

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 711/2016

Светлана В. Мировић

Емисионе карактеристике стакла

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Небојша Лукић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада обрађено је стакло и његова својста, као и његове физичке, хемијске и механичке особине. Описано је неколико процеса производње стакла, са сликовним приказима, где су видљиви поједени делови алата, потребног за добијање стакленог производа.

Најважнији део рада детаљно описује нискоемисиона стакла и његове карактеристике, коефицијент емисије стакла, коефицијент рефлексије стакла и коефицијент апсорпције стакла.

Препоручена литература:

- [1] Ушћумлић, Д., Урошевић, С., Јовановић, Л., Миловановић, Р., (2002), Комерцијално познавање робе, Економски факултет, Београд.
- [2] Donald R. U., Norbert J. K., (1991). Optical properties of glass. Westerville, OH: American Ceramic Society.
- [3] Noel C. S., (1998), The Glass and Glazing Handbook; Standards Australia; SAA HB1.

Садржај

РЕЗИМЕ.....	6
ABSTRACT.....	7
1. УВОД.....	8
2. СТАКЛО И ЊЕГОВА СВОЈСТВА	9
2.1 Историја појаве стакла	9
2.2 Својства (особине) стакла	10
2.2.1 Физичке особине стакла	11
2.2.2 Механичке особине стакла.....	13
2.2.3 Хемијске особине стакла.....	14
2.2.4 Визуелне особине стакла.....	14
2.3 Врсте стакла.....	15
3. ПРОЦЕС ПРОИЗВОДЊЕ СТАКЛА	16
3.1 Технолошки процес производње стакла састоји се из пет основних фаза, а то су:	16
3.1.1 Припрема сировина.....	16
3.1.2 Топљење стакла.....	17
3.1.3 Обликовање стакла	18
3.1.4 Хлађење стакла.....	19
3.1.5 Накнадана обрада предмета	19
3.2 Процес производње равног стакла	20
3.3 Производња оптичког стакла.....	22
3.4 Производња амбалажног стакла	22
3.5 Поступак производње стаклене вуне	23
4. НИСКООМИСИОНА СТАКЛА И ЊИХОВЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ	24
4.1 Нискоемисиони премази на стаклу	25
4.2 Карактеристике ниско-емисионих стакала.....	28
5. КОЕФИЦИЈЕНТ ЕМИСИЈЕ СТАКЛА.....	31
5.1 U-вредност према EN 673 ψ -вредност	31
5.2 Способност емисије ϵ према EN 673	31
6. КОЕФИЦИЈЕНТ РЕФЛЕКСИЈЕ СТАКЛА	32
6.1 Антирефлексиони слојеви.....	32
6.2 Апсорпциони слојеви	32
6.3 Интерферентни слојеви	33
6.3.1 Једнослојни премази	33

6.3.2	Вишеслојни премази.....	33
6.4	Рефлексија	33
6.5	Примена интерференције	34
6.6	Примена АР слојева.....	34
6.6.1	Природни АР слојеви.....	34
6.6.2	Корективна стакла.....	35
7.	КОЕФИЦИЈЕНТ АПСОРПЦИЈЕ СТАКЛА	35
7.1	Оптичка транспаренција стакла	36
7.2	Коефицијент апсорпције	38
8.	ЗАКЉУЧАК.....	39
9.	ЛИТЕРАТУРА.....	40

РЕЗИМЕ

Стакло је у физичком смислу чврст растоп силициумовог оксида и оксида различитих метала. Добија се у облику амфорне хомогене супстанце, топљењем и хлађењем смеше поменутих оксида при чему се избегава кристализација. У хемијском смислу је само кварцно стакло једноставно: састоји се од силицијумдиоксида.

Стакло се добија топљењем мешавине соли натријума, калцијума са кварцним песком и додацима у мањем проценту: натријум, калијум и бор. Опште карактеристике стакла су: отпорност према хемикалијама, киселинама, базама и води са изузетком флуороводоничне киселине која га одмах нагриза.

Технолошки поступак у производњи стакла подразумева низ процеса и операција. Припрема стаклене масе подразумева ломљење и млевење, а затим хомогенизацију одмерених компонената при чему се води рачуна о губицима који настају при испаравању у току топљења неких компонената да би се добило стакло одређеног хемијског састава.

У раду ће бити приказана својства стакла, пре свега његове емисионе карактеристике, односно коефицијент емисије стакла, коефицијент рефлексије и апсорпције стакла.

ABSTRACT

The glass is physically a solid dissolution of silicon oxide and oxides of different metals. It is obtained in the form of an amorphous homogeneous substance, melting and cooling the mixture of said oxides, thereby avoiding crystallization. In a chemical sense, only quartz glass is simple: it consists of silicon dioxide.

The glass is obtained by melting a mixture of sodium salt, quartz calcium and additives in a small percentage: sodium, potassium and boron. General characteristics of the glass are: resistance to chemicals, acids, bases and water with the exception of flurovodoniac acid that immediately burns it.

The technological process in the production of glass involves a series of processes and operations. Preparation of glass mass involves breaking and grinding and then homogenizing the measured components, taking into account the losses resulting from evaporation during melting of some components in order to obtain a glass of a certain chemical composition.

The paper will show the properties of the glass, primarily its emission characteristics, ie the glass emission coefficient, reflection coefficient and absorption of glass.

Keywords: glass, properties, emissions, coefficient

1. УВОД

Сматра се да је стакло откривено још пре 5.000 година. Легенде кажу да су га открили Бабилонци, Феничани, Египћани, али историјске чињенице нису потврђене. Пронађени су различити украсни предмети и посуде од стакла.

Стакло се као производ из Египта преко Грчке проширио до Рима, а тек су Римљани 100 година пре нове ере почели са застакљивањем прозора на зградама. Техником фузије израђено је безброј посуда и украс од стакла. У том раздобљу развијена је и техника дувања стакла и израде равног стакла ваљањем.

Модерна историја стакла започиње 1851. године када је енглески архитект Јосепх Пацтон, за светску изложбу у Лондону, пројектовао стаклени павиљон под именом "Cristal Place". Та револуционарана грађевина, израђена од стакла и челика, подстакла је архитекте да стакло почну употребљавати као грађевински материјал.

Године 1952. Сир Аластаир Пилкингтон покренуо је нову револуцију у стакларству применом измученог „float процес” стакла. Овај процес омогућио је израду стаклених плоча у разним бојама и у различитим дебљинама и димензијама. Од тада се развој технологије израде и употребе стакла нагло убрзао.

Данас је израда стакла модерна индустрија високе технологије која је у могућности да произведе на хиљаде стаклених плоча дневно у разним бојама.

Стакло је аморфни (некристални) тврди материјал обично избрушен и провидан, направљен у највећем делу од силицијума и база спојених на високој температури. Стакло је хомогена аморфна, изотропна, провидна, чврста и крта материја у метастабилном стању настала хлађењем и загревањем. Садржи најчешће силицијумски песак, соду, оксиде алкалних метала и кречњак. То је биолошки неактивни материјал. Стакло је транспарентно провидно за видљиво светло (постоји и непровидно стакло). Обично стакло не пропушта светло малих таласних дужина јер садржи примесе.

Термин стакло се често дефинише у ширем смислу, тако да обухвата сваки чврсти материјал који поседује некристалну (и.е. аморфну) структуру на атомској скали и који испољава стаклену транзицију при загревању до течног стања. Стога су порцелани и многе полимерне термопластике, које често срећу у дневној употреби, исто тако физичка стакла. Те врсте стакла могу да буду направљене од веома различитих врста материјала: металних легура, јонских растопа, водених раствора, и полимера. У многим облицима примене (флаше, наочаре) полимерна стакла (акрилно стакло, поликарбонат, полиетилентерефталат) су лаганије алтернативе традиционалног силицијумског стакла.

2. СТАКЛО И ЊЕГОВА СВОЈСТВА

2.1 Историја појаве стакла

Стакло је аморфни (некристални) тврди материјал обично избрушен и провидан, направљен у највећем делу од силицијума и база спојених на високој температури. Стакло је хомогена аморфна, изотропна, провидна, чврста и крта материја у метастабилном стању настала хлађењем и загревањем. Садржи најчешће силицијумски песак, соду, оксиде алкалних метала и кречњак. То је биолошки неактивни материјал. Стакло је транспарентно провидно за видљиво светло (постоји и непровидно стакло). Обично стакло не пропушта светло малих таласних дужина јер садржи примесе [1].

Стакло се налазило и у природи и ствара се у вулканским активностима. Други облик природног стакла настаје ударом грома у силицијумски песак.

Природно створено стакло се, у каменом добу, користило за израду оштрог оружја. Његова израда откривена је око 3.000. године п. н. е. у Египту. У почетку технологија није омогућавала производњу чистог стакла, па се у старом Египту употребљавало углавном за производњу украса, а у античкој Грчкој и старом Риму су се производиле посуде од стакла. Од XI века се од стакла производи и накит. Даље, током векова, стакло добија све већу примену у разним областима, па и у уметности. На њему се слика, од њега се праве скулптуре и обликују разни украсни и корисни предмети, а у архитектури се дошло до тога да се зидови читавих зграда праве од стакла.

У старом веку од 15. до 2. века пре нове ере прво у Египту и Месопотамији, касније у Римском Царству за производњу стаклених предмета користиле су се технике наношења стакла око пешчаног језгра (производиле су се мале посуде) и ливене су у калупе (производио се накит или украси на зградама). Предмети од стакла израђивали су се мукотрпно и били су доступни само најбогатијима. Техника пресовања је своју широку примену нашла у касноантичкој изради прозорских стакала, а врхунац технике је било мозаичко стакло за украшавање прозора.

Изум луле за дување стакла (дуга гвоздена шипка чији би се један крај загревао до жарења и потом умакао у житку стаклену масу у стакларској пећи) два века пре нове ере омогућио је технолошки напредак, масовнију и јефтинију производњу. Стакло се дувало слободно (што је омогућавало стварање великог броја различитих и уникатних облика), и лило се у калуп (што је омогућавало стварање рељефних украса и жигова). У доба цара Августа градиле су се бројне радионице и стакло је постало доступно свим слојевима друштва. Користило се у домаћинству: шоље, тацне, тањире, чиније, боце, чаше разних облика и величина. Упоредо с развојем технике израде стакла развиле су се и технике сликања емајлом, гравирања, брушења, аплициране декорације и рељефне апликације те декорације с улегнућима и гранулирањем.

Пропашћу Римског царства пропале су и стакларске радионице. У бившим римским колонијама Галији и Германији стакло се производило и даље, али му је квалитет био скроман [1].

У средњем веку цењене су биле самотанске радионице широм Европе у којима се израђивало шарено стакло за црквене прозоре и стакло које имитира драго камење за украшавање златарских производа. Падом Цариграда 1204. византијски произвођачи стакла нашли су азил у Венецији, до тада скромном средишту европског стакларства.

Увели су монопол у производњи луксузног стакла који се све до данас штити строгим законима.

Од 14. века почело се израђивати и обично прозорско стакло. Око 1600. године средиште стакларске производње преселило се у Праг где се обновила и даље и развијала техника двоструког стакла. Појавили су се масивни барокни облици и потиснули све дотадашње. Производња потпуно прозирног стакла (без мехурића и влаканаца) омогућила је израду лећа и изуме микроскопа и телескопа. Производња и примјена стакла нагло је порасла пред крај 18. века када је пронађен јефтин поступак за добијање важне сировине (натријум карбоната). [2]

Фридрих Сименс је 1867. на светској изложби у Паризу добио златну медаљу за своју стакларску пећ. Мајкл Џосеф Овенс је 1903. изумео прву аутоматску машину за дување стакла (производио је 9 боца у минути). Захваљујући Овенсовом изуму, почеле су се градити аутоматизоване стакларе.

