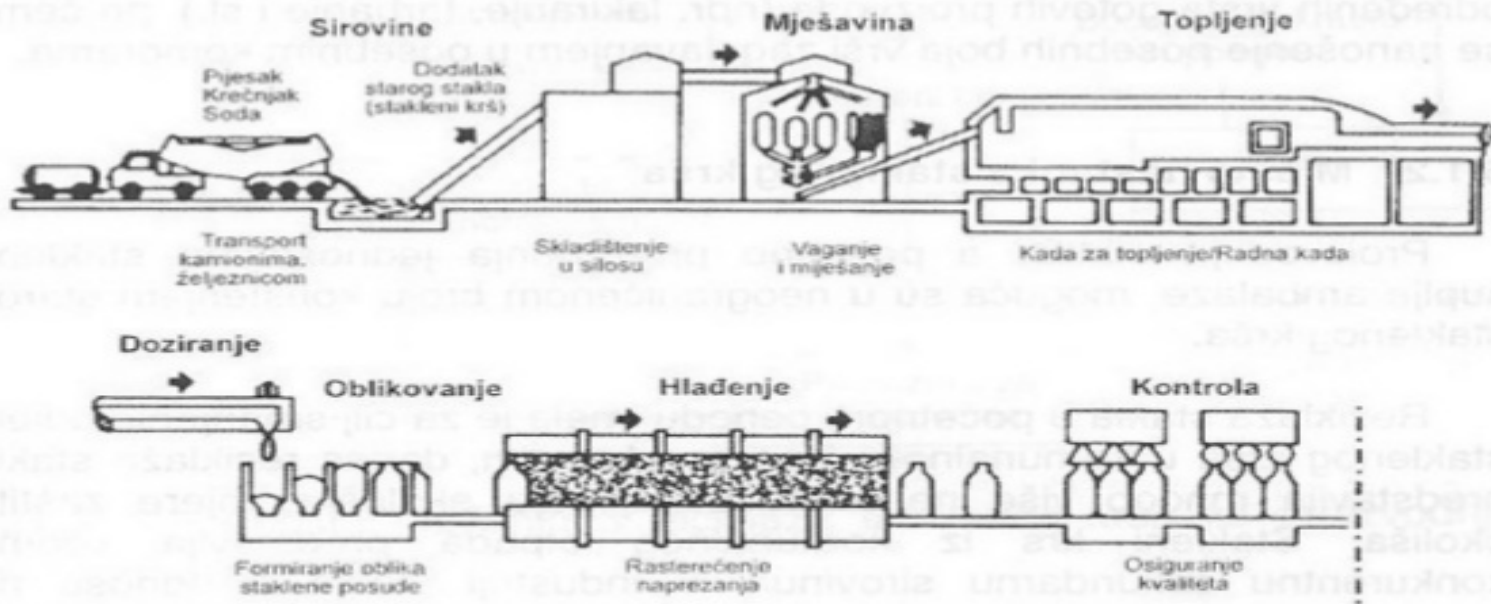


Кад се сви састојци споје, мешавина се убацује у огромну пећ у којој се загрева док се не истопи и пређе у течно стање. У највећу такву пећ може да стане око 1,3 милиона килограма течног стакла.



