

Avtor: Gorazd Lemajič

Vsebina

1. Identifikacija stekla
2. Propadanje – vzroki poškodb
3. Shranjevanje pred obdelavo
4. Preiskave
5. Čiščenje
6. Restavriranje
7. Zaščita
8. Rokovanje in nega
9. Shranjevanje
10. Literatura

1. Identifikacija stekla

Predmete, narejene iz stekla, brez težav prepoznamo, kadar so narejeni iz prozornega ali prosojnega stekla. Kadar je steklo obarvano, pa je treba predmet že bolje pregledati, da ga ne bi zamenjali za porcelan ali keramiko, na površini katere je sicer steklo (glazura). Steklo se pojavlja tudi v obliki emajla in pa kot tako imenovana egipčanska fajansa (glej 2.4 Steklo, *Karakteristika in definicija stekla*). Pri prepoznavanju stekla kot materiala nam je v pomoč znanje o načinih izdelave steklenih predmetov. Tehnika pihanja stekla in s tem izdelava votlega stekla je način izdelave, ki se uporablja samo za izdelavo steklenih predmetov (glej poglavje 4, *Kazalci tehnik izdelave*). Zgoraj opisano se nanaša na umetno steklo (tehnično steklo), predmeti pa so lahko izdelani tudi iz naravnega stekla (vulkanskega stekla). To je ponavadi temno in ima školjkast gladek prelom. Bolj zanesljivo določimo steklo kot material z uporabo različnih instrumentalnih metod za določanje elementov (glej 6.3 Vrste preiskav) in ga tako zanesljivo ločimo od predmetov, narejenih iz keramike, žlindre, kremenjaka ali dragih kamnov.

2. Propadanje – vzroki poškodb

Veliko starodavnih steklenih predmetov je preživelo nekaj tisočletij izpostavljenosti različnemu okolju.

Nekatera so v boljšem in nekatera v dokaj slabem stanju. Vendar kar se je ohranilo, verjetno spada med bolj trpežno produkcijo starodavnih steklarjev ali pa so bile razmere v okolju skoraj idealne za ohranitev predmetov. Proces preperevanja starodavnega stekla je odvisen od njegove sestave in razmer, ki prevladujejo v okolju, v katerem je. Svoje prispevajo še temperatura, čas, vrednost pH, površina stekla na volumen tekočine, mikroorganizmi, tresljaji v okolju zaradi prometa in prejšnji konservatorski posegi. Razmere v okolju vplivajo predvsem na površino stekla in jo bolj ali manj spremenijo. Uspešni konservatorski posegi morajo biti podprti z znanjem o korozivnih mehanizmi, da bi lahko upočasnili propadanje steklenih predmetov.

Razlogi za propadanje

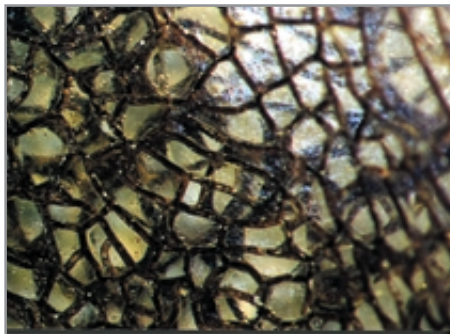
Sestava zelo vpliva na lastnosti stekla in seveda tudi na njegovo propadanje. Različno ohranjenost lahko primerjamo med trpežnim rimskim steklom (kremenov pesek – silicijev dioksid, soda – natrijev oksid, apnenec – kalcijev oksid) in manj trpežnim srednjeveškim steklom (kremenov pesek, pepelika – kalijev oksid, kalcijev oksid). Srednjeveško steklo ima v svoji sestavi več pepelike in kalcijevega oksida ter premalo kremenovega peska. Pri podrobnem pregledu

površine stekla vidimo, da tudi rimsko steklo ni tako zelo trpežno in da so na njegovi površini nastale spremembe. Nekateri konservatorsko-restavratorski posegi (eni bolj, drugi manj) z nepravilno izbiro materialov za konserviranje in restavriranje ter z nespretnim ravnanjem, še pospešujejo propadanje stekla. Pri kasnejšem opisovanju propadanja steklene površine bo razvidno, da lahko že najmanjša praska, ki jo naredimo na steklu mimogrede, ko čistimo lepila ali dopolnjujemo manjkajoče dele, privede, sicer v daljšem času (od 500 do 1000 let), do uničenja površine in samega stekla.