2.2 Својства (особине) стакла

Стакло је неоргански материјал, аморфне структуре високих перформанси. Стакло је једнообразан, прозиран материјал, који се добија у сложенем технолошком процесу.

Основа овог процеса су две фазе: топљење стакларског камена и изломљеног стакла, у првој, и хлађење течности са непрестаним повећањем вискозитета пре завршног хлађења, у другој фази.

Особине стакла зависе од: [3]

- хемијског састава (односа и врсте компонената)
- поступка добијања
- начина прераде
- поступака додатне обраде.

Све особине стакла могу се појавити у различитим облицима и комбинацијама што за последицу има велики број производа од стакла. У зависности од хемијског састава стакло може бити кречно и оловно.

Кречно (обично) стакло има примарни значај за примену у архитектури. Основна сировина од које се производи кречно стакло јесте кварцни песак (SiO_2) од 69% до 74%.

У састав кречног стакла улазе још:

- калцијум-оксид (CaO) 5% – 12%
- натријум-оксид (Na_2O) 12% – 16%
- магнезијум-оксид (MgO) 0% – 6%
- алуминијум-оксид (Al_2O_3) 0% – 3%.

Боросиликатно стакло је стакло које у свом саставу поред кварцног песка садржи оксид бора (B_2O_3) у следећем односу са другим компонентама:

- кварцни песак (SiO_2) 70% - 87%
- бор-оксид (B_2O_3) 7% - 15%
- натријум-оксид (Na_2O) 1% - 8%

- калијум-оксид (K_2O) 1% - 8%
- алуминијум-оксид (Al_2O_3) 1% - 8%.

Оловно стакло (кристал) добија се када се кречњак замени оловним оксидом (PbO).



Слика 1. Стакло [3]

Стаклу се додају састојци који побољшавају његове физичке и хемијске особине, за превенцију кристализације додаје се алуминијум-оксид (Al_2O_3), а за бојење стакла, (слика 1) [3].

- хром-оксид (Cr_2O_3) – зелено
- кобалт-оксид (CoO) – плаво
- бакар-оксид (Cu_2O) – црвено
- селен (Se) – љубичасто
- уранијум-оксид (U_2O_3) – жуто.

За примену стакла у архитектури најзначајније су следеће групе особина:

- физичке особине стакла:
 - трансмисија (пропуштање) светлости
 - индекс преламања светлости
 - термичке особине
 - отпорност у пожару
 - акустичке особине
 - порозност
- механичке особине стакла: чврстоћа, тврдоћа и отпорност на хабање
- хемијске: хемијска постојаност
- визуелне: боја и површински карактер.

2.2.1 Физичке особине стакла

Под физичким својствима материјала подразумевају се она својства која се не мењају (односно која се мењају само док трају узроци који промене изазивају), које материјал карактеришу без обзира на количину и облик или производ у коме се налази [4].

Оптичке и енергетске особине стакла - Део спектра електромагнетног соларног зрачења који стиже до површине земље је део оптичког зрачења, који се креће у таласним дужинама од 290 до 2.100nm и обухвата видљиво, ултраљубичасто и инфрацрвено зрачење. Видљиви део спектра је између 400 и 780nm. Између 300 и

400nm је ултраљубичасто зрачење, док је од 780 до 2.110nm зона инфрацрвеног (топотног) зрачења. Дистрибуција оптичког зрачења би се могла исказивати следећим односом: ултраљубичасто 3%, видљиво 53%, инфрацрвено 44%.

Када светлост падне на обично незапрљано равно стакло, дебљине 6mm, део бива рефлектован (око 4%), део апсорбован (1,6 - 2,5%), а остатак пропуштен (максимално 91-92%).

У погледу пропуштања сунчеве светлости и енергије могу се дефинисати основне карактеристике стакла: трансмисије (пропустљивост) светлости, укупна трансмисија енергије и соларни фактор.

Трансмисија светлости (енг. light transmission – LT) је мера пропуштања соларног зрачења у оквиру видљивог дела спектра, односно са таласним дужинама од 400 до 780nm. Представља однос пропуштене светлости и укупне количине светлости која пада на стакло под углом од 90°. Изражава се у процентима (%).

Директна трансмисија енергије (енг. Direct transmission energy– DET) представља пропуштену енергију у унутрашњи простор унутар таласних дужина од 320 до 2.500nm. Изражава се у процентима (%).

Соларни фактор (g) је однос количине топлотне енергије која пролази кроз стакло (директно као топлотна и она која је прво апсорбована) и укупне енергије која долази до стакла. Додавањем стакала одређених хемијских састојака и наношењем посебних слојева (енг. coating-a), добијају се различите врсте стакла, специфичних светлосних и термичких особина.

Термичке особине стакла - За архитектонске објекте од највећег значаја су следеће термичке особине: [5]

- Специфични топлотни капацитет [C] – означава брзину загревања или хлађења материјала, односно количину топлоте коју је потребно довести јединици масе да би се температура променила за 1K; за обично стакло износи 0,85 – 1kJ/kgK.
- Коефицијент пролаза топлоте [U(k)] – одражава количину топлоте која прође у јединици времена, кроз јединичну површину, при разлици температуре од 1K. За стакло дебљине 4mm износи 5,81W/m²K.
- Коефицијент топлотне проводљивости [λ] – количина топлоте која прође у јединици времена, кроз слој материјала дебљине 1m, управно на његову површину, ако разлика у температури његових граничних површина износи 1K. Јединица мере је W/mK.
- Коефицијент топлотног ширења – мера за ширење материјала, одређује понашање материјала при температурним променама, што је од великог значаја, нарочито за контакт са другим материјалима у конструкцијама. Термички коефицијент топлотног издужења зависи од хемијског састава стакла.

До појаве термичког замора долази када је материјал дуже време изложен променама температуре. Последица је смањење механичке чврстоће и оштећења материјала. Термопостојаност стакла при наглом загревању је већа него при хлађењу, с обзиром да је отпорност стакла на притисак око десет пута већа од отпорности стакла на затезање. Повећањем дебљине стакла опада вредност температурне разлике коју стакло може да поднесе.

Приликом избора врсте стакла за елементе конструкције мора се нарочито водити рачуна у његовој отпорности на температурне шокове. Термички шок настаје услед нагле промене температуре (нпр. настајање или гашење пожара).

Отпорност стакла у пожару - При дејству пожара, као и за друге материјале, за стакло су најважније особине: запаљивост и отпорност у пожару.

Обично стакло спада у незапаљиве материјале (класа A1). Приликом пожара, обично стакло брзо пуца услед термичког шока и не може се сматрати противпожарним материјалом. Међутим, применом боросиликатног и вишеслојног стакла са међуслојевима отпорним на високе температуре, понашање стакла у пожару је значајно измењено, стога је стакло постало један од материјала који се може користити и као пожарна баријера [5].

Отпорност у пожару је временски интервал у којем су елементи способни да врше своју функцију у условима стандардног пожара, класе отпорности за стакло су 30, 60, 90, 120 и 180 минута.

Акустичке особине стакла - Под акустичним особинама сматра се скуп особина које се односе на понашање материјала при дејству звука. У ужем смислу то је однос примењеног материјала и заштите од буке. Велика густина стакла повољно се одражава на акустичке особине, али узимајући у обзир малу дебљину, вредности су незадовољавајуће.

Вишеслојна стакла могу обезбедити одређени ниво слабљења звука, као и термоизолациона стакла, која поред своје, основне функције, повећањем међупростора између стакала дају добре резултате у смањивању нивоа буке. Звучна заштита зависи од дебљине стакла, те за стакло од 3mm износи 24dB, за стакло дебљине 9mm – 30dB.

Порозност стакла - Порозност је битна особина материјала у архитектури и представља степен компактности материјала. Код стакла порозност је равна нули, стакло не пропушта ни течности ни гасове.

2.2.2 Механичке особине стакла

Механичке особине карактеришу понашање материјала при дејству спољних (механичких) сила, приликом којег долази до одређеног напонског стања (напрезања), док не дође до промене материје, односно лома материјала.

Чврстоћа стакла (E) - Чврстоћа материјала је способност материјала да се супроставља деформацијама и слому. Ова особина обухвата неколико аспеката понашања стакла и то: способност да подноси притисак, затезање и савијање. Понашање стакла у стањима напрезања, у великој мери одређују његову употребљивост, будући да је материјал од кога се пројектују и изводе ови конструктивни елементи [6].

Према начину на који се деформише, стакло спада у крте материјале, код којих до слома долази нагло, без претходних упозорења. Крта природа стакла неће дозволити редистрибуцију оптерећења или апсорпцију енергије удараца.

Стакло је аморфне структуре и његова механичка својства су иста у свим правцима. Стакло је јако у стањима притиска, али слабо при затезању. До лома стакла услед савијања, долази на делу стакла напрегнутом за затезање, а не на притисак. Отпорност стакла приликом напрезања зависи од дужине времена напрезања (дуготрајно или краткотрајно), дебљине стакла, температуре и веома много од интегритета стаклене површине (ивице, рупе у стаклу и сл.). Теоретске вредности су више пута веће од практичних, углавном због несавршености стаклене површине, тзв. Грифитових напрелина. Чврстоћа стакла под притиском за једну исту врсту стакла

креће се у широким границама и зависи од облика који се испитује и услова при којима се испитивање врши. За обично грађевинско стакло износи $20.000 - 45.000 \text{ N/cm}^2$. Чврстоћа при затезању и савијању је и до десет пута мања и за обично грађевинско стакло износи 4.000 N/cm^2 .

Веома је важна мера отпорности стакла, као материјала, при којој ће бити усклађени захтеви максималне искоришћености материјала, без угрожавања сигурности. Сигурност се изражава коефицијентом сигурности $[K_s]$, којим се представља однос између максималних дозвољених и стварних напона, које материјал може да издржи.

Побољшање карактеристика стакла у стањима напрезања могуће је остварити процесом каљења, термичком или хемијском дорадом.

Тврдоћа стакла - Тврдоћа материјала је особина која се односи на отпорност према локалном дејству сила и подразумева отпорност материјала према: парању, зарезивању и продирању другог материјала. Тврдоћа зависи од састава и начина прераде стакла. Стакло је веома тврд материјал, упоредив са челиком. То је једна од његових најважнијих особина, значајна за обраду и трајност материјала. По Мосовој скали од 1 до 10 стакло има вредност 5-7.

Отпорност стакла на хабање - Хабање је појава на додирним површинама материјала са другим материјалима, када као последица трења долази до отирања или стругања. За стакло ово је веома важна особина, нарочито за оне елементе конструкција по којим се газе, где прашина и прљавштина могу бити абразивно средство [6].

Код стакла процес хабања утиче, пре свега, на промену визуелних квалитета, а не на значајнију промену масе. За хомогене материјале какво је стакло, хабање је равномерно и испољава се губљењем сјаја, постаје полупрозрачно и матирано. Површинским процесима могуће је повећати отпорност на хабање.

2.2.3 Хемијске особине стакла

Хемијска постојаност стакла – Трајност стакла је одраз хемијске постојаности и велике тврдоће. Стакло је отпорно на киселине, соли и њихове растворе и краткотрајно дејство база на нижим температурама. Влага и вода приликом неприкладног складиштења могу да изазову корозију и то од 8 μm годишње, после чега површина постаје груба. На површинама се формира прво сивкаста, а потом слој беле боје, који се тешко уклања. Боросиликатно стакло има повећану отпорност према киселинама и алкалним растворима.

2.2.4 Визуелне особине стакла

Прозирност - У односу на све друге материјале, веома значајна особина стакла, везана за његову примену у архитектури у погледу визуелног комфора, јесте прозирност (транспарентност). Ова особина у директној је вези са трансмисијом светлости и према европским нормама дефинисана је у стандарду EN 572 – 1, где су за одређене дебљине стакла дате минималне вредности трансмисије светлости (мерене према EN 410) за транспарентно и полутранспарентно стакло.

