

---

Monika PETROVIĆ

# OČUVANJE ARHEOLOŠKOG STAKLA

## THE PRESERVATION OF ARCHAEOLOGICAL GLASS

Monika Petrović  
Arheološki muzej Istre  
Carrarina 3, 52100 Pula  
monika.petrovic@pu.t-com.hr

Monika Petrović  
Archaeological Museum of Istria  
Carrarina 3, 52100 Pula  
monika.petrovic@pu.t-com.hr

UDK 748.025.4 : 069.44  
Stručni članak  
Primljeno: 9.7.2014.  
Odobreno: 10.7.2014.

UDK 748.025.4 : 069.44  
Professional paper  
Accepted: July 9, 2014  
Approved: July 10, 2014

*U ovom članku se opisuju načini očuvanja arheološkog stakla, njegov sastav te čimbenici koji utječu na propadanje. Opisuju se postupci očuvanja stakla, od samog iskopavanja, restauratorske obrade (čišćenja, konsolidacije, desalinizacije integracije i nadogradnje,) u konzervatorsko-restauratorskoj radionici do pravilnog pohranjivanja, rukovanja i izlaganja staklenih predmeta.*

*This article describes the preservation of archaeological glass, its composition and the factors that influence its decay. It describes the processes of glass conservation from the moment of excavation, the restoration procedures performed in a conservation-restoration workshop (cleansing, consolidation, desalination, integration and gap-filling), and the proper storage, handling and display of glass objects.*

**KLJUČNE RIJEČI:** očuvanje, sastav arheološkog stakla, degradacija stakla, restauracija stakla, konsolidacija i desalinizacija

**KEYWORDS:** conservation, composition of archaeological glass, glass degradation, glass restoration, consolidation and desalination

## UVOD

**P**reduvjet za bilo koje arheološko iskopavanje jest očekivanje da će se naići na razne arhitektonske strukture i arheološke predmete koji pružaju elemente za bolje razumijevanje povijesti čovječanstva, ljudskih aktivnosti, života i smrti. Stoga su zanimljivi nalazi (arheološki predmeti od keramike, stakla, metala, itd.) koji izlaze na vidjelo. Oni često sadrže dijelove od temeljne važnosti za razumijevanje običaja i samog života čovjeka.

Ti predmeti ili njihovi ulomci zahtijevaju iznimnu pažnju u arheološkoj, restauratorskoj i dokumentacijskoj obradi zbog očuvanja samog nalaza, a ujedno su i dio kulturno-povijesne baštine koju čuvamo i ostavljamo sljedećim generacijama.

## STAKLENI NALAZI NA ARHEOLOŠKOM LOKALITETU

Pri arheološkom istraživanju korisno je uzeti uzorak tla u kojem su pronađeni predmeti od stakla. Analiza uzoraka može nam pomoći pri razumijevanju degradacije staklenog predmeta i utvrđivanju razloga propadanja. U slučaju vrlo krhkih ulomaka, tlo (zemlja) koje ih okružuje može poslužiti kao zaštita pa se tako ulomci čuvaju u prikladnim mikroklimatskim uvjetima dok ne stignu u konzervatorsko-restauratorsku radionicu na daljnju obradu.

Stakleni nalazi pronađeni u mokrim ili vlažnim uvjetima svoju vlagu vrlo brzo gube naglim izlaganjem svjetlu i zraku pa nastaju nepopravljiva oštećenja. Propadanja se događaju i kod nalaza pronađenih u jako suhim uvjetima, jer apsorbiraju previše vlage iz atmosfere. Tijekom arheološkog iskopavanja nalazi su pod utjecajem nekoliko čimbenika, a to su sastav nalaza (staklo), ambijent nalazišta i temperatura.

## ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA PROPADANJE ARHEOLOŠKOG STAKLA

Glavni čimbenici koji utječu na propadanje stakla su unutarnji faktori (sastav stakla) i vanjski faktori (ambijent, temperatura, vlaga i sl.).

### Sastav arheološkog stakla

Staklo je smjesa dobivena topljenjem, stapanjem i hlađenjem (tehnika taljenja stakla) osnovnih sastojaka alkala i silicija. Osnovne sirovine stakla su kvarcni pijesak ( $\text{SiO}_2$ ; silicijev dioksid), soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; natrijev karbonat) i vapnenac ( $\text{CaCO}_3$ ; kalcijev karbonat). Čisti

## INTRODUCTION

**A** prerequisite for any archaeological excavation is an expectation that we will encounter a variety of architectonic structures and archaeological objects which will provide the elements needed for a better understanding of the history of mankind, human activities, life and death. The finds that come to light (archaeological objects made of pottery, glass, metals, etc.) are hence important. They often contain parts that are of fundamental importance for the understanding of the customs of man, and of life itself.

These objects, or fragments thereof, require an exceptional amount of attention whilst they are being archaeologically processed, restored and documented, in order to preserve the find itself, and at the same time they are part of the cultural and historical heritage that we strive to protect and leave to future generations.

## GLASS FINDS ON AN ARCHAEOLOGICAL SITE

During an archaeological excavation it is useful to take a sample of the soil in which the objects made of glass were unearthed. An analysis of the samples can help us to understand the degradation of a glass object, and to determine the reasons for it. In the case of very brittle fragments, the ground (soil) that surrounds them can serve as protection, and the fragments are thus kept in appropriate microclimatic conditions until they arrive in a conservation-restoration workshop for further processing. When suddenly exposed to light and air, glass finds discovered in wet or moist conditions quickly lose their moisture, which leads to irreparable damage. Deteriorations also occur on finds discovered in very dry conditions, because they absorb too much moisture from the atmosphere. During archaeological excavations the finds are influenced by several factors such as their composition (glass), the ambience of the site, and temperature.

