



НА СТАКЛЕНОМ ПУТУ ТЕХНОЛОГИЈА СТАКЛА

ON THE GLASS ROAD TECHNOLOGY OF GLASS

Зоран Левић / Zoran Lević

НА СТАКЛЕНОМ ПУТУ - ТЕХНОЛОГИЈА СТАКЛА ON THE GLASS ROAD - TECHNOLOGY OF GLASS

Друго допуњено издање / Second revised edition

Издавач / Publisher

Музеј науке и технике – Београд
Museum of Science and Technology – Belgrade

За издавача / For the Publisher

Зоран Левић / Zoran Lević

Аутор / Author

Зоран Левић / Zoran Lević

Лектура и превод / Proofreading and Translation

Катарина Спасић, КАУКАИ

Дизајн / Design

Иван Станић / Ivan Stanić

Фотографије / Photographs

Милош Јуришић / Miloš Jurišić

Штампа / Printing

Birograf Comp., Београд / Birograf Comp., Belgrade

Тираж / Print Run

300

Организатор изложбе / Exhibition Organiser

Музеј науке и технике – Београд
Museum of Science and Technology – Belgrade

Аутор изложбе / Exhibition Author

Зоран Левић / Zoran Lević

*Аутори изложбене поставке /
Authors of the Exhibition Design*

Иван Станић / Ivan Stanić
Зоран Левић / Zoran Lević
Душан Петровић / Dušan Petrović

*Конзервација и рестаурација /
Conservation and Restoration*

Сања Мајсторовић / Sanja Majstorović

Односи с јавношћу / Public Relations

Милена Видосављевић / Milena Vidosavljević
Лидија Јакшић / Lidija Jakšić

Техничка реализација / Technical Realisation

Зоран Левић / Zoran Lević
Душан Петровић / Dušan Petrović
Дејан Крстевски / Dejan Krstevski

Захваљујемо се на помоћи при реализацији пројекта:

We would hereby like to thank the following in their help with the realisation of the project:

Музеју примењене уметности Београд, Музеју града Београда, Збирци минерала и стена РГФ, Народном музеју Србије, Српској фабрици стакла Параћин, Индустији стакла Панчево, Народном музеју Ниш, Биљани Црвенковић, Алени Здравковић, Милораду Игњатовићу, Ники Стругар, Милошу Спасићу, Маји Живковић, Александри Станишић, Ирени Бурсаћ, Милошу Јуришићу, Ивану Станићу, Душану Петровићу, Дејану Воргићу и Ирени Живковић.
The Museum of Applied Art, Belgrade City Museum, Collection of Minerals and Rocks of the Faculty of Mining and Geology – Belgrade, National Museum of Serbia, Serbian Glass Factory – Paraćin, Glass Industry – Pančevo, National Museum Niš, Biljana Crvenković, Alena Zdravković, Milorad Ignjatović, Nika Strugar, Miloš Spasić, Maja Živković, Aleksandra Stanišić, Irena Bursać, Miloš Jurišić, Ivan Stanić, Dušan Petrović, Dejan Vorgić and Irena Živković.

Пројекат *На стакленом путу - Технологија стакла* је финансиран средствима

Министарства културе и информисања Републике Србије.

The project *On the Glass Road - Technology of glass* has been funded by the Ministry of Culture and Information of the Republic of Serbia.

Проглашење 2022. године за Међународну годину стакла од стране Уједињених нација, подстакло је Међународни савет музеја – ИКОМ (International Council of Museums – ICOM) да прихвати ову иницијативу и обележи је широм света у сарадњи са многобројним члановима – музејима.

У Србији је, на иницијативу Музеја примењене уметности и Музеја науке и технике из Београда, основан национални поткомитет ICOM GLASS Србија, у оквиру матичне организације NK ICOM Србија. Иницијативу су подржали многи музеји из Србије и прикључили су се обележавању у виду бројних догађаја и изложби са стаклом као главном темом.

Музеј примењене уметности и Музеј науке и технике Међународну годину стакла обележавају заједничким пројектом под називом *На стакленом путу*, при чему је сваки музеј обрдио тему стакла из перспективе своје сфере интересовања.

Међународну годину стакла Музеј науке и технике обележава допуњеним и измењеним издањем изложбе из 2015. године под називом *На стакленом путу – Технологија стакла*. Осим Музеја примењене уметности, реализацију пројекта су помогли и Музеј града Београда, Збирка минерала и стена Рударско-геолошког факултета, Народни музеј Зрењанин, Народни музеј Ниш, као и многобројне установе културе и колеге.

The United Nations' decision to declare 2022 as the International Year of Glass prompted the International Council of Museums – ICOM to accept this initiative and celebrate it around the world in cooperation with its numerous members – museums.

In Serbia, upon the initiative of the Museum of Applied Art and the Museum of Science and Technology from Belgrade, the national subcommittee ICOM GLASS Serbia was established, within the parent organization NK ICOM Serbia. Many museums in Serbia supported the initiative and participated in the celebration in the form of numerous events and exhibitions, with glass as the main theme.

The Museum of Applied Arts and the Museum of Science and Technology are celebrating the Year of Glass with the joint project *On the Glass Road*. Each museum dealt with the topic of glass from the perspective of its own sphere of interest.


The Museum of Science and Technology celebrates the International Year of Glass with an updated and revised edition of the exhibition from 2015 titled *On the Glass Road – Technology of Glass*. In addition to the Museum of Applied Arts, the project was also supported by the Belgrade City Museum, the Collection of Minerals and Apartments of the Faculty of Mining and Geology, the National Museum of Zrenjanin, the National Museum Niš, as well as numerous cultural institutions and colleagues.

Садржај

УВОД	7
ПРИРОДНО СТАКЛО	9
Стакло вулканског порекла	9
Стакло метаморфног порекла	10
Стакло седиментног порекла	12
Стакло биогеног порекла	12
СТАКЛО КРОЗ ИСТОРИЈУ	14
Античко стакло (I век п. н. е – V век н. е)	14
Средњовековно стакло (V – XV век)	16
Стакло Новог доба	18
СТАКЛО И ТЕХНОЛОГИЈА ПРОИЗВОДЊЕ	21
Сировине и састав стакла	21
Врсте стакла	24
Начини обраде стакла	27
Стакларске пећи	30
ПРОИЗВОДЊА СТАКЛА	37
Равно стакло	37
Ручно дувано стакло	39
Стакло као амбалажа	43
Комбинација стакла и других материја	49
Техничко стакло	51
Стаклена влакна	53
Еколошки аспект стакла	59
СТАКЛО И СТАКЛАРСТВО У СРБИЈИ	60
Стаклара Аврамовац	62
Фабрика стакла Нацка Јовановића у Јагодини	64
Српска фабрика стакла – Параћин	64
Индустрија стакла – Панчево	69
Фабрика стакла 9. октобар Прокупље	70
Фабрика стакла Украс из Алибунара	71
Кристал Зајечар	72
Компанија Сваровски у Србији	72
КАТАЛОГ	75
ЛИТЕРАТУРА	86

Content

INTRODUCTION	7
NATURAL GLASS	9
Glass of volcanic origin	9
Glass of metamorphic origin	10
Glass of sedimentary origin	12
Glass of biogenic origin	12
GLASS THROUGH HISTORY	14
Ancient glass (1st century BC – 5 th century AD)	14
Medieval glass (5 th – 15 th century)	16
Modern period glass	18
GLASS AND PRODUCTION TECHNOLOGY	21
Raw materials and composition of glass	21
Types of glass	24
Methods of glass processing	27
Glass furnaces	30
GLASS PRODUCTION	37
Flat glass	37
Manually blown glass	39
Glass as a packaging	43
Combination of glass and other materials	49
Technical glass	50
Glass fibers	53
Ecological aspect of glass	59
GLASS AND GLASSWORK IN SERBIA	60
Glassworks Avramovac on the river Belica	62
Glass Factory of Nacko Jovanović in Jagodina	64
Serbian Glass Factory – Paraćin	64
Glass Industry Pančevo	69
Glass factory 9 Oktobar Prokuplje	70
Glass factory Ukras from Alibunar	71
Kristal Zaječar	72
Company Swarovski in Serbia	72
LITERATURE	75
CATALOGUE	86



πάντα χωρεῖ καὶ οὐδὲν μένει
Panta chōrei kai ouden menei
Све тече и ништа не мирује
Everything flows, nothing stands still
Χερακλιτ (DK A6), V век п. н. е.

πάντα χωρεῖ καὶ οὐδὲν μένει
Panta chōrei kai ouden menei
Everything flows and nothing stands still.
Heraclitus (DK A6), 5th century BC

УВОД INTRODUCTION

Готово сваки аспект живота савременог човека везан је за стакло. Због његових природних својстава, као и оних која се могу пројектовати у циљу добијања специфичних карактеристика, употреба стакла готово је неограничена. Стакло се током производње може савијати, извлачити, гњечити, изливати, пресовати, топити и бојити, охлађено брусити, дубити, осликавати и позлаћивати, а након употребе рециклирати неограничено много пута.

Стакло је материјал без одређене уређености у структури, која му омогућава значајне разлике у својствима. У природи, оно настаје када се растопљена стена хлади толико брзо да нема довољно времена да се формира кристална структура. Стога се стакло често назива и крута или чврста течност. По својој аморфној структури слично је воску. За разлику од камена, бронзе или гвожђа, ниједно археолошко доба није добило име по стаклу, али је његова употреба значајно заживела током владавине Старог Рима (од 1. век п. н. е до 5. века), те се овај период може сматрати добом стакла.

Будући да је основни хемијски састав стакла остао исти од момента када га је човек први пут произвео, око 3.500 године п. н. е, поставља се питање какве је све промене претрпело стакло и стакларство кроз векове до данас? Те промене се могу посматрати кроз различите форме стакла, начине његове производње и намене. Стакло је првобитно коришћено у природном стању, затим је случајно откривен начин његове производње, а данас се масовно производи.

Almost every aspect of a modern man's life is connected with glass. Because of its natural properties, as well as those that can be designed in order to obtain specific characteristics, the use of glass is practically unlimited. Glass can be bent, pulled, smashed, cast, pressed, melted and coloured, grinded when cold, chiseled, painted and gilded during the production and it can be recycled an infinite number of times after its use.

Glass is a material with no particular order in its structure, which enables significant differences in its properties. In nature, it occurs when molten rock cools so fast that there is not enough time to form crystal structure. Therefore, the glass is often referred to as hard or solid liquid. For its amorphous structure it is similar to wax. Unlike stone, bronze or iron, no archaeological age has been named after glass, but its use significantly increased during the reign of the Ancient Rome, so this period can be considered the age of glass.

Since the basic chemical composition of glass has remained the same from the moment when the man first produced it around 3500 BC, the question is what changes has glass and glassmaking went through the centuries until the present? These changes can be viewed in different forms of glass, methods of its production and purpose. Glass was originally used in its natural state, then the method for its manufacturing was accidentally discovered and today it is mass-produced.



ПРИРОДНО СТАКЛО NATURAL GLASS

Стакло се у природи налазило пре него што је човек овладао техником његове производње. У природи је стакло најчешће вулканског, метаморфног или седиментног порекла, а знатно ређе биогеног. Седиментна и биогена стакла су некрystalне чврсте материје које, иако настале на различите начине, имају исту шему молекуларне структуре као и остала природна стакла. Њиховим старењем трансформишу се у силикатно стакло или кристалну силику.

Стакло вулканског порекла

Највеће количине стакла, које се налазе у природи, настале су вулканском активношћу. Вулканска магма може прећи у форму стакла приликом наглог хлађења. Стакло настало овим процесом назива се „игнеус“ или магматско стакло, чији процентуални садржај силицијум диоксида (SiO_2) варира у зависности од места и услова настанка. Врсте вулканског стакла су опсидијан, пловућац, перлит и базалт. У Србији је вулканско стакло пронађено у околини Враћа.

Опсидијан је силикатно стакло вулканског порекла, са температуром топљења између 720°C и 950°C . Може бити црне, смеђе и црвене боје. Најмлађа налазишта датирају се у време око 600 година п. н. е. Највећа налазишта опсидијана се налазе на Ускршњим и Канарским острвима, као и у континенталним областима Исланда и Јелоустона.

Користећи природно стакло вулканског порекла, за израду оружја и оруђа, човек се сусрео са овим материјалом у најранијој историји. Вулканско стакло је веома оштро и када се разлиста добија се изузетно оштро сечиво (скалпел, бријач, мачета, алат за ре-

Glass was present in nature before man mastered the technique of its production. In nature, glass is most commonly of volcanic, metamorphic or sedimentary origin, and is rarely biogenic. Sedimentary and biogenic glasses are non-crystalline solids which, although formed in different ways, have the same pattern of the molecular structure like other types of natural glass. In the process of aging, they are transformed into silicate glass or crystalline silica.

Glass of volcanic origin

The largest amounts of glass that are found in nature were formed by volcanic activity. Volcanic magma can transform into glass in case of sudden cooling. Glass created in this process is called “igneous rocks” or magmatic glass and its percentage content of silica (SiO_2) varies depending on the location and conditions of their origin. Types of volcanic glass are obsidian, pumice, perlite and basaltic. In Serbia, volcanic glass has been found near Vranje.

Obsidian is a silicate glass of volcanic origin, with a melting point between 720°C and 950°C . It can be black, brown and red. The youngest deposits are dated to around 16th century. The biggest deposits of obsidian are found on the Easter and the Canary Islands, as well as in continental areas of Iceland and Yellowstone.

Man has encountered this material in the earliest history by using natural glass of volcanic origin for making of weapons and tools. Volcanic glass is very sharp and when it leafes it forms extremely sharp blades (knife, razor, machete, carving tools ...). The earliest forms of such weapons were found at the Kariandusi (Africa) sites and dated to around 700,000 BC.

збарење...). Најранији облици оваквог оруђа су нађени на локалитетима Кариадуши (Африка) и датирани су у време око 700.000 година п. н. е.

Пловућац настаје наглим хлађењем лаве богате силицијумом. Садржи велики број шупљина, одвојених стаклестим мембранама, што му омогућава да плута по води, по чему је и добио име. Може бити беле или сиве боје.

Перлит је алумосиликатни материјал вулканског порекла, чија је температура топљења 1.000°C. Због садржаја кристалне воде сматра се хидратисаним оксидијаном. Зависно од садржаја воде (2-5%) може бити од тамно до светло сиве или драп боје. Специфичне је текстуре са концентрично-сферичном фигуром, налик перлама, пречника до 10 mm.

Базалтно стакло (тахилит или сидеромелан) настаје на површини земље или на морском дну, хлађењем лаве, чија је температура између 984°C и 1260°C. Има слабо изражену порфирску структуру, боје је тамно зелене или црне, седфастог одсјаја и скоро редовно садржи стакло у основној маси. Због ниског садржаја силицијум диоксида (SiO₂) погодан је за глачање. Вулканско стакло на Месецу је базалтно, тамније је боје од околних стена, док је на Меркуру светлије и црвеније од остатка површине. Осим у комаду (ретикулит), јавља се у облику вулканског пепела (црни песак), влакнастог или капљастог облика. У Србији се налази на више локалитета (Бор, Златибор, Копаноник, Озрен, Радан, и др).

Стакло метаморфног порекла

Метаморфно стакло се знатно разликује од вулканског, јер је настало отапањем и затим, брзим хлађењем стена након удара метеорита (грома) и развоја изузетно високе температуре (око 30.000°C) и механичке силе (притиска већег од 50 GPa).

Импактит (импактни дијамант) настаје услед удара метеорита, али без развоја високе температуре. Притисак до 40 GPa, који настаје

Pumice is formed through the abrupt cooling of lava rich in silica. It contains a large number of cavities, separated by glassy membranes, allowing it to float on the water, after which it was named. It can be white or gray.

Perlite is an aluminosilicate material of volcanic origin, with melting temperature of 1000 °C. Due to the content of crystal water, it is considered to be hydrated obsidian. Depending upon the water content (2-5%), it may be dark to light gray or beige. It is of the specific texture with concentric spherical fissure, like beads, up to 10 mm in diameter.

Basaltic glass (tachylite or sideromelane) is formed on the surface of the earth or on the seabed, by cooling of lava at the temperature between 984 °C and 1260 °C. It has poorly pronounced porphyry structure, it is dark green or black in color, has pearly glow and almost always contains glass in its basic mass. Due to the low content of silicon dioxide (SiO₂), it is suitable for polishing. Volcanic glass on the Moon is basaltic glass, it is darker in color than the surrounding rocks, while on Mercury it is brighter and redder than the rest of the surface. It is found as a rock (reticulite), in the form of volcanic ash (black sand), and in fibrous or rain drop shapes. It can be found in several locations in Serbia (Bor, Zlatibor, Kopaonik, Ozren, Radan, etc.).

Glass of metamorphic origin

Metamorphic glass differs significantly from volcanic glass, because it was formed through melting and then rapid cooling of rocks after the impact of meteorites or thunderbolts and the development of extremely high temperatures (around 30,000 °C) and mechanical stress (pressure greater than 50 GPa).

Impactites (impact diamond) is formed as the result of a meteorite impact, but without the development of high temperature. Pressure up to 40 GPa, which is caused by the impact of meteorite, transforms rock minerals (quartz and feldspar) into diaplectic glass, which in some cases flows into

услед удара метеорита, претвара минерале стена (кварц и фелдспат) у дијапектичко стакло, које у неким случајевима отиче у поре и пукотине околног стења (суевит). Садржи најмање количине воде (<10 ppm). Налази се у великим количинама на површини Месеца.

Тектит је тамно светлећи метеорит различитих облика и величина. Његова структура је врло чврста због високе густине. Необрађен има неравну површину. Садржи гвожђе и мале количине воде (<50 ppm).

Фриктионит настаје трењем огромних одрона стена. Сличне је текстуре као пловућац. Највећа налазишта су у Тиролу и Непалу.

Фулгурит (фласк стакло) настаје када муња удари у растресит песак или површину стене. На тај начин се формирају стакласте тубе у песку, пречника 2 и 5 cm, или стакласте покорице на стенама. Температура на месту удара муње је већа од 30.000°C, а струја јачине до 30.000 A.

Букит настаје пирометаморфним процесом лаве у инклузијама стена. Боја зависи од доминантног присуства гвожђа (смеђа), бакра (љубичаста), ванадијума (боја ћилибара), мангана (тиркизна) и хрома (зелена).

the pores and cracks of the surrounding rocks (suevite). It contains the lowest quantity of water (<10 ppm). It is found in large quantities on the surface of the Moon.

Tektite is a dark glowing meteorite in different shapes and sizes. Its structure is very strong due to high density. When unprocessed, it has an uneven surface. It contains iron and small quantities of water (<50 ppm).

Frictionite is formed by friction during massive rock landslides. It has similar texture as pumice. The biggest deposits are in Tyrol and Nepal.

Fulgurite (flask glass) is formed when lightning strikes loose sand or the surface of a rock. In this way, glassy tubes are formed in the sand with 2 and 5 cm diameter, or glassy crusts on the rocks. The temperature at the point where a lightning has struck is greater than 30,000 °C, and the power is up to 30,000 A.

Buchite is formed through pyro-metamorphous process of lava in rock inclusions. Its color depends on the dominant presence of iron (brown), copper (purple), vanadium (amber), manganese (turquoise) and chromium (green).

Фулгурит
Fulgurite



Стакло седиментног порекла

Настало је таложењем и кондензацијом не-органских материја.

Опал је најчешћи облик некрсталисаног силикатног материјала. Овај минералоид се састоји од хидратисаног силицијум диоксида ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Садржај воде варира од 3 до 10%, а некада може бити и до 20%. Познат је по разнобојности или дугином спектру боја.

Стакло биогеног порекла

Настало је таложењем органских материја.

Дијатомска земља је силикатно-седиментна стена изграђена од фосилних остатака једностваничних биљних организама, дијатома, сродних алгама.

Стакло сунђер. Наслаге силикатних нити, које излучује сунђер, дужине неколико метара, могу се нагомилати у току живота сунђера. Неке врсте могу произвести танке нити дужине од 50 до 175 mm, мада у екстремним случајевима може достићи и 3 метра.

Ћилибар настаје секрецијом, очвршћивањем и старењем органских материја (смоле). Његов хемијски састав чине угљеник, водоник и кисеоник (у облику ћилибарске или суцинитске киселине).

Археолошки налази предмета од стакла још увек нису довољни да би се у потпуности

Glass of sedimentary origin

It was created through sedimentation and condensation of inorganic substances.

Opal is the most common form of non-crystallized silicate material. This mineraloid consists of hydrated silicon dioxide ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). The water content ranges from 3 to 10%, and sometimes it can be as much as 20%. It is known for being colorful, with rainbow spectrum of colors.

Glass of biogenic origin

It is formed through sedimentation of organic matter.

Diatomaceous earth is silicate-sedimentary rock made of fossil remains of single-celled plant organisms, diatoms, related to algae.

Glass sponge. Deposits of silica fibers, secreted by a sponge, several meters long, can build up throughout the life of a sponge. Some species can produce the thin fibers between 50 and 175 mm long, although in extreme cases it may reach as much as 3 meters.

Amber is formed through secretion, solidifying and aging of organic matter (resin). Its chemical composition includes carbon, hydrogen and oxygen (in the form of succinic acid).



Ћилибар
Amber

спознала истина о употреби стакла током историје, а пронађено је јако мало писаних докумената о његовој производњи. Стакло је у праисторијско доба било предмет трговине, тако да често није могуће са сигурношћу одредити његово порекло. Експериментисање мајстора, комбиновање старих и нових техника, давало је стаклу локално обележје, које отежава његову типологију. Треба нагласити да је проучавање стакла отпочело тек у другој половини 18. века. Развој нових аналитичких техника за које се употребљавају мале количине узорака, већа заинтересованост археолога, циљана ископавања већег броја локалитета и развој међународних модела заснованих на серији анализа у ширем теоријском концепту, омогући ће боље разумевање производње и дистрибуције стакла.

Иако се не зна тачно како, када и где је човек почео са производњом стакла, претпоставља се да је стакло (ливени камен) споредни производ који је настао приликом производње керамике и бакра. У сваком случају, то је било велико, случајно откриће које је обогатило људску културу.

Археолошки налази указују да је колевка стакла у Месопотамији, и да је путем трговине и династичких односа његова производња пренета у Египат, где су пронађени трагови из времена почетака производње стакла. Стаклене перлице, које датирају из бронзаног доба (од 3.000 г. п. н. е), сматрају се најстаријим предметима од стакла које је направио човек.

Први рецепт за производњу стакла забележили су Асирци на глиненим плочицама библиотеке асирског краља Ашурбанипала (668 – 626. г. п. н. е):

„Узети 60 делова песка, 180 делова пепела од алги и 5 делова креде – и добићете стакло“.

Ова рецептура се и дан данас користи у производњи стакла. Због технолошког нивоа производње стакла, предмети који су се тада могли израђивати били су ограничени на перлице, глеђосану керамику и накит.

Archaeological glass findings are not yet sufficient to fully realize the truth about the use of glass throughout history, and very little written documents about its production have been found. Glass was the subject of trade in the prehistoric times, so often it is not possible to determine its origin with certainty. Experimenting of the craftsmen, combining of old and new techniques, gave local features to the glass, which makes its typology difficult. It should be noted that the study of glass began in the second half of the 18th century. Development of new analytical techniques for which small quantities of samples are used, greater interest of archaeologists, targeted excavations of a larger number of sites and development of international model based on a series of analyses in a broader theoretical concept will enable a better understanding of the production and distribution of glass.

Although we do not know exactly how when and where man has started to produce glass, it is assumed that the glass (cast stone) is a by-product that was created during the production of ceramics or copper. In any case, it was a great, accidental discovery that has enriched human culture.

Archaeological findings indicate that the cradle of glass making is in Mesopotamia, and that through trade and dynastic relationships its production was transferred to Egypt, where traces from the era of the beginnings of glass production were found. Glass beads, dating back to the Bronze Age (3000 BC), are considered to be the oldest man-made glass objects.

The first recipe for glass production was recorded by Assyrians on clay tablets of the Assyrian King Ashurbanipal's library (668 - 626 BC):

“Take 60 parts of sand, 180 parts of ash from algae and 5 parts of chalk - and you will get glass“.

This recipe is used in glass production even today. Due to the technological level of glass production, objects that were possible to produce at that time were limited to beads, glazed ceramics and jewelry.

СТАКЛО КРОЗ ИСТОРИЈУ GLASS THROUGH HISTORY

Античко стакло (1. век п. н. е. – 5. век н. е.)

Процес добијања античког стакла одвијао се у две фазе, да би се у пећима постигла температура виша од 1000°C. У првој фази су сировине топљене и правиле су се стаклене инготе или стаклача. Након хлађења, стаклача је дробљена и уситњена, а затим је топљена и од овако добијеног стакла су прављени разни предмети.

Велики напредак у производњи стакла, који се може дефинисати као револуционаран, био је за време Римског царства када су коришћене луле за дување стакла. Ове луле, уведене у употребу у Сирији око 2-1. века п. н. е, биле су металне цеви дужине 100-150 cm, отвора 1 cm, са задебљањем на једном и дрвеним писком на другом крају. Оне се и данас користе у малим производњама стакла.

Развој двофазног начина производње, омогућио је прављење великих количина стакла уједначеног квалитета. Инготе су се могле ла-



Ancient glass (1st century BC – 5th century AD)

The process of obtaining antique glass took place in two stages, because, in the furnaces of that time, it wasn't possible to achieve temperatures over 1000 °C. In the first stage, the raw materials were melted and used to make glass ingots. After cooling, ingot was crushed and pulverized, then melted and glass thus produced was used to make different objects.

Great progress in glass production, which can be defined as a revolutionary, occurred during the Roman Empire, when glassblowing pipes were used. These pipes, introduced into the use in Syria about 2nd – 1st century BC, were metal pipes of 100-150 cm in length, with a 1 cm hole, flange at one end and a wooden mouthpiece at the other. They are still used today in small glass manufactures.

Development of the two-phase mode of production has enabled the creation of big quantities of glass of a uniform quality. Ingots could be easily distributed to end glassware manufacturers, and a glassblowing pipe allowed the creation of simple circular vessels, thin-walls and fine glass in large

Диатрета (реплика), 3-4. век
Cage cup (replica), 3rd-4th century

кше дистрибуирати до крајњих произвођача стаклених предмета, а дување стакла лулом омогућило је прављење једноставних округлих судова, танких зидова и финог стакла у великим, различитим облицима. Стаклене посуде су тада постале јефтиније у односу на керамичко посуђе. То је довело до новог стила и веће производње стакла, чиме је стакло постало мање луксузан производ – што се касније није поновило све до 19. века.

Као резултат фазне производње стакла, занатлије и произвођачи су се брзо раширили по медитеранском региону. Ширење Римског царства допринело је стварању многих „фабрика“ за секундарну обраду стакла, као и за производњу сировог стакла, поготову у северним провинцијама, као што је Галија и градовима, као што су Келн и Трир.