Најпрозирнија стакла, без боје, јесу стакла са малом количином фериоксида (Fe_2O_3). Ова особина, одређеним поступцима прераде, може се мењати и креће се од потпуно прозирних, преко полупрозирних (прозрачних) до непрозирних врста стакла. Ефекат прозирности може зависити и од угла под којим се гледа кроз стакло. Стакла са холограмском фолијом су прозирна само када се гледа управно на раван стакла [4].

Боја стакла - Додавањем адитива у растопљену масу стакла добијају се стакла различитих боја из декоративних разлога или ради добијања специфичних врста стакла у погледу пропуштања видљивог или инфрацрвеног зрачења. Ова стакла апсорбују већу количину топлотног зрачења, али имају битну ману – мењају квалитет перцепције боја у простору, будући да мењају боје.

Бојено стакло је могуће касније обрађивати – сечење, брушење, бушење, пескарење, обликовање. Најраспрострањенија су стакла зелене, плаве, сиве и браон боје у свим нијансама.

Површински карактер стакла - Када је реч о изгледу површине стакла, она је код обичног стакла сјајна и глатка. Додатном обрадом стакла могуће је добити стаклене површине измењеног изгледа, без сјаја или са рељефном фактуром. Променом површинског карактера мења се и степен прозирности.

Димензије стакла - Под димензијама стакла подразумева се његова ширина, дужина и дебљина. Димензије су условљене производним процесима произвођача и зависе од врсте и дебљине стакла. Ограничења постоје за све врсте стакла, а произвођачи вредности исказују кроз минималне/максималне могуће вредности у мм и допуштену толеранцију истих.

Најочигледнија предност стакла је једноставна хемијска структура и транспарентност која одређује визуелни аспект овог материјала. Стакло поседује позитивне особине, али треба нагласити да оне нису без лимита. Особине стакла веома варирају у зависности од врсте.

2.3 Врсте стакла

Стакло се употребљава у многим подручјима: грађевинарству, прехранбеној и електронској индустрији, за израду инструмената и украсних предмета, итд. Иако се стакло производило од времена старих Сумера и Египћана, било је скупоцено до почетка 20. века, док Мајкл Овенс није изумео машину за аутоматску производњу, након чега се широко употребљава [4].

Осим основних сировина, у производњи стакла често се раде и средства за бојење. То су најчешће метални оксиди или карбонати. На пример: кобалтно стакло је плаве боје јер садржи кобалт(II) оксид (CoO), зелена боја боце је од гвожђа(III) оксида (који је црвенкасте боје), а смеђа боја од баријум оксида (који је жуте боје).

Обично стакло се користи за израду прозорских стакала, затим као стакло за огледала и разво стаклено посуђе. Састав му приближно одређује формула $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6 \text{SiO}_2$. Такво прозорско стакло се користи од 18. века.

- Кристално стакло је најпознатије и добија се ако се калцијум оксид деломично замени олово (II) оксидом (PbO). Тешко оловно стакло има велики индекс лома светлости, па се користи за израду лећа, кристалних чаша, ваза и другог.

- Ватростално (натријум боросиликатно) стакло се користи у хемијским лабораторијама, јер је неосетљиво на промене температуре и хемијске реагенсе.
- Кварцно је стакло отпорно на брзе промене температуре, а израђено од чистог силицијум диоксида. Употребљава се за израду хемијског прибора који мора поднети нагле промене температуре, а како пропушта ултраљубичасто зрачење, употребљава се и у кварчним светиљкама. Направљено је од чистог SiO_2 .

3. ПРОЦЕС ПРОИЗВОДЊЕ СТАКЛА

3.1 Технолошки процес производње стакла састоји се из пет основних фаза, а то су:

1. припрема сировина,
2. топљење,
3. обликовање,
4. хлађење и
5. накнадне обраде предмета [1].

3.1.1 Припрема сировина

Приликом припремања сировина за технолошки процес производње стакла врши се: оплемењивање, млевење, сушење и просејавање сировинских материјала. Оплемењивање се углавном примењује код основне сировине (кварцног песка). Ова метода је веома сложена и састоји се из следећих операција: прања, флотације, електромагнетне сепарације и хемијског пречишћавања.

Прањем се елиминишу примесе које су лакше од кварцног песка. Након прања песак иде на флотацију, при чему се отклањају једињења гвожђа која су присутна у облику глинасих примеса или у облику танке опне на површини зрна песка. Електромагнетном сепарацијом се потпуно отклања гвожђе из свих природних сировина. Највиши степен чистоће песка се постиже хемијским методама пречишћавања.

Дробљење и млевење је следећи корак у припреми сировина. Дробљење се изводи у дробилицама, чији су продукти зрна величине 30-50 mm. Након дробљења ова сировина се шаље на млевење где се постиже крупноћа зрна према технолошким нормама, тј. не сме да буде већа од 0,75mm [5].

Сушење се одвија на различитим температурама које зависе од врсте сировине, тако да се песак суши обично на 700 - 800°C, а кречњак и доломит на 400°C. Добијање задовољавајућег гранулометријског састава постиже се просејавањем.

Технолошки поступак припреме мешавине се састоји из одмеравања и мешања одређених количина припремљених сировина. Пре увођења у пећ мешавина се овлажи са 4-5% воде, што повољно утиче на процес топљења.

Што се тиче гранулометријског састава највећа дозвољена величина зрна за кварцни песак, кречњак и доломит је 0,75mm, за калцинисану соду натријум – сулфат до 0,8 mm и за све остале вештачке сировине та величине се креће око 0,6 до 0,8 mm.

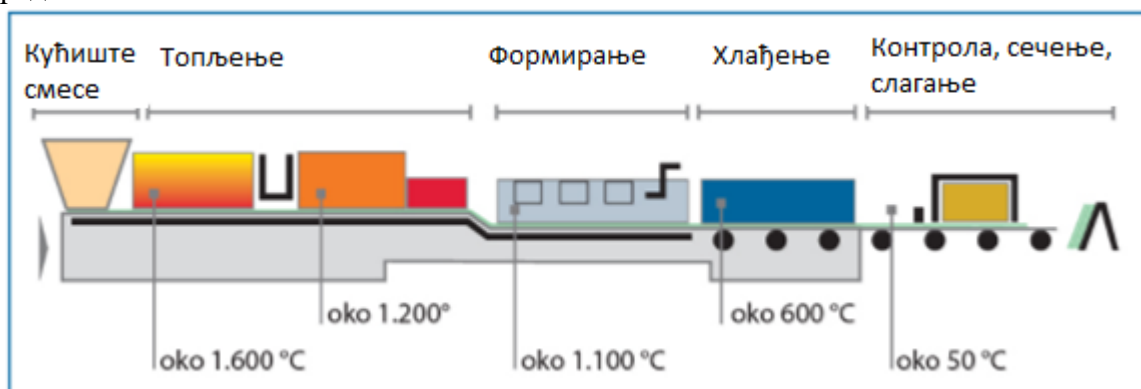
3.1.2 Топљење стакла

Топљење стакла је сложен физичко – хемијски процес који се одвија под дејством топлоте у циљу добијања растопљеног стакла из стакларске мешавине. Овај процес се посматра кроз пет фаза: [5]

- образовање силиката – настаје у почетној фази топљења одмах иза уношења стакларске мешавине, па се код повишених температура образују двојни карбонати и поједини оксиди који ступају у одређене хемијске реакције са кварцним песком при чему се образују силикати,
- образовање стакла – одиграва на температурама од 1100 до 1200°C,
- бистрење – долази до ослобађања видљивих гасних мехура из стаклене масе (циљ је добијање квалитетне стаклене масе),
- хомогенизација – добија се стаклена маса којој су хемијски састав и све физичко – механичке, топлотне и оптичке особине исте у свим деловима, и
- хлађење стаклене масе – хомогена стаклена маса доводи се на температуру која одговара изабраном начину обликовања.

Топљење се изводи у разним типовима пећи које могу радити континуирано и са прекидима.

У коритастој пећи (слика 2) процес топљења се одвија континуирано. У њима се обично топе безбојна стакла. На једном крају каде (корита) се додаје хомогенизована мешавина сировина, док се на другом крају каде стакло узима на прераду. Стаклена маса се стално креће, а у пећи се формирају три зоне: зона топљења, зона бистрења и радна зона.



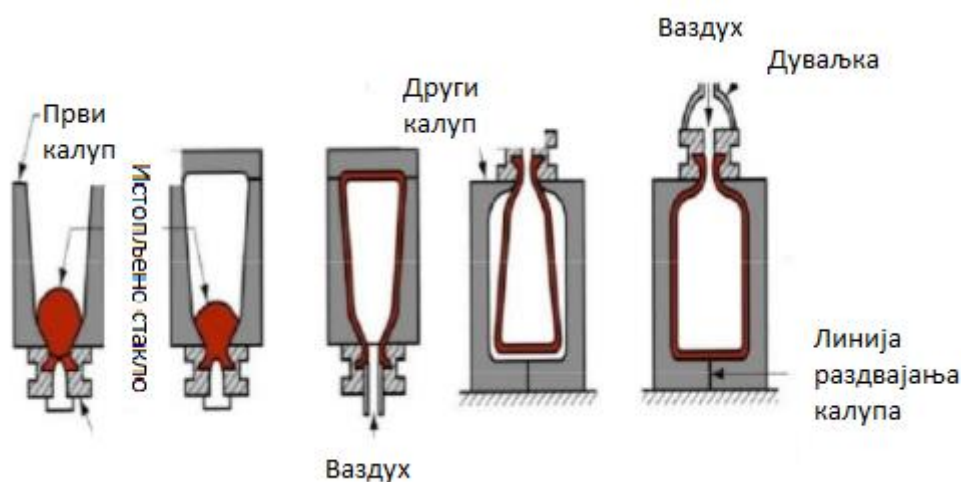
Слика 2. Процес добијања стакла

У пећи са лонцима се одвија такозвани дисконтинуалан процес. Оне се користе за топљење специјалних висококвалитетних врста стакала. Топе се у малим количинама и за њихову производњу је неопходно обезбедити низ специфичних услова, како би се добио очекивани квалитет. То су: кристална, оптичка, обојена, замућена и друге врсте техничких особина стакла.

Стакло се топи у лонцимаа који се греју на пламеној пећи. Шамотне опеке чине под и зидове пећи, а под је од силикатних опека. Лонци су сачињени од сирове нетопљиве глине (50%) и шамота (50%). Сировина се у лонце додаје и из њих вади специјалним кашикама.

3.1.3 Обликовање стакла

Обликовање стакла је процес где се из растопљене смесе добија производ одређеног облика. Методе обликовања стакла су разноврсне, не траже велике утошке механичке енергије и не захтевају дуг временски период извршења. Разлог је тај што стакло из стања растопа лако добија захтеван облик. На основу тога ту су различите могућности обликовања: смеша растопљеног стакла се може разлити у калупе, пресовати под притиском, извлачити у траке, цеви и пуне профиле, обликовати пуњењем калупа или без њих, затим истискивати у веома фина влакна и спајати две различите врсте стакла у вишеслојне производе или комбиновати више различитих метода [5].