## FACTORS THAT INFLUENCE THE DECAY OF ARCHAEOLOGICAL GLASS

The main factors that influence the decay of glass are either internal (glass composition), or external ones (ambience, temperature, moisture and the like), the latter covering the surroundings in which the glass was discovered.

### The composition of archaeological glass

Glass is not a chemical compound, but a mixture obtained by melting, fusing and cooling (glass melting

silicijev dioksid ima talište na 1700 °C pa se, zbog neekonomičnosti taljenja na toj temperaturi, dodaju oksidi (soda ili potaša) koji snižavaju talište na oko 1000 °C, no time staklo postaje topljivo u vodi (vodeno staklo). To se sprječava dodavanjem vapnenca (koji otpuštanjem ugljikovog dioksida prelazi u kalcijev oksid - CaO). Dodavanjem alkalijskih metala (kao što su kalcij ili magnezij) stakleni se proizvod stabilizira. Količina sastojaka iznimno je bitna; previše sode čini staklo korozivnim; s previše kalcija staklo ima tendenciju da devetrificira i postaje osjetljivo na koroziju. Najstabilnije komponente smjese su željezo i aluminij - ti elementi poboljšavaju postojanost stakla i smanjuju njegovu tendenciju da kristalizira tijekom modeliranja. Silicij prisutan u staklenoj smjesi čini 60 do 68 %, postotak alkalnih oksida (tj. sode i potaše) najviše je do 30 % od ukupnog broja, soda je gotovo uvijek prisutna u većoj količini od potaše, a postotak zemnoalkalnih oksida (kalcij i magnezij) je do 10 %. Aluminij je vjerojatno uveden slučajno, a željezo se prirodno nalazi u sastavu kvarcnog pijeska (SiO<sub>2</sub>) (Vinlucchi 2000, 5).

Kvalitativna i kvantitativna analiza daje podatke koji omogućuju dataciju proizvodnje staklenih nalaza te provenijenciju predmeta. U tabeli klasifikacije sastava europskog stakla I. do XI. stoljeća, po sastavu možemo zaključiti da je antičko staklo stabilnije od srednjovjekovnog (sl. 1).

technique) the basic ingredients, alkalis and silicon. The basic raw materials of glass are quartz sand (SiO<sub>2</sub>; silica), soda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; sodium carbonate), and limestone (CaCO<sub>3</sub>; calcium carbonate). Pure silicon dioxide has a melting point at 1,700 °C, which means that melting at this temperature is not economically viable. Thus, oxides (soda or potash) are added, which lower the melting point to approximately 1,000 °C, but this results in glass becoming soluble in water (water glass), which can be prevented by the addition of limestone (which by releasing carbon dioxide transforms into calcium oxide - CaO). By adding alkali metals (such as calcium or magnesium), glass products are stabilized. The amount of ingredients is extremely important; too much soda makes glass corrosive; with too much calcium glass tends to devitrify and becomes susceptible to corrosion. The most stable components of the mixture are iron and aluminum; these elements enhance the stability of glass and reduce its tendency to crystallize during modeling. Silicon present in the glass mixture makes for 60-68% of it, alkali oxides (i.e., soda and potash) up to 30%, soda almost always being present in greater quantities with respect to potash; the percentage of alkaline earth oxides (calcium and magnesium) is up to 10%. Aluminum was probably introduced accidentally with the other components, while iron occurs naturally in the composition of silica sand (SiO<sub>2</sub>) (Vinlucchi 2000, 5). Qualitative and quantitative analyses provide data that facilitate the dating of glass finds, and shed light on the provenance of these objects. In the table that classifies the composition of European glass from the 1<sup>st</sup> to the 11<sup>th</sup> century, based on composition we can conclude that ancient glass is more stable with respect to medieval (Fig. 1).

Tipologija	Geografsko područje	Matrica	Porijeklo pijeska i dodatka za taljenje	Osobitost
Rimsko staklo iz 1. - 4. stoljeća poslije Krista	Meditersko područje: obala Sirije, Egipat, Italija, zapadne provincije	Natrijev kalcijev silikat	Vapnenački pijesak s obala rijeke Belus; natron iz Wadi el-Natrona, Egipat	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Homogenost smjese</li> <li>· Niski MgO</li> <li>· Upotrijebljeno bjelilo mangan (MnO 0,4-0,7%)</li> </ul>
Rimsko staklo izbijeljeno antimonom (6. stoljeće prije Krista/4. stoljeće poslije Krista)	Meditersko područje: Grčka, Mala Azija i Perzija između 5. i 4. stoljeća prije Krista, zatim istočni Eufrat	Natrijev kalcijev silikat	Natron iz Wadi el-Natrona ili biljke s natrijem	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kompozicijske koncentracije slične prethodnoj tipologiji</li> <li>· Upotrijebljeno bjelilo antimon, u visokim koncentracijama (Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1%)</li> <li>· Niski MgO</li> </ul>