Производња античког стакла може се сагледати кроз четири периода, који најбоље илуструју историјски развој стакла:

1. У првом периоду (15. век п. н. е. – 2. век н. е.) искључиво се примењује техника пешчаног језгра, ливење и пресовање. Стаклене посуде су топлих боја, као што су кобалт-плава, мед жута или шафран, плавозелена и мрка. Током првог века је камео-техником израђена једна од најсавршенијих и најпознатијих посуда (амфора), позната као портланд ваза. Из тог периода (79. г. н. е) датира почетак производње огледала и стаклених панела за прозоре, што потврђују открића у Помпеји.

2. Други период (2. век п. н. е. – 2. век н. е.) одликује усавршавање постојећих техника, а након открића стакларске луле, техника дувања стакла и његово слободно обликовање (стакло се дувало у калуп) постаје доминантно.

3. Иако најкраћи, трећи период (3 – 4. век), представља епоху зрелости и техничког савршенства. Њега одликује процват аплициране нити, резаног стакла, плитке орнаментике са сликарством и позлатом. Стакло је углавном безбојно. Из овог периода је посуда дијатрета, која је илустрација врхунца

sizes and different forms. Glass containers then became cheaper compared to ceramic ware. This led to a new style and higher production of glass, and as the result glass became a less luxurious product - which later happened again only in the 19th century.

As the result production of glass in phases, craftsmen and manufacturers have quickly spread through the Mediterranean region. The expansion of the Roman Empire contributed to the creation of many “factories” for the secondary glass processing, as well as for the production of raw glass, especially in the Northern provinces, such as Gaul and cities such as Cologne and Trier.

Production of ancient glass can be observed through four periods, which best illustrate the historical development of glass making:

1. In the first period (15th century BC - 2nd century AD) only the technique of sand core, casting and molding were used. Glass containers were in warm colors, such as cobalt blue, honey yellow or saffron, teal and dark brown. One of the most advanced and well-known containers (amphorae), known as the Portland Vase, was created by using cameo-technique during the first century. The beginning of production of mirrors and glass panels for windows, as evidenced by the discovery in Pompeii, dates back to this period (79 AD).

2. The second period (2nd century BC - 2nd century AD) is characterized by improvement of the existing techniques, and glass blowing technique and its free shaping (glass was blown into a mold) became dominant after the discovery of glass pipes.

3. The third period (3rd – 4th century), although the shortest, represents the era of maturity and technical perfection. It is characterized by flourishing of applied threads, cut glass, shallow ornamentation with painting and gilding. Glass is mostly colorless. The Diatreta cup, which illustrates the peak of the ancient techniques of decorating glass, is from this period. Creation of the “filigree” cage around Diatreta is still a puzzle and the subject of numerous scientific debates.

античке технике израде декорације на стаклу. Израда „филигранске“ мреже на дијатрети је и даље загонетка и предмет многих стручних расправа.

4. Четврти период (5 – 8. век), рани средњи век, долази до опадања масовности у прозводњи стакла.

Распадом Римског царства, ток развоја производње стакла се мења. У Источном римском царству или Византијском царству, где се стакло традиционално производило, развој производње стакла био је другачији од Западног. Производња стакла је била ексклузивна, под покровитељством богатих, цркве и Краљевског двора. Развијена је декоративна техника на провидном стаклу, помоћу процеса као што су сечење, емајлирање и позлата. Структура стакла овог периода има карактер аморфног силицијум-диоксида, а доминантна техника производње је ливење у калупе.

Средњовековно стакло (5 – 15. век)

Средњи век је обележила производња витражног и равног стакла у функцији застакљивања прозора и венецијанског стакла - кристала. Мада је стакло коришћено за прозоре још у римско доба, потреба за застакљивањем прозора посебно је порасла у време готике, од 11. до 12. века, када су грађене монументалне катедрале и цркве са великим прозорским отворима. Како се још увек није овладало прављењем стакла великих површина, прозори су остакљени обојеним и осликаним стаклом малих површина уметнутим металне конструкције. Овај тип стакла познат је као *витраж*. Занатлије су користиле различите технике у бојењу стакла, употребљавајући природну боју стакла или додавањем злата, сребра или бакра. Нано честице ових метала у стаклу су, у зависности од величине и облика, давале различита обојења. Ово практично значи да су средњовековни мајстори заправо искусно постали нанотехнолози! На кра-

4. The fourth period (5th - 8th century), early Middle Ages, is characterized by a decline in mass production of the glass.

The fall of the Roman Empire changed the course of development of glass production. In the Eastern Roman Empire or Byzantine Empire, where the glass was traditionally produced, the development of glass production was different than in the West. Glass production was exclusive, under the auspices of the wealthy, the church and the Royal Palace. Decorative technique on a transparent glass was developed, using processes such as cutting, enameling and gilding. The structure of the glass from this time has the character of amorphous silicon dioxide, and the dominant production technique is molding.

Medieval glass (5th – 15th century)

The period of Middle Ages was marked by the production of stained glass and flat glass for glazing windows and Venetian glass - crystal. Although the glass was used for windows already in the Roman period, the need for window glazing particularly increased during the Gothic period, from the 11th to the 12th century, when monumental cathedrals and churches with large window openings were being built. As they had not yet mastered the production of large glass surfaces, windows were glazed with smaller colored and painted glass pieces embedded in the metal structure. This type of glass is known as *stained glass*. Craftsmen applied different techniques in glass painting, using the natural color of the glass or adding gold, silver or copper. Nano particles of these metals in the glass, depending on the size and shape, gave distinct coloration to the glass. Practically, this means that the medieval masters actually experientially become nano-technologists! At the end of the Middle Ages, flat colored glass was used not only for monumental buildings, but also for windows in public buildings, taverns and houses of the wealthy.

While the Romans perfected the production, the Venetians turned glass making into an art. By the 13th century, glass has been produced in Venice

ју средњег века, равно обојено стакло је коришћено, не само за монументална здања, већ и за прозоре на јавним зградама, кафанама и кућама богатих.

Док су Римљани усавршили производњу, Млечани су од израде стакла направили уметност. До XIII века стакло се производило у Венецији и било је један од главних извозних производа Млетачке републике (Република Венеција), познато као венецијанско стакло. Византијске занатлије су одиграле важну улогу у развоју венецијанског стакла и уметничких форми по којима је ово стакло било познато, јер су након крсташких ратова многе тајне пренели са Истока у Венецију. Њиховим преласком у Мурано, које је имало локалну сировину, изузетног квалитета и специфичних својстава, уз додатак соде из шпанске морске биљке солњаче (*Salsyola kali*) и малих количина мангана, настало је безбојно стакло, познато као кристал (*crystallo*), типично венецијанско стакло. Занатлије мурано стакла су развиле технологију добијања, не само кристалног стакла, већ и стакла са златним нитима, шареног, млечног и стакла које је имитирало драго камење. Нови производи освајају европске дворове и племићке куће, тако да више нико није говорио о венецијанском, већ о муранском стаклу. Због своје прозирности и прилагодљивости, богатства изражавања у производњи, кристално стакло је било погодно и за развој ренесансног стила Венеције.

Откривањем крон-стакла почетком XIV века у Француској, првобитно коришћеног за застакљивање, ударени су темељи за развој различитих врста оптичких стакала у Новом веку.

Пример технике витражног стакла
An example of stained glass technique

and it was one of the main export products of the Venetian Republic (Republic of Venice), known as Venetian glass. Byzantine craftsmen played an important role in the development of Venetian glass and art forms by which this glass was known, because after the Crusade Wars they brought many secrets from the East to Venice. When they moved to Murano, which had local raw materials, of high quality and specific properties, with the addition of soda from the Spanish sea plant prickly saltwort (*Salsuola kali*) and small amounts of manganese, they started creating colorless glass known as crystal (*crystallo*), typical Venetian glass. Murano glass artisans have developed a technology for the production of not only crystal glass, but glass with threads of gold, multicolored, milky glass and glass imitating precious stones. New products conquered European palaces and noble houses, so that no one was talking about Venetian, but of Murano glass. Because of its transparency and flexibility, richness of expression in the production, crystal glass was suitable for the development of the Venetian Renaissance style as well.

The discovery of the crown-glass in France in the early 14th century, which was originally used for glazing, laid the foundations for the development of different types of optical glass.



Стакло Новог доба

Осим Венеције, која је производила висококвалитетно стакло уметничке вредности, Француска и Енглеска су од 14. века поставиле темеље индустријализације и масовне производње стакла, док заслуга за њену модернизацију припада Немачкој и Америци у 19. и 20. веку. Подстицај за аутоматизацију, што је од кључне важности за индустријску производњу стакла, дошао је из Америке.

У Енглеској су у 16. веку, заменом дрвета са угљем као горивом, заменом отворене пећи са затвореним лонцем са отвором за приступ стаклу и успостављањем индустрије производње соде, створени услови за масовну производњу стакла. Ове промене су омогућиле да се оксид олова додаје у стаклену серију и да се производи оловно стакло, које се сматрало заменом за венецијански кристал (Мурано). Помоћу веће размере оловног оксида уместо соде, добијено је стакло са високим индексом преламања, погодно за дубоко сечење и гравирање. Оловно стакло високе чистоће је коришћено као кремено стакло за оптичке сврхе.

У 16. веку у Холандији долази до развоја стакла за телескопе и сочива за микроскопе. Сматра се да је први микроскоп направио Захарије Јансен, а да га је Антони ван Левенхук, брусач стакла, касније усавршио. Почетком 17. века, у Чешкој је усавршена техника сечења и гравирања стакла до савршенства.

У Француској је у 17. веку развијена техника производње стаклених равних плоча, првенствено за израду огледала, које је тек сада имало пожељна оптичка својства. Истопљено стакло је сипано на посебан сто и ваљано равно.

Иновације у 19. и 20. веку допринеле су индустријализацији и масовној производњи стакала, у правом смислу те речи. У групу значајних иновација свакако се могу сврстати:

- Проналазак резервоара пећи омогућио је континуирану производњу стакла и употребу машина (Немачка, 19. век)

Glass of the modern period

In addition to Venice, which was producing high-quality glass of an artistic value, France and England laid the foundations of industrialization and mass production of glass in the 14th century, while the credit for its modernization belongs to Germany and America in the 19th and 20th centuries. The impetus for the automation, which is of crucial importance for the industrial production of glass, came from America.

By the replacement of wood with coal as a fuel, substitution of open stoves with closed pot with an opening for access to the glass and establishment of industry of soda production in England in the 16th century, the conditions for mass glass production were created. These changes enabled adding of lead oxide to the glass batch and thus the production of leaded glass, which was considered a substitute for the Venetian crystal (Murano). Using higher proportions of lead oxide instead of soda, a glass with a high refractive index has been obtained which was suitable for deep cutting and engraving. High purity leaded glass was used as a flint glass for optical purposes.

Glass for telescopes and microscope lenses was developed in the Netherlands in the 16th century. It is believed that the first microscope was made by Zacharias Jansen, and that it was later perfected by Antonie van Leeuwenhoek, a glass polisher. The techniques of cutting and engraving glass were improved to perfection in the Czech Republic in the early 17th century.

Technique of production of flat glass plates was developed in France in the 17th century, primarily for the production of mirrors, which only at that time had the desirable optical properties. The molten glass was poured on a special table and rolled flat.

Innovations in the 19th and 20th century contributed to the industrialization and mass production of the glass, in the true sense of the word. The following can be classified into the group of major innovations:

- Развој технологије за производњу ватро-сталног и оптичког стакла, познато као *Јена стакло* (Немачка, 18-19. век)

- Проналазак машине за аутоматско дубање боца (Америка, 19-20. век)

- Проналазак отворене „хранилице“ за процес аутоматске производње стакла (Америка, 20. век)

- Проналазак машине за производњу појединачног комада стакла (Америка, 20. век)

- Проналазак *Фурко* (*Fourcault*) процеса за производњу стаклених плоча (Белгија, 20. век)

- Проналазак процеса ливања стакла из лонца директно преко два ваљка (Белгија, 20. век)

- Развијена технологија за производњу *флот* (*float*) стакла (Велика Британија, 20. век).

Комбинација отворене „хранилице“ и машине за производњу појединачног комада коначно је омогућила достизање капацитета индустрије за масовну производњу и велика технолошка достигнућа.

Стакло произведено *Фурко* методом било је уједначене дебљине, лакше је било брушење и полирање, а производња је била економичнија. Плућањем ливеног стакла на растопљеном металу, обично калају, добијене су стаклене плоче уједначене дебљине, познато као *флот* стакло. Тако је стакло, које данас користимо за прозоре, коначно развијено шездесетих година прошлог века.

Стакло је еколошки и потпуно обновљив материјал који нуди бројне врхунске карактеристике у различитим апликацијама. Због тога је и у развоју уметности, архитектуре и нових производа (фибергласа) утицај стакла велики.

Почетком XX века дошло је до појаве нове уметности „art nouveau“ (сецесија), када се стварају стаклени облици и стаклени украси, који су настајали поигравањем уметника са бојама, материјалом и техником, наглашавањем рељефа или поклапањем мехурића у стаклу, које се добијало техником „стакленог балона“.

- Invention of tank furnace enabled the continuous glass production and the use of machines (Germany, 19th century)

- Development of the technology for the production of fire resistant and optical glass, known as the *Jena glass* (Germany, 19th century)

- Invention of the machine for automatic blow molding of bottles (America, 19th - 20th century)

- Invention of an open “feeder” for the process of automatic glass production (America, 20th century)

- Invention of the machine for the production of individual pieces of glass (America, 20th century)

- Invention of the *Fourcault* process for the production of glass plates (Belgium, 20th century)

- Invention of the process of casting of glass from the pot directly through two rollers (Belgium, 20th century)

- The technology developed for the production of float glass (Great Britain, 20th century)

The combination of open “feeders” and machines for the production of individual pieces finally facilitated the achievement of the capacity of the industry for mass production and high technological achievements.

Glass produced by applying *Fourcault* method had uniform thickness, its grinding and polishing were easier, and the production was more economical. By floating molten glass on molten metal, usually tin, glass sheets of uniform thickness, known as float glass, were produced. In this way, the glass, which we use for windows, was finally developed in the 1960s.

Glass is an environmentally friendly and totally renewable material that offers many superior characteristics in various applications. For this reason, glass has had exceptional influence in the development of arts, architecture and new products (fiberglass).

The early 20th century saw the emergence of new art, the “art nouveau” (Secession), when glass forms and glass ornaments were created, as the re-

У архитектури је стакло још увек модеран и динамичан производ, далеко од потпуне искоришћености његових потенцијала. *Кристална палата (Crystal Palace)*, саграђена за Велику изложбу 1891. године у Лондону, први је пример коришћења стакла на великим површинама у архитектури. Са континуираним напретком у технологији стакла, побољшањем својстава безбедности и енергетске економије стакла и расположивим новим методама, обећавајући су будући изгледи тржишта за савијеним, сигурносним и транспарентним стаклом. Стакло је још увек материјал у развоју.

sult of the artist plays with colors, materials and techniques, emphasizing the relief or closing bubbles in the glass, produced by applying the “glass bubble” technique.

Glass is still a modern and dynamic product in the architecture, far from having its potential fully exploited. The Crystal Palace, built for the Great Exhibition in London in 1891, is the first example of using glass on large surfaces in architecture. With the continuous progress in glass technology, improvement of properties of safety and power economics of glass and the availability of new methods, the future prospects of the markets for bent, safety and transparent glass are promising. Glass is still a material in development.



Кристална палата, Лондон, 1891.
Crystal Palace, London, 1891

СТАКЛО И ТЕХНОЛОГИЈА ПРОИЗВОДЊЕ

GLASS AND PRODUCTION TECHNOLOGY

Сировине и састав стакла

Савремена производња стакла се заснива на коришћењу природних и вештачких сировина, одређеног хемијског састава и гранулације, чијим се мешањем добија хомогена стакларска смеша, а топљењем стаклена маса. Гранулација свих сировина не сме да прелази 1 mm или величину зрна песка, јер се већа зрна теже топе и остају као примесе, што даје као резултат грешке у стаклу.

Основне сировине за добијање стакла су: кварцни песак, кречњак, доломит, фелдспат, глиница, сода, сулфати и стаклени отпад или крш. Кварцни песак је градитељ решетке, сода има улогу топитеља, а креч и доломит улогу стабилизатора. Остале сировине се додају у мањим количинама да би се добила нека својства код готовог производа, као што су топљење, бистрење или бојење.

Сировине за производњу стакла се могу поделити у две групе:

- основне или главне сировине које чине кисели, базни или земљоалкални оксиди, као што су: SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , B_2O_3 , PbO , ZnO и BaO .
- помоћне сировине које се додају у малим количинама и чине их бистрачи (средства за бистрење стакла), оксидациона и редукциона средства (шалитра, угаљ...), средства за мућење, бојење или обезбојавање и убризгивачи топљења.

Кварцни песак (SiO_2). Природна сировина, настала распадањем кварцних стена, и основни састојак у производњи свих врста стакала. У стакларској мешавини учествује са 70%, па квалитет стакла зависи и од квалитета песка.

Raw materials and glass composition

Contemporary glass production is based on the use of natural and artificial raw materials, with specific chemical composition and granulation, the stirring of which produces a homogeneous glass mixture, and the melting of which produces glass mass. Granulation of all raw materials must not exceed 1 mm or the size of a sand grain, because larger grains are more difficult to melt and remain as admixtures, and they result in what appear to be defects in the glass.

Basic raw materials for the glass production are: quartz sand, limestone, dolomite, feldspar, alumina, sodium, sulfates and glass waste or cullet. Silica sand builds the grid, soda has the melting role, and the lime and dolomite the role of stabilizers. Other raw materials are added in small amounts in order to obtain certain properties in the finished product, such as melting, clarification or coloring.

Raw materials for production of glass can be divided into two groups:

- Basic or main raw materials comprised of acidic, alkaline or earth-alkaline oxides, such as: SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , B_2O_3 , PbO , ZnO and BaO .
- Secondary raw materials which are added in small amounts and are comprised of clarification agents (agents for clarification of glass), oxidizing and reducing agents (saltpetre, coal...), additives for blurring, coloring or bleaching and as melting enhancer.

Quartz sand (SiO_2). It is a natural raw material, created through the decomposition of quartz rocks and the main ingredient in the production of all types of glass. Its share in the glass mixture is 70%, and so the glass quality depends on the quality of the sand.

Квалитетан кварцни песак садржи више од 98% силицијум диоксида (SiO_2) и мало нечистоћа. Примесе у кварцном песку, попут натријума, калцијума и мањих количина алуминијум оксида (Al_2O_3) и магнезијум оксида (MgO) немају великог утицаја на производ. Супротно томе, оксиди гвожђа (Fe), хрома (Cr), ванадијума (V) и титанијума (Ti) дају стаклу обојење које утиче на слабије пропуштање топлоте и светлости.

Примеса гвожђе (III) оксида (Fe_2O_3) даје стаклу жућкасто, а гвожђе (II) оксида (FeO) интензивно плавозелено обојење.

Присуство оксида хрома је нарочито непожељно у производњи, јер је обично неравномерно распоређен у кварцном песку и десет пута интензивније боји стакло од примеса гвожђа. Већа зрна хрома се не растапају приликом производње стакла, те настају грешке које се називају „црне тачке“.

Примесе титанијум диоксида (TiO_2) у песку су у облику минерала илменита, рутила и титанита. Стакло са малим количинама титанијума обојено је жуто, делимично због редукције титанијум диоксида (TiO_2) у жути титанијум оксид (TiO), а делимично због истовременог присуства гвожђа. Садржај TiO_2 код песка доброг квалитета не би смео да пређе 0,2%.

Soda (Na_2CO_3). За производњу стакла користи се углавном тешка сода због мање хигроскопности, која мање делује на раслојавање мешавине, мање нагриза ватростални материјал и мање се таложи у регенераторима, а утиче на убрзавање топљења стакла.

Кречњак и доломит. Седиментне стене које садрже калцијум карбонат (CaCO_3) или карбонат магнезијума и калцијума ($\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$) са примесама.

Фелдспати. Алумосиликати натријума, калијума или калцијума користе се као извор алуминијум (III) оксида Al_2O_3 и алкалија, и то у три облика: албит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), ортоклас микроклин (KAlSi_3O_8) и анорит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

High quality quartz sand contains more than 98% of silicon dioxide (SiO_2) and some impurities. Admixtures in quartz sand, such as sodium, calcium and smaller amounts of aluminum oxide (Al_2O_3) and magnesium oxide (MgO) do not have a big impact on the product. In contrast, oxides of iron (Fe), chromium (Cr), vanadium (V) and titanium (Ti) produce staining effects on the glass, which leads to a lower heat and light impermeability.

Admixture of ferric oxide (Fe_2O_3) gives a yellowish color to the glass, and ferrous oxide (FeO) intense blue-green color.

The presence of chromium oxide is particularly undesirable in production, since it is usually unequally distributed in quartz sand and it colors the glass ten times more intensely than the iron impurities. Bigger grains of chromium would not dissolve during the glass production, so the faults occur that are called “black spots”.

Admixtures of titanium dioxide (TiO_2) in the sand are in the form of ilmenite, rutile and titanite minerals. Glass with small amounts of titanium has yellow color, partly due to the reduction of titanium dioxide (TiO_2) into the yellow titanium oxide (TiO), and partly because of the simultaneous presence of iron. The content of TiO_2 in the sand of good quality should not exceed 0.2%.

Soda (Na_2CO_3). Heavy soda is mainly used in the production of glass because of a lower hygroscopicity, which has less effect on layering of the mixture, is less corrosive to refractory material and less is deposited in the regenerators, and it affects the acceleration of glass melting.

Limestone and dolomite. Sedimentary rocks containing calcium carbonate (CaCO_3) or magnesium and calcium carbonate ($\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$) with admixtures.

Feldspars. Aluminosilicates of sodium, potassium or calcium is used as a source of aluminum oxide Al_2O_3 and alkali, in three forms: albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), orthoclase microcline (KAlSi_3O_8) and anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). The role of aluminium oxide is multifold, because it lowers the expansion

Улога алуминијум оксида је вишеструка, јер снижава коефицијент ширења, повећава отпорност на температурне шокове, повећава тврдоћу стакла, побољшава машинску прераду, повећава хемијску постојаност на воду и смањује ка одстакљивању.

Натријумови и калијумови фелдспати се лако топе и ретко проузрокују грешке у стаклу, изузев у случају крупних гранула, када се формира камен или неправилности у стаклу. Уместо ове сировине може се користити глинаца (чист Al_2O_3).

Глинаца (чист Al_2O_3). Добија се из боксита као међупроизвод приликом производње алуминијума. Садржи преко 98% Al_2O_3 (обично је 99-99,5%) и примесе Na_2O (око 0,5%), Fe_2O_3 (0,05%), SiO_2 (0,25%) и воде (највише 2,5%).

Натријум сулфат (Na_2SO_4). Натријум сулфат се додаје у стаклену мешавину из три разлога: (а) у содну мешавину као средство за бистрење, (б) у содно-сулфатну мешавину као извор Na_2O , који се једним делом добија из соде, а другим из сулфата и (в) у сулфатну мешавину, када се Na_2O искључиво добија из сулфата. Генерално, користи се као средство за бистрење или као топитељ (средство за унос Na_2O у стакло), уместо соде.

Угаљ. Пошто се натријум сулфат тешко разлаже као редуционо средство (бистрач и топитељ), тада се користи угаљ који садржи најмање 85% угљеника (C) и до 4% пепела и 8% влаге. У случају да количина сулфата у мешавини прелази 5% од укупне количине алкалија, тада се додаје 6,5-7% угља. Уколико се дода превелика количина угља долази до обојења стакла. Величина гранула угља не би смела да буде мања од 0,1 ни већа од 1 mm. Од угља најбоље је користити кокс, затим антрацит и на крају дрвени угаљ.

Стаклени отпад (крш). Стаклени отпад или крш, као својерстан разређивач, додаје се од 25 до 45% у односу на тежину мешавине стакла. Додавање крша утиче на бржи пренос топлоте кроз растоп, брже топљење стакла

coefficient, increases the resistance to temperature shocks, increases the hardness of the glass, improves the mechanical processing, increases chemical resistance to water and reduces glass damage.

Sodium and potassium feldspars melt easily and rarely cause defects in the glass, except in the case of large granules, when a rock or irregularities in the glass are formed. Alumina (pure Al_2O_3) can be used instead of these raw materials.

Alumina (pure Al_2O_3). It is obtained from bauxite as an intermediate in the production of aluminium. It contains more than 98% Al_2O_3 (usually 99-99.5%) and the Na_2O admixtures (about 0.5%), Fe_2O_3 (0.05%), SiO_2 (0.25%) and water (maximum 2.5%).

Sodium sulfate (Na_2SO_4). Sodium sulfate is added to a glass mixture for three reasons: (a) in a sodium mixture as a clarifying agent, (b) in a sodium-sulfate mixture as a source of Na_2O , which is partly obtained from soda, and partly from sulfates, and (c) in a sulfate mixture, when the Na_2O is obtained from sulfates exclusively. Generally, it is used as a clarifying agent or flux (the means for inserting Na_2O into the glass), instead of soda.

Coal. Since the sodium sulfate is not readily decomposed as a reducing agent (clarifying agent and flux), coal is then used containing at least 85% of carbon (C) and up to 4% of ash, and 8% moisture. In the case that the quantity of sulfate in the mixture exceeds 5% of the total quantity of the alkali, then 6.5-7% of coal is added. If too much coal is added, discoloration of the glass would occur. Size of the granules of coal should not be smaller than 0.1 or bigger than 1 mm. The best coal to be used is coke, then anthracite and then at the end charcoal.

Glass waste (cullet). Glass waste or cullet, as a form of thinner, is added in the amount from 25 to 45% relative to the weight of the glass mixture. Adding cullet influences faster heat transfer through the melt, faster melting of glass and the reaction between the raw materials. Increasing of the quantity of cullet in a mixture has influence on the melting time, preservation of the heat, increase in the yield and stability of the temperature

и реакцију између сировина. Повећањем количине крша у мешавини утиче се на време топљења, уштеду топлоте, повећање приноса, као и стабилност температуре и струјања унутар растопа. Гранулација ломљеног стакла треба да буде већа од величине песка у мешавини или 2-20 mm. Уколико је величина гранулације крша једнака гранулацији сировина, тада је најдуже време отапања самог крша. Важно је да је хемијски састав крша исти као и стакла које се производи, јер се у супротном добија нехомогена маса.

Арсентриоксид (As_2O_3). Користи се као средство за бистрење или обезбојавање. Јако је отрован и захтева посебну пажњу и посебне мере заштите приликом употребе. За бистрење сода-кречног стакла додаје се 0,15-0,25% арсен триоксида (As_2O_3), чистоће 95%, и 1-1,5% натријум нитрата ($NaNO_3$).