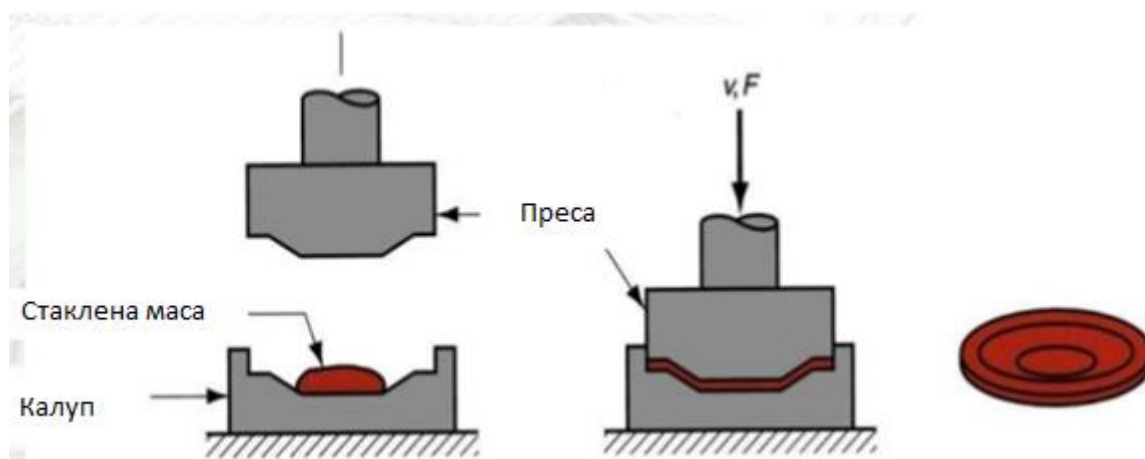


Слика 3. Добијање стаклене амбалаже

Предмети од стакла који се желе добити а компликованијег су облика добијају се дувањем помоћу специјалне луле дугачке око 1,5 m. Окретањем дувачке луле око своје осе и дувањем ваздуха кроз њу добија се крушкаст облик који се уноси у калуп где се предмету да коначан облик (слика 3). Могућност овог начина обликовања су врло велике. Њима се израђују врло сложени облици који могу да буду од више врста стакала.

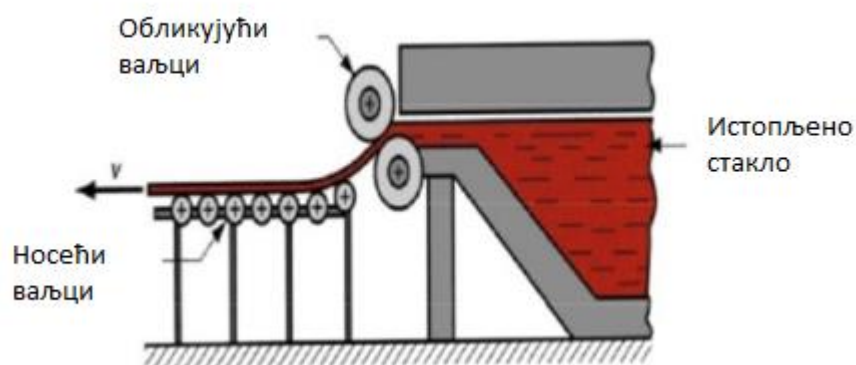
Стаклени предмети мањих димензија (дебеле чаше, пепељаре, сланици и сл.), обликују се пресовањем по дејством притиска у калупима одређених облика.

Одређена количина стаклене масе убацује се у калуп који је загрејан, поставља се прстен и полако се спушта језгро које кроз прстен улази у калуп. Притискивањем језгра врши се распоређивање стаклене масе по слободном месту калупа. Тако слободни простор карактерише величину, изглед и облик производа. Када је пресовање завршено извлачи се језгро ван, скида се прстен, а покретно дно се помера на горе и готов производ се ослобађа калупа (слика 4). Ако је калуп без покретног дна, онда се готов производ ослобађа превртањем калупа и истезањем.



Слика 4. – Пресовање стакла

Извлачењем између ваљака обликују се равна стакла, чија се дужина одређује међусобним растојањем ватросталних ваљака од азбеста (слика 5).



Слика 5. – Пресовање стакла

3.1.4 Хлађење стакла

Приликом овог процеса хомогена стаклена маса доводи се на температуру која одговара изабраном начину обликовања. Резлтат хлађења растопе је регулисање његовог вискозитета до вредности које условљавају радни услови. Процес хлађења се изводи у специјалним деловима пећи – радном простору.

3.1.5 Накнадана обрада предмета

Обрада стаклених производа дели се на две врсте: топлотна обрада и механичка обрада стаклених производа. Топлотна обрада је обавезна за све производе који се обликују ручним или механизованим дувањем јер садрже вишак стаклене масе. Механичка обрада стаклених производа обухвата операције као што су: облици брушења, бушења и механичко померање стаклених површина [2].

3.2 Процес производње равног стакла

У процесу „float” производње, односно производње равног стакла, који је данас у широкој употреби, сировине за справљање стакла се мешају у резервоару у коме се топе и претварају у течност на температури од приближно 1600°C . Добијена маса затим пролази кроз низ равнајућих ваљака у следећу комору, па на површину каде са течним калајем при унутрашњој температури од 1000°C .

Стаклена маса плута по површини течног калаја пошто стакло има мању специфичну тежину и услед тога преузима раван облик са савршено глатким и паралелним површинама једнаке дебљине. Ове карактеристике (изузетна равноћа, оптички квалитет и једнака дебљина) су суштинске одлике процеса производње флот стакла и не могу се поредити ни са једним процесом коришћеним у прошлости а који се још увек користе-„pittsburg” [7].



Слика 6. – Извлачење стакла пресом

При температури од 600°C стакласте насlage су довољно чврсте за вађење из каде са калајем, клизајући по ваљцима који одређују крајњу дебљину стакла услед бржег или споријег извлачења (што је одређено брзином ваљака) што је већа брзина ваљака то је стакло тање. Стакласте насlage се преносе кроз дугачак тунел за очвршћавање масе (слично каљењу) где пролази кроз процес контролисаног хлађења (слика 6).

Када би се овај процес хлађења прескочио површински слојеви наслага би се брже хладили, што производи стварање притиска и доводи до пуцања. Комора за хлађење је тунел од 100-120м у коме се температура постепено смањује, улазна температура је 800°C а на крају тунела је $150-200^{\circ}\text{C}$. По изласку из тунела стакло је спремно за сечење, обично до максималне дужине која је 6000mm док је ширина странице приближно 3300mm док се не сведе на стандардну ширину од 3210mm.

Индустријски премази за „float” стакла производе се у огромним количинама, најчешће уз помоћ две технике. Једна је хемијски пиролитички процес, који се назива тврди премаз, друга је физички процес (слика 7) који се зове вакуум магнетрон или процес таложјења - праска.

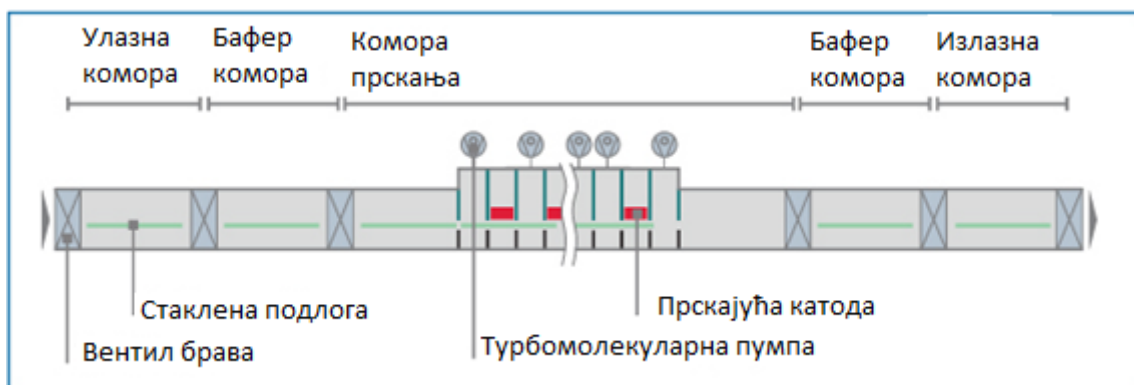
У зависности од премаза који се користи, материјали у обе методе стварају неутралан изглед и боје, при чему су ефекти боје мање очигледни када гледате чашу са чеоног дела и лакше се запажа када се гледа рефлексија на површини стакла. Ове две технологије су засноване на стакленој основи и не може се бити у заблуди по питању премаза површине који се примењује прскањем, ваљањем или процесом утискивања.



Слика 7. Пиролитичка метода

Овај тип процеса премаза „float” стакла се јавља током производње стакла на плутајућој траци. У овој фази стаклена површина је и даље неколико стотина степени Целзијуса, када се оксиди метала прскају по њему. Ови оксиди се стално пеку на површини и веома су тврди и отпорни, али су њихова својства веома ограничена због њихове једноставне структуре. Да се задовоље већи захтеви који су генерално потребни данас, користе се вишеслојни стаклени системи. Они се производе под вакуумом у магнетрон-процесу пуцкетања (слика 8).

Магнетрон процес има много ознака, чак и ону која датира од почетка када се овај процес називао "меки премаз", као супротност тврдом слоју. Данас је ова дефиниција погрешна, јер сада постоје изузетно отпорни магнетрон пуцкетајући филмови који се увек састоје од ултра танких, појединачних слојева филма. Ниједна друга технологија није у стању да премаже стакло тако савршено глатко са таквим изузетним оптичким и термичким особинама [7].

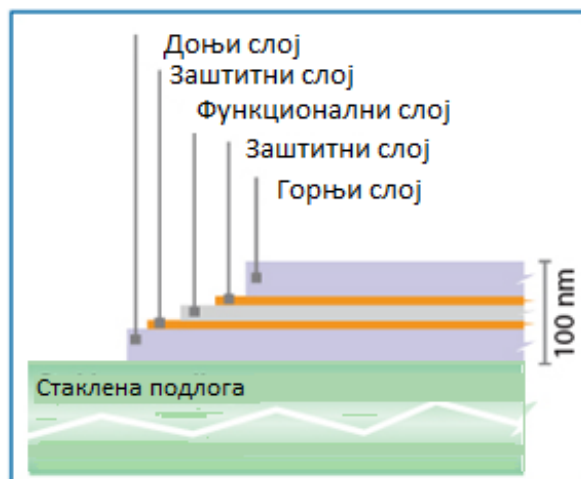


Слика 8. – Пресек магнетрон линије премаза

Материјал (односно мета или метална плоча) који ће бити депонован на површину стакла монтира се на електроду која има висок електрични потенцијал. Електрода и мета су електрично изоловани од зида вакумске коморе. Јако електрично поље (брзи електрони) јонизују распршивање аргон гаса. Убрзани аргон јони могу да одвоје материјал од мете сударањем са њим, што затим долази у контакт са стаклом, где се депонује на површину.

Метали и легуре се распршују са или без додатних реактивних гасова (O_2 или N_2). Сада је могуће одложити метале, металне оксиде и металне нитриде.

Типична монтажа јединице магнетрона - прашкастог премаза (слика 9).



Слика 9. - Слој намаза високих перформанси

3.3 Производња оптичког стакла

Постоје две основне групе оптичког стакла и то: крон и флинт стакла. Све оптичке особине зависе од хемијског састава. Крон стакла су по хемијском саставу обична натријум – калцијум, силикатна стакла са додатком бора или баријума, отуда постоји боро – силикат електричним путем ни или баријумов крон.

У производном процесу пажњу треба обратити на таљење, бистрење и хлађење које у неким случајевима траје и по неколико седмица. Како се мешавина тали у керамичким или платинастим лонцима растоп се може грејати електричним путем, а да се при томе не дође до бојења стакла. Недовршено стакло се сипа у калупе који су претходно загрејани и даље обрађује. Ово стакло се обликује полирањем и брушењем у леће и призме.