Tipologija	Geografsko područje	Matrica	Porijeklo pijeska i dodatka za taljenje	Osobitost
Rano-srednjovjekovno staklo	Meditersko područje između 5. i 10. stoljeća poslije Krista: Italija, Kartaga.	Natrijev kalcijev silikat	Vapnenački pijesak vjerojatno sa obala rijeke Belus, te pretežno natron iz Wadi el-Natruna	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recikliranje stakla</li> <li>Veće koncentracije kalija i magnezija koje upućuju na izvor natrija različit od Wadi el-Natruna</li> <li>Vjerojatna neovisnost od rimskog proizvodnog recepta</li> </ul>
Rano-srednjovjekovno staklo	Područje sjeverno-centralne Europe: Francuska (Dorestad), Engleska (Fishergate)	Natrijev kalcijev silikat	Pepeo biljki koje sadrže natrij	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recikliranje stakla</li> <li>Veće koncentracije kalija i magnezija koje upućuju na izvor natrija različit od Wadi el-Natruna</li> <li>Vjerojatna neovisnost od rimskog proizvodnog recepta</li> </ul>
Srednjovjekovno staklo	Područje sjeverne Europe Njemačka	Rano Woodash staklo 800.-1000. poslije Krista Kalijev kalcijev silikat	Pepeo od smreke te kora od bukve	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visoki sadržaj MgO</li> <li>Uvođenje natrijeva stakla (cullet) u polaznu smjesu</li> </ul>
Srednjovjekovno staklo	Područje sjeverne Europe Njemačka	Woodash staklo 1000.-1400. poslije Krista Kalijev kalcijev silikat	Debla bukve te kvarcni pijesak sa različitih mjesta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Smanjenje <math>\text{SiO}_2</math>, <math>\text{Na}_2\text{O}</math> te povećanje <math>\text{K}_2\text{O}</math></li> </ul>
Srednjovjekovno staklo	Područje sjeverne Europe Njemačka	Woodash-lead staklo 1100.-1400. poslije Krista Kalijev kalcijev silikat	Šumski pepeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dodavanje olovnog oksida proizvedenog u srednjovjekovnim srebro-prerađivačkim radionicama</li> </ul>

Sl. 1 Tipologija stakla europskog područja od I. do XI. st. / Podaci preuzeti iz knjige C. Fiori et al., I colori del vetro antico, Padova 2004., str. 86-87

Typology	Geographic area	Matrix	Source of sand and fusing additive	Particularity
Roman glass from the 1 <sup>st</sup> - 4 <sup>th</sup> c. CE	Mediterranean area: coast of Syria, Egypt, Italy, western provinces	Sodium calcium silicate	Calcareous sand from the shores of the river Belus; natron from Wadi el-Natrun, Egypt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compositional homogeneity</li> <li>Low MgO</li> <li>Employed whitener manganese (<math>\text{MnO}</math> 0.4-0.7%)</li> </ul>
Roman glass whitened with antimony (6 <sup>th</sup> century BCE/4 <sup>th</sup> century CE)	Mediterranean area: Greece, Asia Minor and Persia between the 5 <sup>th</sup> and 4 <sup>th</sup> century BCE, subsequently eastern Eufrates	Sodium calcium silicate	Natron from Wadi el-Natrun or plants with sodium	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compositional concentrations similar to previous typology</li> <li>Employed whitener antimony, in high concentrations (<math>\text{Sb}_2\text{O}_5</math> 1%)</li> <li>Low MgO</li> </ul>

Typology	Geographic area	Matrix	Source of sand and fusing additive	Particularity
Early medieval glass	Mediterranean area between the 5 <sup>th</sup> and 10 <sup>th</sup> century CE: Italy Carthage.	Sodium calcium silicate	Calcareous sand probably from the shores of the river Belus, and prevalence of natron from Wadi el-Natron	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Glass recycling</li> <li>· Larger concentrations of potassium and magnesium, which indicate a sodium source that differs from Wadi el-Natron</li> <li>· Probable independence from the Roman production recipe</li> </ul>
Early medieval glass	Central-northern European area: France (Dorestad), England (Fishergate)	Sodium calcium silicate	Ashes from plants containing sodium	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Glass recycling</li> <li>· Larger concentrations of potassium and magnesium, which indicate a sodium source that differs from Wadi el-Natron</li> <li>· Probable independence from the Roman production recipe</li> </ul>
Medieval glass	Northern European area Germany	Early woodash glass 800-1000 CE Potassium calcium silicate	Spruce ashes and beech bark	<ul style="list-style-type: none"> <li>· High MgO</li> <li>· Introduction of sodium glass (cullet) to the starting mixture</li> </ul>
Medieval glass	Northern European area Germany	Woodash glass 1000-1400 CE Potassium calcium silicate	Beech logs and quartz sand of different provenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Decrease of SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O and increase of K<sub>2</sub>O</li> </ul>
Medieval glass	Northern European area Germany	Woodash- lead glass 1100-1400 CE Potassium calcium silicate	Woodland ashes	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Addition of lead oxide produced in medieval argentiferous metallurgy</li> </ul>

Fig. 1 Typology of glass - on the territory of Europe from the 1st to the 11th century. (The data are from the book titled *I colori del vetro antico* by C. Fiori et al., Padova 2004., pg. 86-87).

Stakleni nalazi s arheoloških istraživanja pokazuju različite oblike propadanja: neprozirnost, lomljivost, irizaciju, devetrifikaciju, napukline i ogrebotine. Neprozirnost je najčešći tip propadanja, a manifestira se kao gubitak transparentnosti.

Pojam “devetrifikacija” označava prisutnost mikropukotina u svim smjerovima, a te pukotine zapravo dovode do lomljenja predmeta. Uzrok može biti brzo hlađenje stakla u procesu obrade (fuzije), ali i dehidracija površinskog sloja stakla. Ustvari, formiranje hidrata na površinskom sloju, koji se zatim podvrgava dehidraciji, rezultira smanjenjem volumena i pojavom fraktura, a neke ostaju na površini predmeta te se mogu proširiti i u dubinu samog predmeta (Fiore 2006, 69-76) (sl. 2).

Glass finds unearthed during archaeological excavations show various forms of degradation: opacity, fragility, irisation, devitrification, cracking and scratches. Opacity is the most common type of decay; it manifests itself as loss of transparency. The term devitrification indicates the presence of micro-cracks that run in all directions, and it is these cracks that actually lead to the breakage of objects. The cause for this can be found in the rapid cooling of glass during the production process (fusion), and dehydration of the surface layer of glass. In fact, the formation of hydrates in the surface layer that is then subjected to dehydration, results in a reduction of volume and appearance of fractures, some of which remain on the surface of the object but can nonetheless extend deeper into it (Fiore 2006, 69-76) (Fig. 2).