Korozija stekla

Voda je osnovni povzročitelj propadanja stekla. Ko je steklo v stiku z vodo ali vodno raztopino, pride do kemičnih sprememb na površini, ki se lahko razširijo prek celega predmeta, kar je odvisno od tipa površine stekla. Zato se površinskemu sloju stekla spremeni sestava, nastane nov sloj, ki lahko ščiti steklo ali pa ne, odvisen pa je od sestave stekla in vrednosti pH tekočine, s katero je v stiku.

Kemična reakcija na površini se v grobem razume kot izmenjava med ioni alkalnih surovin v steklu in ioni vodikova v vodi. Seveda je ta razlaga zelo poenostavljena, vendar je za restavratorja v večini primerov zadostna. Ioni alkalnih kovin ne morejo zapustiti stekla, dokler jih ne zamenjajo vodikovi ioni (protoni), kar ohrani električno nevtralnost. Protoni so manjši od izluženih ionov, zato pride na izluženem površinskem sloju stekla do krčenja. Stekla z dodatkom pepelike (kalijev karbonat) so pri izdelavi zato manj trpežna od stekel s sodo, ker kalijevi ioni zavzemajo v mreži več prostora kot natrijevi ioni, preden se izlužijo. Zmanjšanje volumna izluženega vrhnjega sloja povzroči krčenje, kar privede do pokanja površine (**slika 1**).



Slika 1: Razpokana površina stekla

Vrhni sloj je lahko bolj ali manj tanek (od 5 nm do 200 nm) in je za razumevanje procesa propadanja zelo pomemben. Izluževanje povzroči zvišanje vrednosti pH vode in pri kritični točki pH 9,0 je napadena tudi mreža silicijevega dioksida. Tako silicijev dioksid kot tudi dvovalentni modifikatorji mreže (kalcij, magnezij, svinec itd.) se izlužijo, kar povzroči popoln razkroj površine. Hitrost, s katero se vrednost pH dvigne na kritično točko, je odvisna od več dejavnikov. Najpomembnejša sta velikost površine in količina vode. Primer, s katerim lepo osvetlimo proces, je hitro propadanje steklenih plošč za okna, kadar ležijo ena na drugi v vlažnem okolju. To je omenjeno tudi v pismu nekega izvoznika stekla iz Benetk iz leta 1595, v katerem piše, da mora biti trava, ki so jo dajali med stekla, popolnoma suha in se ne sme navzeti vlage po pakiranju, kajti to lahko pokvari steklo.

Površina stekla

Površina stekla je zelo dovzetna za procese propadanja. Njena hiba je, da površinski ioni niso simetrično obdani s protioni (z ioni nasprotnega naboja). Ta asimetrija površine ustvarja neobičajne medatomske razdalje in prostor, ki ga zasedajo površinski ioni, je večji. To dovoljuje zamenjavo večjih ali manjših ionov. Zaradi tega je tudi sloj pod površinskim slojem porozen. Ta poroznost je kriva, da lahko

površinska reakcija z molekulami vode, žveplovega dioksida, kisika, solne kisline itd. prodre tudi v globino stekla. Z modernimi eksperimentalnimi metodami (Hanch in Clark, 1978) so razvrstili površino stekla v pet tipov:

Tip I je zelo tanka plast (manj kot 5 nm). V sestavi ni večjih sprememb zaradi izgube alkalij ali mreže silicijevega dioksida. Ta tip površine je zelo trpežen in po vsej verjetnosti na starem steklu ne bomo našli takšne površine.

Tip II je zaščitna plast, bogata s silicijevim dioksidom. Površina je na pogled svetleča in nepoškodovana. Steklo s tako površino je kar trpežno in vrednost pH izlužene raztopine ne doseže 9,0. To vrednost doseže v posebnih okoliščinah, kot je primer okenskih stekel, položenih eno na drugo, ko lahko zaradi velike površine in majhne količine vode vrednost pH preseže 9,0 v nekaj urah.