Врсте стакла

Подела стакла може се извршити по:

- саставу (силикатно, оксидно, боросиликатно)
- својствима (ватроотпорно, УВ пропуштљиво)
- намени (лабораторијско, медицинско, грађевинско)
- облику (равно, шупље)
- начину производње (Фурко, Питсбург, Асехи, Либи Овенс, флот)

Силикатно стакло (SiO_2)

То је општи назив за сва стакла која као основну структуру имају силицијум диоксид (SiO_2). Уколико још неки оксид има удео у структури или његов утицај знатно мења намену, употребу или нека својства, назив се мења (нпр. боросиликатно, „содно-кречно“, итд).

Топљењем кварца (горски кристал) на температури преко $1700^\circ C$ добија се кварцно

and the currents inside the melt. Granulation of broken glass should be greater than the size of sand in the mixture or 2-20 mm. If the size of granulation of cullet is equal to the granulation of raw materials, then the period of melting of the cullet itself is the longest. It is important that the chemical composition of debris is the same as that of the glass produced, otherwise non-homogeneous mass would be obtained.

Diarsenic trioxide (As_2O_3). It is used as a clarification or bleaching agent. It is extremely toxic and requires special care and special protective measures during use. For the clarification of soda-lime glass, a 0.15-0.25% arsenic trioxide (As_2O_3) is added, with purity of 95%, and 1-1.5% of sodium nitrate ($NaNO_3$).

Types of glass

Glass can be classified according to:

- composition (silicate, oxide, borosilicate)
- properties (fireproof, UV-permeable)
- purpose (laboratory, medical, construction)
- shape (flat, hollow)
- method of production (Fourcault, Pittsburgh, Asehi, Libby Owens, float)

Silicate glass (SiO_2)

It is a general term for all types of glass that has silicon dioxide (SiO_2) as their basic structure. If another oxide participates in the structure or its impact significantly changes the purpose, use or certain properties, the name will change (e.g. borosilicate, “soda-lime”, etc.).

The melting of quartz (rock crystal) at a temperature of over $1700^\circ C$ produces quartz glass, which is processed at a temperature higher than $2000^\circ C$. By adding the alkali, the necessary temperature is significantly reduced. In addition of various admixtures, this glass is used to produce glass with specific properties. For example, the alkali (Na_2O) content should be minimized when producing glass which should be resistant to heat

стакло, које се обрађује при температури већој од 2000°C. Додавањем алкалија неопходна температура се знатно снижава. Уз различите додатке, од овог стакла се добија стакло специфичних својстава. На пример, садржај алкалија (Na_2O) треба свести на минимум код добијања стакла које треба да буде отпорно на топлоту и хемијска једињења, јер снижава тачку топљења и растворљивост. Уместо њега се уводе одређене количине B_2O_3 или Al_2O_3 . Код оловног стакла, PbO повећава индекс преламања стакла и расипања светлости. Овакво стакло постаје меко и лакше се обрађује.

Врсте силикатног стакла су:

- *Кварцно стакло* (99,9% SiO_2) и „*Викор*“ *стакло* (96% SiO_2 и 3% B_2O_3) су постојана на термичке ударе, деловање хемикалија и пропуштање ултраљубичастих и инфрацрвених зрака.

- *Боросиликатно стакло* је високо отпорно на хемикалије и високе температуре, те је погодно као лабораторијско и фармацеутско стакло. У ову групу спада и неутро стакло, од кога се израђују цеви за ампуле и бочице. Садржи 60-80% SiO_2 , 10-25% B_2O_3 и 1-4% Al_2O_3 .

- *Алумосиликатно стакло* је постојано на деловање хемикалија и са малим је коефицијентом ширења. Исте је намене као и боросиликатно стакло, али је отпорније на више температуре. Садржи 5-6% SiO_2 , 20-40% Al_2O_3 , 5-50 % CaO и до 10 % B_2O_3 .

- *Кречно-алкално стакло* (*сода – кречно стакло*) је најчешћи тип стакла и најчешће се користи за израду равног и шупљег стакла, као и стакла за сијаличне балоне. У ову групу спада и оптичко (кроно) стакло, само што се CaO замењује са баријумом. Садржи око 70% SiO_2 , 10% CaO (где се један део може заменити са MgO) и 15% Na_2O .

- *Оловно стакло* или тзв. *кристално стакло* користи се за израду неонских цеви и за оптичко „флинт“ стакло. Садржи 30-70% SiO_2 , 16-65% PbO и 5-20% Na_2O или K_2O .

and chemical compounds, because it lowers the melting point and solubility. Instead of it, certain quantities of B_2O_3 or Al_2O_3 are introduced. In case of leaded glass, PbO increases the refractive index of glass and the scattering of light. Such glass becomes soft and more malleable.

The types of silica glass are:

- *Quartz glass* (99.9% SiO_2) and „*Vykor*“ *glass* (96% SiO_2 and 3% B_2O_3) are resistant to thermal shocks, effects of chemicals and permeation of ultraviolet and infrared rays.

- *Borosilicate glass* is highly resistant to chemicals and high temperatures, making it suitable as a laboratory and pharmaceutical glass. This group also includes neutro glass, which is used to make tubes for ampoules and vials. It contains 60-80% SiO_2 , 10-25% B_2O_3 and 1-4% Al_2O_3 .

- *Aluminosilicate glass* is resistant to the action of chemicals and has a small coefficient of expansion. It has the same purpose as the borosilicate glass, but is more resistant to higher temperatures. It contains 5-6% SiO_2 , 20-40% Al_2O_3 , 5-50 % CaO and up to 10% B_2O_3 .

- *Lime-alkali glass* (*soda - lime glass*) is the most common type of glass and is commonly used in the production of flat and hollow glass and glass for light bulbs. This group also includes optical (crown) glass, only CaO is replaced with barium. It contains approximately 70% SiO_2 , 10% CaO (where one part may be substituted with MgO) and 15% Na_2O .

- *Leaded glass* or so-called *crystal glass* is used in the production of neon tubes and for optical „flint“ glass. It contains 30-70% SiO_2 , 16-65% PbO and 5-20% Na_2O or K_2O .

- *Glass with special composition* is glass for special purposes and may be phosphate, semi-transparent, resistant to nuclear radiation, etc.

The simplest division would be:

- *Flat*, which is, depending on the fabrication method, divided into:

- *Vertical*, obtained by applying „Fourcault“, „Pittsburgh“ and „Asahi“ method, and

- *Стакло специјалног састава* је стакло за специјалне намене и може бити фосфатно, полупровидно, стакло отпорно на нуклеарно зрачење, итд.

Најједноставнија подела стакла би била на:

- *Равно*, које се по начину израде дели на:
 - *вертикално*, добијено „Фурко“, „Питсбург“ и „Асахи“ методом и хоризонтално, добијено „Либи Овенс“ методом
 - *полирано*, добијено механички или флот технологијом
 - *ливено* (армирано и орнаментално стакло)
- *Сигурносно* (армирано, каљено и ламинирано)
- *Термоизолационо* (термоапсорбујуће, терморекфлектујуће, са побољшаном звучном изолацијом)
- *Шупље*, које се дели на трговачко, лабораторијско, медицинско, фармацеутско и др.
- *Специјално*, које чине стаклене нити, термометарско, стаклена вуна, стакло отпорно на зрачење и порозно стакло

Подела стакала према намени:

- *Обична* (равно стакло за амбалажу, боце, тегле)
- *Техничка* (оптичка, ватроотпорна, стакло за светлосну технику, стаклена вуна и влакна)

Врсте стакла према начину обраде

Темперирано стакло. Поступак темперирања стакла, који подразумева постепено хлађење формираног стакленог облика, примењује се ради ослобађања унутрашњег напона. Нетемперирано стакло је склоно пуцању, чак и при минималним температурним променама или механичким ударима. Приликом пуцања, ово стакло се ломи у велике неправилне комаде са оштрим ивицама, што представља опасност по човека.

horizontal, obtained by applying “Libby Owens“ method

- *Polished*, obtained mechanically or by applying float technology

- *cast* (reinforced and ornamental glass)

- Safety (reinforced, tempered and laminated)
- Thermo-insulation (thermo absorbing, thermo reflecting, with improved sound insulation)
 - Hollow, which is divided into commercial, laboratory, medical, pharmaceutical and others.
 - *Special*, consisting of glass fibers, glass for thermometers, glass wool, glass resistant to radiation and porous glass.

Division of glasses according to its purpose:

- *Ordinary* (flat glass for packaging, bottles, jars)
- *Technical* (optical, fireproof, glass for light technique, glass wool and fibers)

Types of glass according to the processing method

Tempered glass. The process of tempering glass, which implies a gradual cooling of the formed glass shape, is applied to relieving the internal stresses. Non-tempered glass tends to crack, even at minimum temperature changes or mechanical shocks. When cracking, this glass breaks into large, irregular pieces with sharp edges, posing a risk of injury.

Glass is heated to the point where it is hard enough not to deform, while at the same time it is soft enough to relieve the internal stresses. Glass can be cut, sanded and polished after tempering. This glass is suitable for making the table surfaces, cabinets and cabinet and show case doors and basement windows.

Tempered glass (safety glass). Reinforced glass, which breaks into small square pieces, posing lower risk of injury. It is produced using thermal and chemical processes. Tempered glass is first heated to a temperature from 564°C to 620°C, and is then rapidly cooled by air jets. In this process, the inside of the glass cools considerably slower. The chemi-

Стакло се загрева до границе где је довољно тврдо да се не деформише, а у исто време, довољно меко да би се унутрашњи напон ослободио. Након темперирања, стакло се може сећи, брусити и полирати. Овакво стакло је прикладно за израду површина столова, врата ормана и витрина и прозора у сутерену.

Каљено стакло (сигурносно стакло). Ојачано стакло, које се ломи на ситне четвртасте комаде, код којих има мање могућности за већим посекотинама. Добија се термичким и хемијским путем. Темперирано стакло се прво загреје на температури од 564°C до 620 °C, а затим се брзо хлади ваздушним млазницама. Овим поступком се унутрашњост стакла знатно спорије хлади. Хемијски процес каљења изводи се потапањем стакла у каду за измену јона, која је испуњена растопом калијум нитрата. На површинском слоју, најмање 0,1 mm дебљине, јони натријума из стакла се замењују већим јонима калијума. Каљено стакло хемијским процесом је неколико пута чвршће и јаче од стакла које је каљено термичким путем. Након поступка каљења, ово стакло се не може сећи.

Начини обраде стакла

Стакло се најлакше обликује док је топло, у вискозном стању, док се неке форме постижу применом различитих технолошких поступака, као што су сечење, брушење, полирање, пескирање и ецовање.

Сечење. Стакло се може сећи праволинијски и криволинијски, помоћу стакларског ножа. Једна врста ножа на врху има фиксиран дијамант, а друга, која је уобичајнија, има чврсти израђен од ојачаног челика или волфрам-карбида, пречника 4-6 mm, оборених ивица, облика латиничног слова V, под углом од 120° до 154°. Приликом сечења стакла чврсти ножи се подмазују уљем, најчешће керозином. Најпре се ножом зарезује површина, како би се ослабио површински напон, а затим се посебним кљештима или самим ножем (зависно од дебљине стакла,

cal process of tempering is performed by dipping the glass in the bath for an ion exchange, which is filled with solution of potassium nitrate. On the surface layer, which is at least 0.1 mm thick, the sodium ions in the glass are replaced with larger potassium ions. Glass tempered chemically is several times tougher and stronger than thermally tempered glass. After the hardening process, this glass cannot be cut.

Methods of glass processing

The easiest way to shape the glass is while it is warm, in its viscous state, while some forms are achieved by using a variety of technologies such as cutting, grinding, polishing, sandblasting and etching.

Cutting. Glass can be cut rectilinearly and curvilinearly, using a glassmaking knife. One type of knife has a fixed diamond on top, and the other, which is more common, a wheel made of hardened steel or tungsten carbide, and is of 4-6 mm in diameter, with downward edges, in the shape of letter V, at an angle from 120° to 154°. When cutting glass, knife rollers are lubricated with oil, usually kerosene. First, the knife is used to cut the surface, in order to weaken the surface stresses, and then with the special pliers or the knife (depending on



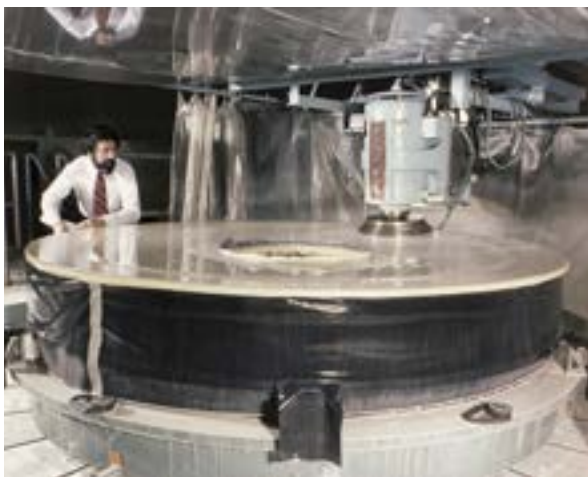
Ножеви са сечења стакла
Glassmaking knives

врсте реза и др.) врши притисак са друге стране и стакло пуца по линији реза. Сечење дебљег стакла, од 10 mm па навише, обично се врши нумеричком машином. Захтевнији стаклени предмети, компликованијих облика, данас се секу помоћу ласера.

Брушење. Стакло је јако погодно за брушење, било да се оно изводи из декоративних или сигурносних разлога. Обично се бруси у присуству воде, која елиминише проблем прашине и смањује ризик од пуцања стакла, што се нарочито односи на дувано стакло. Материјали за брушење су углавном силицијум-карбид и циркон-алуминијумски абразиви, који су погодни због своје тврдоће, способности резања и своје трошне природе.

Полирање. Уклањање трагова брушења, изводи се полирањем стакла. Фини силицијум-карбидни и производи од плуте користе се за финализирање и полирање.

Гравирање се односи на технику стварања уметничких образаца на површини стакла, применом киселине или помоћу абразивног средства. Традиционално се ови поступци изводе након дувања или изливања стакла, мада до неке границе сличан ефекат се може постићи и путем калупа. Уклањањем минималног површинског слоја стакла, овом техником производи се карактеристична му-



the thickness of the glass, the type of cut, etc.) pressure is applied on the other side and the glass cracks along the line of the cut. Cutting of thicker glass, from 10 mm and more, is usually performed by means of numerically controlled machine. More demanding glassware, in complicated shapes, is cut with a laser today.

Grinding. Glass is very suitable for grinding, whether it is performed for decorative or safety reasons. It is usually being grounded in the presence of water, which eliminates the problem of dust and reduces the risk of glass cracking, which especially applies to blown glass. Materials for grinding are mainly silicon-carbide and zirconium alloy abrasives, which are suitable because of their hardness, cutting ability and their perishable nature.

Polishing. Removal of marks of sanding is performed by polishing the glass. Fine silicon-carbide and cork products are used for finalizing and polishing.

Engraving is related to a technique of creating artistic patterns on the glass surface, by using an acid or an abrasive agent. Traditionally, these procedures are performed after blowing or casting the glass, although to some extent similar effect can also be achieved by using a mold. By removing the minimum surface layer of glass, this technique produces the characteristic opaque surface, and the glass gets airy quality of frosted glass. Various techniques are used for etching the surface of the glass.

Полирање огледала за Хабл телескоп
Polishing mirrors for the Hubble telescope

тна површина, а стакло добија прозрчан квалитет мат стакла.

Разне технике се користе за ецовање површине стакла.

- *Гравирање киселином* се врши помоћу хексафлуоросиликатне киселине (H_2SiF_6). Киселина се припрема загревањем раствора силицијум диоксида у смеси са флуороводничном киселином, кварцним прахом, калцијум-флуоридом и концентрованом сумпорном киселином.

- *Гравирање стакла пастом* је генерално лакше од коришћења киселине. Готов производ се може наћи у неким хоби радњама, а чине је флуоридна једињења попут флуоро-водоника и натријум флуорида. Пошто су горе наведене методе (рад са киселинама) опасне, све више се примењује абразивна метода.

- *Абразивна метода – пескирање* је уобичајена техника која се примењује за добијање шаранастаклу. Често се користи у комерцијалне сврхе. Ваздух под високим притиском помешан са абразивним материјалом „бомбардује“ стаклену површину, уклањајући за собом тај слој, при чему се ствара шара.

- *Гравирање путем калупа* – Овим поступком жељени дизајн се директно урезује у калуп, тако да се на сваки одливак пресликава дизајн. Овим поступком се смањују трошкови производње, али квалитет добијене површине је знатно мањи.

- *Engraving with acid* is conducted by using of hexafluorosilicic acid (H_2SiF_6). The acid is prepared by heating of the silicon dioxide solution in a mixture with hydrofluoric acid, quartz powder and calcium fluoride, and concentrated sulfuric acid.

- *Engraving of glass with a paste* is generally easier than using an acid. The finished product can be found in some hobby stores, and it consists of fluoride compounds such as hydrogen fluoride and sodium fluoride. Since the above mentioned methods (working with acids) are dangerous, the abrasive method is being increasingly used.

- *Abrasive method – sand blasting* is a common technique used for obtaining patterns on the glass. It is often used for commercial purposes. The air under high pressure mixed with an abrasive material “bombs” the glass surface, removing that layer, thereby forming a pattern.

- *Engraving with molds* - with this method, the desired design is directly engraved into a mold, so that the design is reproduced on each drip molding. This procedure reduces production costs, but the quality of the resulting surface is much lower.



Гравирано стакло
Engraved glass

Стакларске пећи

Технолошки процеси производње стакла споро су се развијали све до половине XIX века, док нису конструисане прве пећи за континуално добијање стакла. Оне су омогућиле прелазак из занатске у индустријску производњу.

Јамске пећи. Најстарији остаци производње стакла нађени су на локалитету код Тел ел Амарна у горњем Египту, а потичу из око 1350. године п.н.е. Ове такозване *јамене* пећи састојале су се од земљаног цилиндра са отвором на једној страни кроз који се ложило. Цилиндар је био укопан, чиме се добијала термичка изолација. Земљана посуда са сировинама за производњу стакла се постављала на цилиндар, што је омогућило топљење. С обзиром да температуре нису прелазиле 1000°C до 1100°C, стакло је морало да се топи у две фазе. Кварцни песак и друге сировине су се синтеровале у масу, на температурама између 700°C и 800°C. Овако добијен материјал се млео, а затим топио у стакласту масу на температурама између 1000°C и 1100°C. У овој, другој фази, додавани су оксиди метала, ради добијања обојења. Ово је био једини начин на који је могла да се добије стаклена маса за израду предмета. Стакло се обично производило у виду ингода, које се у другим радионицама прерађивало и обликовало до финалних производа. Трговина стакленим инготима омогућила је ширење прераде стакла по медитеранској регији. Овакви примерци стаклених ингота су пронађени у потопљеном броду на турској територији, у близини Бодрума.

Пећи са посудама су коришћене за топљење стакла све до 17. века. Биле су једноставних конструкција у облику кошнице са ложиштем испод. Пре него што се стакло смештало у ове пећи ради топљења, пећ је морала бити загрејана до температуре приближно око 1500°C. Пуњење ових пећи материјалом за добијање стакла трајало је веома дуго, некада

Glass furnaces

Technological processes of glass production developed slowly until the mid-19th century, when the first furnaces for the continuous production of glass were built. They enabled the transition from handicraft to industrial production.

Pit furnaces. The oldest remains of glass production were found at the site near Tel el Amarn in Upper Egypt, originally from around 1350 BC. These so-called *pit furnaces* consisted of an earth cylinder with an opening on one side through which the fuel was inserted. The cylinder was buried, which provided thermal insulation. The clay vessel with raw materials for the manufacture of glass was placed on the cylinder, which allowed the melting. Since the temperatures did not exceed 1000 °C to 1100 °C, glass had to be melted in two stages. Quartz sand and other raw materials were sintered into the mass, at temperatures between 700 °C and 800 °C. The obtained material would be grounded, and then melted into a glass-like mass at the temperature between 1000 °C and 1100 °C. In this second stage metal oxides are added, in order to obtain coloration. This was the only way to produce the glass mass for manufacture of objects. Glass is usually produced in the form of ingots, which would be processed in other workshops and shaped into final products. Trade in glass ingots enabled the expansion of glass processing along the Mediterranean region. Such examples of glass ingots were found in a sunken ship in the Turkish territory, near Bodrum.

Furnaces with vessels were used for glass melting until the 17th century. They had simple structures in the form of honeycomb with a firebox below. Before the glass would be placed in the furnace for melting, the furnace had to be heated to a temperature of about 1500 °C. Charging of these furnaces with the material for glassmaking was very time consuming, sometimes up to 15 hours. Furnace capacity was 60 to impressive 1000 kg. In order to maintain these furnaces, large amounts of combustible materials were needed, and the glass factories in this period were located in forested areas,

и до 15 сати. Капацитет пећи је био од 60 до импресивних 1000 kg. Да би се овакве пећи одржавале биле су потребне велике количине гориве материје, те су стакларе у овом периоду биле смештене у шумским пределима, због дрвећа које се у великим количинама користило за производњу лушине (калијум карбоната) и за ложење пећи за топљење стакла. Из тог разлога, стакло из овог периода се назива шумско стакло. Производња стакла се никада није задржавала на једном месту, јер када би се локално снабдевање дрвним горивом исцрпило, с њом би одлазили и произвођачи стакла.

Пећи са решеткама су углавном грађене по истим принципима као и јамене пећи, али битна разлика је била у томе што уместо камене подлоге на дну ложишта, какве налазимо код јамених пећи, код пећи са решеткама, како им и само име каже, налази се мрежа, односно решетка. Она је омогућавала да пепео као продукт сагоревања испада кроз решетку, чиме се постизала боља вентилација ложишта. Управо боља вентилација је доводила до бољег сагоревања, а самим тим и до постизања виших температура у пећи. Због виших температура,

because of the trees that were used in large quantities for the manufacture of alkali (potassium carbonate) and in combustion furnaces for glass melting. For this reason, the glass from this period is sometimes called forest glass. Glass production has never stayed in one place, because when the local supply of wood was exhausted, the glass manufacturers would leave as well.

Furnaces with gratings were mostly built on the same principles as the pit furnaces, but the important difference was that instead of a stone bedrock at the bottom of the firebox, the kind that we find with pit furnaces, the furnaces with gratings, as their name suggests, have a grid or grating. It enabled the ash, as a product of combustion, to fall through the grid, thus achieving better ventilation of the firebox. Better ventilation led to better combustion and, consequently, higher temperatures in the furnace were achieved. Because of the higher temperatures, composition of the glass could be changed. Furnaces with gratings were mainly used from the early 17th to the second half of the 19th century. One of the reasons for introducing furnaces

Пећ за топљење стакла Георгиуса Агриколе,
илустрација. *De re metallica*, 12. књига,
Хабсбуршка монархија, 1556.
Glass melting furnace by Georgius Agricola, illustration.
De re metallica, Book 12, Habsburg Monarchy, 1556





Производња стакла са пећима на дрва, ilustracija. *L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, 10. том, лист I, Париз, 1772. (извор ARTFL Project)
Glass production with wood-burning furnaces, illustration. *L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Volume 10, Sheet I, Paris, 1772 (source ARTFL Project)

састав стакла је могао да се мења. Пећи са решетком су углавном коришћене од почетка 17. до друге половине 19. века. Један од разлога увођења пећи са решетком, јесте примена угља као врсте горива. За разлику од дрвета, угљ захтева већу количину кисеоника за сагоревање. Пећи са решеткама су се развијале, током низа година, у пећи које се састоје из два дела: пећ са посудом, која је захваљујући решетки постизала више температуре и коришћена је као место за топљење, и дела у коме је стакло могло да се охлади у масу са бољим вискозитетом за даљу обраду и обликовање.

Коришћењем угља као горива није било потребе за новим грађењем пећи на локацијама које су обиловале дрветом, те је већина пећи овог типа зидана у близини рудника угља и у близини пруге којом се могло снабдевати горивом.

Цилиндричне пећи су и даље у употреби у индустрији челика. Сачињене су од дугачког каменог басена са горионицима са стране. Ови горионици су постављени изнад басена са стаклом и наизменично избацују пламен изнад стакла, ради његовог топљења. Ове врсте пећи које се зову „Сименс-Мартин“ пећи, развијене су од стране Фридриха Сименса и користе се од

with gratings, is the use of coal as the fuel. In contrast to the wood, coal requires a greater amount of oxygen for combustion. Furnaces with gratings evolved over the years into furnaces that consist of two parts: furnace with a vessel which, thanks to the grating, achieved higher temperatures and was used as a place for melting, and the part where the glass could be cooled into a mass with better viscosity for further processing and shaping.

With the use of coal as a fuel, there was no need for building new furnaces in locations abundant in trees, so the majority of the furnaces of this type were built near coal mines and near the railroads, which were used for fuel supply.

Cylindrical furnaces are still in use in the steel industry. They are made of a long stone basin with the burners on the side. These burners are placed above the basin with glass and they alternately eject flame above the glass, for its melting. These types of furnaces that are called “Siemens-Martin” furnaces, were developed by Friedrich Siemens and are in use from the mid-19th century. Fumes produced in the melting are transmitted through the openings on each side of the furnace. In the openings there are bricks that are heated with these vapors and protect the cool air from entering the furnace. The cylindrical furnace is much

средине 19. века. Испарења настала топљењем преносе се кроз отворе са сваке стране пећи. У отворима се налази камење које се загрева овим испарењима и штити да хладан ваздух не допре до пећи. Цилиндрична пећ је супериронија у односу на пећи са посудама, пре свега због већег капацитета који иде и до 2 500 t, а потом и због континуалне производње, кратког времена пуњења, боље регулације температуре, мање потрошње горива и због могућности сталне локације. Без развоја ове пећи, механизација производње стакла не би била могућа. У 19. веку су ове пећи биле велика инвестиција, те су у њихову изградњу улагале само велике компаније. У овом периоду остварен је пораст броја великих фабрика стакла.