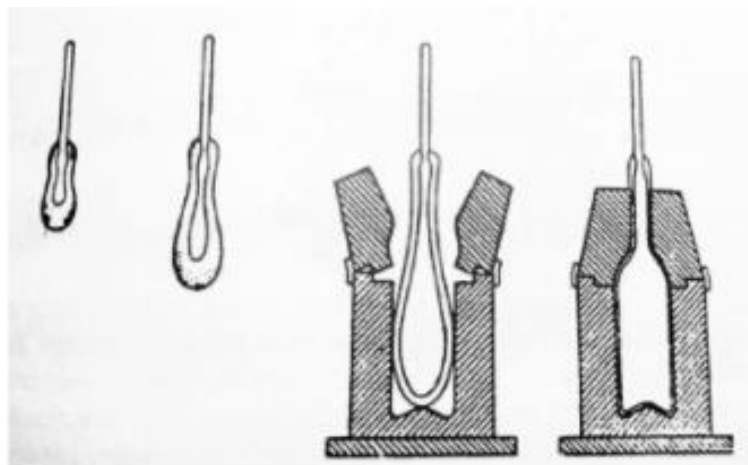
3.4 Производња амбалажног стакла

Амбалажно стакло се обликује путем стаклене луле. Стаклену лулу чини метална цев са усником и дрвеном хватаљком. Почетак рада се састоји у загревању стаклене луле испод површине на који се наноси стаклена маса. То наношење се врши загревањем стаклене луле испод површине растопа и лаганим окретањем стаклене луле нахвата се одређена количина стаклене масе.

Након набирања стаклене масе лула се заједно са стакленом масом извлачи из пећи и настаје процес припреме ове масе пре уношења у калуп. Од ње се лаганим окретањем луле образује кратак ваљак или конус. Дувањем таквог облика образује се кугла. Процес обликовања се изводи у калупу уз непрестано дување. Када је процес дувања завршен, обликован полупроизвод се вади из калупа и одваја од луле. Овакви комади се одводе у пећ за одгрејавање, а затим шаљу на разне фазе дораде (слика 10).

Основни недостаци оваквог поступка су: накнадна обрада овако обликованих сртикала, недовољно искоришћење стаклене масе због великих отпадака, недовољна

прецизност димензија, ангажовање већег броја радника, тешки услови рада и високи трошкови производње [7].



Слика 10. – Израда стаклених флаша методом дувања ка разним троз лулу

Масовна производња амбалажног стакла се одвија на разним типовима аутоматизованих машина. Масовна производња шупљих предмета као што су боце, чаше и балони за сијалице, одвијају се на аутоматским машинама са дувањем. Стаклени растоп сталне температуре, у једнаким количинама се дозира путем посебне хранилице у машину. Хранилица истискује потребну количину раствора у облику капи која прво улази у предкалуп, затим у завршни калуп где се обликује крајњи производ.

3.5 Поступак производње стаклене вуне

Производња стаклене вуне може се упоредити с производњом шећерне вате – једино су исходишни материјали различити.

За израду стаклене вуне користе се као сировине кварцни песак, вапненасте стене и натријум карбонат. Највећи удео има рециклажни материјал попут стаклених флаша, аутомобилских и прозорских стакала, који у стакленој вуни ИСОВЕР износи више од 80 посто. И остаци од обрезивања поново се враћају у производњу. Укупна количина енергије потребна за производњу стаклене вуне мала је захваљујући употреби рециклажног материјала. На тај се начин исплати утрошак енергије за производњу и превоз, на пример под повољним условима топлотне изолације таванске плоче већ након 10 дана.

Производни кораци :

- Топљење: кориштено стакло и стаклене сировине топе се у топионици на температури од око 1.300°C . Систем за биолошко прочишћавање ваздуха који се одводи из постројења наше је властите израде и гарантује за испуштање чистог ваздуха у околину.
- Поступак добијања влакна: истопљена маса се континуално претвара у влакна пропуштањем кроз „сито“ у струји ваздуха. У стручном жаргону то се назива поступком штампања и извлачења.
- Додавање везива: влакнима се додаје мала количина везива, тј. вештачких смола попут бакелита, које делују као лепак. Тиме

изолациони материјал поприма прави облик и механичка својства. Према потреби и зависно од производа додаје се и силикон, ради постизања водоодбојности.

- Пећ за очвршћавање: текуће везиво стврдњава се у пећи. Тек тада стаклена вуна која је иначе бела поприма типичну жуту боју.
- Резање: стаклена вуне потом се реже на жељену величину и облик, нпр. заролане бале или плоче. Обресци се поново враћају у производни процес.
- Паковање и превоз: због њене велике еластичности волумен стаклене вуне може се приликом паковања јако смањити. У случају роланих бала ИСОВЕР сабијањем се може уштедети до 60% простора а тиме и трошкова превоза, складиштења, дистрибуције и времена.

4. НИСКОЕМИСИОНА СТАКЛА И ЊИХОВЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

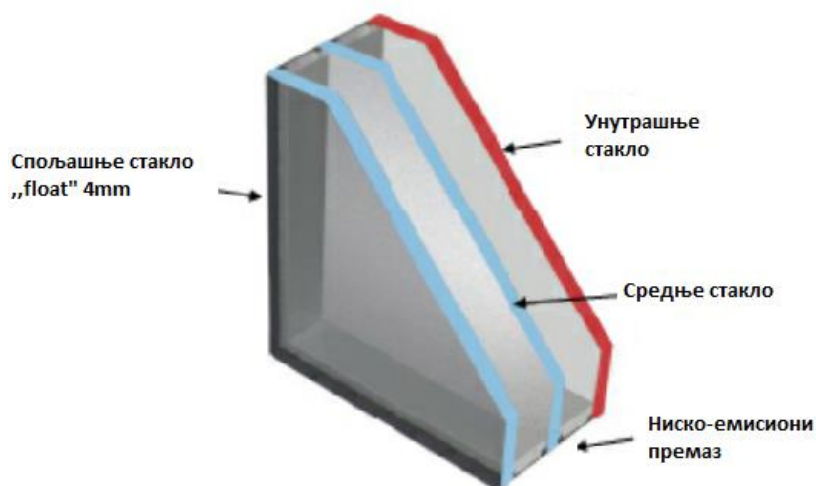
Данас је на тржишту велика потражња за стаклима која поседују мали коефицијент емисије односно нискоемисионим стаклима. Намена нискоемисионог стакла је да смањи пренос топлоте услед зрачења и пролаза кроз стаклени панел како би се постигле боље термичке особине.

Када је нискоемисионо стакло део двоструког стакленог панела, стакло са малим степеном емисије спречава губитак топлотне енергије и истовремено обезбеђује додатно загревање скупљањем сунчеве енергије, чиме се постижу изузетно добре термичке особине стаклених јединица и лети и зими.

Да би се боље разумела намена нискоемисионог стакла потребно је ближе објаснити појам сунчеве енергије и соларног спектра. Соларна енергија може се поделити на следеће компоненте : [2]

- ултраљубичасто зрачење - утицај ултравиолетног зрачења може бити штетан по људе, може оштетити намештај. Ово зрачење се мора блокирати како не би пролазило кроз стакло,
- дневна светлост коју треба искористити максимално,
- инфрацрвено зрачење - инфрацрвено зрачење може бити корисно и штетно. Корисно је када се сунчева енергија користи за загревање, а штетно у летњем периоду када долази до прегрејавања просторија.

Инфрацрвено зрачење се састоји од зрака различите таласне дужине. Инфрацрвено зрачење, зрака релативно кратке таласне дужине, апсорбују теписи, завесе, под, зидови па их мења у зраке велике таласне дужине. Оваква промена се дешава и изван просторија где се загревање услед инфрацрвеног зрачења сунца мења у енергију велике таласне дужине. Нискоемисиони материјал на површини стакла одбија зраке велике таласне дужине унутар објекта у зимском периоду када је температура у унутрашњости просторије виша од спољне температуре (слика 11).



Слика 11. Структура прозорског стакла

Током летњег периода, нискоемисиони слој одбија зраке велике таласне дужине изван објекта, тако да унутрашњост просторије има мању температуру од спољне температуре. Док одбија зраке велике таласне дужине, нискоемисиони слој истовремено омогућава пролаз дневне светлости. Ако је стакло обојено, чиме долази до преламања ултраљубичсте светлости при проласку кроз стакло, нискоемисиони слој обезбеђује идеалну заштиту од сунчевог зрачења и истовремено је задржава.

За даља побољшања термо изолације изо стакла, у међупростор изо стакла смешта се племенити плин аргон или други племенити плинови (Круптон, Хенон) као и мешавине племенитих плинова који побољшавају топлотни коефицијент изо стакла за ц. $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ у односу на ваздух [8].

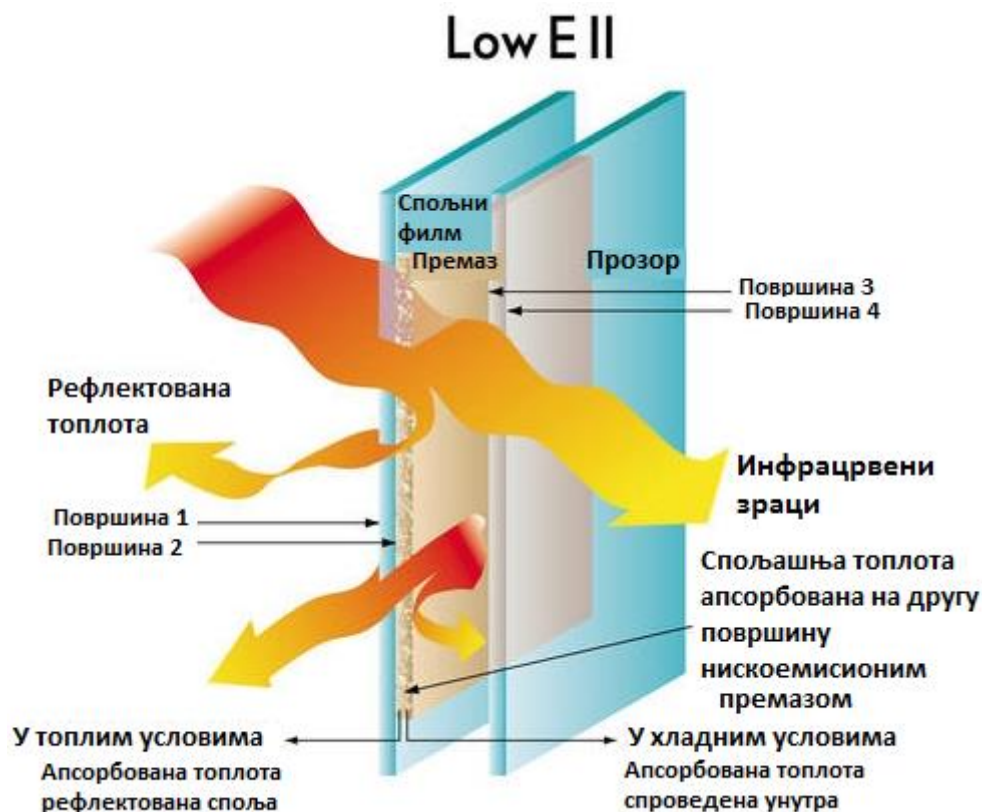
4.1 Нискоемисиони премази на стаклу

Постоје разне стратегије које произвођачи прозора користе у циљу побољшања енергетских перформанси: додавање додатних слојева стакла и повећање дебљине ваздушног простора између слојева стакла. Једна од револуционарних промена у дизајну прозора која се појавила 1980-тих година јесу ниско-емисиони премази.

Увођење ниско-емисионих (*low-e: low-emissivity*) премаза је заиста било револуционарно. Много почетног рада на ниско-емисионим премазима је финансирано од стране Министарства енергије Сједињених Америчких Држава (*U.S. Department of Energy*) - показујући праксу коју владе света треба да наставе да практикују. Један од пионира енергетске ефикасности, архитекта Блер Хамилтон (*Blair Hamilton*), био је укључен у неким од најранијих истраживања ниско-емисионих премаза на Масачусетском институту технологије (MIT) [8].