Sl. 2 Ulomak stakla u procesu devitrifikacije / fotografija preuzeta iz knjige Š. Perović, *Antičko staklo: restauracija*

Fig. 2 A glass fragment in the process of devitrification. (The photograph is from the book titled "Antičko staklo: restauracija" by Š. Perović)

Irizacija je proces oslobađanja alkala uzrokovan promjenama vrijednosti u zraku (vlažnost) na mjestu na kojem se arheološki predmet čuva. Naime, upijanje vode glavni je pokretač alkala prema površini stakla, koji ondje stvaraju tanke površinske slojeve, podložne listanju i ljuštenju. Prepoznajemo ih kao oblike koji se prelijevaju u duginim bojama, odnosno niz takvih slojeva, ili kao debelu neprozirnu koru bijele boje. Na nekim mjestima ta kora zna otpasti, a ispod nje se vidi izdubljena površina stakla (Perović 2008, 15) (sl. 3).

## RESTAURATORSKA OBRADA ARHEOLOŠKOG STAKLA U KONZERVATORSKO- RESTAURATORSKOJ RADIONICI

U konzervatorsko–restauratorskoj radionici slijede se opća pravila za očuvanje staklenih ulomaka ili predmeta, koja vrijede za svaku obnovu, a svaka izvedena radnja (čišćenje, konsolidacija, desalinizacija, integriranje i nadogradnja) detaljno je dokumentirana (opisana u restauratorskim karticama te fotografirana u fazama rada). Svaki se predmet ili ulomak zasebno tretira, u skladu s njegovim stanjem, i to postupno do stabilnosti.

### Čišćenje

Prvi tretman očuvanja arheoloških staklenih nalaza je odstranjivanje nečistoća.

Stakleni se nalazi najprije očiste mekanom PVC četkicom da se uklone onečišćenja (zemlja i prašina). Tvrđokorne naslage nečistoće moguće je ukloniti ispiranjem u kupki sastavljenoj od 50 % alkohola i 50 % demineralizirane vode (sl. 4 i 5).

Irization is a process whereby alkalis are released. It is caused by changes in the values of air (humidity) present where the archaeological object is kept. Water absorption is the main factor that drives alkalis towards the surface of the glass, which subsequently create thin surface layers that are prone to laminating and peeling. We recognize them as forms that go into one another in the colors of the rainbow, i.e., a series of such layers, or else they constitute a thick, opaque crust, white in color. The crust may fall off in some places, exposing thus the hollowed surface of the glass underneath (Perović 2008, 15) (Fig. 3).



Sl. 3 Staklo u procesu irizacije

Fig. 3 Glass in the process of irization

## THE PROCESS OF RESTORATION OF ARCHAEOLOGICAL GLASS IN A CONSERVATION-RESTORATION WORKSHOP

In a conservation–restoration workshop we follow the general rules for preservation of glass fragments or



Sl. 4 Stakleni balsamariji prije čišćenja

Fig. 4 Glass balsamaria before cleansing



Sl. 5 Stakleni ulomci izdvojeni u cjeline

Fig. 5 Glass fragments forming a whole

## Konsolidiranje

Konsolidacija ili učvršćivanje “bolesnog” stakla izravna je aktivnost na i u predmetu s ciljem stabiliziranja i usporavanja njegova daljnjeg propadanja.

Konsolidacija na arheološkom staklu izvodi se kada je došlo do većih oštećenja (krhkost, ljuštenje slojeva), odnosno oštećenja uzrokovanih utjecajem vanjskih (vlaga, temperatura) i unutarnjih (sastav stakla) faktora, tj. kada je narušena strukturalna stabilnost staklenog ulomaka ili predmeta. Također, valja napomenuti da je reverzibilnost u primjeni konsolidanata diskutabilna zbog zahtjevnosti reverzibilnog postupka te zbog krhkosti staklenih nalaza. Konsolidacija se provodi u slučajevima u kojima je to jedini način da se spasi stakleni nalaz. Konsolidant se sastoji od 10 do 15-postotne otopine Paraloida B-72 u acetonu. Sloj konsolidanta treba pažljivo nanijeti kistom na stakleni nalaz.

## Desalinizacija

Postupak desalinizacije provodi se na staklenim nalazima koji su pronađeni pri podvodnim arheološkim istraživanjima. Stakleni predmeti potopu se u zatvorenu posudu s vodom (destiliranom ili deioniziranom). Voda se zatim mijenja u pravilnim intervalima, a pri svakom mijenjanju uzimaju se uzorci vode za testiranje. Upotrebljava se vodootporni instrument za mjerenje vodljivosti otopina. Tijekom desalinizacije s površine staklenih nalaza otpadaju nakupine nečistoća

objects, which are valid for every renewal, and each performed step (cleansing, consolidation, desalination, integration and gap-filling) is documented in detail (described in restoration cards and photographed as the work progresses in stages). Each object or fragment is treated separately, in accordance with its condition, until we gradually reach stability.

## Cleansing

During the preservation process for archaeological finds made of glass, the first treatment is always the removal of dirt. Glass finds are first cleaned with a soft PVC brush in order to remove dirt (earth and dust). Stubborn dirt deposits can be removed by washing in a solution comprising 50% alcohol and 50% demineralized water (Fig. 4 and Fig. 5).

## Consolidation

Consolidation or the fastening of “sick” glass is a direct activity on and in the object, whose goal is to stabilize it and slow further decay. Consolidation of archaeological glass is performed when major damages occur (fragility, peeling of layers), or as a result of damage caused by external (humidity, temperature) and internal (glass composition) factors, i.e., when the structural stability of a glass fragment or object is compromised. It should also be noted that reversibility in the application of consolidants is questionable due to the complex nature of the reversibility process, and because of the fragility

(mikroorganizmi, mulj, kamenčići i sl.). Proces desalinizacije traje sve dok koncentracija klorida nije svedena na minimum. Po završetku desalinizacije stakleni se predmeti izvade iz vode te ih se ostavi da se osuše na zraku.