Tip III je dvojni zaščitni sloj iz aluminijevega silikata ali kalcijevega fosfata. Takšno steklo je zelo odporno tako proti kislinam kot lugom. Površina je na pogled svetleča in nepoškodovana. Veliko rimskega stekla ima površino tipa II in III.

Tip IV je sloj, bogat s silicijevim dioksidom, vendar je pretanek, da bi preprečil izgubo alkalij in razpad mreže silicijevega dioksida. Veliko srednjeveškega stekla ima ta tip površine zaradi premajhnega odstotka silicijevega dioksida in preveč kalijevega oksida iz pepelike v sestavi.

Tip V je sloj na površini stekla, ki se počasi topi v izluženi raztopini (približno od 0,1 do 0,5 mm na stoletje). Proces je konstanten in videz stekla je podoben steklu **tipa I**, vendar bo kemična analiza tekočine, v kateri se topi površina, nedvomno pokazala razliko. Na

površini tipa V se lahko pojavijo jamice, v katerih izlužena raztopina preseže vrednost pH 9,0, in propad konstantno napreduje. Površina je zelo ranljiva in odrgnine in praske, globlje od 0,2 µm, ustvarijo plitke dolinice, v katerih se nabira izločena lužina in lokalno nadaljuje uničevanje stekla, kar lahko v 1000 letih povzroči od 1 mm do 1,5 mm globoke brazde.

Sestava

Večina stekel je sestavljena iz treh komponent: osnovnih sestavin, talil in stabilizatorjev. Določena razmerja med njimi dajejo steklu različne lastnosti in tudi pogojujejo nagnjenost k propadanju. Kadar je v sestavi premalo silicijevega dioksida ali pa je tega manj kot 66 % molekularnega deleža (ali molskih odstotkov), se pospešita izluževanje in korozija površine. Pomanjkanje alkalij in kalcijevega oksida v sestavi privede do tako imenovanega solzenja stekla ali pa površina stekla povsem razpoka. Dodatek aluminijskega oksida v sestavi stekla zmanjša ranljivost površine stekla zaradi vode, ker ustvari netopljive alumosilikate. Trpežnost stekla izboljša tudi dodatek kalcijevega oksida binarnim steklom (silicijev dioksid – alkalija). Optimalen dodatek kalcijevega oksida je okoli 10 % molekularnega deleža (molskih odstotkov). Pri nekaterih steklenih izdelkih, ki imajo površino preprejeno z razpokami ali pa površina izloča kapljice vode (solzenje stekla), so odkrili vsebnost kalcijevega oksida okoli 3 % molekularne teže. Nekatera srednjeveška okenska stekla imajo tudi do 35 % kalcijevega oksida, a so vseeno v dokaj slabem stanju. V preteklosti so sestavljali steklo bolj po naključju in težko je bilo nadzorovati prisotnost nečistoč v sami sestavi, tako da se je z osnovnimi materiali vneslo v sestavo tudi materiale, ki pripomorejo k ranljivosti in propadanju stekla.

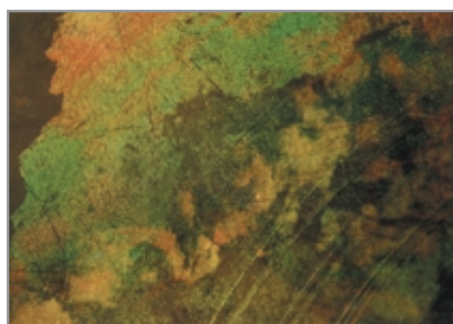
Okolje

Faktorji okolja, ki vplivajo na razpad stekla, so:

- voda v atmosferi (zunaj in znotraj objektov; padavine, vlažnost, kondenzacija) in v arheološkem okolju (vlažnost zemlje, podvodna najdišča),
- onesnaženje atmosfere s plini, ki z vodo tvorijo kisle raztopine,
- temperatura,
- svetloba,
- vibracije,
- prejšnji restavratorski posegi.