Модерне пећи за добијање стакла

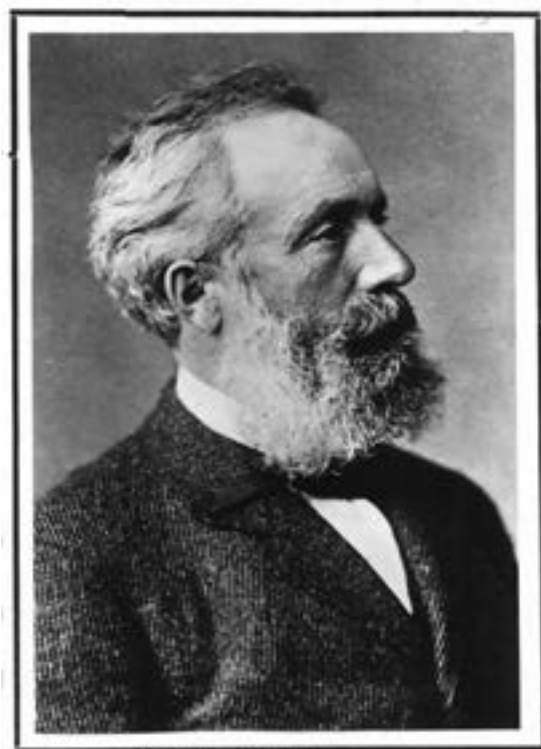
Врста пећи за топљење стакла обично зависи од врсте и количине стакла које се производи, као и од трошкова и доступности самог горива. Данас су најзаступљеније две врсте пећи за топљење стакла: пећи са лонцем и пећи са резервоаром.

Фридрих Сименс (1826 - 1904)
Friedrich Siemens (1826 - 1904)

more superior compared to furnaces with vessels, primarily because the higher capacity that goes up to 2500 t, and also due to continuous production, short loading time, better temperature control, reduced fuel consumption and because of the possibility to keep a permanent location. Without the development of these furnaces, glass production machinery would not be possible. These furnaces were big investments in the 19th century, therefore only large companies were investing in their construction. The number of large glassworks has increased in this period.

Modern furnaces for glassmaking

The type of glass melting furnace usually depends on the type and the quantity of glass produced, and on the costs and availability of the fuel. Today, the most common are two types of furnaces for glass melting: furnaces with a pot and furnaces with a tank.



Friedrich Siemens

Пећи са лонцем су објекти изграђени од ватросталних материјала, у којима не постоји контакт између пећи и стакла. Стакло се топи у неколико лонаца који су направљени од ватросталног материјала, отпорног на високу температуру. Лонци се пуне стакларском мешавином, која се топи у циклусима од 24 или 18 сати. Просечан лонац може да прими од 600 до 700 kg стакла. Ове пећи имају примену код ручно дуваног стакла. Једна од главних предности овог система је у томе што се неколико врста стакла може топити у исто време. Лонци се могу употребљавати за око 30 циклуса топљења, чиме се може произвести између 18 и 21 t стакла.

Пећи са резервоаром се користе код индустријске производње стакла, где је континуални ток стакла неопходан. Оне су економичније у погледу употребе горива и углавном се користе за производњу великих количина амбалажног, равног стакла, електричних сијалица, цеви и посуђа. Велике флот стакларске пећи, могу имати капацитет до 2.000 t. Резервоар пећи се састоји од каде и дела где се сагоревање одвија. Када је изграђена од посебног ватросталног материјала, који је отпоран на хемијску агресивност истопљеног стакла и температуру која премашује 1500 °C. Квалитет ватросталних материјала последњих деценија је побољшан у толикој мери, да се животни век пећи продужио са некадашње 2 на садашњих 9 година.

У циљу постизања високе температуре топљења и ниже потрошње горива, данас се користе регенеративни или рекуперативни системи. Оба система користе предзагревање ваздуха за сагоревање.

Док је у рекуперативном систему размена топлоте између ваздуха за сагоревање и издувних гасова континуална, код регенеративног система се ово изводи наизменично. Модерне пећи имају рачунарско управљање контроле система, које подешава време паљења у сваком правцу, ради постизања најбољих услова за размену топлоте.

Furnaces with a pot are structures made of refractory material, in which there is no contact between the furnace and the glass. Glass melts in several pots that are made of refractory material, resistant to high temperatures. The pots are filled with glassmaking mixture, which is melted in cycles of 24 or 18 hours. An average pot can take from 600 to 700 kg of glass. These furnaces are used in case of manually blown glass. One of the main advantages of this system is that several types of glass can be melted at the same time. The pots can be used for about 30 cycles of melting, which may produce between 18 and 21 t of glass.

Furnaces with a tank are used in the industrial production of glass, where continuous movement of glass is necessary. They are more economical in terms of fuel consumption and are mainly used in production of large quantities of glass for packaging, flat glass, light bulbs, tubes and glassware. Big float glass furnaces can have a capacity of up to 2000 t. Tank furnaces consist of a tub and the area in which combustion takes place. The tub is made of special refractory material that is resistant to the chemical aggression of molten glass and the temperature exceeding 1500 °C. The quality of refractory material in recent decades has improved to such an extent that useful life of the furnaces was extended from formerly 2 to 9 years now.

Regenerative and recuperative systems are used today in order to achieve high melting temperature and lower fuel consumption. Both systems use a preheating of air for combustion.

While in the system of recuperation there is continuous heat exchange between combustion air and exhaust gas, in case of regenerative systems this task is accomplished alternately. Modern furnaces have computer control system, which adjusts ignition time in each direction in order to achieve the best conditions for heat exchange.

Heavy fuel oil or natural gas is usually used for heating of furnaces with a tank. Glass is electrically conductive at high temperature and can be melted by using current. However, this method of melting is too expensive and is usually used to maximize the effect of the gas or oil when melting

Мазут или природни гас се обично користи за загревање пећи са резервоаром. Стакло је електропроводно при високој температури и може се топити помоћу струје. Међутим, овај начин топљења је сувише скуп и обично се користи како би се повећао учинак гаса или нафте приликом топљења стакла. Ипак, технолошки напредак је омогућио коришћење пећи за топљење стакла са искључиво електричном енергијом, упркос њеној високој цени.

Пећи са директним загревањем. Термин пећ са директним загревањем се обично примењује код пећи на било које гориво, које нема системе за искоришћавање топлоте издувних гасова. Овде се мисли на пећи које користе мешавину ваздух-гориво. Ове пећи су релативно мале по величини и имају од 2 до 16 горионика. Капацитети производње стакла иду од 230 kg до 36 t стакла дневно. Посуђе, офталмолошко стакло, фиберглас, фрита и специјално стакло са врло штетним и корозивним компонентама производе се у овој врсти пећи.

Рекуперативне пећи су пећи са директним загревањем опремљене рекуператором. Ове пећи су, у ствари, акумулатори топлоте, који топлоту отпадних гасова предају зидовима цеви, кроз које се креће хладан ваздух. Рекуператори могу бити керамички или метални. Помоћу њих се загрева ваздух за сагоревање на температури од 540 ° C до 760 ° C. Ове пећи могу имати од 4 до 20 појединачних горионика. Капацитети оваквих пећи имају распон производње од 18 тона до чак 250 тона стакла на дан. Овакве пећи се обично примењују у производњи фибергласа, али се, такође, могу користити за производњу фрит стакла. Неке рекуперативне пећи се користе у индустрији амбалаже, иако то није уобичајено. Животни век ових пећи зависи од врсте стакла која се у њима производи. На пример, животни век пећи за производњу стаклене вуне је 6 година.

Електричне пећи сву енергију за топљење стакла добијају кроз грејање на струју. Електрична струја пролази кроз стакло помоћу електрода. Због електричног отпора

glass. However, technological progress has enabled the use of furnaces for glass melting with only electric power, despite its high price.

Furnaces with direct heating. The term furnace with direct heating is usually used for furnaces that use any fuel, which does not have systems for exploitation of exhaust gas heat. This refers to furnaces that use air-fuel mixture. These furnaces are relatively small in size and have between 2 and 16 burners. The capacity of glass production ranges from 230 kg to 36 t of glass per day. Glassware, ophthalmological glass, glass fiber, frit and special glass with very harmful and corrosive components are produced in this type of furnaces.

Recuperative furnaces are furnaces with direct heating equipped with the recuperator. These furnaces are, in fact, heat accumulators, which transmit the heat of the waste gases to the pipe walls, through which the cold air passes. Heat recovery systems can be ceramic or metal. They are used to heat the air for combustion at a temperature from 540 °C to 760 °C. These furnaces may have from 4 to 20 individual burners. The capacities of these furnaces have a range of production from 18 t up to 250 t of glass per day. Such furnaces are usually used in the production of glass fiber, but they may also be used to produce glass frit. Some heat recovery furnaces are used in the packaging industry, although it is not common. Useful life of these furnaces depends on the types of glass produced in them. For example, useful life of furnaces for glass wool production is 6 years.

Electric furnaces receive all the energy for glass melting through electrical heating. The electric current passes through the glass by means of electrodes. Because of the electrical resistance of glass, glass melts by means of Joule heating (when electrical current passes through a conductor, heat is released). The electrodes are usually made of molybdenum, although tin oxide is also used, as well as platinum, graphite and iron. Electrodes, in the form of rods or plates, are usually placed in the side walls or at the bottom of the furnace. Refractory coating materials degrade more rapidly in these furnaces, which results in a very short useful life,

стакла, стакло се топи путем Џуловог загревања (приликом проласка електричне струје кроз проводник ослобађа се топлотна енергија). Електроде се обично израђују од молибдена, мада се, такође, користе и калај оксид, платина, графит и гвожђе. Електроде, у облику шипке или плоче, обично су постављене у бочним зидовима или на дну пећи. Ватростални материјали за облагање много брже деградирају у овим пећима, што је резултирало веома кратким животним веком, који је обично мањи од 2 године. Већина ових пећи може произвести мање од 36 t стакла дневно, мада постоје и веће, са капацитетом од 180 t стакла на дан.

Због свог дизајна, ове пећи, обично нису погодне за сагоревање обогачено кисеоником. Изузетак је пећ која добија један део топлоте преко горионика, који се налазе изнад каде.

Регенераторске или Сименс пећи. Средином 19. века, Фридрих Сименс (*Friedrich Siemens*) је разрадио регенераторску пећ, по узору на пећи за добијање челика. Данас, иако је дошло до еволуције у дизајну, основни концепт је остао непромењен. Оне раде на следећем принципу: топлота сагорелих гасова, ослобођена при раду пламеника, користи се за загревање опеке у регенераторским коморама. Кад се опеке довољно загреју, преко њих се пропушта ваздух који прима топлоту и тако загрејан улази у пламенике, где са горивом обезбеђује пламен. Ова измена температуре наизменично мења смер кретања ваздуха за сагоревање и сагорелих гасова кроз регенераторске коморе.

Сименсова пећ је главна врста пећи у индустрији стакла. Равно и амбалажно стакло се производи уз помоћ ове врсте пећи. Регенераторске пећи се користе у производњи ТВ производа, посуђа, производа за осветљење и натријум силиката. Постоје два основна типа Сименсових пећи: пећи са бочним регенераторима и пећи са регенераторима на крају пећи.

which is usually less than 2 years. Most of these furnaces can produce less than 36 t of glass per day, although there are also bigger ones, with capacity of 180 t of glass per day.

Because of their design, these furnaces are usually not suitable for oxygen enriched combustion. The exception is the furnace that receives a portion of the heat over the burners, which are located above the tub.

Regenerator or Siemens furnaces. Friedrich Siemens developed a regenerator furnace, modeled after the furnaces for the production of steel in the mid-19th century. Today, although there has been an evolution in design, the basic concept has remained unchanged. They operate on the following principle: the heat of combustion gases, released during operation of the burner, is used to heat the brick in regenerator chambers. When the bricks are heated enough, air is released over them, which absorbs the heat and thus heated enters the burners, where it provides flame together with the fuel. This temperature change alternately changes the direction of movement of the combustion air and burnt gases through the regenerator chambers.

Siemens furnace is the main type of furnace in the glassmaking industry. Flat and packaging glass is produced by using this type of furnace. Regenerator furnaces are used in the manufacture of TV products, glassware, lighting products and sodium silicate. There are two main types of Siemens furnace: furnaces with lateral regenerators and furnaces with regenerators at the end of furnace.

ПРОИЗВОДЊА СТАКЛА

GLASS PRODUCTION

Равно стакло

Производња стакла се дели на производњу равног и дуваног стакла.

Равно стакло се обично користи за прозоре, стаклена врата, за транспарентне зидове и ветробране. У савременој архитектури и аутомобилској индустрији, а понекад у изради уметничких и употребних предмета, равно стакло је понекад потребно савити. Већина равног стакла је сода-кречно стакло, произведено методом флотације (флот стакло).

Флот стакло је равно стакло које се добија плутањем ливеног стакла на растопљеном металу, углавном на калају, иако су олово и разне друге легуре са ниском тачком топљења коришћене у прошлости. Овај процес добијања равног стакла је, такође, познат под називом Пилкингтон процес, назван по британском произвођачу стакла Сер Алистер Пилкингтону (*Sir Alastair Pilkington*), који је увео ову технику 1950-их. Овај начин производње даје уједначену дебљину и веома равну површину стакла. Модерни прозори се праве од флот стакла. Већина флот стакла је сода-кречно стакло, али релативно мале количине специјалног борсиликатног и равног стакла за екране се, такође, производи коришћењем флот процеса.

Други процеси за израду равног стакла укључују:

- *Ваљано стакло*, које може бити израђено путем:
 - Једног ваљка – када се истопљена стаклена маса сипа на метални сто и помоћу притиска једног металног ваљка добија равно стакло,
 - Дуплих ваљака - када истопљена стаклена маса пролази између пара ротирајућих металних ваљака, како би се добиле стаклене плоче,

Flat glass production

Glass production is divided into production of flat and blown glass.

Flat glass is usually used for windows, glass doors, transparent walls and windshields. In the modern architecture and the automotive industry, and sometimes in the making of art and everyday objects, flat glass needs to be bent occasionally. Most flat glasses are soda-lime glasses, produced by applying flotation method (float glass).

Float glass is a flat glass, which is produced by floating of cast glass on molten metal, mostly on tin, although lead and various other alloys with a low melting point were used in the past. This process of obtaining flat glass is also known as the Pilkington process, named after the British glassmaker Sir Alastair Pilkington, who introduced this technique in the 1950s. This production method gives a uniform thickness and very flat surface of the glass. Modern windows are made of float glass. Most float glasses are soda-lime glasses, but relatively small amounts of special borosilicate glass and flat screens for monitors are also produced by using the float process.

Other processes for the production of flat glass include:

- *Rolled glass*, which can be made by means of:
 - One roller - when molten glass is poured onto a metal table and by applying pressure of one metal roller flat glass is produced
 - Double rollers - when molten glass passes between a pair of rotating metal rollers, in order to produce glass plates
 - *Ornamental flat glass* - intriguing patterns on glass are prepared in a similar manner as in case with normal rolled glass, only on one, and sometimes on both rollers, there is a template for making the patterns

- *Орнаментално равно стакло* - интригантне шаре на стаклу се израђују на сличан начин као код обичног ваљаног стакла, с тим што се на једном, а некада и на оба ваљка, налази мустра за формирање шара,

- *Преливни метод* или *методу фузије* - стаклени панели се формирају када истопљено стакло тече преко конусног корита и на дну се спаја у јединствену стаклену површину,

- *Методу дуваних плоча* – равно стакло се добија полирањем великих комада стакла,

- *Технику широке плоче* - истопљено стакло се, помоћу стакларске луле, надувава попут издуженог балона, чији се крајеви одсецају, а преостали стаклени ваљак сече маказама, исправља и дорађује на металној површини, како би се добило равно стакло,

- *Равно крунско стакло* - балон добијен стаклодувачком лулом се са једне стране отвара, а затим се врти и помоћу центрифугалне силе се добија раван стаклени диск,

- *Методу ваздушних цилиндара* - слична је техници широке плоче, с тим што се већи цилиндри формирају у рову, затим секу и равнају. Оваквом методом се могу израђивати већи стаклени панели, бољег квалитета површина

- *Фуркометоду* - стаклена трака се извлачи нагоре из растопљеног стакла, уз помоћ кука и ваљака,

- *Методу механичког извлачења помоћу цилиндара* - дугачки стаклени цилиндри се извлаче у висину (12 m) из кружних базена истопљеног стакла. Стакло се затим кали, сече на мање цилиндре (од 2 до 3 m), који се затим секу по дужини и равнају,

- *Методу полираних површина* - врста ручне израде стакла. Производи се ливењем стакла на столу, које се потом и бруси и полира.

- *Overflow method or fusion method* - glass panels are produced when molten glass flows over the conical trough and is connected into a single glass surface at the bottom

- *Method of blown plates* - flat glass is produced by polishing large pieces of glass

- *Technique of wide panels* - molten glass is inflated, by using a glass pipe, like an elongated balloon, whose ends are cut off, and the remaining glass roller is cut with scissors, corrected and reworked on a metal surface, in order to obtain flat glass

- *Flat crown glass* - the balloon obtained by using glassblowing pipe is opened on one side, then rotated, and by applying centrifugal force flat glass disc is produced

- *Method of air cylinders* - it is similar to the technique of wide panels, only the bigger cylinders are made in the trench, then cut and flattened. This method makes possible the production of bigger glass panels, with better surface quality

- *Fourcault method* - glass strip is pulled upward from the molten glass, by using hooks and reels

- *Methods of mechanical drawing by using cylinders* - long glass cylinders are drawn upward (12 m) from circular pools of molten glass. Glass is then hardened, cut into smaller cylinders (2 to 3 m), which are then cut lengthwise and straightened

- *Method of polished surfaces* - a kind of hand-made glass. It is produced by casting the glass on a table, then sanded and polished

Ручно дувано стакло

Дување стакла је техника производње стакла, која подразумева надувавање истопљеног стакла у балон уз помоћ стаклодувачке луле (или дуваче цеви). У производњи прецизног лабораторијског боросиликатног стакла, стаклодувач манипулише израду стакленог предмета уз додатно коришћење пламеника.

Принципи. Као облик технике формирања стакла, који је настао средином првог века п.н.е., дување стакла користи својства стакла која нису била позната ранијим произвођачима. Дување је процес проширивања стаклене масе увођењем ваздуха у њу. Када је стакло у течном, отопљеном, стању атоми унутар његове флуидне масе се држе заједно формирајући аморфну, некрystalну, насумичну мрежу, чиме се добија довољна вискозност масе за потребе дувања. Добијене форме, након хлађења, задржавају свој коначни облик.

Током дувања, тањи слојеви стакла се брже хладе од дебљих, што омогућава производњу дуваног стакла са једнаком дебљином, без појаве пукотина у тањим слојевима насталих услед притиска. Две основне методе дувања стакла су: слободно и калупно дување.

Слободно дување. Овај метод је задржао водећу позицију у производњи стакла све до краја 19. века, а и данас је у широкој употреби као стакло-произвођачка техника, нарочито за уметничке сврхе. Процес слободног дувања подразумева дување малих количина ваздуха у отопљено стакло тачно одређене вискозности, које се налази на једном крају стаклодувачке луле. Овим се формира слој у унутрашњости стаклене масе, у коју се даље удубава ваздух до кохерентног мехура за обраду до жељене форме.

Калупно дување. Калупно дување је алтернативни метод за производњу дуваног стакла, који се појавио након открића технике слободног дувања. Маса растопљеног стакла се поставља на крај стаклодувачке луле, а

Manually blown glass

Glassblowing is a technique of glass production, which involves inflating of molten glass into a balloon by using glassblowing pipes. In the production of precision laboratory borosilicate glass, the glassblower manipulates the making of the glass object with an additional use of the burner.

Principles. As a form of glassmaking techniques, which originated in the mid-first century BC, glassblowing is using properties of glass that were not known to earlier manufacturers. Blowing is a process of expanding the glass mass by introducing air into it. When the glass is in its liquid, molten state, the atoms inside its fluid mass are held together creating an amorphous, non-crystalline, random network, thus providing sufficient viscosity of the mass for blowing. The produced forms, after cooling, retain their final shape.

During glassblowing, thinner layers of glass cool faster than the thick ones, and this enables the production of blown glass with equal thickness without cracks in thinner layers caused by pressure. Two basic methods of glassblowing are: free and blow-molding.

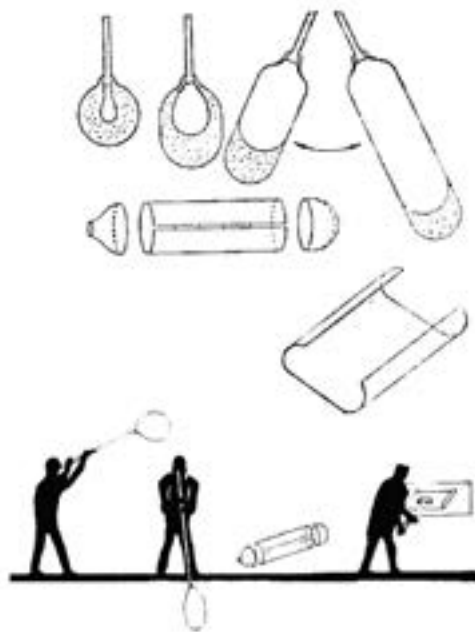
Free blowing. This method has retained leading position in glass production until the end of the 19th century, and even today it is widely used as a glass-manufacturing technique, especially for artistic purposes. The process of free-blowing means blowing small amounts of air into molten glass of very specified viscosity, which is placed at one end of glassblowing pipe. This forms a layer in the interior of the glass mass, in which air is further blown to the coherent bubble for the processing to the desired form.

Blow-molding. Blow molding is an alternative method for the production of blown glass, which appeared after the discovery of free blowing technique. The mass of molten glass is placed on the end of glassblowing pipe, and then the blowing of the mass is performed in a wooden or metal mold. In this way, the shape and texture of the mold is transferred to the glass object.

затим се удубавање масе врши у дрвеном или металном калупу. На овај начин, облик и текстура калупа се преноси на стаклени предмет.

Постоје две врсте калупа: једноделни калуп и калуп састављен из више делова. Из првог се добија готов стаклени предмет, који се из калупа уклања у једном покрету, повлачењем на горе. Једноделни калуп се углавном користи за производњу посуђа и употребних посуда за складиштење и транспорт. Други тип калупа је направљен из више сегмената, који се привремено спајају, чиме је омогућена производња предмета софистицираних површина, текстура и дизајна.

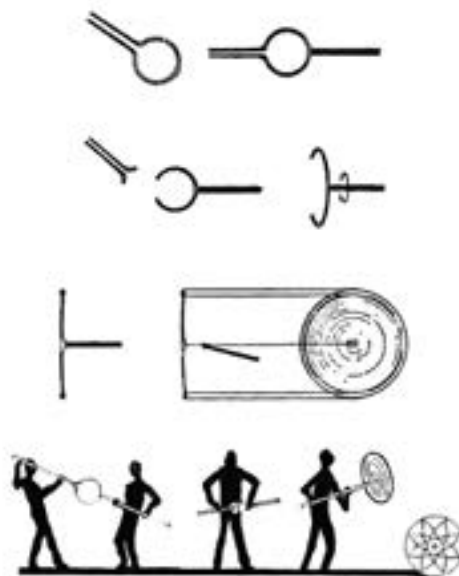
Савремено дување стакла. Савремени поступак добијања стакла дувањем укључује најпре топљење сировина за добијање стакла на температури од 1320°C. Стакло се затим оставља да се „одмори“, како би ваздушни мехурови из масе изашли на површину, а



Шематски приказ поступка израде равног дуваног стакла путем обликовања цилиндра
Schematic representation of the process of making flat blown glass by forming a cylinder

There are two types of molds: a single-piece mold and the mold composed of several parts. The first is used to produce a finished glass object, which is removed from the mold in one go, by pulling upward. The single-piece mold is mainly used for the production of tableware and functional containers for storage and transportation. The other type of mold is made of several segments, which are temporarily connected, enabling the manufacture of objects with sophisticated surfaces, textures and designs.

Modern glassblowing. The contemporary method of glassmaking by means of blowing involves melting of the raw material for glassmaking at a temperature of 1320 °C as a first step. Glass is then left to “rest”, so that air bubbles from the mass exit to the surface, and the working temperature in the furnace is lowered to about 1090 °C. Glassblowing is generally carried out at temperatures between 870 °C and 1040 °C, while soda-lime glass remains plastic and suitable for processing even at low tempera-



Шематски приказ крунског поступка производње равног дуваног стакла
Schematic representation of the crown process of flat blown glass production

радна температура у пећи се снижава на око 1090°C. Дување стакла се углавном врши на температурама између 870°C и 1040°C, док сода-кречно стакло остаје пластично и подобно за обраду и на нижим температурама до 730°C. Жарење се обично изводи на температурама између 371°C и 482°C.

За производњу дуваног стакла неопходне су три пећи. Прва, у којој се налази лонац са истопљеним стаклом. Друга која се користи за одржавање температуре комада између сваког корака приликом обликовања. Последња пећ се назива „анилер“ (енгл. annealer), а користи се за постепено хлађење стакла током периода од неколико сати до неколико дана, зависно од величине произведеног предмета. Ово спречава пуцање стакла услед нагле промене температуре. Све три пећи се налазе у једној структури, са низом прогресивно хладнијих комора за сваку од три намене.

Основни алат, који се користи за ову врсту производње, јесте стаклодувачка лула (дувачка цев), пунти (или пунти штап, понтил, или вретено), стаклодувачка клупа, марвер, блокови, стаклодувачка клешта, лопатице, пинцета, папир и разне врсте маказе.

Врх стаклодувачке луле се прво загреје, затим се потапа у истопљену стаклену масу у пећи. Ливено стакло се прикупља на крај луле, на исти начин на који се мед вади кашиком из тегле. Ово стакло се затим ваља на металну исполирану „марвер“ плочу, која је некада била од мермера, а данас се чешће користи дебела челична плоча. Овај процес је назван „марверинг“, а улога му је да формира хладнији слој стакла на спољашњој страни растопљене масе и да га обликује. Затим се ваздух удубава у цев, стварајући мехур. Већи комади стакленог балона се могу добити додавањем више слојева истопљене стаклене масе. Када се комад надује до жељене величине, завршава се дно. Након овога, стаклена маса се везује за штап од нерђајућег челика или гвожђа, да би се уклонила лула и финализовао отвор новонасталог предмета.

tures up to 730 °C. Annealing is usually performed at temperatures between 371 °C and 482 °C.

Three furnaces are needed for the production of blown glass. The first one contains a pot of melted glass. The second one is used to maintain the temperature of the pieces in between each step during glass forming. The last furnace is called “annealer”, and it is used for gradual cooling of the glass over a period from several hours to several days, depending on the size of the produced object. This prevents glass breakage due to sudden changes in temperature. All three furnaces are located in a single structure, with a series of progressively cooler chambers for each of the three purposes.

The main tool used for this type of production is glassblowing pipe, punti (or punti stick, pontil, or spindle), glassblowing bench, marver, blocks, glassblowing pliers, blades, tweezers, paper and various types of scissors.