Средино 1970-тих, архитекта Хамилтон је радио на технологији у којој веома танки, транспарентни премаз сребра је вакумом постављен на танак слој милар (енг. *mylar*) пластике која се затим може поставити између два слоја стакла. Правилно произведен, пластични филм је невидљив, и он је произвео не само трослојно застакљену конфигурацију већ и магичан начин рефлектовања топлоте која покушава да побегне назад у собу.

Ниско-емисиони премази заправо не "рефлектују" топлоту. Уместо тога, они успоравају емисију зрачеће енергије (слика 12).



Слика 12. Емисиони токови кроз прозор

Једном када се соларна енергија која сија кроз прозор апсорбује од стране површина у кући - рецимо у поду или зиду - енергија загрева површину, коју заузврат почиње да зрачи сопствену енергију. Та енергија која се емитује од стране пода или зида је дуготаласно електромагнетно зрачење. Стакло или филм са ниско-емисионим премазом апсорбује ту топлотну радијацију (уместо да га преноси) и ниско-емисиони премаз у великој мери ограничава поновно зрачење - или емисију - те енергије. Одатле и термин ниско-емисиони.

Комапније су активно радиле на напорима да директно поставе ниско-емисионе премаза на стакло. Прва компанија PPG (првобитно Pittsburgh Plate Glass) и Cardinal Glass су произвели ниско-емисионо стакло 1983. године и други произвођачи стакла су их убрзо пратили [9].

Током наредне две деценије, ниско-емисиони премази који су директно постављени на стакло су освојили већину тржишта - и они и дан данас доминирају. Иако компанија Southwall и даље производи добре производе и велики број произвођача прозора инкорпорира њихов Heat Mirrorфилм на прозоре, директно обложено ниско-емисионо стакло је далеко чешће данас.

Да би били најефикаснији у поднебљима где се жели блокирање губитка топлоте али и дозвола улазак соларног топлотног добитка, ниско-емисиони премази треба да се поставе на спољној површини унутрашњег окна стакла - у индустрији производње прозора, ово је познато као површина бр.3 (у набрајању површина увек се почиње са спољне површине).

У топлијим климама, где се већа брига поклања недозвољеном уласку нежељене топлоте, преферирана локација ниско-емисионог премаза је површина бр.2 (унутрашња страна спољашњег стакла). Одређене немачке компаније су произвеле прозор коме се

стакла окрећу тако да се оптимизује ниско-емисиони премаз у зависности од годишњег доба.

Разлике између свеукупног енергетског перформанса прозора са премазима било на површини бр.2 или 3 у било којој клими је мање значајна од разлике постојање ниско-емисионог премаза и непостојања истог. Неки произвођачи само стављају ниско-емисивни премаз на површини бр.2, наводећи забринутост због неуспеха запечећења када је премаз на површини бр. 3. То није велики проблем чак и у хладној клими.



Слика 13. Ниско-емисиони премази на стаклу

Са ниско-емисионим премазима директно постављеним на стаклу постоје две широке категорије: меки премаз и тврди премаз (слика 13). Са меким ниско-емисионим премазом, танак слој сребра се ставља на стакло путем процеса прскања након производње стакла, Иако су најранији меки ниско-емисиони премази имали један слој сребра, премази са два слоја (ниско-емисиони на квадрат) и три слоја (ниско-емисиони на куб) су почели да се производе пошто имају још мању емисивост и мањи губитак топлоте.

Ови прскајући премази се називају "меким премазима" зато што премази остају прилично деликатни и морају да се заштите унутар изоловане стаклене јединице (суочавајући се са ваздушним простором) - иако се ово можда мења.

Са традиционалним тврдим ниско-емисионим премазима, ниско-емисиони слој оксида индијума и калаја се примењује када је стакло истопљено и када тек почиње да очвршћава. Означавајући производњу на високој температури, ови премази се такође називају "пиролитички" (пуролутиц) ниско-емисиони премази. Оксид индијума и калаја постаје део стакла и, као резултат, ниско-емисиони премази постају дуготрајнији. Зато су ова врста премаза добра за прозоре који трпе доста атмосферских падавина и пуно абразивних акција [9].

Иако су тврди ниско-емисиони премази издржљивији од маких, емисивост није тако ниска, тако да ова стакла не постижу тако низак U фактор. Са друге стране, они дозвољавају већи продор сунчевих зрака, тако да су обично бољи за куће које се ослањају на пасивно соларно грејање.

Разлика између меких и тврдых ниско-емисионих премата постаје не приметна. Компанија „Cardinal Glass” скоро је представила ултра јасан премаз за стакло (LoE-i89) који може бити постављен на површини бр. 4 изоловане јединице стакла - површини

стакла која гледа на собу. Према Џиму Ларсену из компаније Cardinal, ово стакло пружа изузетно високу проводљивост од 89% - много веће од стандардног пиролитичког тврдог ниско-емисивног стакла. Овај премаз је трајан и нема ону плавакасту нијансу која је неким људима сметала код пиролитичких тврдых ниско-емисивних стакала.

Стакло са овим премазом може да се комбинује са ниско-емисионим двослојним или трослојним премазаним стаклом у циљу постизања U фактора код двоструко застакљеним прозорима. Раније је било неопходно троструко застакљени прозор како би се постигао овај ниво енергетске ефикасности.

Компанија Cardinal је такође недавно представила ново меко ниско-емисионо стакло LoE-180 са високим соларним преносом (трансмисија 80 посто видљиве светлости) и са једнослојним премазом. Ово обезбеђује веома већи соларни добитак него претходна једнослојна мека ниско-емисиона стакла. [2]

Нискоемисионо стакло Low-E савремено термоизолационо стакло, у једну руку, гарантује најнижу У-вредност $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ као резултат софистицираног наноса, такође редуцира могући добитак соларне енергије због његове релативно ниске укупне трансмисије енергије. Најважније Low-E 1.1 W, гарантира изврсну U-вредност од $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, такође је уочљива висока трансмисија енергије ($g = 63 \%$) што нуди могућност његове употребе као бесплатне соларне енергије за делимично позитивни термички баланс куће. То је остварено са ултра-танким, али високо ефективним богатим металним функционалним слојем који је постављен у изолационом стаклу на површину унутарњег међупростора ваздуха. Тим начином се светлост и соларно зрачење може дубоко увући у собу без неких потешкоћа, где је топлотна енергија задржана унутар објекта. Богато остакљене собе или зимске баште могу тада постати соларни колектори у хладној сезони и помоћи да се уштеди енергија грејања [10].

Природан и здрав живот радног простора у градским објектима је важан фактор високог квалитета живота. Уз његову релативно високу трансмисију која је слична конвенционалном остакљењу, и перфектном неутралношћу боје у односу рефлексije и транспаренције, Low-E 1.1 Н нуди највиши комфор чак и у тамним зимским данима. Боје задржавају њихов интензитет и чистоћу.

Употребом Low-E 1.1 Н не постиже се само уштеда при куповини, већ се активно доприноси и заштити околине. На пример, ако се употреби Low-E 1.1 изолационо стакло g вредности 58%, потрошња горива за ложење ће бити смањена отприлике 1000 m^3 на 32 m^2 стакла. За природу, то значи смањење CO_2 емисије 2800 kg .

4.2 Карактеристике ниско-емисионих стакала

Постоји велики број различитих стакала који се данас употребљавају за остакљивање како прозора, тако и фасада. Могуће су разне њихове комбинације, са циљем постизања што је више могуће бољих карактеристика које воде ка смањивању енергетске потрошње, смањивању емисије CO_2 у атмосфери, бољој изолацији, контроли проласка сунчевих зрака, елиминацији кондензације, унапређивању здравствених услова у просторијама.

Први корак ка томе је анализирање неколико параметара који су карактеристични за стакло, а то су: [11]

- Светлосна пропустљивост (LT)
- Соларни фактор (SF)
- Коефицијент проласка топлоте ($U(k)$)

- Ультраљубичасти зраци (UV)

Да погледамо неколико анализа различитих комбинација стакала:

Табела 1. Карактеристике појединих врста „float” стакала (растојање између стакала је 15 mm) [11]

	LT u %	SF u %	U(k) u W/m ² K	UV zraci u %
Float 4 mm + 15 mm ваздуха + 4 mm Low E (мека превлака) poz. 3	79	64	1,4	21
Float 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E (мека превлака) poz. 3	79	64	1,1	21
Float 4 mm + 15 mm ваздуха + 4 mm Float	81	77	2,8	47
Float 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Float	81	77	2,6	47

Анализом табеле може се закључити да се коришћењем ниско емисионог стакла са меком превлаком на позицији 3, значајно поправљају карактеристике прозора.

Табела 2. Карактеристике појединих врста Сингери стакала (sunergy превлака је на позицији 2 гледано споља, а растојање између стакала износи 15 mm) [11]

	LT u %	SF u %	U(k) u W/m ² K	UV zraci u %
Sunergy провидно 4 mm + 15 mm ваздух + 4 mm Float стакло	62	54	2,0	31
Sunergy провидно 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Float стакло	62	54	1,7	31
Sunergy зелено 4 mm + 15 mm ваздух + 4 mm Float стакло	50	33	2,0	9
Sunergy зелено 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Float стакло	50	33	1,7	9
Sunergy azur 4 mm + 15 mm ваздух + 4 mm Float стакло	50	36	2,0	17
Sunergy azur 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Float стакло	50	36	1,7	17

Јасно је да најбоља комбинација Сингери зелено 4mm+15mm Argon+4mm Float стакло са резултатом LT 50%, SF 33%, U(k) 1,7 W/m²K, и UC пропустљивост 9%. Једино је вредност U(k) већа од усвојеног стандарда 1,5 W/m²K који се сматра најбољим.

Табела 3. Комбинација спољног обојеног и нискоемисионог стакла (растојање између стакла и 15 mm) [11].

	LT u %	SF u %	U(k) u W/m ² K	UV zraci u %
Float провидни 4 mm + 15 mm ваздух + Low E poz 3	79	64	1,1	21
Float Bronza 4 mm + 15 mm Argon + Low E poz 3	54	47	1,1	10
Float сиви 4 mm + 15 mm Argon + Low E poz 3	50	45	1,1	11
Float зелени 4 mm + 15 mm Argon + Low E poz 3	69	46	1,1	10

Од ових комбинација најквалитетније карактеристике поседује комбинација Float green (зелено) 4 mm + 15 mm Argon + Low E poz 3

Табела 4. Комбинације Стопсол (терморефлексивног стакла) и ниско-емисионо стакло (растојање између стакла је 15mm) [11].

	LT u %	SF u %	U(k) u W/m ² K	UV zraci u %
Stapsol Classic провидно 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	32	31	1,1	4
Stapsol Classic бронза 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	17	20	1,1	1
Stapsol Classic сиво 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	15	19	1,1	1
Stapsol Classic green 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	25	18	1,1	1
Stapsol Classic Dark Blue 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	19	18	1,1	2
Stapsol Classic super silver 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	26	27	1,1	3
Low E				
Stapsol supersilver (сребро) Green 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	45	28	1,1	3
Stapsol supersilver (сребро) Dark Blue 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	34	27	1,1	4
Stapsol supersilver (сребро) провидно 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	55	46	1,1	8
Stapsol supersilver (сребро) Ice bule (ледено плаво) 15 mm Argon + 4 mm Low E	47	34	1,1	5

Када се изврши анализа горње табеле, најбоље карактеристике има комбинација Stapsol supersilver (сребро) провидно са димензијама 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E.

Може се ићи и корак даље у анализи, па се рачуна однос LT/SF. Што је ближа његова вредност броју 2, то су прозори квалитетнији и имају боље карактеристике.