Oblike propadanja

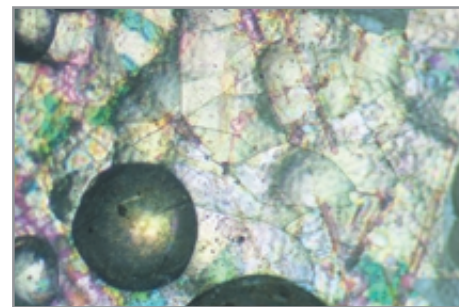
Zaradi različnih že opisanih vzrokov in okoliščin lahko steklo pridobi *motno površino*. V steklu so lahko *napetostne razpoke*. To je nešteto majhnih razpok, ki bežijo v vse smeri skozi steklo, in na koncu se steklo razdrobi. Vzrok je lahko prehitro hlajenje stekla v procesu izdelave ali pa izsušitev vlažnega stekla. Zaradi velike množice razpok deluje površina belkasto, podobno kot sladkor. *Irizacija* (slika 2) je mavrična obarvanost originalne površine zaradi njene propadlosti.



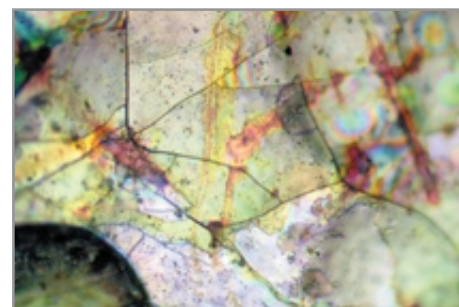
Slika 2: Irizirana površina stekla

Mavrična obarvanost nastane zaradi razklona svetlobe na razplateni propadli površini stekla. Sprva je v obliki zaplat (sliki 3, 4), ki se kasneje začnejo luščiti.

V najhujši obliki pride do upraščenja in konstantnega luščanja površine,

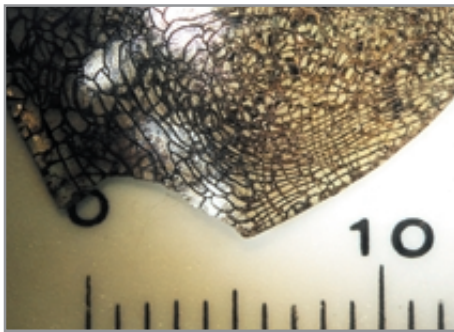


Slika 3: Irizacija na površini stekla pod povečavo (vidne so zaplate)

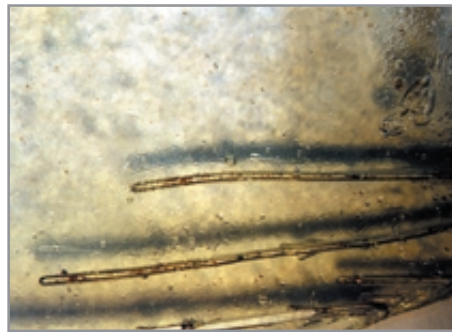


Slika 4: Irizacija na površini stekla pod povečavo (vidne so zaplate)

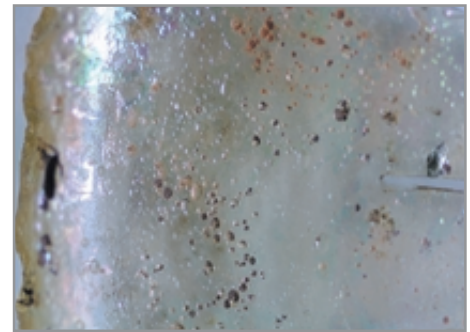
in sicer zaradi stopnjujočega razpadanja površine tipa IV. Če je takšna površina vlažna, irizacija ne bo vidna (vlažno, - pravkar izkopano steklo) in se bo pokazala, ko se plasti izsušijo, kar se lahko zgodi kmalu po izkopavanju. *Plastenje* stekla z velikim številom plasti je težka oblika propada. Plasti so vlažne ter se zaradi nihanja vlažnosti krčijo in širijo, kar privede do močnega luščanja. Ko se odluščijo plasti, je jedro videti grobo in posejano z jamicami. To so odprti mehurčki, ki so bili v procesu taljenja ujeti v stekleno maso. Kadar se na površini stekla formirajo kapljice, to imenujemo *solzenje stekla*. Takšno steklo ima v svoji sestavi preveč alkalij in premalo stabilizatorjev (kalcijev oksid), tako da neprestano ustvarja lepljivo površino, če je izpostavljeno preveč vlažnemu okolju. Na takšno površino se lepi umazanija, ki še dodatno zadržuje vlago. Steklo z *razpokano površino* (slika 5) ima verjetno površino tipa IV; do tako hude poškodbe je prišlo zaradi