### Integracija / lijepljenje

Nakon preliminarnog čišćenja stakleni se ulomci izdvajaju u cjeline. Prije rekonstrukcije sačuvanih ulomaka iznimno je bitan izbor vezivnog sredstva jer je potrebno zadovoljiti uvjete reverzibilnosti postupaka i upotrijebljenog materijala. Osim toga, treba voditi računa o neutralnosti u odnosu prema izvornoj površini, konstantnosti fizičkih i vizualnih karakteristika tijekom vremena i tijekom izlaganja različitim zračenjima te o niskoj viskoznosti ljepljiva potrebnoj za kapilarno prodiranje u spojeve (Perović 2008, 16).



Sl. 6 Staklena boca integrirana je pomoću krep trake  
Fig. 6 A glass bottle integrated with the help of crepe adhesive tape

of finds made of glass. Consolidation is performed in cases where it represents the only way to save a glass find. A consolidant is composed of a 10–15 % solution of Paraloid B-72 in acetone. A layer of consolidants should be carefully applied with a brush onto the glass find.

### Desalination

The process of desalination is performed on glass finds that were discovered as a result of underwater archaeological explorations. The procedure is carried out by immersing glass objects into a closed container filled with water (either distilled or deionized). The water is then exchanged at regular intervals, and samples of this exchanged water are taken and analyzed. A waterproof instrument is used for measuring the conductivity of a solution. During the desalination process, clusters of dirt fall off the surface of a glass object (microorganisms, mud, gravel, and the like). The desalination process lasts until the concentration of chloride is reduced to a minimum. Upon completion of the desalination process, the glass objects are removed from the water and they are left to dry by exposure to air.

### Integration / Bonding

After a preliminary cleansing, the glass fragments are then separated into wholes. The proper choice of adhesive before the recombination of the preserved fragments is of paramount importance because it is imperative to meet both the conditions imposed by the reversibility processes, and those associated with the materials used.



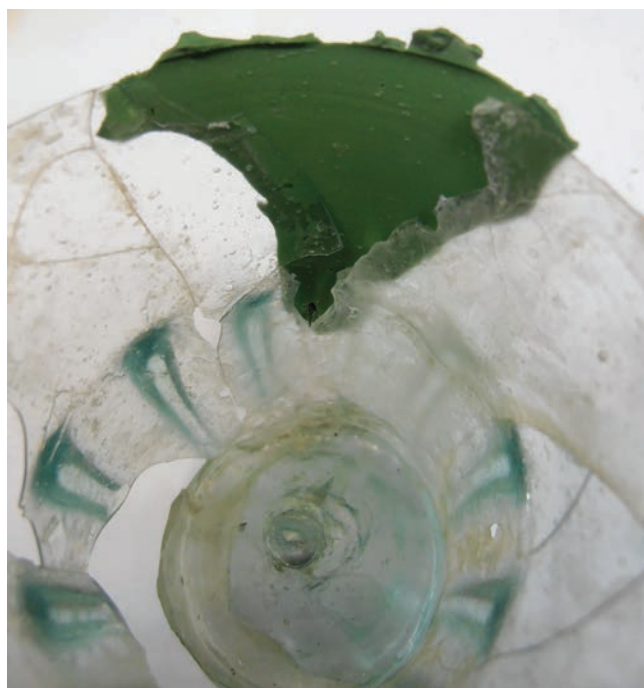
Sl. 7 Staklena čaša lijepljena je pomoću mesinganih klanfica  
Fig. 7 A drinking glass that has been glued together using brass clasps



Privremeno fiksiranje ulomaka izvodi se tankom ljepljivom krep-trakom. S vanjske strane ulomaka lijepljenjem cijanoakrilnim ljepljivom pričvršćuju su dodatne pomoćne klamfe od mesingane žice. Nakon što su ulomci spojeni ovim postupkom, ljepljiva krep-traka se ukloni. Privremenim je učvršćivanjem staklenom predmetu vraćena kompaktnost i oblik. Uz pomoć klamfi svi su sačuvani ulomci učvršćeni te je na spojeve loma nanoseno dvokomponentno epoksidno ljepljivo (sl. 6 i 7).

### Nadogradnje

Nakon 24 sata sušenja, stakleni je predmet mehanički očišćen od viška ljepljiva uz pomoć skalpela, zatim su polako mehanički i uz pomoć obloga acetona odstranjene metalne klamfice te je laganim tapkanjem vatom natopljenom u etanolu staklena površina do kraja očišćena. Prije izrade nadogradnje treba učiniti probu; izrađuje se silikonski otisak/kalup s kuta predmeta (kalup je izrađen u jednom komadu, radi lakšeg baratanja). Proba služi kao pokazatelj kakva će biti nadogradnja (izrađuje se u slučaju nijansiranog stakla ili onog s gravurom, dekoracijom i sl.). Slijedi izrada nadogradnje nedostajućih dijelova. Izrađuju se vanjski i unutarnji otisak dvokomponentnim vinil-polisiloksanskim silikonom s originala. Kalup se zatim pažljivo smješta na odgovarajuću poziciju tik uz originalno staklo te se zalijepi cijanoakrilnim ljepljivom na nedostajući dio predmeta (sl. 8).



Sl. 8 Pozicioniranje vanjskog silikonskog kalupa

Fig. 8 Positioning the exterior silicone mold

In addition, we should take account of the neutrality with respect to the original surface, the constant nature of physical and visual characteristics over a period of time and during exposure to different radiations, and the low viscosity of the adhesive, which is required for a capillary penetration into the joints (Perović 2008, 16). The temporary fixation of fragments is carried out with the help of a thin, crepe adhesive tape. On the outer side of the fragments, additional auxiliary clamps made of brass wire are attached with the help of a cyanoacrylate adhesive. Once the fragments are connected by this method, the crepe adhesive tape is removed. With this temporary fastening, the glass object regained its compactness and shape. With the help of clamps, we fastened all preserved fragments, and we proceeded by applying a bi-component epoxy adhesive onto the joints of the fracture (Fig. 6 and Fig. 7).