The top of the glassblowing pipe is first heated, then dipped into the molten glass in the furnace. Cast glass is collected at the end of the pipe, in the same way in which honey is extracted with a spoon from the jar. This glass is then rolled onto the metal polished “marver” panel, which used to be made of marble, but thick steel plate is more commonly used today. This process is called “marvering” and its role is to form a colder layer of glass on the outside of the molten mass and to shape it. After this, air is blown into the tube, creating a bubble. Larger pieces of glass of the glass balloon can be obtained by adding several layers of the molten glass mass. When the piece is inflated to the desired size, the bottom is finished. After this, the glass mass is connected to the rod made of stainless steel or iron, in order to remove the pipe and to finalize the opening of the newly created object.

Glassblowing bench is where the blower can sit, the place for hand tools and two rails on which the pipe rests while working with a glass piece. Blocks are wooden tools like a ladle, soaked in water, which have a similar role as the marver, and that is to shape and cool the piece in the early stages of manufacture. Glassblowing pliers are like large tweezers with two blades, which are used



Процес обликовања ручно дуваног стакла, илустрација, *L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, 10. том, лист XX, Париз, 1772. (извор ARTFL Project)

The process of shaping hand-blown glass, illustration, *L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, volume 10, sheet XX, Paris, 1772 (source ARTFL Project)

Стаклодувачка клупа је место где дувач може да седне, место за ручни алат и две шине на које се лула ослања приликом рада са стакленим комадом. Блокови су дрвени алати налик на куглачу, натопљени водом, који имају сличну улогу као марвер, а то је да обликују и охладе комад у раним корацима производње. Стаклодувачка клешта су налик великим пинцетама са две оштрице, које се користе за формирање облика, а касније и у стварању готовог производа. Лопатице су равни комади дрвета или графита, које се користе за креирање равних површина на предмету, као што је дно. Пинцета служи за издизање детаља на стаклу. Постоје две врсте маказа, равне и дијамантске. Равне маказе се користе за прављење линеарних резова. Дијамантске маказе имају оштрице у облику дијаманта. Оне се користе за одсецање стаклене масе.

Постоји много начина да се шара и боја нанесе на дувано стакло, укључујући ваљање течног стакла веће вискозности у боји или у праху добијеном од већих комада обојеног



Ручно дување стакла, Параћин (фотографија из архива Музеја науке и технике)
Manual glass blowing, Paraćin (photo from the Archives of the Museum of Science and Technology)

to create shapes, as well in the creation of the finished product later in the process. The blades are flat pieces of wood or graphite, which are used to create flat surfaces on the object, such as the bottom. Tweezers are used to uplift the details on the glass. There are two types of scissors, straight and diamond. Straight scissors are used to make linear cuts. Diamond scissors have blades in the shape of a diamond and they are used for cutting off the glass.

There are many ways to apply pattern and color to blown glass, including rolling of the liquid glass of higher viscosity in paint or powder obtained from larger pieces of colored glass. Complex patterns with lots of details can be created by using a stick of colored glass and Murano bars. These colored parts can be arranged into patterns on flat surface, and are then picked up by rolling bubbles of molten glass over them. One of the most demanding and most complex techniques of obtaining a form inside the glass is reticello (Italian *Reticello*), which involves the creation of two

стакла. Сложене шаре са пуно детаља могу се створити употребом штапа од обојеног стакла и мурано шипки. Ови обојени делови могу бити распоређени у обрасце на равној површини, а затим бивају покупљени ваљањем мехура од ливеног стакла преко њих. Једна од најзахтевнијих и најкомпликованих техника добијања облика унутар стакла је ретичело (итал. reticello), која подразумева стварање два мехура из истог штапа, где се сваки од њих окреће у другом правцу, а затим дувањем обликују у коначну форму.

Дување стакла уз помоћ горионика се примењује за производњу мањег обима. Некада су се за овај начин израде користиле алкохолне лампе и дувањем или помоћу мехова се производи топао ваздух, како би се обрађивале стаклене шипке и цеви. Овом методом се производи лабораторијско стакло, перле и научна средства, као и минијатурне стаклене скулптуре. Занат који је прерастао у уметност крајем шездесетих година 20. века, захваљујући Хансу Году Фрабелу (*Hans Godo Frabel*), кога су касније следили уметници као што су Милон Товнсенд (*Milon Townsend*) и Роберт Микелсон (*Robert Mickelson*), практикује се и данас. Савремени дувачи стакла на пламену користе мешавину кисеоника и пропана или природног гаса. Савремени горионици омогућавају рад и са меким обичним стаклом и са боросиликатним стаклом за лабораторијско посуђе.

Стакло као амбалажа

Данас, целокупна прехранбена индустрија, индустрија алкохолних и безалкохолних пића, медицинска, козметичка и хемијска индустрија, почињу поново масовно да користе стаклену амбалажу.

Укратко, стакло је идеалан материјал за паковање. Сачињено је од распрострањених, природних материјала, економски је исплативо, није токсично и еколошки је поуздано. Кварцни песак је основна компонента за производњу, сода омогућава топљење и флуидност, поташа

bubbles from the same stick, where each of them is turned in different direction, and then they are blow-formed into the final shape.

Glassblowing by means of burners is used for small-scale manufacturing. Formerly, alcohol lamps were used for this method of production and hot air was produced by blowing or using bellows, in order to process glass rods and tubes. This method is used to produce laboratory glass, beads and science supplies, as well as miniature glass figures. The craft that grew into art in the late 1960s, thanks to Hans Godo Frabel, who was later followed by artists such as Milon Townsend and Robert Mickelson, is still practiced today. Contemporary glassblowers with burners are using a mixture of oxygen and propane or natural gas. Modern burners also enable the work with ordinary soft glass and with borosilicate glass for laboratory glassware.

Glass as a packaging

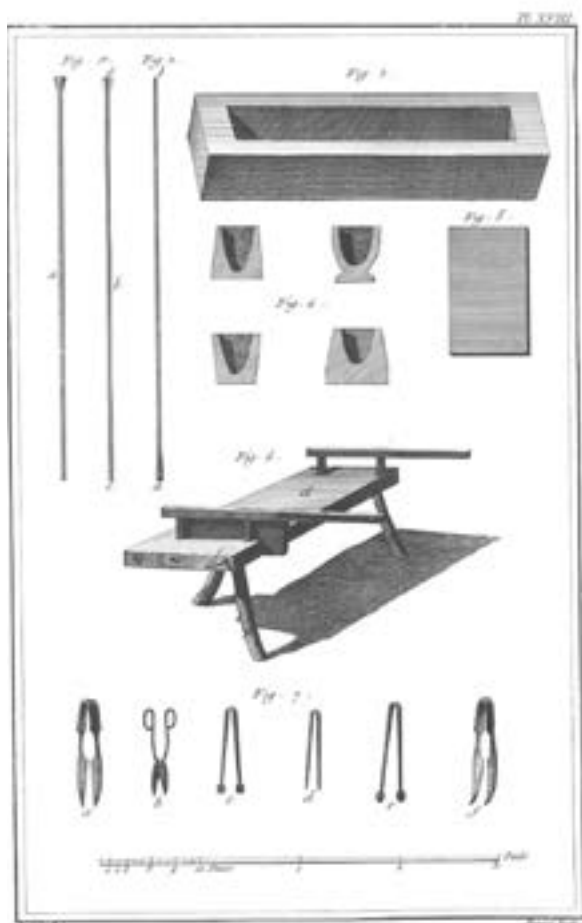
Today, the complete food industry, alcohol and non-alcohol beverages industry, medical, cosmetic and chemical industry are starting to use glass packaging.

In short, glass is the perfect material for packaging. It is made of widespread, natural materials, it is economically feasible, non-toxic and environmentally friendly. Quartz sand is the basic component for the production, soda enables melting and fluidity, potash provides clarity and lime gives strength and durability to the glass. Broken, recycled glass is also added to the glass forming mixture, which is used for environmental protection and energy savings, and in order to give it color, various metal oxides are added to the glass.

Glass is stable and can withstand large temperature differences, actually, with respect to the packaging industry, glass is synonymous with stability. It is also synonymous with chemical inertness, because it is neutral, does not leave any mark on a product that is kept in it. That is why glass is a favorite material for packaging of food and beverages.

бистрину, а кречњак стаклу даје чврстоћу и постојаност. Смеси за добијање стакла се још додаје и ломљено, рециклирано стакло, које се користи због заштите животне средине и уштеде енергије, а да би добило боју, стаклу се додају разни оксиди метала.

Стакло је стабилно и може да поднесе велике разлике у температури, заправо, што се амбалажне индустрије тиче, стакло је синоним за стабилност. Такође је синоним за хемијску инертност, јер је неутрално, не оставља никакав траг на производ који се у њему чува. Зато је стакло омиљени материјал за паковање хране и пића.



Verrerie en bois, différents outils pour le travail du verre.

Glass packaging protects products from external influences, and does not change either the taste or the smell of the product, and because of its characteristics glass is the optimal material for long-term storage. Glass packaging also increases the value of the product stored in it, because it is transparent and allows the user to inspect the product quality.

Glass packaging is formed while the glass is in a liquid state. This flexibility enables a whole range of different shapes and purposes (jars, bottles, etc.). Creative people are using this flexibility, combined with the color palette, to achieve some of the most unique ideas in packaging design.

Glass production is an extremely complex and precise technological process. Raw materials are fed into a melting furnace in which the temperature reaches 1500 °C. Molten glass is separated into “drops”, which are lowered into the molds that define the shape of the bottle. The bottles are then transferred to the final process, where they are cooled in a controlled manner and heated to achieve smoothness. Only after passing a series of quality control measures, the bottles are packaged and prepared for delivery.

Production of glass packaging. Modern factories for the production of glass packaging consist of three parts: a part for the raw materials (raw mate-

Алат за ручно дување стакла, илустрација,
L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, 10. том, лист XVIII, Париз, 1772.
 (извор ARTFL Project)
 Hand-blown glass blowing tool, illustration,
L'Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, volume 10, sheet XVIII, Paris, 1772
 (source ARTFL Project)

Стаклена амбалажа штити производе од спољашњих утицаја, а не мења ни укус, ни мирис производа, те је због тих својих карактеристика, стакло оптималан материјал за дугорочно чување. Стаклена амбалажа повећава и вредност производа који се у њој чува, јер је транспарентна и омогућава кориснику увид у квалитет производа.

Стаклена амбалажа се обликује док је стакло у течном стању. Та флексибилност омогућава читав спектар различитих облика и намена (тегле, боце, итд). Креативни људи ту флексибилност, у комбинацији са палетом боја, користе да остваре неке од јединствених идеја у дизајну амбалаже.

Производња стакла је изузетно сложен и прецизан технолошки процес. Сирови материјали се убацују у пећ на топљење, у којој температуре досежу 1500°C. Топљено стакло се раздваја у „капама“, које се спуштају у калупе који дефинишу облик боце. Затим боце продужавају у завршни процес, где се контролисано хладе и загревају како би се постигла глаткост. Тек након што прођу читав низ мера за контролу квалитета, боце се пакују и припремају за испоруку.

Производња амбалажног стакла. Модерне фабрике за производњу амбалажног стакла састоје се из три целине: део за сировине (управљање сировинама), топли део (пећи, пећи за жарење и машине за обликовање) и хладни део (руковање производом, инспекција и паковање).

Систем за обраду и складиштење сировина. Обрада сировина је један од првих корака у процесу производње стакла. Сировине се смештају у велике силосе, до којих се допремају камионима или железницом. Неки системи укључују и обраду материјала, као што су сепарација, сушење или предгревање сировина. Аутоматизовано или мануелно, у овом систему се мере, сакупљају, мешају и испоручују сировине за производњу стакла према задатој рецептури, преко низа отвора,

materials management), warm part (furnaces, furnaces for annealing and shaping machines) and the cold part (product handling, inspection and packing).

The system for processing and storage of raw materials. Processing of raw materials is one of the first steps in the glass production process. Raw materials are stored in large silos, and they are delivered there by truck or rail. Some systems may also include the processing of materials, such as separation, drying or preheating of the raw material. Automatedly or manually, raw materials for glass production are measured, collected, mixed and supplied in this system, according to the specified formula, through a series of holes, conveyors and scales, to furnaces. Such “batch“ enters the furnace through a device called a feeder.

Hot part of the production. Hot part of the glass production is where the molten glass is formed into glass products, starting from the moment when the furnace is loaded with the batch, at a pace that is controlled by the system for processing of raw materials. Furnaces are heated with natural gas or heavy fuel oil and they operate at temperatures of up to 1575 °C. The temperature in the furnace is determined based on the quality of the material from which the furnace is made and quality of the raw material for glass production.

Creating glass packaging. Today, there are two main methods of making glass containers: “blow and blow” method for the production of narrow-neck packaging and “push and blow” method, used in the production of jars and containers with narrow tapered neck.

Both methods start from molten glass, in its plastic state at a temperature from 1050 °C to 1200 °C, which is then cut with a blade to form a glass cylinder. The cylinder itself must have the volume sufficient to produce the desired form packaging.

In case of the “blow and blow” process, glass first passes through a valve in the panel, placing it in a three-part “ring” mold. Then, the compressed air is blown into the glass, which leads to the creating of a cavity and partly formed packaging. The compressed air is re-introduced into the packaging in

транспортера и вага, до пећи. Оваква „шаржа“ улази у пећ преко уређаја који се назива хранилица.

Топлидеопроизводње. Топлидеопроизводње стакла је место где се ливено стакло обликује у стаклене производе, почевши од тренутка када се пећ пуни шаржом шаржом, темпом који је контролисан од стране система за обраду сировина. Пећи су загреване природним гасом или мазутом и раде на температурама до 1575°C. Температура у пећи је одређена према квалитету материјала од ког је направљена пећ и од сировина за добијање стакла.

Формирање стаклене амбалаже. Данас постоје две главне методе израде стаклене амбалаже: „дувај и дувај“ метод за производњу амбалаже уског врата и „утисни и дувај“ метод који се користи у производњи тегли и амбалаже са уским конусним вратом.

the second stage, in order to obtain the final shape. In case of the “push and blow” process, neck of the packaging is formed by using a long metal piston which is lifted and which pressures the glass, in order to fill the ring and empty mold. The process then continues as in the preceding process, where the neck is transferred to the mold for the final shape, when the glass is blown into its final shape.

Machines for shaping. The machine consists of 19 basic mechanisms which have the function of shaping bottles and are mostly driven by compressed air at high pressure of 3.2 bars and low pressure of 2.8 bars. All functions of the machine are controlled electronically. The machine has a capacity from 5 to 20 of identical sections, each containing one entire mechanism for the production of packaging. The sections are in a row, and they receive the glass mass through moving “distributors”. Each section makes one to four packaging forms simultaneously.

Амбалажно стакло
Packaging glass



Обе методе полазе од растопљеног стакла, у пластичном стању на температури од 1050°C до 1200°C, које се затим реже сечивом са циљем формирања цилиндра од стакла. Сам цилиндар мора имати масу довољну за производњу жељене амбалажне форме.

Код „дувај и дувај“ процеса, стакло прво пролази кроз вентил у плочи, смештајући га у троделни „прстенасти“ калуп. Затим се компримовани ваздух удувава у стакло, што доводи до прављења шупљине и делом формиране амбалаже. Компримовани ваздух се поново уводи у амбалажу у другој фази, како би се добио коначни облик.

Код „утисни и дувај“ процеса, врат амбалаже се формира дугим металним клипом који се подиже и притиска стакло, како би се попунио прстен и празан калуп. Поступак се затим наставља као и у претходном процесу, где се врат преноси у калуп за финални облик, када се врши и дување стакла до коначног облика.

Машине за формирање. Машина се састоји од 19 основних механизма који имају функцију формирања флаше и углавном их покреће компримовани ваздух високог притиска од 3,2 bar и ниског притиска од 2,8 bar. Свим функцијама машине се управља електронски. Машина има капацитет од 5 до 20 идентичних секција, од којих свака садржи један комплетан механизам за прављење амбалаже. Секције су у низу, а стаклену масу примају путем помичних „дистрибутера“. Свака секција прави од једне до четири амбалажне форме истовремено.

Унутрашња дорада амбалаже. Након процеса формирања, нека амбалажа, посебно она намењена алкохолним пићима, пролази кроз третман за побољшање хемијске отпорности са унутрашње стране. Овај поступак третирања унутрашњости амбалаже назива се деалкализација. То се постиже убацивањем сумпорне или флуорне смеше гаса у боце при високим температурама. Овај поступак амбалажу чини отпорнијом на алкалне ек-

Internal finishing of the packaging. After the forming process, certain containers, especially those intended for alcoholic beverages, undergo the treatment for improving their chemical resistance on the inside. This method of treating the interior of the packaging is referred to as dealcalization. This is achieved by injecting sulfuric or fluorine gas mixture into the bottles at high temperatures. This process makes the packaging more resistant to alkaline extracts, which can lead to increased acidity of the product, and in some cases also to deterioration of the packaging.

Annealing. During the cooling, the glass shrinks and hardens. Uneven cooling causes defects in the glass, created as the result of thermal shock. Even cooling is achieved by means of annealing. Furnaces for annealing maintain a temperature of about 580 °C, thus disabling a large temperature gradient in the course of cooling. Annealing time depends on the thickness of the glass and can last from 20 to 6000 minutes.

The cold part. In the cold part of the process, a polyethylene coating is applied to increase the abrasion resistance, lubrication is performed, control of defects on the packaging, packaging for delivery and labeling.

Control equipment. Automatic machines, and sometimes even the experts, inspect each manufactured packaging container for errors of various types. Common errors include small cracks in the glass and inclusions of particles, which are mainly parts of the lining from refractory bricks from the furnaces, which fall into the molten glass and are called *stones* or oversized granules of silicon dioxide (sand) which failed to melt and ultimately to be included in the final product. Other deficiencies include bubbles in the glass, called blisters, as well as insufficient thickness of the walls of the finished product. Another deficiency common in the glass manufacture is called a *tear*. In the “press and blow” manufacturing process, if the piston and the mold are not at the same level or are heated to the wrong temperature, glass may stick to them and can be “torn”. In addition to rejecting of unprofitable product, the control collects sta-

стракте, који могу довести до повећања киселости производа, а у неким случајевима и до пропадања амбалаже.

Жарење. Током хлађења стакло се скупља и очвршћава. Неравномерно хлађење изазива дефекте у стаклу, настале услед термичког шока. Равномерно хлађење се постиже жарењем. Пећи за жарење одржавају температуру од око 580°C, те тако онемогућавају велики градијент температуре током хлађења. Време жарења зависи од дебљине стакла и може трајати од 20 до 6000 минута.

Хладни део. У хладном делу процеса наноси се премаз полиетилена како би се повећала отпорност на абразију, врши се подмазивање, контрола на дефекте на амбалажи, паковање за испоруку и етикетирање.

Опрема за контролу. Аутоматске машине, а понекад и стручна лица, прегледају сваки произведен амбалажни контејнер на грешке различитог типа. Уобичајене грешке укључују мале пукотине у стаклу и стране инклузије, које су углавном делови облоге од ватросталне цигле из пећи, који опадају у растопљено стакло и називају се *камње*, или превелике грануле силицијум диоксида (песка) који није успео да се истопа и на крају буде укључен у крајњи производ. Други недостаци укључују мехуриће у стаклу, који се зову *пликови*, као и недовољну дебљину зидова готовог производа. Још један недостатак уобичајен у производњи стакла назива се *суза*. Код „притисни и дувај“ процеса производње, ако клип и калуп нису у истој равни или се загреју на погрешну температуру, стакло се може залепити за њих и може да се „поцепа“. Поред одбацавања неисправног производа, контрола прикупља статистичке податке и преноси их јединици за управљање у топлом делу производње. Контролори спроводе низ мануалних провера на узорцима производа, који су углавном визуелни и проверавају димензије истог.

Секундарна дорада. Јединствени начин етикетирања стакла је примена процеса обеле-

tistical data and forwards it to the control unit in the warm part of the production. The controllers carry out a series of manual checks on the product samples, which are mainly visual, checking the dimensions of the products as well.

Secondary processing. Uniform method of glass labeling is the use of the process of marking with ceramics. This means the process of screen printing, decorations on the packaging with the color of glass enamel, which must then be additionally baked. Labeling can also be performed and by means of “etching” (acid, laser or abrasive method of surface treatment of glass) or by using decals (stickers).

Packaging. Glass containers are packed in different ways. A popular way is the palletizing, where between 1000 and 4000 glass containers are placed on one pallet. This may be an automated process, which stacks the containers on the pallet and separates each layer with a cellulose sheet, mainly cardboard. The other ways of packaging include



Машинско дување стакла - Параћин
(фотографија из архиве Српске фабрике стакла
Mechanical glass blowing - Paraćin
(photo from the archives of the Serbian glass factory)

жавања керамиком. Ово подразумева процес сито-штампе, декорације на амбалажи са бојом од стакластог емајла, која се потом мора додатно пећи. Етикетирање се може још извести и путем „ецовања“ (киселинским, ласерским или абразивним поступком површинске обраде стакла) или употребом декала (налепница).

Паковање. Стаклене посуде се пакују на различите начине. Популаран начин је палетирање, где се између 1000 и 4000 стаклених амбалажних производа смешта на једну палету. Ово може бити и аутоматизован процес, који ређа производ на палету и одваја сваки слој целулозним листом, углавном картонском лепенком. Други начини паковања укључују кутије, као и ручно постављање производа у плетене врећице. Овако упаковани предмети се означавају и складиште.

Премази. На стаклену амбалажу се углавном наносе два површинска премаза, један који се наноси непосредно пре топлог дела и један у хладном делу производње, након жарења. У топлом делу производње се наноси веома танак слој калај оксида, а у хладном делу производног процеса, путем водене емулзије, слој од полиетиленског воска. Ово чини стакло клизавим, штити га од огреботина и спречава међусобно лепљење производа приликом транспорта.

Помоћни процеси – компресори и хлађење. Машине за формирање се углавном покрећу компримованим ваздухом и стакларе имају неколико великих компресора, како би се обезбедио потребан компримовани ваздух. Пећи, компресори и машине за формирање стварају одређене количине непожељне отпадне топлоте која се одводи хлађењем водом.

Комбинација стакла и других материјала

У многим производима, стакло се комбинује са другим материјалима, да би се

boxes, as well as manual placement of the products into woven bags. The items packed in this way are marked and warehoused.

Coatings. Basically, two surface coatings are applied on glass packaging, one that is applied immediately before the warm part and one in the cold part of the production, after annealing. In the warm part of the production, a very thin layer of tin oxide is applied, and in the cold part of the production process, by means of water emulsion, a layer of polyethylene wax. This makes the glass slippery, protects it from scratches and prevents bonding of the products during the transport.

Secondary processes - compressors and cooling. Machines for forming are mainly driven by compressed air and the glassworks have several large compressors in order to provide the required compressed air. Furnaces, compressors and machines for forming generate certain quantities of unwanted waste heat, which is discharged by means of water cooling.

Combination of glass and other materials

In many products, glass is combined with other materials, in order to improve certain properties of glass or other materials. The most common composites are glass/metal (enameling) and glass/polymer.

Glass-metal composite (enamel). Enameling is one of the oldest processes for production of the composite of glass and other materials, and is performed in such a manner that the glass powder or lead silicate and a small amount of coloring agent melt on the metal. By means of this process, poor corrosion resistance of metal is improved with high chemical resistance of the glass, which is easy to clean. Originally, the enameling was used for craft purposes, and then to improve everyday objects and technical devices that require high hygienic standards.

One of the oldest composites produced in the process of enameling is a mirror. Glass is coated

нека својства стакла или других материјала побољшала. Најчешћи спојеви су стакло/метал (емајлирање) и стакло/полимер.

Спој стакло-метал (емајл). Емајлирање је једна од најстаријих поступака добијања композита стакла и других материјала, а изводи се тако што се стаклени прах или силикат олова и мале количине средства за бојење топе на металу. Овим поступком се лоша корозивна отпорност метала побољшава високом хемијском отпорношћу стакла, које се лако чисти. Првобитно је емајлирање коришћено у занатске сврхе, а затим за побољшање свакодневних предмета и техничких уређаја који захтевају високе хигијенске стандарде.

Један од најстаријих композита добијен процесом емајлирања је огледало. Стакло се пресвлачи виско рефлектујућим слојем сребра. Овде се комбинују два изванредна својства материјала: велика проводљивост светла, оптичка хомогеност и равна површина стакла са високом рефлексijом метала. Рефлексија стаклене површине је око 4%, док је рефлексија сребрног слоја већа од 95%. Сребрни слој се од оксидације штити слојем бакра, који се премазује фарбом.

Стакло је идеалан материјал за осветнела због своје транспарентности, непропусности за гасове, стабилности задржавања облика на високим температурама и електричне отпорности. За обезбеђивање вакуумске везе између стакла и напајања електричном енергијом користе се специјални материјали.

Спој стакло-полимер. Производња овог типа композита има за циљ побољшавање механичке чврстоће стакла или непожељних својстава полимера. Ламинирано сигурносно стакло је најпознатија врста оваквог материјала, чији је одличан пример ветробран у ауто индустрији. Ветробран се добија када се између два стаклена панела постави полимерна фолија на бази поли (винил бутирала). Такође, у балистици се на исти начин производи стакло отпорно на ватрено оружје, када се иста фолија поставља наизменично између три

with highly-reflective layer of silver. Two excellent properties of the materials are combined here: great light conductivity, optical homogeneity and flat glass surface with high metal reflection. Reflectance of the glass surface is about 4%, while the reflectance of the silver layer is greater than 95%. The silver layer is protected from oxidation with a layer of copper, which is coated with paint.

Glass is the perfect material for luminaires because of its transparency, gas tightness, stability, shape retention at high temperatures and electrical resistance. Special materials are used for securing the vacuum connection between glass and power supply.

Glass-polymer composite. Manufacture of this type of composite aims at improving the mechanical strength of the glass or undesirable properties of the polymer. Laminated safety glass is the most popular type of such material, and an excellent example of this is the windshield in the auto industry. Windshield is produced when polymer film based on poly(vinyl butyral) is placed between two glass panels. Also, in the ballistics, glass resistant to firearms is produced in the same manner, when the same film is placed alternatively between three or more glass panes. On the other hand, this combination is also used in order to improve desirable properties of the polymer, such as hardness and resistance to chemicals. Glass fibers can be soaked in polymer, resulting in a material with a significantly higher hardness and stiffness.

Technical glass

Optical glass. Development of optical glass is a part of the history of development of optics and photography and is primarily related to the use of lenses. Spherical transparent forms converge (i.e. change the course, and thus collect) light in a single point and in their simple form they have been known since ancient times. Dewdrop with silver glow is the simplest form of the lens, because with its spherical form it summarizes the image of the surrounding area. It is a kind of lens created by na-

или више стаклена панела. Са друге стране, ова комбинација се користи и како би се побољшала непожељна својства полимера, као што су чврстоћа и отпорност на хемикалије. Стаклена влакна се могу потопити у полимер, чиме се добија материјал са знатно већом чврстоћом и крутошћу.