	LT u %	SF u %	U(k) u W/m ² K	UV zraci u %	LT/S F
Float green 4 mm + 15 mm Argon + Low E poz 3	69	46	1,1	10	1,5
Stapsol supersilver (сребро) провидно 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	55	46	1,1	8	1,2
Stapsol supersilver (сребро) Green 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E	45	28	1,1	3	1,6
Stapsol supersilver (сребро) Ice bule (ледено плаво) 15 mm Argon + 4 mm Low E	47	34	1,1	5	1.38

Врло је тешко постићи да резултат буде близу 2, за сада најближи том броју је комбинација Stapsol supersilver (сребро) Green 4 mm + 15 mm Argon + 4 mm Low E са 1,6.

5. КОЕФИЦИЈЕНТ ЕМИСИЈЕ СТАКЛА

Процена вредности топлотне заштите спроводи се на бази хармонизације европског производног стандарда за стакла и прозоре. Они захтевају примену европског стандарда за обрачун U-вредности стакла (EN 673) и прозора (EN 10 077).

Обрачун U_w – вредности стакла спроводи се узимајући у обзир топлотне мостове као и руб изолацијског стакла [11]

Линеарни коефицијент пролазности топлоте ψ означава топлотни мост на пресеку кроз стакло и оквир. Тиме се додатно објашњава и ток топлоте који је последица међусобног деловања између оквира и руба стакла, укључујући и утицај дистанцера.

Стандард EN ISO 10077-1 одређује начин израчунавања вредности U_w .

5.1 U-вредност према EN 673 ψ -вредност

Коефицијент линеарног протока топлоте ψ карактерише топлотне мостове за поједине делове грађевинских елемената. Након одређивања стандарда EN ISO 10 077 при одређивању вредности коефицијента топлоте кроз прозор (U_w) мора се узети у обзир и вредност линеарног коефицијента ψ .

За прозоре, топлотни мостови дефинишу утицај прозорског крила, изолационог стакла и његових дистанцера. Међутим, немогуће је одредити вредност ψ само за изолационо стакло.

Преузимањем нових европских стандарда у правила, старе ознаке за одређивање вредности пролаза топлоте кроз материјал се заборављају. Ознака „к“ јесте стара ознака коефицијента пролаза топлоте, која је замењена ознаком „U“. Сматра се да што је нижа U вредност то је боља способност топлотне изолације [11].

5.2 Способност емисије ε према EN 673

Емисиона вредност ε представља однос између количине енергије коју емитује неко тело и количине енергије, коју би уз исте температурне услове емитовало црно тело. Емисиона способности обичног стакла је врло висока и њена је вредност 83,7%. С обзиром на топлотну заштиту изолационог стакла то значи да што је нижа способност емитовања толико је боља U вредност. У прошлости су се U вредности стакла мериле уређајима за тестирање, док су данас на располагању поуздани рачунски поступци (EN 673). Међутим, за израчунавање вредности неопходна је вредност ε .

Одређивање емисионе способности добија се мерењем рефлексије пповршине грађевинских елемената. Треба нагласити да долазни угао лежи близу вертикалне посматране површине и мерење се спроводи на различитим таласним дужинама. Тако одређена вредност рефлексије R у складу са формулом

$$\varepsilon = 1 - R \quad (5.1)$$

R – вредност рефлексије

израчунава емисиона вредност. С обзиром да технички није могуће спровести мерење долазног угла 0° , мерење се уопштено спроводи за средњи долазни угао $\leq 10^\circ$.

При одређивању нормалне емисионе способности ϵ_n према EN 673 користи се поступак мерења, а затим се одређује средња вредност узимајући у обзир распоређивање температурне емисије при температури од $+10^\circ\text{C}$. Резултат који се добија представља нормалну емисиону способност ϵ_n .

Декларисана вредност емисионе способности ϵ_d је номинална вредност емисионе способности произвођача базичног стакла.

Стакла са топлотном заштитом и нека стакла са заштитом од сунца због металних слојева имају врло ниске коефицијенте емисије (између 0,1 и 0,2.). Због њихове ниске емисивности често се у литератури називају “Low-e“ стакла (Low-Emissivity Glass). Према коефицијенту ϵ обично стакло емитује приближно 83% примљене енергије, а ниско емисионо стакло само 2 до 10% [12].

6. КОЕФИЦИЈЕНТ РЕФЛЕКСИЈЕ СТАКЛА

6.1 Антирефлексциони слојеви

Антирефлексциони слојеви (АР слојеви) се наносе на површину сочива и других оптичких елемената да би се рефлексција што више умањила, и тако повећала њихова пропустљивост. Открио их је немачки физичар Александер Смакула 1935. године и били су немачка војна тајна све до почетка Другог светског рата. Без употребе АР слојева, рефлексција се може умањити на два начина: ако су индекси преламања две средине једнаки (тада не долази ни до рефракције), или ако је прелаз између средина постепен.

Ово је најједноставнија форма АР слојева коју је открио Лорд Рејли у 19. веку. Приметио је да стакло на чијој се површини временом ствара тамнији талог пропушта више светлости од новог, чистог стакла. Ово се објашњава тиме што је гранична површина ваздух-стакло сада замењена са две: % талог-стакло и талог-ваздух. Индекс преламања талоба је између индекса ваздуха и стакла. Како је по Френеловим једначинама проценат одбијене светлости пропорционалан квадрату разлике индекса преламања, следи да је укупна рефлексција са потамнелим слојем мања него рефлексција код чистог стакла [2].

6.2 Апсорпциони слојеви

Апсорпциони слојеви користе се када није неопходна велика пропустљивост, али је битно умањити рефлексiju. Са малим бројем слојева рефлексija се ефикасно смањује, а јефтинији су и једноставнији за наношење од неупијајућих слојева. Најчешће се користе титанијум нитрид (TiN) и ниобијум нитрид (NbN).

6.3 Интерферентни слојеви

6.3.1 Једнослојни премази

Код једнослојних премаза на стакло се наноси само један слој, и то најчешће магнезијум-флуорида (MgF_2), који има индекс преламања 1.38. Његова употреба смањује рефлексију са 4% код чистог стакла на свега 1%. Користе се и код интерферентних огледала, где је уз употребу строго монохроматске светлости проценат апсорпције уместо 5-10% само 0.1%. Примену налазе и код полупропустљивих огледала, где отприлике половину светлости пропуштају, а половину рефлектују. Један од највећих недостатака једнослојних премаза је што добро функционишу само на малим деловима видљивог спектра. Тада се користе тзв. вишеслојни премази.

6.3.2 Вишеслојни премази

Вишеслојни премази или мултислојеви могу имати и до 200 премаза са наизменично поређаним високим и ниским индексима преламања. Најчешће се за први премаз користи магнезијум-флуорид (MgF_2), за други цирконијум-диоксид (ZrO_2), а за трећи алуминијум-оксид (Al_2O_3). Друга могућност је да прелази из једног у други слој буду постепени, па се и тако смањује рефлексија [9].

6.4 Рефлексија

При сваком проласку светлости кроз сочиво део светлости се рефлектује (одбија), део се апсорбује (упија), а део трансмитује (пропушта). На апсорпцију и рефлексију се у просеку губи 4-5% снаге, с тим да су губици код апсорпције у односу на губитке код рефлексије занемарљиво мали. У општем случају, проценат губитка због рефлексије се одређује применом Френелових једначина и важи код сваког преласка из једне средине у другу са различитим индексом преламања.

Проценат губитка због рефлексије се назива коефицијент рефлексије. Рачуна се по формули:

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (6.1)$$

где су: n_1 и n_2 индекси преламања средина.

Изражава се у процентима. Ако се узме да је А коефицијент апсорпције, а Т коефицијент трансмисије, по закону одржања енергије важи:

$$R + A + T = 1 \quad (6.2)$$

Тј. укупна количина светлости је стална. Губици који настају због рефлексије не морају да имају великог утицаја ако је реч о само једном сочиву, али код оптичких система који се састоје од више сочива (микроскопи, фото-апарати, телескопи итд.) укупни губици могу да досегну и до 50%, што значајно умањује њихову ефикасност [11].

6.5 Примена интерференције

Интерференција је слагање два или више таласа, при чему настаје један нови талас и прерасподељује се енергија. Може бити конструктивна и деструктивна. Код конструктивне интерференције амплитуда новог таласа добија се као збир амплитуда почетних таласа, а код деструктивне као разлика. Да би се рефлексija што више умањила, може се применити деструктивна интерференција. Како је упадни угао зрака на сочиво према нормали мали, може се сматрати да светлосни зраци падају на сочиво под правим углом. Тада се посматра једноставнији случај интерференције, када утицаја имају само дебљина премаза и индекс преламања слоја. Да би интерференција била највећа могућа, два рефлектована таласа треба да буду супротних фаза, тј. да њихова фазна разлика буде π рад. Још је потребно да њихове амплитуде буду једнаке. Из услова фазне разлике добија се да би дебљина слоја d требало да буде:

$$d = \frac{\Lambda}{2n_1} \quad (6.1)$$

али пошто зрак прелази два пута дебљину слоја d , износи:

$$d = \frac{\Lambda}{4n_1} \quad (6.2)$$

где је:

d - дебљина слоја

Λ - таласна дужина.

Ако се по Френеловим једначинама напише једнакост амплитуда, добија се да би требало да важи:

$$n_{\text{sloja}} = \sqrt{n_{\text{stakla}}} \quad (6.3)$$

У идеалним условима, слој и стакло су потпуно провидни, тако да нема губитака и рефлексija је елиминисана [11].

6.6 Примена АР слојева

6.6.1 Природни АР слојеви

Природни АР слојеви јављају се као наноструктуре на очима неких инсеката, нпр. мољаца или лептирица. То су избочине високе 200nm и широке 300nm, постављене на шестоугаону основу. Ове избочине су мање од таласних дужина видљиве светлости, па се не детектују као промена средине, већ као постепен прелаз, а тада је рефлексija умањена. Због тога инсекти боље виде у мраку, а пошто нема одблеска грабљивице их слабије виде, што је форма биомимикрије-стапања са околином.

6.6.2 Корективна стакла

АР слојеви се највише користе код наочара и сочива за вид. Смањењем рефлексије постиже се неколико ствари. Пошто је смањен одблесак од стакла, оно естетски лепше изгледа, али, што је много важније, код ноћне вожње или дугог рада за рачунаром очи се мање умарају. Пропуштањем више светлости повећава се и контраст, а тиме и оштрина вида.

Већина корективних стакала има и додатни премаз на коме се не задржавају вода и масноће. АР слојеви су нарочито погодни за стакла са високим индексом преламања, пошто она без премаза пропуштају више светлости него она са малим индексом. Исто тако, лакше је и јефтиније премазивати стакла која већ имају висок индекс преламања.

7. КОЕФИЦИЈЕНТ АПСОРПЦИЈЕ СТАКЛА

Према општој технолошкој карти за синтезу емисионих стакала типа $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{S}_{0,5}\text{Se}_{0,5})_{66-x}\text{I}_x$, водећи рачуна о свим побројаним елементима битним за добијање квалитетног материјала, одабран је режим синтезе за узорак са 4 at% I.

Реализован је следећи режим синтезе: прво је вршено загревање брзином $50^\circ\text{C}/\text{h}$ од собне температуре до 250°C . Ампула је на тој температури држана 8.5 часова. У овој етапи загревања долази до топљења и исправљања сумпора и јода (температура топљења сумпора је 119°C), и ствара се висок притисак њихових пара у ампули. Плато на температури 250°C омогућава ступање у реакцију јода и сумпора са другим компонентама. Температура се затим подиже до 330°C истом брзином. На том температурном платоу ампула је држана пет часова.