Slika 5: Razpokana površina stekla



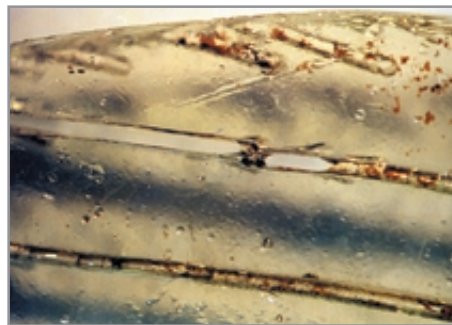
Slika 6: Brazde na površini stekla



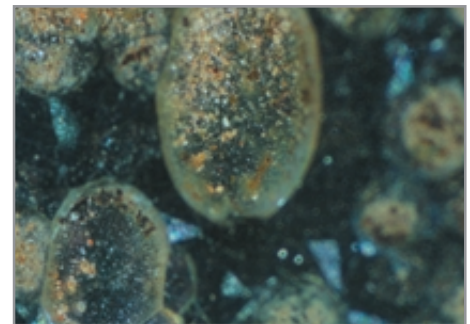
Slika 8: Jamice na površini stekla

izsušitve izlužene površine, ki se je skrčila.

Steklo s takšnimi poškodbami moramo hraniti v okolju s 40–60 % relativne vlažnosti. **Brazde** na površini stekla (slika 6) nastanejo zaradi majhnih plitkih prask, ki ustvarijo plitke dolinice, v katerih se nabira izločena lužina in lokalno nadaljuje uničevanje stekla. Proces se lahko nadaljuje do polnega razpada stekla in nastanka luknjice (slika 7).



Slika 7: Brazda je napredovala v luknjo skozi stekleno maso.



Slika 9: Povečava jamic na površini stekla

Podobna oblika propadanja so **jamice** na površini stekla (sliki 8, 9). Te so lahko majhne (premer do 0,2 mm) in na gosto posejane. V njih je ponavadi bel prah, ki zadržuje vlago, in vrednost pH doseže kritično točko 9,0. Jamice so tudi večje (premer do 4 mm) in včasih se povežejo med seboj, tako da je lahko površina povsem razbrazdana. Prodiranje je vedno usmerjeno v globino stekla in to lahko naredi luknjico skozi stekleno maso.

3. Shranjevanje pred obdelavo

Ko govorimo o shranjevanju steklenih predmetov pred obdelavo, imamo v mislih predvsem iz zemlje izkopane predmete in pa predmete, najdene v podvodnih nahajališčih. Predvsem je treba steklu, poleg pravilnega izkopavanja, med izkopom, prevozom in začasnim skladiščenjem omogočiti kar se da podobne pogoje vlažnosti, kot so bili

tisti, v katerih je bilo steklo dalj časa.

Kadar je steklo dalj časa ležalo v mokri zemlji, se med procesom izkopavanja (odstranjevanje zemlje, risanje za potrebe dokumentacije in fotografiranje) nikakor ne sme izsušiti. Med temi deli mu je treba ohranjati vlago in ga prekriti s polietilensko folijo. Črepinje ali predmet po dvigovanju shranimo v vrečke, ki bodo preprečevale, da bi se steklo izsušilo (glej Thompson: *Manual of curatorship – Conservation and storage: archeological material*; Watkinson: *First aid for finds – Packaging for finds*). Kadar ugotovimo prisotnost soli, pa je treba steklo potopiti v vodo in kmalu začeti postopek razsoljevanja (glej poglavje Čiščenje topljivih oblog). Stekla ne smemo predolgo hraniti na tak način, ker voda izlužuje, če pa nam okoliščine ne dovoljujejo takojšnje obdelave, je treba zamenjati vodo s topilom (etanol), ki bo preprečilo, da bi se steklo izsušilo (glej poglavje Utrjevanje