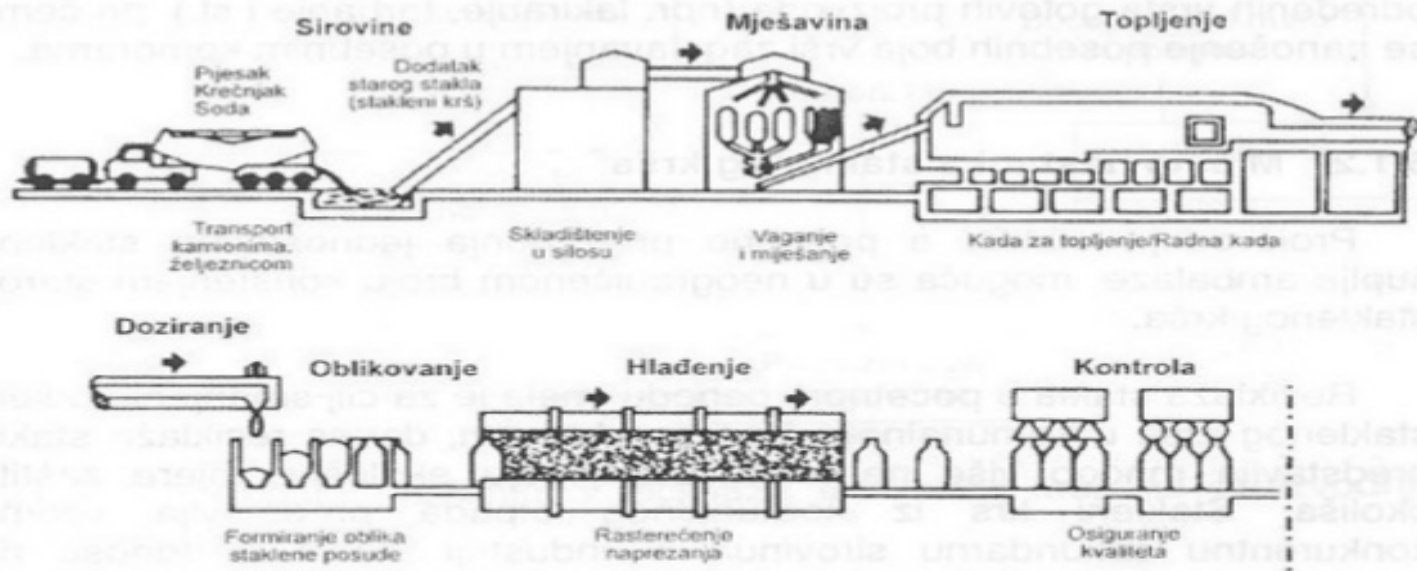
Течно стакло се држи на највишој температури док не нестану сви мехури и линије, тако да предмети који се од њега израђују буду савршено провидни.

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



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.







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%



-
- ▶ 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).**

Предности рециклаже стакла и њен утицај на животну средину

- ▶ 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.

Предности рециклаже стакла и њен утицај на животну средину

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 CO₂ у атмосфери је мања (**свака тона рециклираног стакла уштеди 315 кг CO₂** који би отишао у атмосферу, у односу када би се стакло добијало од нових сировина).

Предности рециклаже стакла и њен утицај на животну средину

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**.



- ▶ При производњи суперсола млевене стаклене крхотине се мешају са адитивима, након чега се **мешавина пече и механички разбија у три фракције (прах, ситну и крупну фракцију)**. Прах суперсола је материјал **сличан цементу** 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