### Gap-filling

Mechanical cleansing follows a 24-hour period of drying, in order to remove any excess adhesive, for which a scalpel is employed. After that we proceed with a slow mechanical process, whereby with the help of pads soaked in acetone we remove the small metal clamps, and then by tapping the glass surface gently with absorbent cotton drenched in ethanol, we obtain a thoroughly cleansed glass surface. Before filling any gaps it is necessary to perform a test; we create a silicone impression/mold from a corner of the object (the mold is made in one piece for ease of handling). This test serves as an indicator of how a fill-in will fit into the whole (a test is performed in cases when we deal with nuanced glass, or glass that has engravings, decorations, and the like). The next step comprises the gap-filling process for the missing parts. Both an outer and an inner impression are made from the original, using a bi-component vinyl-polysiloxane silicone. The mold is then carefully placed in the proper position close to the original glass, and glued on the missing section of the objects by using cyanoacrylic adhesive (Fig. 8). Perforations are then made on the appropriate spots of the outer mold to pour the bi-component epoxy glue, as well as a breather (one or more of them, according to need). PVC straws are then placed on these openings. The object is stabilized in an appropriate position in a container filled with sand, and then the bi-component epoxy glue is poured through the lowest-placed straw. After a 24-hour gap-fill drying period, we remove the silicone mold, and eliminate the excess silicone by using cotton swabs soaked in acetone, as well as mechanically, by using a scalpel. The higher the quality of the bonding process (integration), the more the gap-fill will resemble

Na odgovarajućim mjestima vanjskog kalupa naprave se perforacije za lijevanje dvokomponentnog epoksidnog ljepila te odušak za zrak (po potrebi jedan ili više njih). Zatim se na otvore postavljaju PVC slamke. Predmet se stabilizira u odgovarajuću poziciju u posudi s pijeskom, a zatim se u najnižu slamku lijeva dvokomponentno epoksidno ljepilo. Nakon 24 sata sušenja nadogradnje, silikonski se kalup uklanja, a višak se odstranjuje vatiranim štapićima natopljenima u acetonu te mehanički, uz pomoć skalpela. Što je predmet bolje zalijepljen (integriran), to će nadogradnja biti vjernija originalu. Prilikom nadogradnje treba obratiti pozornost na vizualnu uočljivost razlike izvornog od rekonstruiranog (nadograđenog) dijela, što se postiže različitim nijansiranjem ili drugačijom prozirnošću nadogradnje (sl. 9).

## POHRANJIVANJE, RUKOVANJE I IZLAGANJE STAKLENIH ARHEOLOŠKIH PREDMETA

### Pohranjivanje

Čuvaonice (depoi) za arheološke nalaze moraju biti izvan bilo kakve opasnosti od poplava, onečišćenja zraka, vibracija i jakih temperaturnih promjena. Oscilacija vrijednosti relativne vlage jedan je od glavnih uzroka propadanja nalaza u čuvaonicama, a drugi je loše rukovanje. Od svih arheoloških nalaza staklo je najosjetljivije na vlagu, zajedno s metalom (bakrene legure), obrađenim koštanim predmetima, drvom, kožom i tekstilom.

Relativna vlažnost u čuvaonicama trebala bi biti između 45 i 60 %, a temperatura zraka od 10 do 25 °C, bez velikih oscilacija. Nalazi se moraju pohraniti u kutije, zbog izbjegavanja bilo kakvog kontakta s prašinom i Suncem. U idealnom prostoru varijabla relativne vlage morala bi biti između 45 % i 55 %, a temperaturne oscilacije minimalne te održive između 15 i 25 °C. Prostorija bi trebala biti zamračena (smanjiti ili eliminirati prodor Sunčeve svjetlosti), dok bi umjetno svjetlo trebalo filtrirati da bi se uklonile ultraljubičaste (UV) zrake. Kada postoje dobri uvjeti za pohranu stabilnih staklenih nalaza, stakleni se predmeti omotaju u bezkiselinski papir. Stakleni se ulomci (izdvojeni u manje skupine) mogu čuvati u zatvorenim, sitno perforiranim najlonskim vrećicama, vertikalno položeni, a zatim se ambalažiraju spužvom te pohranjuju u kartonske ili plastične kutije.

U nepogodnim uvjetima stakleni se nalazi trebaju čuvati u hermetički zatvorenim plastičnim kutijama. Radi bolje zaštite u kutije se umetne silika-gel (amorfni silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>), higroskopska tvar koja upija vodu. Dodaje se količina silika-gela koja je jednaka

the original. When filling gaps, particular attention should be paid to the visual conspicuity of the differences between the original and reconstructed (filled-in) sections, which can be accomplished by using different nuances, or different grades of transparency (Fig. 9).



Sl. 9 Stakleni predmet pozicioniran u posudi s pijeskom

Fig. 9 A glass object that has been positioned in a vessel containing sand

## STORAGE, HANDLING AND DISPLAY OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS MADE OF GLASS

### Storage

The depots used to store archaeological finds must not be in any danger of flooding, air pollution, vibrations and severe temperature changes. Oscillation in the values of relative humidity is one of the main causes of decay of the finds in depots, the other being inappropriate handling. Of all archaeological finds, glass is most sensitive to humidity, together with metals (copper alloys), carved bone objects, wood, leather and textiles. Relative humidity in depots should be somewhere between 45 and 60%, and air temperature in the range of 10–25 °C, without major oscillations. The finds must be stored in boxes in order to avoid any contacts with either dust or sun. In an ideal environment, the variable of relative humidity should be between 45% and 55%, while temperature oscillations should be reduced to a

težini staklenih nalaza. U takvim uvjetima od izrazite je važnosti redovita kontrola predmeta (sl. 10).