Техничко стакло

Оптичко стакло. Развој оптичког стакла представља део развоја историје оптике и фотографије и првенствено се односи на примену сочива. Сферични провидни облици конвергују (тј. скрећу, и на тај начин сабирају) светлост у једну тачку и у својој једноставној форми познати су од давнина. Кап росе сребрнатог сјаја најједноставнији је облик сочива, јер својом сферичном формом сажима слику околног простора. То је нека врста сочива који је природа формирала. Проналазак увеличавајућег стакла и препорука како да се оно користи као помагало, забележен је у 11. веку. Изум се приписује Роџеру Бејкону, мада је вероватније да је он и ту, као и у случају примене камере опсуре (итал. *Camera Obscura*), само пренео знања позната од раније. До краја 13. века топљење, брушење и глачање оптичког стакла постало је ствар добро савладаног заната.

Оптички материјали су сви материјали који пропуштају оптичко зрачење (ултраљубичасто, видљиво и инфрацрвено). Налазе се у сва три агрегатна стања: гасном – ваздух и други природни гасови, течном – различити типови уља и чврстом – стакла, кристални материјали, филмови и танки слојеви.

Оптичке компоненте се најчешће производе од безбојног или обојеног неорганског стакла, кварца или полимерних материјала.

Главни елемент за производњу оптичких компоненти је безбојно оптичко стакло.

Оптичко стакло је керамички материјал, који се током производње пажљиво кон-

туре. Invention of a magnifying glass and recommendations as to how to use it as an aid has been recorded in the 11th century. The invention is attributed to Roger Bacon, although it is more likely that, just like in the case of use of camera obscura (ital. *Camera Obscura*), he only transferred the knowledge that already existed in the past. By the end of the 13th century, melting, grinding and polishing of optical glass has become a part of a well mastered craft.

Optical materials are all materials that transmit optical radiation (ultraviolet, visible and infrared). They are found in all three aggregate states: the gas state - air and other natural gases, the liquid state - different types of oils and the solid state - glass, crystal materials, films and thin layers.

The main element for the production of optical components is colorless optical glass. Optical components are usually produced from colorless or colored inorganic glass, quartz or polymer material.

Optical glass is a ceramic material, which is carefully controlled during production. It has a specific chemical composition and physical properties, such as:

- refractive index for wavelengths in the application
- dispersion
- Abbe number
- transmission

Optical glass is different from technical glass in the degree of homogeneity, chemical composition and physical properties. It is resistant to the effects of moisture, carbonic acid, it maintains its shape well and is easy to process.

As already mentioned, in its chemical composition an inorganic glass contains mostly silicon dioxide (SiO_2). Other compounds that are included in individual types of glass are oxides of sodium, potassium, magnesium, aluminum, phosphoric acid salts. Newer types of glass often contain acids of rare earth metals (lanthanum, tantalum, cesium).

тролише, има тачно одређен хемијски састав и физичка својства, као што су:

- индекс преламања за више таласних дужина у области примене,
- дисперзија,
- Абеов број,
- трансмисија.

Оптичко стакло се разликује од техничког стакла по степену једнородности, хемијском саставу и физичким својствима. Оно је отпорно на дејство влаге, угљене киселине, добро одржава свој облик и лако се обрађује.

Како је већ речено, по свом хемијском саставу неорганско стакло садржи највише силицијум диоксида (SiO_2). Остала једињења, која улазе у састав појединих врста стакала су оксиди натријума, калијума, магнезијума, алуминијума, соли фосфорне киселине. У новим врстама стакла често се налазе и киселине ретких метала (лантана, тантала, цезијума).

Најпознатија оптичка стакла су крон (крунско) и флинт. Крон-стакло састоји се од кремента, калцијумових и калијумових силиката. Велике транспарентности, тврдоће и чистоће, али слабије прелама светлост него флинт. Флинт-стакло настаје од кремента и примеса калијумових и оловних силиката. Мање је тврдоће и веће густине. *Крон-флинт* је комбинација ове две врсте стакла, којом се постиже најбоље искоришћење њихових својстава.

У Шотовом каталогу стакала, сва крон-стакла се лако познају, јер у својој ознаци садрже слова К, док сва флинт-стакла садрже слово Ф.

Противпожарно стакло. Противпожарно стакло постаје неизоставан елемент у савременом грађевинарству. Поред фасада, много више је заступљено у ентеријерима

Сијалица са ужареним влакном, спој стакло-метал
Incandescent light bulb, glass-metal connection

The best known optical glasses are crowns (crown) and flint. Crown-glass consists of flint, calcium and potassium silicates. It is of great transparency, hardness and purity, but it refracts light less than flint. Flint-glass is produced from flint and add-mixtures of potassium and lead silicates. It is less hard and has higher density. Crown-flint is the combination of the two types of glass, which provides the best use of their properties.

In Schott Catalog of glass, all crown-glasses are easily recognized, because in their designation they contain letter C, while all flint-glasses contain letter F.

Fireproof glass. Fireproof glass has become an indispensable element in contemporary civil engineering. In addition to the facades, it is used much more in the interiors – for partitions, windows and doors, where the safest and most elegant way of separation from the rooms that are caught by fire in accident situations is required.



- за преграде, прозоре и врата, где се тражи најсигурнији и најелегантнији начин одвајања од просторија које су у акцидентним ситуацијама захваћене пламеном.

Противпожарно стакло се примењује тамо где је потребно спречити тренутни продор пламена из једне у другу просторију, али, исто тако, и у стандардним условима, када омогућава прозирну ширину целокупном простору. Прави се ламинирањем флоат стакала различитих дебљина и посебне врсте противпожарног желатина.

Свако противпожарно стакло према стандарду захтева да буде уграђено у одговарајући противпожарни профил. Профили могу да буду челични или алуминијумски.

Противпожарна стакла у основној подели деле се: према месту уградње, на унутрашње и спољашње; према времену, колико дуго могу да спрече продор отвореног пламена на: 30, 60, 90 и 120 минутна; да ли задржавају само отворени пламен или и преносе топлоту у суседну просторију.

Углавном, најчешће се користе стакла од 30 mm.

Према стандарду, ознака стакла садржи податке о произвођачу и врсти стакла, нпр. Пуробел ЕИ 30 Конкав Конвекс. На сваком комаду стакла треба да стоји печат са овим подацима.

Стаклена влакна

Један од доминантних и обећавајућих стаклених материјала данас је стаклено влакно, тј. фиберглас (енгл. *fiber glass*), пре свега због његове примене као ојачања у композитним материјалима. Користи за подне облоге, топлотну, електричну и звучну изолацију, стубове шатора, апсорпцију звука, тканине отпорне на корозију, тканине високе чврстоће, штапове за хокеј и разне друге примене где је потребна велика крутост у лонгитудиналном

Fireproof glass is applied where it is necessary to prevent sudden penetration of flames from one room to another, but also, in standard conditions, when it gives transparency to the entire space. It is made by laminating float glass of different thickness and special types of fireproof gelatin.

Each fireproof glass according to the standard requires being included into the corresponding fireproof profile. Profiles can be made of steel or aluminum.

Fireproof glass in the elementary classification is divided: according to the place of installation, into interior and exterior; according to the time, how long it can prevent the penetration of open flames into: 30, 60, 90 and 120 minutes; whether it can stop only open flame or it transmits heat to the adjacent room.

Generally, 30 mm glasses are most commonly used.

According to the standard, marking of the glass contains information on the manufacturer and THE type of glass, for example, Pyrobel EI 30 Concave Convex. On each piece of glass there should be a stamp with this information.

Glass fibers

One of the dominant and promising glass materials today is fiber glass, primarily because of its use as reinforcement in composite materials. It is used for flooring, thermal, electrical and sound insulation, tent poles, sound absorption, fabric resistant to corrosion, high strength fabrics, hockey sticks and various other uses where great stiffness in the longitudinal direction is necessary, arrows, bows and crossbows, transparent roof panels, car chassis, surfboards, boat troughs, honeycomb panels, as well as for bandages for medical purposes.

Fiber glass. Fiber glass belongs to a group of technical fibers such as high-performance polymer and carbon fibers, which have their most significant application as reinforcements in composite materials with polymer matrix. Although they

правцу, стрелице, лукове и самостреле, транспарентне кровне панеле, аутомобилску шасију, даске за сурфовање, корита за чамце, саћасте панеле, као и у медицинске сврхе за завоје.

Стаклено влакно. Стаклено влакно спада у групу техничких влакана попут високоперформансних полимерних и угљеничних влакана, која су своју најзначајнију примену нашла као ојачања у композитним материјалима са полимерном матрицом. Иако нису тако велике чврстоће и крутости као угљенична влакна, цена им је мања што их фаворизује код многих врста примена. За композитне материјале са полимерном матрицом ојачане стакленим влакнима користе се скраћенице GRP (*Glass-Reinforced Plastic*) и GFRP (*glass fiber reinforced plastic*). Примена ових композита је бројна и користи се за израду авиона, аутомобила, бродова, спортске опреме, када, цеви за пијаћу воду и канализацију, контејнера за биљке, система равнoг крова и многе друге.

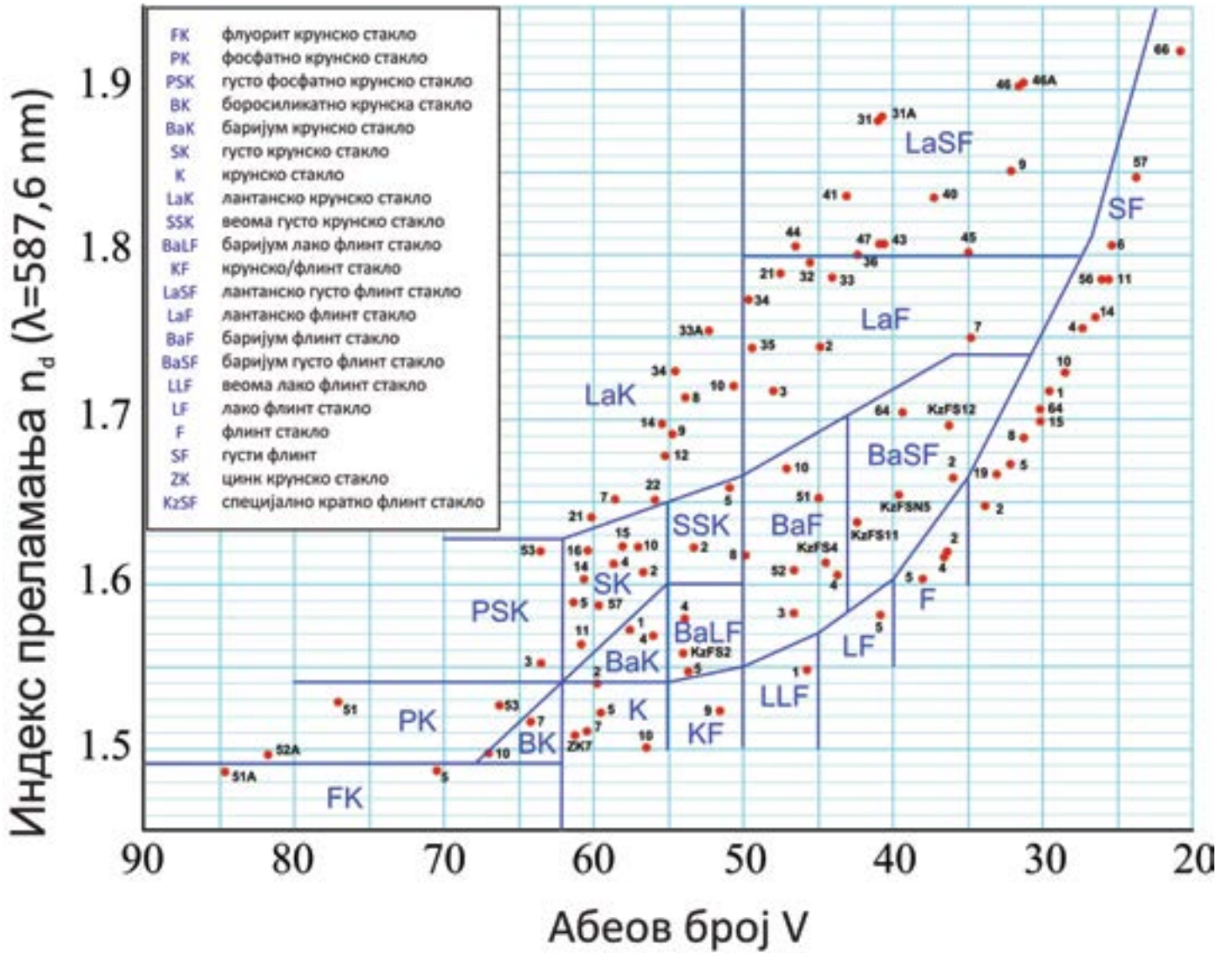
Стаклена вуна. Стаклена вуна је изолациони материјал направљен од стаклених влакана међусобно повезаних везивом, која је по текстури слична вуни. Процесом „заробљавања“ великог броја малих цепова ваздуха између стаклених влакана, побољшавају се топлотно-изолациона својства. Ово се постиже тако што се, након загревања полазних компонената на 1.450°C , добијено

don't have the same strength and stiffness as carbon fibers, their price is lower, making them favorite for different types of applications. For composite materials with a polymer matrix reinforced with glass fibers, abbreviations GRP (Glass Reinforced Plastic) and GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) are used. These composites have numerous applications and are used in construction of airplanes, cars, ships, sporting equipment, tubs, portable water pipes and sewerage, plant containers, flat roof systems and many others.

Glass wool. Glass wool is an insulation material made of glass fibers interconnected with a binder, with a texture similar to wool. In the process of “capture”, a large number of small pockets of air between the glass fibers improve the thermal insulation properties. This is achieved in such a manner that, after heating the starting components at 1450°C , the produced glass is fiberized. It is usually produced by applying a method that is similar to the production of cotton candy. The molten glass passes through a fine mesh, and then, by means of the centripetal force, fine fibers are produced, which are cooled in contact with the air. Cohesion and mechanical strength of products are achieved by adding a binder, which connects the fiber. Ideally, a drop of bonding agent is found on every contact point of fibers. Such glass “mat” is then heated to about 200°C in order to polymerize the resin (binder), and is then pressed so that the material would get strength and stability. Glass wool is pro-



Објектив за фотоапарат
Photo lens



Абеов дијаграм, класификовање оптичког стакла по типу и саставу
 Abe diagram, classification of optical glass by type and composition

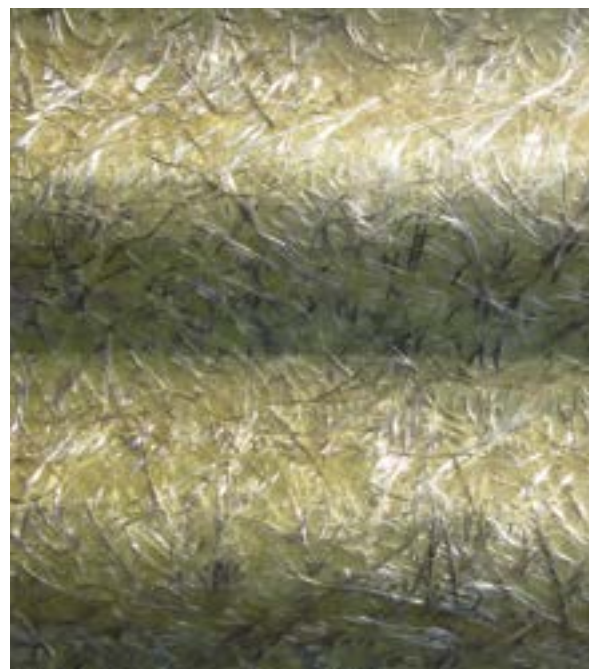
стакло извлачи у влакна. Обично се производи методом који је сличан производњи шећерне вуне. Стаклена маса се пропушта кроз фину мрежу, а затим се помоћу центрипеталне силе добијају фина влакна, која се хладе у додиру са ваздухом. Кохезија и механичка чврстоћа производа добијају се додавањем везивног средства, који повезује влакна. У идеалном случају, кап везивног средства се налази на свакој додирној тачки влакана. Оваква стаклена „простирка“ се затим греје на око 200°C да би се полимеризовала смола (везивно средство), а касније пресује, како би материјал добио чврстоћу и стабилност. Стаклена вунa се производи у ролнама или у плочама, са различитим топлотним и механичким својствима. Такође се може произвести као материјал који се може наносити прскањем на површину, ради изолације. Модерну методу за производњу стаклене вуне 1933. године изумео је Џејмс Слејтер, док је радио у фабрици стакла *Овнс-Иллиноис* (Тоledo, Охајо, САД).



Примена изолационе стаклене вуне
Application of insulating glass wool

duced in rolls or sheets, with different thermal and mechanical properties. It can also be produced as a material that can be applied by spraying onto the surface, for insulation purposes. A modern method for the production of glass wool was invented by James Slater in 1933, while he was working in the Owens-Illinois glass factory (Toledo, Ohio, USA).

Optical fiber. Optical fibers are transparent glass fibers, produced by drawing, with a diameter smaller than the diameter of a human hair. This fiber is used in telecommunications (transmission of data over long distances), in lighting of inaccessible places and transmission of image and light from one place to another. The first optical fiber was produced at the University of Michigan in 1956, although the principle had been known much earlier. One of the advantages of such fibers as compared to metal conductors is that electromagnetic disturbances have no influence on them.



Примена стакленог влакна за кровну покривку
Application of fiberglass for roofing

Оптичко влакно. Оптичка влакна су транспарентна стаклена влакна, добијена извлачењем, чији је пречник мањи од пречника власи косе. Ово влакно је нашло своју примену у телекомуникацијама (преносу података на велике удаљености), у осветљењу тешко доступних места и преносу слика и светла с једног места на друго. Прво оптичко влакно је произведено 1956. године на Универзитету у Мичигену, иако је сам принцип био познат много раније. Једна од предности оваквих влакана у односу на металне проводнике, јесте та што на њих електромагнетне сметње немају утицај.

Начин функционисања ових влакана заснива се на принципу тоталне рефлексije светлости. Када се светлост, која путује кроз густ оптички медијум, одбија под оштрим углом о површину истог.

Ово влакно чине два дела, језгро које има виши индекс рефлексije и опне која има нижи индекс. Најчешће, ова влакна се производе методом „шипка у цеви“. Метода подразумева да се стаклена шипка, која има висок индекс рефлексije, поставља у цев са мањим индексом рефлексije. Овакав стаклени склоп се затим греје у пећи, док се не постигне одговарајући вискозитет материјала, а потом се извлачи у танке нити. Зависно од употребе, може се користити појединачно или као скуп више влакана састављен у оптички кабл.

Оптичка влакна од неорганског стакла се готово увек производе од силицијум диоксида, али се могу правити и од других материјала попут флуоро-циркона, флуоро-алумината, калцогенидног стакла, као и кристалних материјала попут сафира, који се користи за светлост веће таласне дужине (инфрацрвена светлост) и високе температурне захтеве. Данас

The functioning of these fibers is based on the principle of total reflection of light, when the light that travels through a dense optical medium refracts from its surface under a sharp angle.

This fiber mostly consists of two parts, the core that has a higher reflection index and the membrane that has a lower index. Most often, these fibers are produced by applying the “rod in a tube” method. The method means that a glass rod, which has high reflection index, is placed in a tube with a lower reflection index. Such glass assembly is then heated in the furnace, until appropriate viscosity of the material is reached, and then is pulled into thin threads. It can be used individually or as a set of more fibers assembled in the optical cable, depending on its application.

Inorganic glass optical fibers are almost always made of silicon dioxide, but can also be made of other materials, such as fluorozirconate, fluoroaluminate, chalcogenide glass, and crystalline materials such as sapphire, which is used for light



Оптичко влакно
Optical fiber

се оптичка влакна производе и од полимерних материјала.

Стаклокерамика (Витрокерамика). Кристализација је некада била једна од најчешћих сметњи у производњи стакла, јер је за његово најчешће коришћено својство, транспарентност, потребна аморфна структура. У новије време је контролисана кристализација у стаклу иницирала читав низ нових материјала врло специфичних својстава. Таква керамика, која не настаје уобичајеним процесима печења керамичких материјала, уз само делимично повезивање неких компонента, назива се стаклокерамика или витрокерамика.

Стаклокерамика се обликује још у стању обичног стакла уобичајеним поступцима стакларске технологије. Да би се спровела контролисана кристализација, потребно је да одједном настане велик број језгара кристализације, једнолично расподељених по целој запремини стакленог предмета. Од састава стаклене мешавине, као и од температуре и времена трајања топлотне обраде (жарења), зависи удео створене кристалне фазе. Велик број језгара кристализације разлог је настанка великог броја врло малих кристала (пречника од 0,1 до 1,0 mm).

Основна предност стаклокерамике лежи у могућности да се коначном производу може дати жељени облик, који се иначе постиже стакларском обрадом. Стаклокерамика има вредност коефицијента термичког ширења блиску нули, што је чини врло отпорном на температурне промене, па се користи за израду кухињског посуђа, горњих плоча штедњака, разних цеви, вентила, али и за израду имплантата за замену делова људских костију. Погодним избором састава полазних компоненти може се произвести керамика која је најсличнија природној кости.

Плочице од стаклокерамике имају глатку површину без отпора, отпорне су на деловање хемикалија и могу се користити у температурном распону од -200°C до 700°C.

with longer wavelengths (infrared light) and high temperature requirements. Today, optical fibers are also produced from polymer materials.

Glass-ceramics (Vitroceraamics). Crystallization was one of the most common hindrances in glassmaking, because an amorphous structure is needed for one of its most commonly used properties – transparency. In recent years, the controlled crystallization in glass has initiated a number of new materials with very specific properties. Such a ceramic, which is not made through conventional processes of baking ceramic materials, with only partial connection of some components, is called glass-ceramics or vitroceraamics.

Glass-ceramics is formed already in the state of ordinary glass by using conventional methods of glassmaking technology. In order to conduct controlled crystallization, it is necessary that a large number of crystallization nuclei are created at once, uniformly distributed throughout the volume of the glassware. The share of the created crystal phase depends on the composition of the glass mixture, as well as the temperature and duration of the heat treatment (annealing). A large number of nuclei constitute the reason of the crystallization is the reason for creation of a large number of very small crystals (with diameters between 0.1 and 1.0 mm).

The main advantage of glass-ceramics lies in the possibility that the final product can be given the desired shape, which is otherwise achieved by applying glassmaking processing. Glass-ceramics has thermal expansion coefficient close to zero, which makes it very resistant to temperature changes, and it is thus used to produce cookware, upper stovetops, a variety of pipes, valves, as well as for production of implants for replacement of parts of human bones. With an adequate choice of the composition of the starting components it is possible to produce ceramics that is most similar to the natural bone.

Tiles made of glass-ceramics have a smooth surface with no resistance; they are resistant to the action of chemicals and can be used within a temperature range from -200 °C to 700 °C.

Еколошки аспект стакла

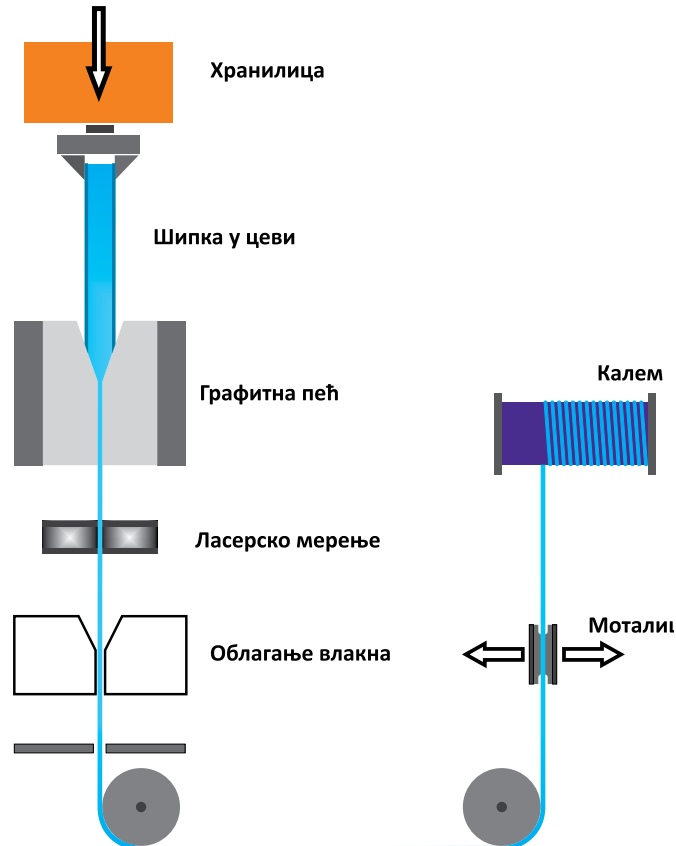
Стакло је материјал који се највише рециклира. Будући да је стаклу потребно око милион година да би се разградило, његова рециклажа омогућава еколошко уклањање из природне средине, чиме се смањује емисија CO_2 у атмосферу. Осим тога, додаток ломљеног стакла производној стакларској смеси смањује потрошњу енергије потребну за топљење за 25% и омогућава уштеду производних сировина, на првом месту соде.

У производњи амбалажног (трговачког) стакла удео ломљеног стакла чини 95% за добијање стакла зелене боје, док у смеђем тај удео износи од 60 до 80%.

Ecological aspect of glass

Glass is the most recycled material. Since it takes about one million years for the glass to decompose, its recycling enables ecological removal from the natural environment, thereby reducing emissions of CO_2 into the atmosphere. Moreover, the addition of crushed glass in the glass mixture used in production reduces the consumption of energy necessary for melting by 25% and allows savings of raw materials, primarily soda.

In the production of packaging (trading) glass, the share of crushed glass makes up 95% in order to obtain green glass, while in case of brown glass this share is from 60 to 80%.



Шематски приказ производње оптичког влакна
Schematic representation of optical fiber production

СТАКЛО И СТАКЛАРСТВО У СРБИЈИ GLASS AND GLASSWORK IN SERBIA

Предмети од стакла на територији Србије различитог су порекла, од природног стакла до оног произведеног у познатим стакларским центрима античког и средњовековног периода, локалним радионицама и домаћим фабрикама.

Предмети од природног стакла или опсидијана нађени су на археолошком локалитету Винча, из периода неолита, мада на том подручју није пронађено вулканско стакло. Винчанци су одлазили до Карпата и тамо узимали опсидијан, а од њих су га други трговци, којима су Карпати били далеко, куповали. Винчанци су схватили да онај ко поседује ово стакло има велике трговачке предности.

Из раног бронзаног доба потичу перле од фајанса (око 560 перли) које су нађене у некрополама у Мокрину код Кикинде (Јовановић, 2002). Преовладавали су облици или звездасти типови перли, а сматра се да су углавном пореклом из Египта.