stekla). Steklene predmete, najdene v suhi zemlji, moramo po izkopu hraniti v suhem okolju, vendar ne pod 42 % relativne vlažnosti, da se preperela površina stekla ne bi preveč izsušila. Kadar steklo ne bi preneslo dvigovanja koščkov že na terenu, izkopljemo večji kos zemlje, v katerem je najdba. Zemlja bo steklu ohranjala vlažnost, treba pa je paziti, da se zemlja ne izsuši, saj bi to povzročilo močnejše pritiske na steklo, težje odstranjevanje trde zemlje in izsušitev stekla. Blok zemlje je zato treba zaviti v polivinil, ga hraniti v bolj hladnem okolju in dokaj hitro pristopiti k reševanju stekla. Poseben problem lahko predstavlja steklo, ki ga najdemo v povezavi z drugimi materiali (kovine). V takšnih primerih je najbolje ohranjati podobne razmere, kot jih je imel predmet v zemlji, dokler v laboratoriju ne določimo vseh prisotnih materialov in se na podlagi teh podatkov odločimo za način začasnega hranjenja.

4. Preiskave

Pri konserviranju in restavriranju stekla si za pridobivanje določenih podatkov pomagamo z enostavnimi, včasih pa tudi s tehnično zelo izpopolnjenimi instrumentalnimi metodami. Že samo z uporabo leče ali mikroskopa, kar je dosegljivo vsaki konservatorsko-restavratorski delavnici, lahko pridemo do uporabnih podatkov, kot so sledovi načina izdelave, dekoracije, nečistoče v stekleni masi, barve, prozornost, motnost pa tudi začetki preperevanja površine, razpoke itd.

Klasične mokre kemične analize zahtevajo veliko časa, zelo usposobljenega analitika in veliko količino stekla za vzorec. Je pa tudi nekaj enostavnih in izvedljivih testov, ki bodo opisani kasneje.

Tudi nekateri fizikalni testi so v delavnicah izvedljivi in dajo podatke o specifični teži, o napetostih v steklu.

Na razpolago je široka paleta instrumentalnih fizikalnih in kemičnih metod, ki jih uporabljamo na različnih področjih znanstvenega raziskovanja. Z analizami dobimo podatke o sestavi stekla, uporabljenih materialih, stanju površine stekla in tudi o predhodnem konserviranju in restavriranju. Informacija o sestavi stekla pomaga pri določanju stopnje propadlosti določenega stekla. Z analizami dobimo podatke o predhodnih posegih, materialih, uporabljenih za utrjevanje, uporabljenih lepilih in organskih ostankih od čiščenj s kemičnimi raztopinami. Podrobne slike površine stekla konservatorju razkrijejo fizikalne spremembe na površini, nastale zaradi kemičnega razpada. Konservator dobi z združitvijo teh podatkov z analizo sestave stekla vpogled v fizikalne in kemične mehanizme razpada.

Z analizami določimo elemente v sestavi materiala in tako ugotovimo, ali je predmet iz stekla ali morda iz

navidez podobnih materialov, kot so fajansa, keramika, žlindra, kremenjak, vulkanska kamenina ali drugi dragi kamni.

V konservatorskih in restavratorskih delavnicah je mogoče opravljati enostavne teste in je nesmotrno, da bi imela delavnica zapleteno opremo, ki je draga in zahteva izkušenega analitika. Zato je vloga konservatorja in restavratorja predvsem v izbiri analize. Treba je sodelovati z analitikom, ki mu morda ni tuje steklo kot material, da ne bi objekt, ki je zgodovinski predmet in potemtakem spomenik, kakorkoli spremenil svoje pojavnosti.