Sl. 10 Stakleni predmet pohranjen u odgovarajuću kutiju / fotografija preuzeta iz knjige "Conservation and restoration of glass" S. Davison

Fig. 10 A glass object that has been deposited into an appropriate box. (The photograph is from the book titled "Conservation and Restoration of Glass" by S. Davison).

## Rukovanje

Stakleni su predmeti općenito krhki, lako se oštećuju ili razbiju neprikladnim rukovanjem.

Osjetljivi su na nagle promjene temperature, čak i od topline dlanova. Predmeti od stakla vrlo su lagani pa se lako mogu prevrnuti. Preporučuje se rukovanje u pamučnim rukavicama; predmet bi trebalo obuhvatiti cijelim dlanom jedne ruke te poduprijeti dno predmeta drugom rukom, kako bi ga se zaštitilo pri nošenju. Nikada se ne nosi više od jednoga staklenog predmeta, osim ako nisu u kartonskoj ili plastičnoj kutiji ili košari. Također, pojedinačni predmeti trebaju biti dobro obloženi bezkiselinskim papirom i spužvom (sl. 11).

## Izlaganje

Stakleni predmeti osjetljivi su nalazi te je prije samog izlaganja potrebno stvoriti prikladne uvjete. U izložbenim prostorijama propadanja i oštećenja nalaza uzrokovana su promjenljivim uvjetima pa bi te promjene trebalo pokušati smanjiti na minimum. Mjere zaštite od propadanja su kontrolirana i konstantna relativna vlažnost zraka između 45 i 55 % te temperatura održiva između 15 i 25 °C. Nadziranje i mjerenja provode se termohigrometrom, koji bilježi temperaturu i razinu vlage u zraku, a potom se izrađuju tjedni ili mjesečni grafikoni. Poznato je da je temperatura povezana s relativnom vlažnošću zraka jer se moć zraka da zadrži vlagu povećava s porastom temperature, i obratno.

Reguliranje klimatskih uvjeta može se postići uz pomoć klimatizacije izložbenih prostorija ili namjenskih uređaja ovlaživača (zbog suhog zraka) odnosno sušača (zbog

minimum and kept between 15 and 25 °C. The premises should be darkened (penetration of sunlight should be reduced or eliminated), while artificial light should be filtered in order to remove ultraviolet (UV) rays. When we have good conditions for the storage of stable glass finds, glass objects should be wrapped in acid-free paper, while glass fragments (separated into smaller groups) should be kept in closed, finely perforated nylon bags, placed vertically, then packed with protective sponge around them and stored into cardboard or plastic boxes. In unfavorable conditions, glass finds should be kept in hermetically closed plastic boxes. For added protection we also include silica gel in these boxes (amorphous silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ), a hygroscopic substance that absorbs water). The amount of silica gel added is equal to the weight of the glass finds. In such conditions it is of paramount importance to inspect the finds on a regular basis (Fig. 10).

## Handling

Glass objects are generally fragile, and as such they can be easily damaged or broken as a result of inappropriate handling. They are sensitive to sudden changes in temperature, even to the warmth of the palms. Glass objects are very lightweight and can be easily tipped over. The use of cotton gloves is recommended for handling; the object should be embraced with the entire palm of one hand, and supported at the base with the other hand in order to protect it during handling. We should never carry more than one glass item at a time, unless they are in a cardboard or plastic box or in a basket, with individual objects well lined with acid-free paper and protective sponge (Fig. 11).



Sl. 11 Rukovanje staklenim predmetima oprezno u pvc ili pamučnim rukavicama

Fig. 11 Carefully handling glass objects, using PVC or cotton gloves

velike vlažnosti zraka), koji se postavljaju prema potrebi. Također, prije izlaganja staklenih predmeta svi izvori topline (uključujući i svjetla) moraju biti pažljivo zaklonjeni ili regulirani, jer bi toplina mogla potaknuti propadanje. Svaka svjetlost, slaba ili jaka, uzrokuje oštećenja; razlika je samo u stupnju oštećenja. Jačina svjetlosti mjeri se svjetlomjerom, u luksima. Najveća osvjetljenost koja se preporuča za staklene predmete je između 50 i 70 luksa. Umjetno svjetlo (vitrijska svjetla ili reflektori usmjereni na predmete) treba filtrirati da bi se uklonile ultraljubičaste (UV) zrake koje uzrokuju fotodegradaciju. Oštećenje djelovanjem svjetlosti (fotodegradacija) nikada se ne može potpuno eliminirati, no može se smanjiti ograničenjem vremena osvjetljenja predmeta na minimum, osvjetljenošću na razinu potrebnu za ugodno promatranje te eliminacijom ultraljubičastog (UV) zračenja. Razina tog zračenja mjeri se UV monitorom koji mjeri postotak UV zračenja koje pada na određeni predmet. Filtri koji sadrže spoj što upija UV svjetlost postavljaju se između svjetlosnog izvora i predmeta koji treba zaštititi. Postoji više oblika takvih filtara: UV filtar, akrilni ili polikarbonatni listovi, UV premazi koji se nanese na površine te stvaraju nevidljiv film, polieterski filmovi koje proizvođači priljepljuju na staklo vitrina ili prozorsko staklo te filtarske navlake za neonske svjetiljke ("Osnove zaštite i izlaganja muzejskih zbirki", 1993.) (sl. 12).



Sl. 12 Stakleni predmeti Arheološkog muzeja Istre na izložbi Antičko staklo Hrvatske - izbor u Muzeju antičkog stakla Zadar 2009.

Fig. 12 Glass objects from the Archaeological Museum of Istria at the exhibition Antičko staklo Hrvatske - izbor, held at the Museum of Ancient Glass, Zadar 2009.