Прве стаклене посуде јављају се у Србији током средине I века н. е, али су налази из тог периода веома ретки. Стаклене посуде (пехари, чаше, зделе, боце) из Виминацијума се могу хронолошки пратити од 1. до 6. века, пружајући праву слику о стакларској производњи Римског царства. Тоалетне боцице и балсамарије, које су коришћене за миришљива уља и лекови, указују на то да су Римљани водили бригу о телесној чистоћи. Коришћене су технике слободног дувања, дувања у калуп, ливење и пресовање. За прозорско стакло нађено на Виминацијуму, као и у неким другим термама римског периода, претпоставља се да се користило за загревање просторија, као што је то било у појединим купатилима у граду Риму и Остији.

Glass objects in the territory of Serbia are of different origin, from natural glass to the one produced in well-known glassworks centers of the ancient and medieval periods, local workshops and local factories.

Objects made of natural glass or obsidian were found at the archaeological site of Vinča, from the Neolithic period, although no volcanic glass has been found in the area. Vinča people used to go to the Carpathians and took obsidian there, and other traders, for whom the Carpathians were too far, were buying it from them. Vinča people realized that whoever owns this glass has great commercial advantage.

The beads made of faience (560 beads) which were found in the cemeteries in Mokrin near Kikinda (Jovanović, 2002) are from the Early Bronze Age. Round or star-shaped types of beads were dominant, and it is believed that they mostly originated from Egypt.

The first glass containers appear in Serbia in the mid-1st century AD, but the findings from this period are quite rare. Glass containers (cups, glasses, bowls, bottles) from Viminacium can be traced chronologically from the 1st to the 6th century, providing an accurate image of the glass production in the Roman Empire. Bathroom bottles and balsamaria, which were used for scented oils and medications, suggest that the Romans were taking care of bodily hygiene. Techniques of free blowing, blow molding, casting and pressing were used. For the window glass found in Viminacium, as well as in some other thermal baths from the Roman period, are assumed to be used for heating of rooms, as it was in some bathrooms in the cities of Rome and Ostia.

During the archaeological explorations of the thermal baths, numerous items of glass or glass paste from the Roman period were discovered,

Археолошким истраживањима термалних купатила откривени су бројни предмети од стакла или стаклене пасте из римског периода, најчешће накит. Током археолошких истраживања касноантичког купатила у Чачку пронађене су козметичке посуде - тоалетне боце, зделе и чаше-пехари. У неким случајевима пронађени су мозаички украси од стаклене пасте кобалт-плаве, златне и других боја, који су коришћени за сводове терми.

Међу откривеним средњовековним артефактима на Београдској тврђави налази се велики број фрагмената чаша, купа, боца, прозорских окулуса и накита од стакла. Једна група припада 14. и 15. веку, а везује се за непосредно стварање муранских мајстора или посредно стварање у радионицама Дубровника и Будима, које су биле под утицајем муранских. Друга група предмета, међу којима двоконусне боце највише привлаче пажњу, припада периоду касне готике 15. века. Оно је представљало пратећи елемент у животу свакодневнице становника Београда.

Почеци развоја домаће производње стакла везани су за локалне радионице од краја III до средине V века. На локалитету Виминацијума пронађени су предмети од стакла који су се одликовали богатством форми и једноставношћу стила, што указује на серијску производњу, која је могла настати и у самом Виминацијуму, док су луксузнији примерци били део келтске, галске и сиријске производње.

Археолошким истраживањима локалитета Сирмијума (Сремска Митровица) откривени су темељи стакларских пећи, али се поуздано не зна да ли су оне коришћене за производњу стаклених предмета или за претапање стакла поломљеног посуђа. Нису пронађени калупи и стакларске алатке које би то потврдиле. Са распадом Римског царства, производња стакла на територији Србије се смањује и своди на ограничен број облика.

usually jewelry. During archaeological explorations of the late Roman baths in Čačak, cosmetic containers were found - toilet bottles, bowls and glasses-cups. In some cases, mosaic decorations made of glass paste in cobalt-blue, gold and other colors were found, which were used for thermal vaults.

Among the discovered medieval artifacts in the Belgrade Fortress, there are a large number of fragments of cups, bottles, window oculi and glass jewelry. One group belongs to the 14th and 15th century, and is linked to the direct production of Murano masters or indirectly to the production in the workshops of Dubrovnik and Budim, which have been under the Murano influence. The second group of objects, among which the double-conical bottles attract the most attention, belongs to the late Gothic period of the 15th century. It was a secondary element in the everyday life of the Belgrade inhabitants.

Early development of domestic glass production is related to local workshops from the end of the 3rd to the middle of the 5th century. At the site of Viminacium, glassware items were found, characterized by the richness of form and the simplicity of style, indicating the serial production, which could have originated in Viminacium itself, while the more luxurious examples were part of Celtic, Gallic and Syrian production.

Archaeological explorations of the site of Sirmium (Sremska Mitrovica) revealed the foundations of glass furnaces, but it is unclear whether they were used for the production of glassware or for melting of broken tableware glass. No molds or glassmaking tools to confirm this have been found. With the collapse of the Roman Empire, glass production in Serbia decreases and is reduced to a limited number of shapes.

Assuming that glass production existed in Serbia in Roman times, we can say that it revives or, otherwise, begins only in the 19th century, when the first factory was established and industrialization of glass production started. The first glass factories were built on sites rich in raw materials and fuels

Под претпоставком да је постојала производња стакла у Србији у римско доба, тада се може рећи да она оживљава или у супротном почиње тек у 19. веку, када се оснива прва фабрика и започиње индустријализација производње стакла. Прве фабрике стакла су грађене на локалитетима који су богати сировинским и погонским материјалом (камен, песак, дрво, вода) и повезани dobrим железничким и путним везама. Прве стакларе су и поред подршке државе имале финансијске проблеме који су у неким случајевима били последица ратних разарања.

Стаклара Аврамовац

Прва фабрика за израду стакла, *Стаклара Аврамовац*, уједно је била и прво српско индустријско постројење које је радило од 1846. до 1852. године. Фабрика, која је била у партнерском власништву попечитеља (министра) иностраних дела Аврама Петронијевића и трговца Теодора Р. Томића, налазила се на реци Белици, на падинама Црног врха.

Фабрика је подигнута капиталом Аврама Петронијевића 1846. године. Петронијевић је од Совјета 1843. године тражио искључиво право да наредних 14 година *нико други стаклару не може подићи у земљи...*, као и право на *бесплатну сечу и коришћење дрвета за ватру и пепео на Црном врху и експлоатацију потребног камена за зидање фуруна и фабрикацију стакла.*

Иако су у Србији тада већ постојали рани облици привредне делатности, као што су дрводељство, плетарство и цигларство, отварање стакларе представљало је велико улагање, које је уједно значило освајање нове „високе технологије“ тог доба. Поред тога, било је потребно довести и стручну радну снагу из иностранства, што је још више повећавало трошкове улагања и сам подухват је носио велики ризик. Совјет је изашао у сусрет Петронијевићу, да би у јесен стаклара напокон

(rock, sand, wood, water) and are well connected with good rail and road connections. The first glassworks, despite the support from the state, had financial difficulties, which were in some cases consequences of the war destructions.

Glassworks Avramovac

The first glass factory, *Glassworks Avramovac*, was also the first Serbian industrial plant that operated from 1846 to 1852. The factory, which was owned in partnership of the Minister of Foreign Affairs Avram Petronijević and merchant Teodor R. Tomić, was located on the Belica river, on the slopes of Crni vrh.

The factory was built with the capital of Avram Petronijević in 1846. In 1843, Petronijević asked from the State Council the exclusive rights so that, for the following 14 years *nobody in the country could build a glassworks...*, as well as the right to *free of charge felling and use of wood for fire and ashes on Crni vrh and exploitation of the stone required for the building of furnaces and fabrication of glass.*

Although various types of economic activities had already existed in Serbia, such as carpentry, wickerwork and brick making, opening of a glassworks was a major investment, which also meant the conquest of new “high technology” of the era. In addition, it was necessary to bring the competent workforce from abroad, which further increased the investment costs and the undertaking itself was carrying a big risk. Soviet responded to Petronijević’s requests, and the glassworks finally started working in the fall. The opening ceremony of the first industrial plant in Serbia had the character of a central state celebration, and this was also reported in *Srpske novine* from November 29, 1846. The main argument for building a glass factory in this place was the presence of materials that were supposed to serve as a raw material or fuel (pebbles, sand and wood).

The first workers in the factory were Bavarians and the Czechs (Bohemians), and in 1851 they were

прорадила. Свечаност приликом отварања првог индустријског погона у Србији добила је карактер централне државне прославе, о чему су писале и *Српске новине* од 29. новембра 1846. године. Присуство материјала, који је требало да служи као сировинска или погонска снага (камен, песак и дрво), био је главни аргумент за подизање фабрике стакла на том месту.

Први радници у фабрици су били Баварци и Чеси (Бохемци), а 1851. године им се прикључује и 30 радника из Горње Угарске, највероватније Словака, који су као страни стручни радници били добро плаћени. Власник фабрике Петронијевић је касније, 1851. године, ушао у ортаклук са трговцем Теодором Р. Томићем, а управу и надзор је од 1846. до 1849. године вршио Константин Р. Томић. Опрему у фабрици су чиниле две пећи за топљење стакла са 9 лонаца. За брушење је коришћена воденица, а калупи су били месингани, керамички и дрвени. Производило се равно стакло за *пенџере*, затим шупље и ливено или пресовано стакло које је било декорисано брушењем или осликавањем. Први извоз је остварен у априлу 1848. године у Турску. *Стаклара Аврамовац* успешно је пласирала своје производе у Србији и у Турској. Остало је забележено да је једне године имала чист профит од чак 96.000 гроша, што је у посматраном тренутку била велика сума. Фабрика је радила до Петронијевићеве изненадне смрти у канцеларији великог везира у Цариграду 1852. Држава је фабрику, која је потом радила до 1868. године, откупила од Петронијевићевих наследника за 7.000 дуката цесарских.

Аврам Петронијевић (1791 - 1852), оснивач фабрике
стакла Аврамовац
Avram Petronijević (1791 - 1852), founder of the
Avramovac glass factory

joined by 30 employees from the Upper Hungary, probably the Slovaks, who were well paid as foreign professional workers. Later, in 1851, Petronijević, the factory owner, entered into a partnership with the merchant Teodor R. Tomić, and from 1846 to 1849 managing and supervision were conducted by Konstantin R. Tomić. The equipment in the factory consisted of two furnaces for glass melting with nine pots. Mill was used for grinding, and molds were made of brass, ceramic and wood. They produced flat glass for windows, then hollow and cast or pressed glass, which was decorated by grinding or painting. The first export was realized to Turkey in April 1848. *Glassworks Avramovac* successfully placed its products in Serbia and in Turkey. It was recorded that one year it had a net profit of up to 96,000 groats, which was a large sum in this period. The factory operated until Petronijević's sudden death in the office of Grand Vizier in Constantinople in 1852. The state acquired the factory from Petronijević's heirs for the imperial 7,000 ducats and it was operational until 1868.



Фабрика стакла Нацка Јовановића у Јагодини

Од престанка рада *Фабрике Аврамовац*, све до оснивања фабрике стакла у Јагодини Нацка Јанковића 1879. године, на територији Србије није радила ниједна фабрика за производњу стакла. У јагодинској фабрици стакло је најпре произвођено од ломљеног стакла са додатком соде. Производиле су се све врсте шупљег стакла од најједноставнијег (боце, тегле, балони, чаше, чашице, посуднице, цеви и др.) до најфинијег (биљурно и кристал). Рађено је брушено, шлифовано, гравирано и стакло у боји („ајховано“ и „моловано“). Након дислокације, нова фабрика има пећ са регенеративним системом са осам отворених лонаца за топљење стаклене масе, уређаје за сечење, брушење, гравирање и декорисање стакла (моловање, шарање и позлаћивање). Фабрика је престала са радом 1907. године.

Српска фабрика стакла – Параћин

Погодности које су се затекле на згаришту бивше *Минхове фабрике вунених тканина* – зграде, близина воде, параћинско залеђе богато шумом, налазишта кречњака, песка, железничке и путне везе биле су пресудне за оснивање *фабрике стакла у Параћину*. Група београдских трговаца, на челу са председником новооснованог Акционарског друштва *Српска фабрика стакла*, Миливојем М. Поповићем, маја 1907. године добија десетогодишње државне повластице. А. Д. *Српска фабрика стакла* (СФС) је раније откупило 15 хектара Минховог плаца на коме је подигло прву стакларску пећ са 14 лонаца за ручну производњу. Управљање фабриком поверено је професору Велике техничке школе у Београду, Јосифу Ковачевићу.

Из бивше *фабрике стакла у Јагодини*, која је престала са радом 1907. године, пренете су дорадне и друге машине, а изван број

Glass Factory of Nacko Jovanović in Jagodina

From the end of operations of *Glassworks Avramovac*, until the founding of the glass factory of Nacko Janković in 1879 in Jagodina, not a single factory for glass production operated in the territory of Serbia. The glass factory in Jagodina has produced objects made of crushed glass with the addition of soda at first. They produced all kinds of hollow glass, from the simplest ones (bottles, jars, balloons, glasses, cups, bowls, pipes, etc.) to the finest one (rock crystal and crystal). Sanded, polished, engraved glass and colored glass (“ajhovano“ and “molovano“) have been manufactured. After the relocation, the new factory had a furnace with recuperation system with eight open pots for melting of glass batch, devices for cutting, sanding, engraving and decoration of glass (painting, decoration and gold plating). The factory stopped its operations in 1907.

Serbian Glass Factory – Paraćin

The advantages that were found in the ashes of the former *Minhova fabrika vunenih tkanina* (*Minh's Factory of Woolen Fabric*) - buildings, vicinity of the water, Paraćin hinterland rich in forests, deposits of limestone, sand, rail and road connections were crucial for the establishment of the *glass factory in Paraćin*. In May 1907, a group of Belgrade retailers, led by Milivoje M. Popović, the president of the newly established Joint Stock Company *Srpska fabrika stakla* (*Serbian Glass Factory*), received government benefits for a period of ten years. Shareholders Company *Srpska fabrika stakla* (SFS) previously purchased 15 hectares of land from Minh's parcel, where it built the first glassmaking furnace with 14 pots for manual production. Plant management was entrusted to Josif Kovačević, a professor at the Great Technical School in Belgrade.

радника повучен је у Параћин. Са 350 запослених, фабрика исте године почиње са производњом шупљег и пресованог стакла, да би свечано отварање било уприличено наредне године.

Три године након оснивања, главни акционар СФС постаје Београдска задруга. У немирним годинама Балканских ратова фабрика ради са застојима, а током Првог светског рата престаје са радом.

Један извештај из Београдске задруге од 20.3.1921. године илуструје тешкоће да се после ратних разарања и пљачки окупатора крене у рад, али указује и на специфичне проблеме ове индустрије:

Што се тиче Српске фабрике стакла у Параћину, чији је Задруга главни акционар и финансијер, она је, с обзиром на тешкоће око даљих набавки сировина и на народност већег дела радника, морала угасити своје пећи и обуставити даљу фабрикацију, издржавајући себе продајом робе која се у стоваришту налазила.

Фабрика више није имала првобитни изглед, већ се само по остацима ранијих инсталација могло наслутити која је била намена објекта.

Касациони суд је одбијао да пресуђује накнаду ратног обештећења страним улагачима, али показало се да није био широке руке ни према параћинској фабрици. Према неким прорачунима, надокнада за ратно разарање досегла је тек 40% штете. То је значило озбиљно слабљење ове индустрије у првим послератним годинама. Према подацима из Београдске задруге, фабрика је доведена у радно стање 1922. године. Поново су упаљене обе пећи и отпочео је рад пуним капацитетом. Фабрика почиње да производи кристално стакло, подиже квалитет, подижу се нови енергетски капацитети, гради се још једна лончана пећ, руши првоизграђена и на њеном месту се подиже кадна пећ за рад у три смене и уводи се ручно-машинска производња. Производни

From the former *glass factory in Jagodina*, which stopped its operations in 1907, finishing and other machines were transferred, and a certain number of workers were moved to Paraćin. With 350 employees, that same year the factory began producing hollow and pressed glass, and the opening ceremony was organized a year later.

Three years after its establishment, Belgrade Cooperative became the main shareholder of SFS. In the turbulent years of the Balkan Wars, the plant was operating with interruptions, and during the World War I it has stopped working.

A report from Belgrade Cooperative from March 20, 1921, illustrates the difficulties to resume operations after the devastation of the war and looting of the occupiers, but it indicates also the specific problems of this industry:

As for the Serbian glass factory in Paraćin, whose main shareholder and financier is Belgrade Cooperative, given the difficulties in further purchases of raw materials and ethnicity of most of the workers, it had to shut down its furnaces and suspend further fabrication, supporting itself by selling goods already stored in the warehouse.

The factory no longer had the original appearance, but only by the remains of the previous installations one could imagine the former purpose of the facility.

The Court of Cassation refused to adjudicate the war damage compensations to foreign investors, but it turned out that it was not generous to the Paraćin factory either. According to some estimates, the compensation for war damage covered only 40% of the damage. That meant a serious weakening of this industry in the early postwar years. According to the data from Belgrade Cooperative, the plant was restored into the operating condition in 1922. Both furnaces were operational again and started working at full capacity. The factory started to produce crystal glass, improved the quality, built the new power capacities, built another pot furnace, demolished the originally built and erected a new tub furnace in its place for the work in three shifts

асортиман се проширује на пресоване чаше, тањире, свећњаке, вазе итд. Први домаћи мајстори преузимају вођство на радилиштима. Број радника се повећава на 600.

Овако успешна параћинска фабрика запала је за око браћи Абел (Abel), Аустријанцима са југословенским држављанством, који су били власници неколико фабрика стакла у Словенији и Хрватској. Искористивши спремност Београдске задруге да прода СФС због тешкоћа у организацији производње, браћа Абел кредитом откупљују фабрику. Настаје период у коме се СФС подређује другим Абеловим фабрикама. Чувене чешке мајсторе стакла замењују Словенци, производња се редукује, део опреме је пребачен у друге стакларе, а епилог је било незадовољство радника и прекид производње.

Фабрика ускоро још једном мења власника - 1934. године припојена је Друштву *Храстник Уједињене фабрике стакла Загреб*. Том концерну припало је и осталих седам стаклара браће Абел. Фабрика у оквиру Сједињених творница служила је између осталог и за огледну производњу, мада савременици наводе градње нових пећи, монтирање машина, аутоматске хладњаче и друго, али све у функцији осталог дела концерна. Фабрика стакла врхунац свог развоја достиже 1930. године. Од тада, са почетком економске кризе, производња, а нарочито продаја, нагло опадају. Производња је смањена на 50%, а такође и радна снага. Тек на интервенцију, власти радници се исплаћују четвртином надница, у облику помоћи.

Стабилизација предузећа наступа 1936. године, када фабрика опет ради у три смене, што повећава шансе да се отплати дуг од пре две године, који је био тек нешто нижи од њене вредности.

У следећој 1937. години, степен искоришћења капацитета пење се на 80%, повећава се извоз са 1 на 2,5 %, да би за две године, уз нова улагања, фабрика забележила најбоље

and introduced manual-mechanical production. The product assortment is extended to pressed cups, plates, candlesticks, vases, etc. The first local craftsmen took over the lead on work sites. The number of workers increased to 600.

This successful Paraćin factory caught the eye of the Abel brothers, Austrians with Yugoslav citizenship, who owned several glassworks in Slovenia and Croatia. Taking advantage of the willingness of the Belgrade Cooperative to sell SFS due to difficulties in the organization of production, the Abel brothers purchased the factory with loan funds. This was followed by the period in which SFS is subjected to other Abel factories. Famous Czech glassmaking masters are replaced by Slovenians, production is reduced, part of the equipment was transferred to the other glass factories, and the epilogue was the discontent of the workers and the interruption of production.

Soon, the factory once again changed its owner - it was merged with the Company *Hrastnik ujedinjene fabrike stakla Zagreb (Hrastnik United Glass Factories Zagreb)* in 1934. That concern was also the owner of the other seven glassworks of the Abel brothers. Within the *United Glass Factories*, the factory was used, among other things, for experimental production, although contemporaries mention the construction of new furnaces, mounting of machines, automatic cold storages and the other, but serving the needs of the rest of this group. The Glass Factory reaches the climax of its development in 1930. Since then, with the beginning of the economic crisis, the production, and especially sales, were rapidly declining. The production was reduced to 50%, as well as the workforce. Only after the intervention from the government, workers were paid a quarter of their wages, in the form of an aid.

The stabilization of the company occurs in 1936, when the factory again works in three shifts, which increases its chance to repay the debt from two years ago, when it was only slightly lower than the company value.

результате, у чијем је остварењу профит био једино и неприкосновено мерило и циљ.

За време Другог светског рата, фабрика је радила са смањеним капацитетом, да би пред крај рата сасвим угасила пећи. По ослобођењу и национализацији, фабрика врло брзо, већ у марту 1945, успева да се покрене. Следеће године достиже производњу из 1939. године. Државна политика индустријског развоја у новој држави, стаклару поставља за носиоца развоја производње шупљег стакла, посебно стаклене амбалаже. Погон за аутоматску израду стаклене амбалаже, најпре боца, а затим и тегли, прорадио је 1950. године. Новине, које ће бацити у засенак стакларску лулу, изазвале су неповерење, којем су у прилог ишле почетне тешкоће уходавања производње. Те године, после пробног, фабрика добија свој први раднички савет. Убрзо, изградњом нових капацитета, у СФС се производи 55 одсто југословенског шупљег стакла. Преоријентација прехрамбене индустрије на стаклене боце и тегле, уместо увозних лименки,

In the following year, in 1937, the capacity utilization rate rises to 80%, export increases from 1 to 2.5%, and in two years, with new investments, the plant recorded its best results, in the realization of which the profit was the only and unchallenged criterion and goal.

During the World War II, the factory was working at reduced capacity, and it has completely shut down its furnaces by the end of the war. After the liberation and nationalization, very quickly, already in March 1945, the factory manages to resume its operations. The following year it reached the production level from 1939. The state policy of industrial development in the new state recognizes the glassworks as the carrier of production of hollow glass, particularly glass containers. The plant for the automatic production of glass packaging, first bottles, and then also jars, was commissioned in 1950. The novelties, which will set aside the glass pipe, provoked distrust, exasperated by the initial difficulties of running the production. That year, after a trial work, the factory receives its first workers' council. Soon, with the construction



Српсја фабрика стакла - Параћин(фотографија из архиве Музеја науке и технике)
Serbian glass factory - Paraćin(photo from the Archives of the Museum of Science and Technology)

добро је дошла стаклари и њеним до тада предимензионираним капацитетима. Ускоро се као већи купци јављају фармацеутска, хемијска, козметичка индустрија, пуниоци минералних вода, пивари и произвођачи вина и ракија. Порастом животног стандарда становништва, стакло за угоститељство и домаћинство бива траженије и фабрика шири асортиман и побољшава квалитет и дизајн. Фабрика је, након рата 1945. године, имала три стакларске пећи, а седамдесетих година чак 14. Наравно, то повећање основне производње пратило је развој свих других капацитета, али је било и доста невоља. Пожари, рушења пећи, експлозије, први штрајкови, нелојални увоз стакла, енормна поскупљења сировина, као и ситуација на југословенском тржишту, довели су до тога да фабрика 1976. послује са губитком, први пут од Ослобођења.

Следе нови планови и напори. Са фирмом Карл Цајс (Carl Zeiss) из Јене у Немачкој, 1979. године, СФС потписује уговор о куповини технологије, опреме, обуци и креће производња оптичког стакла. Уводи земни гас као замену за мазут. Подижу се још две нове пећи са пет аутоматских линија за производњу амбалажног стакла. Отвара се рудник кречњака на Баби и уводе се новине на технолошком, информационом, еколошком и организационом плану. Од 1991. године, фабрика послује под именом *Српска фабрика стакла – деоничарско друштво у мешовитој својини – Експорт импорт – Параћин*, са потпуном одговорношћу. Прва седница конститутивне скупштине одржана је 23. марта 1992. године, чиме су озваничене промене у погледу власништва и СФС постаје деоничарско друштво у мешовитој својини. Последњих година, у време индустријске рестрикције, распада Југославије и санкција, Српска фабрика стакла смањује производњу и гаси више пећи и лонаца за производњу стакла.

of new capacity, SFS produced 55 percent of the Yugoslav hollow glass. The reorientation of the food industry into glass bottles and jars, instead of imported cans, served well the interests of the glassworks and its hitherto oversized capacities. Soon, pharmaceutical, chemical and beauty industry, fillers of mineral water, brewers and wine and brandy producers appear as bigger customers. As the result of increase in standards of life, the demand for glass for catering industry and households is on the rise, and the factory is expanding its range and improving the quality and design. After the war, in 1945, the factory had three glassmaking furnaces, and in the 1970s as many as 14. Of course, this increase of the primary production was accompanied by the development of other capacities, but this created also a lot of troubles. Fires, demolition of furnaces, explosions, the first strikes, unfair imports of glass, enormous price increases of raw materials, as well as the situation in the Yugoslav market, resulted in the plant operating with the loss in 1976, for the first time since the Liberation.

This is followed by new plans and efforts. With the Carl Zeiss company from Jena, Germany, SFS signed a contract for the purchase of technology, equipment and training in 1979, and it started the production of optical glass. Natural gas was introduced as a substitute for heavy fuel oil. Two new furnaces were built with five automatic production lines for the production of glass packaging. Limestone quarry opened on Baba and novelties on technological, information, environmental and organizational levels were introduced. Since 1991, the factory operates under the name *Serbian Glass Factory – Joint Stock Company in Mixed Ownership – Export Import – Paraćin*, with full liability. The first session of the founding Assembly was held on March 23, 1992. It made official the changes in ownership and SFS became a joint stock company in mixed ownership. In recent years, at the time of industrial restrictions, the disintegration of Yugoslavia and sanctions, *Serbian Glass Factory* reduced its production and has shut down several furnaces and pots for glass production.