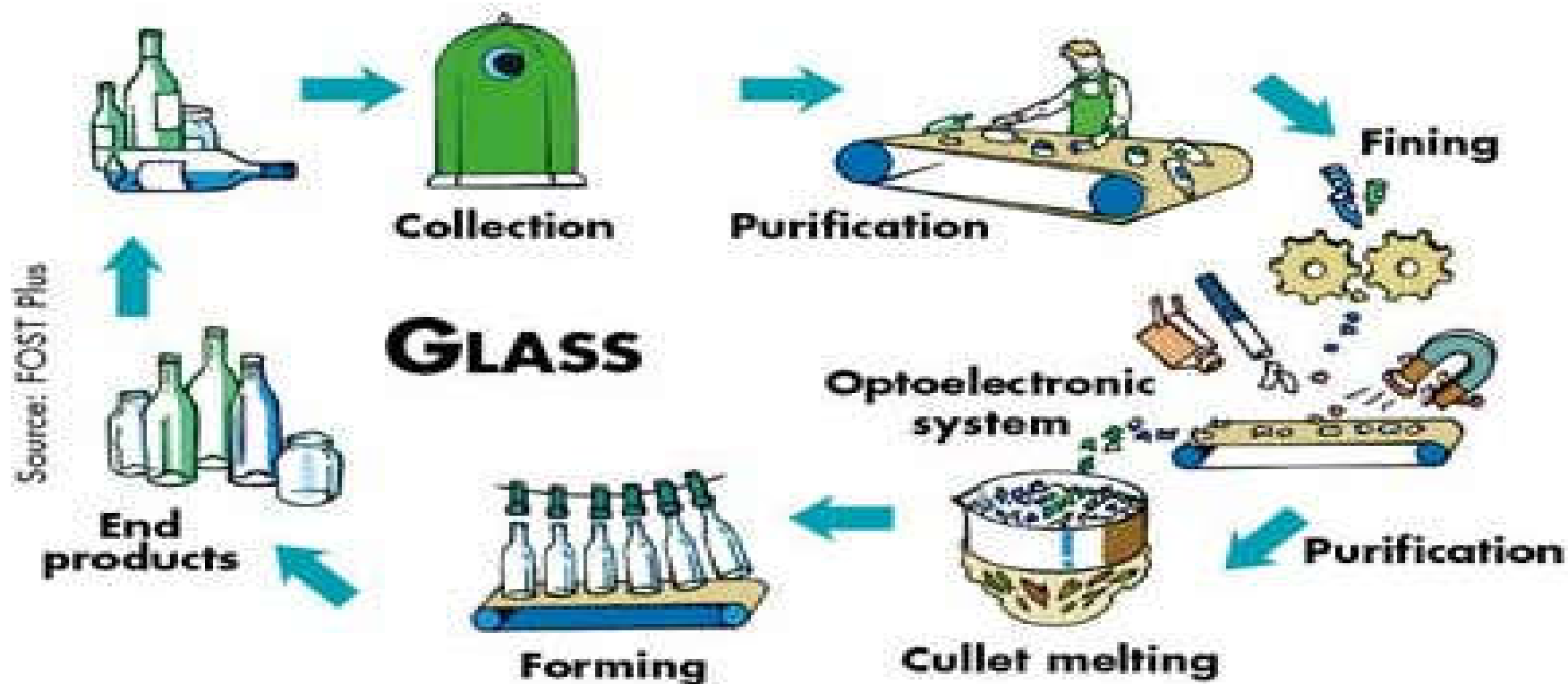
Максимална количина непожељних боја	смеђе	зелено	бело
У белом стаклу	0,05%	0,1%	-
У смеђем стаклу	-	5,0%	5,0%
У зеленом стаклу	5,0%	-	5,0%

-
- ▶ 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)**

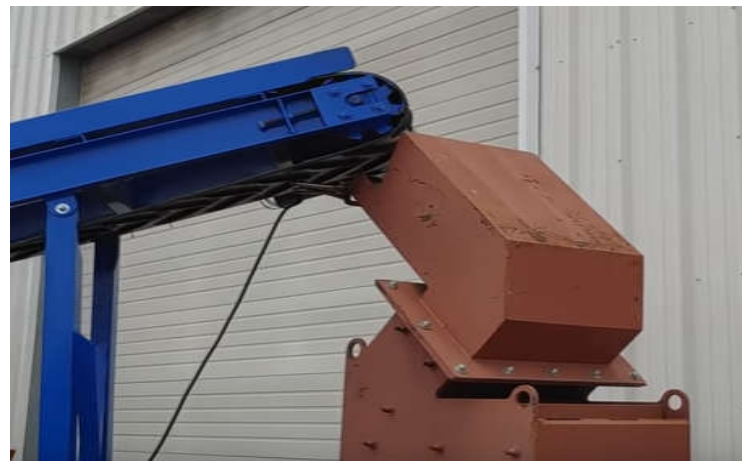
Одвојено од осталог стакленог отпада треба сакупљати:

- 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 аутостакло) и армирано стакло