## Display

Glass objects are sensitive finds, which means that we should create appropriate conditions prior to their display. The decay and damage of finds displayed in exhibition halls are primarily the result of changing conditions; hence the need to reduce these changes to a minimum. The protective measures that shield the objects on display from decay include constant and controlled relative air humidity between 45 and 55%, and temperature in the range of 15 to 25 °C. These conditions are monitored and measured with a thermo hygrometer that records temperature and humidity levels in the air on weekly or monthly charts. It is known that temperature is associated with relative air humidity because the ability of air to hold moisture increases with increasing temperature and vice versa. Climatic conditions in the exhibition halls can be regulated with air conditioning, or, humidifiers (for dry-air environments), or, driers (for high humidity environments), all of which are placed according to need. Likewise, before any display of glass objects, all heat sources (including light fixtures) must be carefully screened or otherwise regulated because the heat emanating from them could trigger a process of decay. Light in general, be it weak or strong, causes damage; the only difference being in the degree of damage. Light intensity is measured in luxes, using light meters. The highest light intensity recommended for glass objects is in the range between 50 and 70 luxes. Artificial light (lights in display cases, or spotlights focused on objects) should be filtered in order to remove the ultraviolet (UV) rays that cause photo-degradation. Damage resulting from light (photo-degradation) can never be completely eliminated; however, we can reduce it by limiting to a minimum the amount of time an object is illuminated, by regulating light intensity so as to ensure pleasant viewing conditions, and by eliminating ultraviolet (UV) radiation. The level of UV radiation is measured with the help of an UV monitor that measures the percentage of UV radiation that falls on a certain object. Filters containing a compound that absorbs UV light are placed between the light source and the object to be protected. These filters come in several forms: UV filters, acrylic or polycarbonate sheets, UV coatings that are applied to a surface to create an invisible film, polyester films that manufacturers apply onto the glass panes of showcases, or onto window panes, and filter covers for fluorescent lamps (Basic guidelines for the protection and presentation of museum collections, 1993) (Fig. 12).

## ZAKLJUČAK

Stakleni nalazi pronađeni prilikom arheološkog istraživanja pod utjecajem su niza vanjskih i unutarnjih čimbenika, kao što su ambijent nalazišta, temperatura, vlažnost, sastav, te su stoga skloni propadanju. Vrste propadanja ili degradacije stakla su neprozirnost, lomljivost, irizacija, devitrifikacija, napukline i ogrebotine. Pažljiva i stručna restauratorska obrada (čišćenje, integracije i nadogradnje) odgovarajućim i reverzibilnim materijalom udahnuje novi život arheološkom staklu. Svaki stakleni predmet ili ulomak treba tretirati savjesno, po općim pravilima restauracije, te ih u skladu s njihovim stanjem propadanja obraditi do stabilnosti. Na predmetima pronađenim prilikom podvodnih arheoloških istraživanja treba prije restauratorske obrade provesti postupak desalinizacije. Nakon restauratorske obrade u konzervatorsko-restauratorskoj radionici staklene je nalaze potrebno pohraniti u odgovarajuće uvjete u čuvaonicama ili izložbenim prostorima. Uz savjesno rukovanje nužna je redovita kontrola relativne vlažnosti, koja mora biti stabilna, između 45 i 55 %, temperatura održiva između 15 i 25 °C te osvjetljenje između 50 i 70 luksa, bez velikih oscilacija.

Očuvanje arheološkog stakla moguće je stručnom restauratorskom obradom, savjesnim rukovanjem, pohranjivanjem te izlaganjem u kontroliranim i odgovarajućim uvjetima.

## CONCLUSION

Glass finds unearthed in the course of archaeological explorations are influenced by some external and internal factors such as: site ambience, temperature, humidity and composition, and are therefore prone to decay. The types of decay or degradation of glass are opacity, fragility, irisation, devitrification, cracks and scratches. A careful and expert restoration of glass (cleansing, integration and gap-filling), using appropriate materials and respecting the principle of reversibility, breathes new life into archaeological glass. Every glass object or fragment should be treated conscientiously, fully respecting the general principles of restoration, and depending on their state of decay, they should be processed until a state of stability is achieved. A process of desalinization prior to restoration is needed for objects that were discovered in the course of underwater archaeological explorations. After a process of restoration in the conservation-restoration workshop, the glass finds have to be deposited under appropriate conditions, either in storage depots or exhibition halls. Besides proper handling, regular controls of humidity are required, which should be stable, in the range of 45 to 55%. There should also be a sustained temperature between 15 and 25 °C, and a lighting intensity somewhere between 50 and 70 luxes, without large oscillations. The preservation of archaeological glass is possible with professional restoration techniques, conscientious handling, and by storing and displaying it under appropriate, controlled conditions.

## **LITERATURA / LITERATURE**

DAVISON, S., 2006. Conservation and restoration of glass. Oxford, The Conservation Studio in Thame

FIORI, C., 2006. I materiali dei beni culturali / Caratteristiche, classificazione, degrado. Roma, Aracne editrice

FIORI, C., VANDINI, M., MAZZOTTI, V., 2004. I colori del vetro antico: il vetro musivo bizantino. Saonara, il Prato

LOSOS, L., 1974. Nove metode konzervacije muzejskih zbirki. Zagreb, MDC

KOOB P. S., 2006. Conservation and care of glass objects. New York, The Corning Museum of Glass, Corning

Osnove zaštite i izlaganja muzejskih zbirki, 1993. Zagreb, Muzejski dokumentacijski centar

PEDELI, C., PULGA, S., 2002. Pratiche conservative sullo scavo archeologico - principi e metodi, Firenze, All'Insegna del Giglio

PEROVIĆ, Š., 2008. Antičko staklo: restauracija. Zadar, Muzej antičkog stakla

VINLUCCHI, S., 2000. Vitrum - la materia, il degrado, il restauro. Firenze, Edifir