Optične raziskave

Podatki o površini stekla

S površine stekla lahko razberemo mnogo podatkov. Lahko so vidni sledovi izdelave, kot so šivi, zarez v steklu, znamenja, ki jih je pustila steklarska pipa itd. Na površini se lepo odraža stanje, v katerem je izdelek. Lahko je svetleča, motna ali pa se je na njej že pojavila irizacija (**slika 10**). Mnogokrat je arheološko steklo posejano z majhnimi ali večjimi jamicami na površini. Pogoste so tako imenovane kraste, praske, če je bilo steklo zakopano v zemlji, je lahko na površini vodni kamen itd.



Slika 10: Irizacija na površini

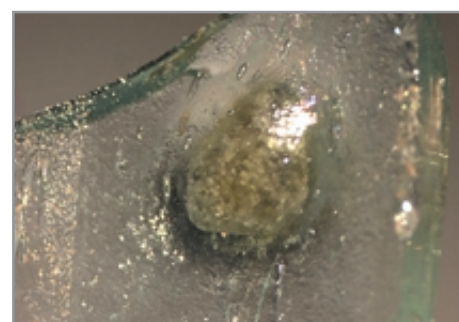
V primeru požara bi izpostavljenost ognju pustila različne sledi. Daljša izpostavljenost ognju temperature okoli 1000 °C lahko stali steklo v kepe, kadar pa je steklo izpostavljeno plamenom z ene strani, se naredijo

valovite poševne razpoke.

Preperevanje samo na nekaterih delih nakazuje na nehomogenost steklene mase. Površina lahko nosi znamenja uporabe predvsem na dnu in nogi posode. Treba je raziskati, ali so razjede in odrgrnine posledica uporabe ali dolgotrajnega ležanja predmeta v zemlji. Pri veliki motnosti površine je lahko razlog preperevanje ali odrgrnenost, lahko pa je bil predmet peskan ali jedkan in je učinek motnosti nameren. Kadar opazimo na površini kapljice tekočine, jih je treba preveriti s papirjem za določanje vrednosti pH. Če so zelo lužnate in se pojavijo kmalu po tem, ko smo predmet obrisali, gre za tako imenovano soljenje stekla, kar zahteva posebno obdelavo.

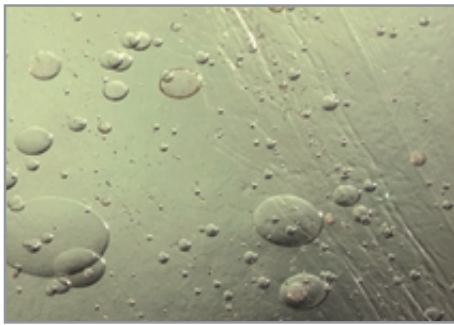
Podatki o steklu in formi

Pri vizualnem pregledu objekta lahko dobimo različne podatke. Če je steklo obarvano, lahko razlikujemo med obarvanostjo same mase in površinskim obarvanjem. Pri opazovanju proti luči opazimo prozornost ali motnost stekla. Pri motnosti je treba ugotoviti, ali je bilo steklo tako izdelano ali pa je tak videz posledica propadanja površine. Transparentno steklo je lahko čisto in homogeno, lahko pa



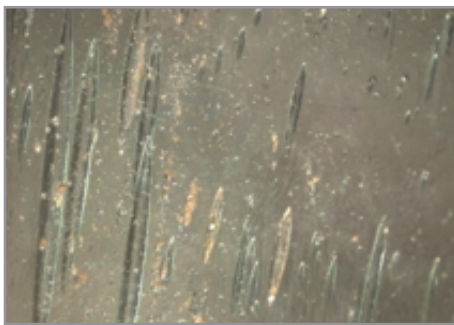
Slika 11: Nestopljen drobec materiala v steklu

vsebuje zračne mehurčke ali črte, ki imajo drugačen lomni količnik kot drugo steklo. Črte so lahko tanke kot las ali debelejšje. V samem materialu je lahko tudi drobec kamna (**slika 11**). Zračni mehurčki