Припрема отпадног стакла за рециклажу-млевење стаклене амбалаже









(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



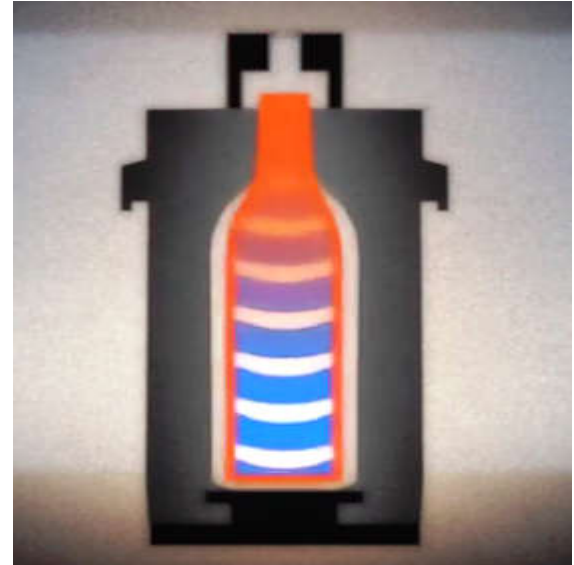
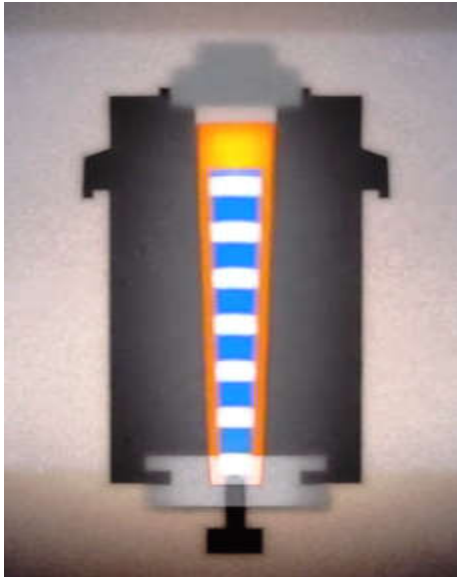
Green Glass Cullet



-
- ▶ Топљење на 1500оC 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 напите. Након тога се производ хлади, како би добио потребу чврстоћу.

Принципи израде боца Дувано-дувано

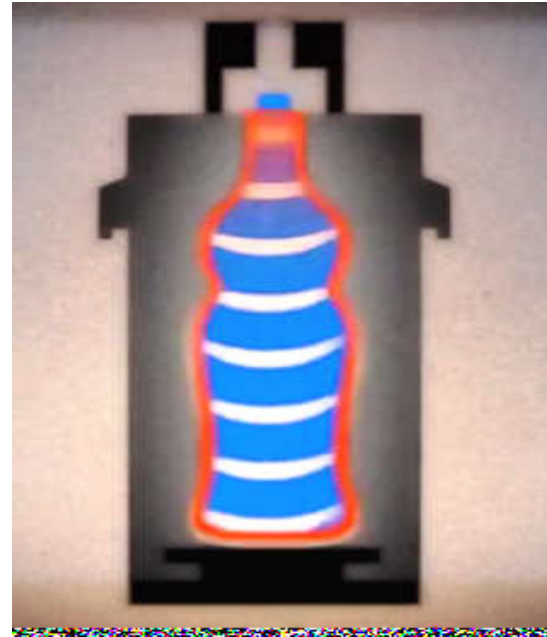
- ▶ Преткалуп – обликује се грло боце које се затим изнутра напуни ваздухом
- ▶ Калуп - добија коначни облик опет удувавањем ваздуха



Принципи израде боца

Пресовано-дувано (за танкозидне боце)

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



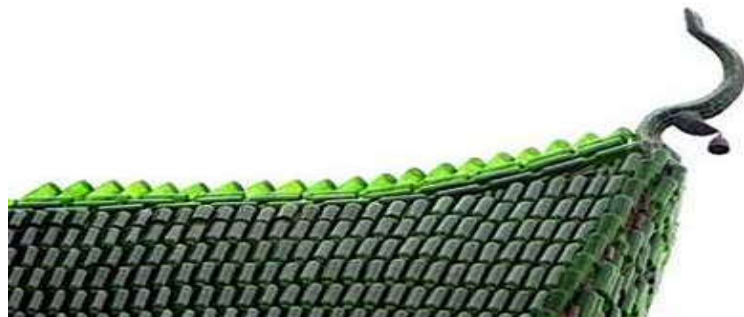
ИМПЛОЗИЈА СТАКЛА

- ▶ 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 😊