На температури 330°C очекује се формирање структурних јединица As_2S_3 . Брзином $50^\circ\text{C}/\text{h}$ температура се подиже до 380°C (ампула је на овој температури држана четири часа). Овај плато омогућава формирање структурних јединица As_2Se_3 . брзина загревања у наредним етапама остаје иста ($50^\circ\text{C}/\text{h}$). Плато на 550°C одабран је јер се очекује формирање структурних јединица GeS . Ампула је на ово трокомпонентних структурних јединица GeAsS и GeAs_4Se [11].

Последњи температурни плато (850°C) на коме је ампула држана 14 часова омогућава стварање структурних јединица GeS_2 и GeSe_2 , а доприноси и хомогенизацији узорака. У циљу спречавања појаве кристализационих центара као и евентуалне нехомогености узорака, ампула са растопом се вади из пећи са максималне температуре синтезе и великом брзином ставља у неки термички инертан материјал. У овом случају то је прах глинице, а брзина хлађења је била око $800^\circ\text{C}/\text{min}$.

Са циљем да се провери неуређеност узорка као и открије присуство евентуалних кристализационих центара извршена је оптичка рендгенска контрола. Рендгенска контрола је вршена помоћу рендгенског дифрактометра PW1965/50 (PHILIPS) коришћењем Cu-K α зрачења. Одсуство пикова карактеристичних за кристалну фазу на дифрактограму узорка указује на одсуство кристалних центара.

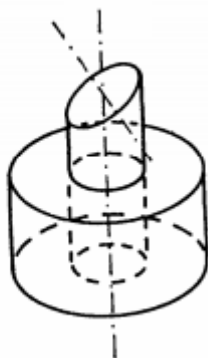
Недостатак рендгенске методе огледа се у томе што је детекција кристалних компоненти у узорку могућа тек ако су оне заступљене преко 1%. на електричне

особине и неке оптичке карактеристике присуство кристалних центара има битан утицај кад су они заступљени и у знатној мањој количини.

Зато се као информативнија користи метода испитивања оптичке анизотропије помоћу поларизационог микроскопа. Очекиване структурне јединице у кристалној форми спадају у симетрије код којих је анизотропија свакако присутна, што оправдава коришћење ове методе. Оптичка контрола неуређености је вршена помоћу поларизационог микроскопа MIN-8 (SSSR). Испитивање је вршено у транспарентној светлости. Узорак је посматран и у ортоскопској и у конускопској техници. Овом методом потврђена је очекивана анизотропија узорка $\text{Ge}_{20} \text{As}_{14} \text{S}_{31} \text{Se}_{31}\text{I}_{14}$ у целој запремини јер нису уочени анизотропни центри [11].

7.1 Оптичка транспаренција стакла

За испитивање транспарентних особина стакала потребне су планпаралелне плочице огледалског сјаја и мале дебљине. Најпре је под микроскопом одабран комад узорка без унутрашњих напрелина. Узорак је специјалним неагресивним средством залепљен за базу мањег коаксијалног цилиндра металног држача приказаног на слици 14. Оваква конструкција држача омогућава равномерно брушење плочице и добијање паралелних површина [12].



Слика 14. Метални држач за израду планпаралелних плочица и призми

Брушење се врши помоћу уобичајених абразивних средстава. За припрему овог узорка коришћен је прах карборундума различитог степена гранулације (највеће крупноће зрна од 260 μm , до најмање од 28 μm). Полирање до огледалског сјаја изведено је на свиленој тканини помоћу специјалног праха за полирање (јувелирско црвенило CeO_2). Провера изглачаности површине вршена је помоћу стерео микроскопа.

У циљу добијања што већих вредности апсорпционог коефицијента, неопходно је вршити мерења на што тањем узорку. У овом случају шлифовањем су остварене три прихватљиве дебљине које су омогућиле да се израчуна оптичка ширина забрањене зоне. Транспарентни спектар снимљен је помоћу апаратуре чија је шема приказана на слици 15. Снимање је вршено у интервалу од 310 nm до 1000 nm са кораком од 10 nm. Као извор светлости у ултраљубичастом подручју (до 390 nm) послужила је водонична лампа, а за веће таласне дужине сијалица са волфрамовим влакном. За монохроматизацију светлости коришћен је уређај SPM- 2 (CARL ZEISS, JENA) са кварцном оптиком. Због релативно малих интензитета мерених величина, било је неопходно мењати величину излазне пукотине. Ширина излазне пукотине

монохроматора за снимање у UV делу износила је 0.5 nm а за остале таласне дужине 0.3 nm. Испред улазне пукотине током снимања сукцесивно су постављани филтри и то за инфрацрвено подручје OG-5, за видљиво WG-5 и за ултраљубичасту област UG-1 [11].



Слика 15 – Блок шема спектрометра [11].

Радни напон за фотомултипликаторску цев је износио 1 kV јер је тада најоптималнији однос осетљивости и тамне струје фотомултипликатора. Струја фотомултипликатора је мерена универзалним мерним инструментом типа DS - милливолтметар RM-2436 / 06 (PHILIPS). Мерења су вршена релативном методом тј. за узорак (на држачу са кружним отвором пречника 2 mm) и за стандард (исти носач са отвором, без узорка).

Из података добијених мерењем описаним може се израчунати коефицијент транспаренције користећи израз:

$$T = \frac{I_{uz}}{I_{st}} \quad (7.1)$$

где је:

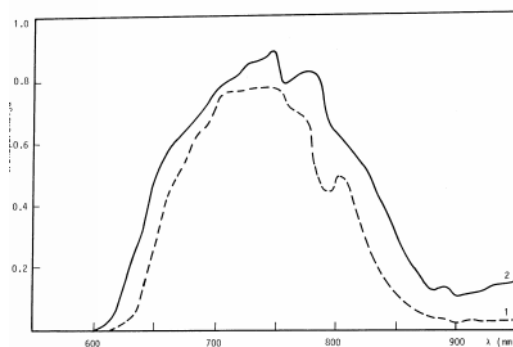
I_{uz} – струја фотомултипликатора измерена на узорку

I_{st} – струја фотомултипликатора измерена на стандарду

Максимум транспаренције налази се у подручју таласних дужина 660-780 nm.

Апсорпциони пик слабијег интензитета на приближно 750nm, односно 780 nm највероватније се јавља као последица апсорпције осцилација веза Ge-S и Ge-Se из структурних јединица GeS_2 и GeSe_2 чије се формирање очекује у оваквом материјалу. Нагло смањење транспаренције у области таласних дужина мањих од 630 nm, условљено је краткоталасном апсорпционом границом [11].

Детектовано знатно смањење транспарентности у области 860-920 nm није типично за стакла са халкогенидним елементима (слика 16), али је уочено и у неким ранијим експериментима. Највероватније да је последица нечистоћа у стаклу, што значи да би се могло избећи адекватним технолошким поступком.



Слика 16. Транспарентни спектри за стакло [11].

7.2 Коефицијент апсорпције

Користећи резултате мерења оптичке транспаренције врло често се израчунава коефицијент апсорпције α помоћу апроксимативне формуле уместо већ поменутог израза.

$$\alpha = \frac{1}{d} * \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (7.1)$$

где је:

d –дебљина узорка

T – коефицијент транспаренције

8. ЗАКЉУЧАК

Стакло је материјал који се обично не налази у природи. Иако познато и коришћено од давнина и данас је незамењив материјал у свакодневном животу. Стакло се добија топљењем основних сировина: кварцног песка, соде и кречњака. Чисти силицијум диоксид има тачку топљења на 1723°C , те би било јако неекономично топљење на тој температури. Основним сировинама додаје се и стаклени лом (око 30%), јер има нижу тачку топљења од основних сировина, па повећава брзину топљења. Тиме се уштеди око 32% енергије.

Стакло се производи загревањем и топљењем у стакларској пећи. Резултат је аморфна материја која се може формирати у различите облике. Стакло је веома крто и разбија се на оштре крхотине. Ове особине могу бити модификоване додавањем примеса - најчешће оксида метала приликом топљења.

Стакло је пре свега састављено од силицијумског песка – силицијум оксида који има температуру топљења од 2.000°C и зато му се додају алкалне материје које снижавају температуру топљења. Како ово смањује отпорност на воду, додаје се и оксид калцијума који је повећава. Од основних сировина за израду стакла припрема се смеша у праху која се топи у стакларској пећи. Стаклу се могу додавати примесе које га боје, или га чине прозирним односно непрозирним.

Један од начина прераде стакла је дување стакла. Ручна израда се спроводи тако да стаклар из пећи узима са цевчицом од око 15 mm и дужине 120- 150 cm на којој је дрвени рукохват и метални писак, мању количину стаклене масе коју поравна и издува и остави је мало да се охлади и узима даљу количину стаклене масе коју изравна у специјалном алату и дува и формира окретањем и најзад се производ одели од цевчице и односи у пећ за хлађење. Касније се производ још једном загреје и дорађује. Код машинске производње дување стакла се изводи тако да раде механизми и полуаутомати или пуном аутоматизованом производњом да би се добиле одговарајуће форме. Оба ова принципа су присутна код производње сијалица или флаша.

Данас је на тржишту велика потражња за стаклима која поседују мали коефицијент емисије односно нискоемисионим стаклима. Намена нискоемисионог стакла је да смањи приенос топлоте услед зрачења и пролаза кроз стаклени панел како би се постигле боље термичке особине.

Када је нискоемисионо стакло део двоструког стакленог панела, стакло са малим степеном емисије спречава губитак топлотне енергије и истовремено обезбеђује додатно загревање скупљањем сунчеве енергије, чиме се постижу изузетно добре термичке особине стаклених јединица и лети и зими.

Увођење ниско-емисионих (*low-e: low-emissivity*) премаза је заиста било револуционарно.

Ниско-емисиони премази заправо не "рефлектују" топлоту. Уместо тога, они успоравају емисију зрачеће енергије.

Једном када се соларна енергија која сија кроз прозор апсорбује од стране површина у кући - рецимо у поду или зиду - енергија загрева површину, коју заузврат почиње да зрачи сопствену енергију. Та енергија која се емитује од стране пода или зида је дуготаласно електромагнетно зрачење. Стакло или филм са ниско-емисионим премазом апсорбује ту топлотну радијацију (уместо да га преноси) и ниско-емисиони премаз у великој мери ограничава поновно зрачење - или емисију - те енергије. Одатле и термин ниско-емисиони.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kitaigorodski, I.I., (1957). Technologie des Glases. Berlin: VEB Verlag Technik.
- [2] Noel C. S., (1998), The Glass and Glazing Handbook; Standards Australia; SAA HB1.
- [3] Реновица, Р., (2010), Комерцијално познавање робе, Универзитет Сингидунум, Београд
- [4] Урошевић, С., Јовановић, Л., Ушћумлић, Д., (1994), Комерцијално познавање робе, Београд
- [5] Ушћумлић, Д., Урошевић, С., Јовановић, Л., Миловановић, Р., (2002), Комерцијално познавање робе, Економски факултет, Београд.
- [6] Јанчетовић, К.М., (2010), Комерцијално познавање робе, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
- [7] Ушћумлић, Д., (2002), Управљањ квалитетом материјалних производа, Економски факултет, Београд, 2002
- [8] Schaeffer, H. A. (2012). Werkstoff Glas. Glastechnik. Deutsches Museum Verlag
- [9] Donald R. U., Norbert J. K., (1991). Optical properties of glass. Westerville, OH: American Ceramic Society.
- [10] Zarzycki, J., (1991). Glasses and the Vitreous State. Cambridge University Press
- [11] <http://libgen.io>
- [12] Lewis, P. R. (2016). Forensic Polymer Engineering: Why Polymer Products Fail in Service. Woodhead Publishing.
- [13] Павловић, Б., (2011), Физика други део, Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, Београд