Индустрија стакла – Панчево

Пре Првог светског рата, равним стаклом, најчешће коришћеним за застакљивање прозора, земље некадашње Југославије снабдевале су се из Аустроугарске. У Србији је, до пред рат, радила једна мала фабрика равног стакла у Костолцу. У међуратном периоду, равно стакло се углавном производило у Француској, Чехословачкој и Белгији. У међуратној Југославији су, септембра 1930, *Прву механичку фабрику стакла за прозоре А. Д. основали француски концерн Сен Гобе (Saint Gobai), чехословачка група Витреа и белгијска фирма Унитбел. Фабрика је јуна 1932. године почела са радом у Панчеву, а њени годишњи производни капацитети, са једном пећи и четири машине, били су 1.800.000 m². Производни асортиман је 1939. проширен на ломљено, орнаментално, браздасто и армирано стакло, да би након Другог светског рата био изграђен и погон за производњу неутро цеви, ампула и фиола за потребе фармацеутске индустрије. Педесетих година, поред прозорског и ливеног стакла, започета је производња сигурносних стакала за аутомобиле. Фабрика од 1950. године носи назив *Индустрија стакла – Панчево.**

Са развојем програма фабрике, која је започела рад са једном пећи, урађена су бројна технолошка унапређења и опремљеност ради добијања нових производа, као што су:

- увођење у производњу пећи за производњу крша и ливеног стакла, вучено стакло, пећи типа „Фурко“ и „Питсбург“;
- подизање погона за производњу неутро цеви, ампула и фиола за потребе фармацеутске индустрије, сигурносних стакала (каљено сигурносно стакло) „Сигурност“ за бочна стакла и слојевито (ламинирано) стакло „Панплекс“ за ветробранска стакла за аутомобилску индустрију, стакла у боји „Панколор“ и „Колорплекс“, као и термоизолационог стакла „Изопан“; „Панплекс“ стакла и каљеног стакла,

Glass Industry – Pančevo

Before the World War I, the countries of the former Yugoslavia received supplies of flat glass, which was commonly used for glazing windows, from the Austro-Hungarian Empire. In Serbia, until just before the war, a small glass factory producing flat glass operated in Kostolac. In the period between the wars, flat glass was produced mainly in France, Belgium and Czechoslovakia. In Yugoslavia between the wars, *Prva mehanička stakla za prozore A.D. (The First Mechanical Factory of Glass for Windows AD)* was founded by the French Saint Goba Group, Czechoslovak Vitrea Group and Belgian firm Unitbel in September 1930. The factory started to work in Pančevo in June 1932, and its annual production capacities, with one furnace and four machines were 1,800,000 m². The product range was extended to crushed, ornamental, ridged and reinforced glass in 1939, but after the World War II they also built the plant for production of neutrophil tubes, ampoules and vials for the pharmaceutical industry. In addition to the window and cast glass, they started the production of safety glass for automobiles in the 1950s. The factory changed its name to *Glass Industry – Pančevo* in 1950.

With the development of the factory production program, which began working with one furnace, a number of technological improvements and furnishings were achieved in order to obtain new products, such as:

- introducing of furnaces for the production of rubble and cast glass, drawn glass, “Fourcault” and “Pittsburgh” type furnaces into the production
- building of a plant for the production of neutrophils tubes, ampoules and vials for pharmaceutical industry, safety glass (tempered safety glass) “Sigurnost” for the side windows and “Panplex” layered (laminated) glass for windshield for the automotive industry, “Pankolor” and “Kolorpleks” colored glass, as well as “Izopan” insulation glass; “Panplex” glass and tempered glass

- замена: система ливења стакла кашикама са континуалним процесом, генераторског гаса са земним гасом, ради боље економичности и повећања капацитета производње.

Почетком 20. века било је неколико покушаја да се оснују нове фабрике стакла, али су угашене пре оснивања фабрике у Панчеву. У Костолцу је од 1908. године почела са радом фабрика стакла за прозоре, у Зајечару од 1928. године фабрика равнoг стакла и једно кратко време радила је фабрика стакла у Аранђеловцу.

- replacement: the system of casting of glass with spoons with a continuous process, generator gas with natural gas, for the purpose of cost efficiency and increasing of production capacity

There were several attempts to found new glass factories in the early 20th century, but they were closed before the founding of the factory in Pančevo. Glass factory for windows started operating in Kostolac in 1908, a flat glass factory in Zaječar from 1928 and a glass factory in Aranđelovac worked for a short time.



Индустрија стакла - Панчево (фотографија из архиве Музеја науке и технике)
Glass industry - Pančevo (photo from the archives of the Museum of Science and Technology)

Фабрика стакла *9. октобар* Прокупље

Фабрика је основана 1962. године на темељима занатске радионице за обраду равнoг стакла и огледала. До осамостаљивања, ова фабрика је радила као истурено одељење Српске фабрике стакла, за ручну обраду и дорату стакла. Након пожара и поплаве 1972.

Glass factory *9 Oktobar* Prokuplje

The factory was established in 1962 on the foundations of a craft workshop for the processing of flat glass and mirrors. Until independence, this factory worked as a satellite department of the Serbian Glass Factory, for manual processing and finishing of glass. After a fire and a flood in

године, који су у потпуности зауставили производњу, у октобру исте године започиње изградња нове фабрике и обнова производње. Осим производње употребних и декоративних предмета, са акцентом на разним сенилима за расветна тела, у овој фабрици су се израђивали и уметнички предмети. Први дипломирани уметник у Србији, који је дипломирао на стаклу – Драган Дробњак (1941), био је запослен у овој фабрици као дизајнер стакла у периоду од 1969. до 1991. године.

Године 2003, након вишегодишњих финансијских проблема, фабрика проглашава банкрот и престаје са радом. Данас на месту фабрике готово да нема трагова да су се на том месту производили предмети од стакла.

Фабрика стакла *Укра* из Алибунара

Оснивање Фабрике стакла *Укра* из Алибунара, 1966. године, повезује се за машинама које су дошле из Мађарске у виду ратне репарације уз помоћ стаклара из Српске фабрике стакла у Параћину. Касније су се радници обучавали у стакларама у Рогошкој Слатини (Словенија) и у Прокупљу. Производи ове стакларе су били ручно дувани употребни предмети за свакодневни живот, да би се каснијом модернизацијом, ова фабрика специјализовала за производњу комерцијалног стакла за домаћинство и хотелијерство. Врхунац производње достиже осамдесетих година двадесетог века, када је капацитет производње износио две тоне производа дневно.

Фабрика стакла *Укра* мења власничку структуру крајем 1991. године и добија име А. Д. Еурокрystal Алибунар. Након вишегодишњих потешкоћа у раду, у периоду од 2010. до 2012. године, фабрика у потпуности престаје са радом.

1972, which completely halted the production, the construction of a new factory and the relaunching of production began in October of the same year. In addition to the production of useful and decorative items, with an emphasis on various shades for lighting fixtures, this factory also produced art objects. The first graduated artist in Serbia, who graduated in glass, Dragan Drobnyak (1941), was employed in this factory as a glass designer in the period from 1969 to 1991.

In 2003, after several years of financial problems, the factory declared bankruptcy and ceased operations. Today, at the site of the factory, there are almost no traces that glass objects were ever produced here.

Glass factory *Ukras* from Alibunar

The establishment of the Glass factory *Ukras* in 1966, in Alibunar, is linked to machines that came from Hungary in the form of war reparations and the help of glassmakers from the Serbian Glass Factory in Paraćin. Later, workers were trained in glass factories in Rogoška Slatina (Slovenia) and Prokuplje. The products of this glass factory were hand-blown, useful everyday objects, and with later modernization, this factory specialized in the production of commercial glass for the household and hotel industry. The factory reached its production peak in the 1980s, when the production capacity was two tons of products per day.

In late 1991, the ownership structure of the Glass factory *Ukras* changed and the factory changed its name to A. D. Eurokristal Alibunar. After several years of business problems, in the period from 2010 to 2012, the factory completely ceased operation.

Кристал Зајечар

Зачеци производње стакла у Зајечару потичу из периода од 1923. до 1930. године. Поновно активирање производње стакла почиње 1965. године. Подржана добрим географским положајем, првенствено захваљујући близини рудника кварцног песка у Рготини, оснива се Фабрика шупљег – расветног стакла, која је у почетку била део привредног друштва *Рудници и неметали*, а касније, након осамостаљивања, добија назив *Кристал А. Д. Зајечар*. Кључна година за *Кристал* је била 1974. када је изграђена кадна пећ великог капацитета за производњу пресованог стакла и аутоматизацију обликовања оловног кристала, која је била јединственим на територији тадашње Југославије. С обзиром да је фабрика била оријентисана на извоз, деведесетих година двадесетог века, санкције и лоша економско политичка ситуација доводе до потпуног гашења фабрике 2002. године.

Компанија Сваровски у Србији

У 21. веку у Србији је, у Суботици, отворен производни погон реномираног светског произвођача кристалног стакла Сваровски (Swarovski Co). Из мале фабрике стакла породице Шварц, 1895. године син власника, Данијел Шварц са капиталом Армана Космана, Франца Вајса оснива компанију под називом А. Kosman, Daniel Swartz & Co, са каснијим називом К.С. & Со. Седиште ове компаније за израду кристала било је у Ватенсу, у области Тирол у Аустрији. Фабрика се налазила у близини хидроелектране, чија енергија је коришћена за покретање машина за полирање. Процес полирања у производњи кристалног стакла Данијел Сваровски је патентирао 1892. године. Компанија се данас бави производњом луксузних предмета од кристала, производњом оптичких уређаја, абразивних средстава за индустријску обраду материјала, обрадом драгог камења, као и изградом сигурносних елемената у саобраћају.

Kristal Zaječar

After the initial attempt to produce glass in Zaječar in the period from 1923 to 1930, in 1965, glass production in this town was restarted. Supported by a good geographical position, but primarily the nearness of the quartz sand mine in Rgotina, the factory for production of hollow – lighting glass was founded. It was initially a part of the company *Rudnici i nemetali*, but later, after becoming independent, it was named *Kristal A. D. Zaječar*. The key year for *Kristal* was 1974, when a large-capacity bath furnace was built for the production of pressed glass and automated shaping of lead crystal, which was unique on the territory of Yugoslavia at the time. The export-orientation of this factory, sanctions and the bad economic and political situation in this area in the 1990s led to the production at the *Kristal Zaječar* factory completely shutting down in 2002.

Company Swarovski in Serbia

In the 21st century in Serbia, a manufacturing plant of the renowned global manufacturer of crystal glass Swarovski (Swarovski Co.) was opened in Subotica. From a small glass factory of the Schwartz family, the owner's son, Daniel Schwartz, with capital of Arman Kosman and Franz Weiss, founded the company called A. Kosman, Daniel Swartz & Co. in 1895, which was later named K.S. & Co. The headquarters of this crystal making company was in Wattens, Tyrol region in Austria. The plant was located near a hydro power plant, used to drive the polishing machines. Daniel Swarovski patented the polishing process in the production of crystal glass in 1892. Today the company produces luxury items made of crystal, optical equipment, abrasives for industrial processing of materials, processing of precious stones, as well as production of safety traffic elements.

ΚΑΤΑΛΟΓ
CATALOGUE



Кристал кварца, Србија, Рударско-геолошки факултет,
Збирка минерала и стена
Quartz crystal, Serbia, Faculty of Mining and Geology,
Collection of Minerals and Rocks



Ћилибар, Македонија
Amber, Macedonia



Девитрификовано вулканско стакло, Липарска острва,
Рударско-геолошки факултет, Збирка минерала и
стена, Инв. бр. Р202
Devitrified volcanic glass, Aeolian Islands, Faculty of
Mining and Geology, Collection of Minerals and Rocks,
Inventory No. R202



Опал, Косјерић, Рударско-геолошки факултет,
Збирка минерала и стена
Opal, Kosjerić, Faculty of Mining and Geology,
Collection of Minerals and Rocks



Базалтна лава, Ускршња острва, Рударско-геолошки
факултет, Збирка минерала и стена, Инв. бр. Р189
Basaltic lava, Easter Island, Faculty of Mining and
Geology, Collection of Minerals and Rocks, |
Inventory No. R189



Сепиолит (пловућац), Санторини, Рударско-геолошки
факултет, Збирка минерала и стена, Инв. бр. 181
Sepiolite (Pumice), Santorini, Faculty of Mining and
Geology, Collection of Minerals and Rocks,
Inventory No. 181



Резач (ножић), Јаково, Кормадин, Неолит (Винчанска култура) 4800-4600. пре н. е. Музеј града Београда, Инв. бр. АП8786
Cutter (knife), Jakovo, Kormadin, Neolith, Vinča culture, 4800-46 BC, Belgrade City Museum, Inventory No. AP8786



Одбитак, Добановци, Циглана, Енеолит (Баденска култура) 3200. пре н. е. Музеј града Београда, Инв. бр. АП5949
Flake, Dobanovci, Brickyard Chalcolithic, Baden culture, 3200 BC, Belgrade City Museum, Inventory No. AP5949



Језгро, Стублине, Црквине, Неолит (Винчанска култура) 4800-4600. пре н. е. Музеј града Београда, Инв. бр. АП4917
Core, Stubline, Crkvine, Neolith, Vinča culture 4800-4600 BC, Belgrade City Museum, Inventory No. AP4917



Стругач (ножић), Земун, Неолит (Винчанска култура) 4800-4600. пре н. е. Музеј града Београда, Инв. бр. АП8727
Grinder (knife), Zemun, Neolith, Vinča culture 4800-4600 BC, Belgrade City Museum, Inventory No. AP8727



Врх срилице, Стрмоглавна, 3200 пре н. е., Музеј града Београда, Инв. бр. АПМ311
Arrowhead, The Czech Republic, 20th century, Inventory No. APM311



Стакласта згура, Чешка Република, 20. век, Инв. бр. Т:79.46
Glassy slag, The Czech Republic, 20th century, Inventory No. T:79.46



Стаклена посуда, Римски период, 2-3. век,
Музеј града Београда, Инв. бр. АА4238
Glass jar, Roman period, 2-3. century,
Belgrade City Museum, Inventory No. AA4238



Стаклена посуда са поклопцем, Римски период,
2-3. век, Музеј града Београда, Инв. бр. АА3310
Glass jar with a lid, Roman period, 2-3. century,
Belgrade City Museum, Inventory No. AA3310



Стаклена посуда, Римски период, 2-3. век,
Музеј града Београда, Инв. бр. АА44
Glass jar, Roman period, 2nd-3rd century,
Belgrade City Museum, Inventory No. AA38



Стаклена посуда, Римски период, 2-3. век,
Музеј града Београда, Инв. бр. АА38
Glass jar, Roman period, 2nd-3rd century,
Belgrade City Museum, Inventory No. AA38



Гема, Ушће, Рим, 2-3. век, Музеј града Београда, Инв.
бр. 2383
Gem, Ušće, Rome, 2nd-3rd century,
Belgrade City Museum, Inventory No. 2383



Гема, Ушће, Рим, 3. век, Музеј града Београда,
Инв. бр. 1955
Gem, Ušće, Rome, 3rd century, Belgrade City Museum,
Inventory No. 1955



Поклопац античке посуде, Рим, 3-4. век,
Инв. бр. Т:79.46
Lid of an ancient bowl, Rome, 3rd-4th century,
Inventory No. T:79.46



Фиола, Београд – горњи град, 13-15. век,
Музеј града Београда, Инв. бр. АС1141
Flask, Belgrade – Upper Town,, 13rd-15th century,
Belgrade City Museum, Inventory No. AS1141



Тањир, Београд – горњи град, 15. век,
Музеј града Београда, Инв. бр. АС 1663
Plate, Belgrade – Upper Town, 15th century, Belgrade
City Museum, Inventory No. AS 1663



Наруквица, Миријево, 12-13. век,
Музеј града Београда, Инв. бр. АС 132
Bracelet, Mirijevo, 12th-13th century,
Belgrade City Museum, Inventory No. AS 132



Огрлице, Миријево, 12-13. век, Музеј града Београда, Инв. бр. АС129 и АС154
154 Necklaces, Mirijevo, 12th-13th century, Belgrade City Museum, Inventory No. AS129 and AS154



Окулус (прозорско стакло), Београд, 13-15. век,
Музеј града Београда, Инв. бр. АС6000
Oculus (window glass), Belgrade, 13th-15th century,
Belgrade City Museum, Inventory No. AS6000



Бокал, Јагодина, Нацко Јанковићи син, око 1889,
Музеј примењене уметности, Инв. бр. 14325
Jug, Jagodina, son of Nacko Janković, around 1889,
Museum of Applied Art, Inventory No. 14325



Боца, Јагодина, дувано стакло, црвена лазура, око
1852, Музеј примењене уметности, инв. бр. 5072
Bottle, Jagodina, blown glass, red glaze, around 1852,
Museum of Applied Arts, Inventory No. 5072



Чаша, Јагодина, ливено стакло, црвена лазура, боја,
око 1850, Музеј примењене уметности, инв. бр. 884
Glass, Jagodina, cast glass, red glaze, paint, around 1850,
Museum of Applied Arts, Inventory No. 884



Чаша, Јагодина, ливено стакло, црвена лазура, боја,
око 1850, Музеј примењене уметности, инв. бр. 5085
Glass, Jagodina, cast glass, red glaze, paint, around 1850,
Museum of Applied Arts, Inventory No. 5085



Чаша са стопом, Српска фабрика стакла Параћин,
дувано стакло, матшлиф, око 1928, Музеј примењене
уметности, студијска збирка
Goblet, Serbian glass factory Paraćin, blown glass,
matschlif, around 1928, Museum of Applied Arts, Re-
search collection



Стакларска клупа, 20. век, Инв. бр. Т:79.3
Glassmaking bench, 20th century. Inventory No. T:79.3



Стаклодувачка лула са месинганом цајзлом, Инв. бр. Т:29.28
Glassblowing pipe with brass mouth-piece ('cajzla'), Inventory No. T:29.28



Стакларски лонац, Српска фабрика стакла Параћин, 1979,
Инв. бр. Т:79.29
Glass pot, Serbian glass factory Paraćin, 1979, Inventory No. T:79.29



Стакларске маказе, Српска фабрика стакла
Параћин, крај 20.века, Инв. бр. 79.19
Glassmaker's shears, Serbian glass factory
Paraćin, end of the 20th century,
Inventory No. 79.19



Калуп за машински дувано стакло са узорком,
Српска фабрика стакла Параћин, крај 20.века,
Инв. бр. Т:79.18/1 и Т:79.18/2
Mold for machine-blown glass with a pattern, Serbian
glass factory Paraćin, end of the 20th century,
Inventory No. T:79.18/1 and T:79.18/2



Нож за сечење стакла, крај 20.века,
Инв. бр. Т:135.175
Knife for cutting glass, end of the 20th century,
Inventory No. T: 135.175



Круксова цев, почетак 20. века, Инв. бр. Т:124.12
Crookes tube, early 20th century, Inventory No. T:124.12



Сијалица Едисон са два завојна влакна типа Е 27, 30-32
V, САД, око 1900, Инв. бр. Т:124.8
Edison light bulb with two threaded fibers of type E 27,
30-32 V, USA, around 1900, Inventory No. T:124.8



Пентода Telefunken RL12P35, Немачка, 1943,
Инв. бр. Т:79.42
Pentode Telefunken RL12P35, Germany, 1943,
Inventory No. T:79.42



Живина сијалица високог притиска VTFE 400W,
220V, 50 Hz, тип Е 40, око 1989, Инв. бр. Т:124.6
High pressure mercury vapor lamp VTFE 400W, 220V,
50 Hz, тип Е 40, around 1989, Inventory No. T:124.6



Термометар Faichney inst. Co. САД, око 1950,
Инв. бр. Т:11.7.827
Thermometer Faichney inst. Co. USA, around 1950,
Inventory No. T:11.7.827



Лупа, око 1900, Инв. бр. Т:11.7.95
Magnifying glass, around 1900, Inventory No. T:11.7.95



Микроскоп Carl Zeiss, Немачка, крај 19. века,
Инв. бр. Т:125.1
Microscope Carl Zeiss, Germany, end of the 19th century,
Inventory No. T:125.1



Боца за сифон соду, Србија, средина 20. века,
Инв. бр. Т:135.145
Soda siphon, Serbia, mid-20th century,
Inventory No. T:135.145



Стаклена боца за газирани напитац са кликером,
Сента, средина 20. века, Инв. бр. Т:79.43
Glass soda pop bottle with a marble, Senta,
mid-20th century, Inventory No. T:79.43



Папенов лонац RAPID, прва половина 20. века,
Инв. бр. Т:4.17
Papin's steam cooker RAPID, first half of the
20th century, Inventory No. T:4.17



Радијум еманатор, *Deutsches Radium A.G.*, Немачка, око 1935, Инв. бр. Т:11.1.139
Radium emanator, *Deutsches Radium A.G.*, Germany, circa 1935, Inventory No. T:11.1.139



Колоноскоп *Olympus*, Јапан, око 1990, Инв. бр. Т:11.1.139
Colonoscope *Olympus*, Japan, around 1990, Inventory No. T:11.1.139



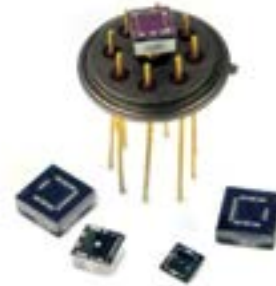
Пробни сет стакала за одређивање диоптрије, Аустрија, 1930-1950, Инв. бр. Т:11.7.906
Trial set of dioptric glasses, Austria, 1930-1950, Inventory No. T: 11.7.906



Апарат за електро-терапију *Vox*, Аустрија, 1930-1950, Инв. бр. Т:11.7.123
Electro-therapy apparatus *Vox*, Austria, 1930-1950, Inventory No.T: 11.7.123



Живина сијалица високог притиска VTFE 400W,
220V, 50 Hz, тип E 40, око 1989, Инв. бр. T:120.32
High pressure mercury vapor lamp VTFE 400W, 220V,
50 Hz, tip E 40, around 1989, Inventory No. T:120.32



Колоноскоп *Olympus*, Јапан, око 1990,
Инв. бр. T:79.1/5
Colonoscope *Olympus*, Japan, around 1990,
Inventory No. T:79.1/5



Термометар Faichney inst. Co. САД, око 1950,
Инв. бр. T:11.1.149
Thermometer Faichney inst. Co. USA, around 1950,
Inventory No. T:11.1.149



Лупа, око 1900, Инв. бр. T:79.44
Magnifying glass, around 1900, Inventory No. T:79.44



Стаклена боца за газирани напитака са кликером,
Сента, средина 20. века, Инв. бр.
Glass soda pop bottle with a marble, Senta,
mid-20th century, Inventory No.



Папенов лонац RAPID, прва половина 20. века,
Инв. бр.
Papin's steam cooker RAPID, first half of the 20th century,
Inventory No.

ЛИТЕРАТУРА LITERATURE

- Бојкић, Мира. *150 година стакларства у Србији*. Јагодина: Завичајни музеј, 1997.
- Васиљевић, Љубиша. „Експлоатација и значај термалних извора у римском периоду на територији Србије“. Докторска дис., Филозофски факултет Универзитета у Београду, 2014.
- Вучо, Никола. *Развој индустрије у Србији у XIX веку*. Београд: Српска академија наука и уметности, 1981.
- Glocker, Winfrid, Helmut A. Schaeffer and Margareta Benz-Zauner. *Specialty Glass*. Verlag: Deutsches Museum, 2012.
- Glocker, Winfrid, Helmut A. Schaeffer, Roland Langfeld and Margareta Benz-Zauner, eds. *Glass: the material*. Verlag: Deutsches Museum, 2012.
- Dayton, John E. (1993): *The discovery of glass, Experiments in Smelting of Rich, Dry Silver Ores, and the Reproduction of Bronze Age-type Cobalt Blue Glass as a Slag*, American School of Prehistoric Research Bulletin 41, Peabody Museum of Archaeology and Ethnology – Harvard University, USA.
- Diels, Hermann. *Predsokratovci: fragmenti, I svezak*. Zagreb: Naprijed 1983.
- Eftimoski, Dimitar. *Proizvodnja i primena staklene vune*. Skoplje: Fabrika stakla i staklene vune, 1957.
- Јеремић, Гордана и Александра Гојгић. *Римске терме у Чачку*. Чачак: Народни музеј, 2012.
- Јовановић, А. „Стакло у праисторији Централног Балкана“. У *Књига о стаклу: зборник радова са симпозијума „150 година стакларства у Србији“*, уредник Бранислав Цветковић, 27-35. Јагодина: Завичајни музеј Јагодина, 2002.
- Крижанец, Милица. *Средњовековно стакло из катедрале светог трипуна у Котору*. Београд: Филозофски факултет, Центар за археолошка истраживања, 2001.
- Lazar, Irena, ur. *Rimljani – steklo, glina, kamen*. Celje: Pokrajinski muzej Celje, Pokrajinski muzej Ptuj, Pokrajinski muzej Maribor, 2004.
- Маринковић, Гордана. „Римско стакло на територији Југославије“. Дипломски рад, Катедра за археологију Филозофског факултета, Универзитета у Београду, 28. 04. 1987.
- Прикић, Владимир. *Технологија равног стакла*. Панчево: Индустрија стакла Панчево, 1980.
- Попов, Чедомир и Драган Станић, ур. *Српска енциклопедија, том II*, Нови Сад – Београд: Матица српска, САНУ, Завод за уџбенике, 2013.
- Rehren, Thilo and Ian Freestone. „Ancient glass: from kaleidoscope to crystal ball“. *Journal of Archaeological Science*, 56 (2015): 233-241.
- Руџић, Мира А. *Римско стакло у Србији*. Београд: Филозофски факултет, Центар за археолошка истраживања, 1994.

Срејовић, Драгослав. *Искусства прошлости. Винча и њена култура*. Београд: Арс Либри и Кремен, 2001. Преузето 10.07.2015. http://www.rastko.rs/arheologija/srejovic/dsrejovic-iskustva_c.html.

Хан, Верена. „Значај налаза стакла на Београдској тврђави“. У *Годишњак града Београда* 25, 169-176. Београд: Култура, 1978.

Хан, Верена. *Три века дубровачког стакларства (XIX – XVI век)*. Београд: Балканолошки институт САНУ, 1981.

Harm, Y. *History of The European Glass Industry*. 2010.

Цермановић-Кузмановић, Александрина. *Римско стакло*. Београд: Научна књига, 1987.

Чубриловић, Васа. *Средњовековно стакло на Балкану, Зборник радова са међународног саветовања оджаног 22. до 24. априла 1974*, уредник Васа Чубриловић. Београд: Балканолошки институт САНУ, 1975.

Преузето 25.06.2022. <http://www.zum.de/whkmla/sp/1011/penseur/penseur2.html>.

Преузето 05.05. 2015. http://www.wileyvch.de/books/sample/3527407766_c01.pdf.

Преузето 24.04.2015.

http://www.vibilia.rs/srpski/izvestaj/0401/konkav_agm25_150605.pdf.

Преузето 03.06.2015. <http://wwwold.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4210/glass.pdf>.

<https://sites.google.com/site/zbirkastaklavorgic/zbirka-collection/9-oktobar--prokuplje>

<https://staklosrbija.rs/film-iz-arhive-fabrike-stakla-9-oktobar-prokuplje/>

<https://staklosrbija.rs/fabrika-stakla-ukras-iz-alibunara/>

<https://www.skvermagazin.com/zbirka-kristal/>

<https://sites.google.com/site/zbirkastaklavorgic/zbirka-collection/kristal-zajecar>