Slika 12: Zračni mehurčki v steklu

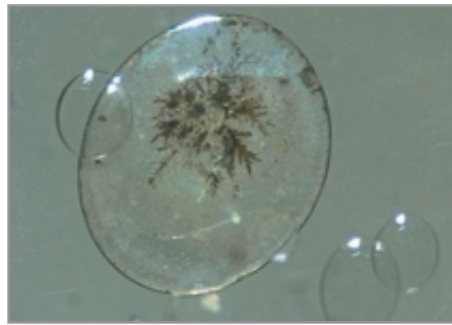
so lahko kroglaste oblike (slika 12), kar pomeni, da se je steklo neovirano hladilo, če je bilo vlivano, ali pa so mehurčki podaljšani, če je bilo steklo oblikovano z valjanjem, vlečenjem ali pihanjem v procesu ohlajevanja (slika 13).



Slika 13: Zračni mehurčki v steklu

Pri okenskem steklu so mehurčki razporejeni v vzporednih linijah in so posledica cilindričnega procesa izdelave ali pa so razporejeni v lokih ali krogih, kar nastane, ko stekleno kroglo med pihanjem odpremo in nato sploščimo v krog. Mehurčki so lahko večji ali manjši, lahko so počeni in po vsej verjetnosti se je proces preperevanja začel tudi v njihovi notranjosti (slika 14).

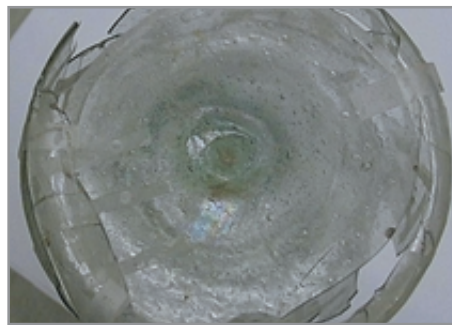
Drobci kamna v steklu se lahko pojavijo zaradi različnih vzrokov. V masi za pripravo stekla so lahko netopljiva zrna, lahko so odlomki talilne posode ali pa so dodatki, kot sta zemlja, kamen itd. Kadar pri predmetu naletimo na rjo, lahko sklepamo, da je bil zakopan tik ob kovinskem predmetu.



Slika 14: Počen zračni mehurček, v katerega je že prodrla umazanija.

Sledi tehnik izdelave

Podroben pregled steklenega izdelka lahko razkrije način njegove izdelave. Sledovi šivov na površini so posledica pihanja ali stiskanja stekla v kalup. Skrhana in odlomljena znamenja na dnu posod kažejo na pihan način izdelave (slika 15).

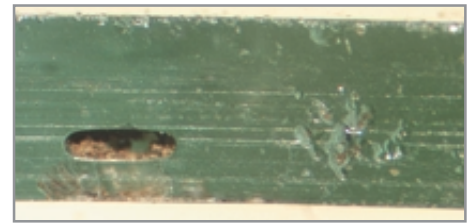


Slika 15: V sredini dna je vidna sled steklarske pipe.

Pri vlivanju ali stiskanju stekla v kalup se vidi, kako je teklo steklo, predvsem v kotih in obrobah. To je razpoznavno tudi po zračnih mehurčkih in njihovih oblikah (okrogle, razpotegnjene). Kadar je bilo za posamezen izdelek uporabljenih več kep stekla, je vidna sprememba lomnega količnika na stičiščih, ker pride do izhlapevanja alkalij na vročih površinah kep stekla, ki se dodajajo na steklarsko pipo. Kemične spremembe, ki nastanejo na mejnih ploskvah, so premajhne, da bi jih zaznala kemična analiza, vendar je razlika v lomnem količniku vidna s prostim očesom.

Uporaba leče in uporaba mikroskopa

Seveda uporaba leče in mikroskopa



Slika 16: Rob stekla – prelom

bolj podrobno razkrije pojave na površini in v sami masi stekla. Lahko pa nam odkrije stvari, ki jih s prostim očesom ne zaznamo. Primer je prelom stekla, ki je z mikroskopom lepo viden (slika 16).

Enostavni fizikalni testi

Merjenje specifične teže

Enostaven način ugotavljanja prisotnosti svinca v steklu je merjenje specifične teže. Svinčev oksid ima zelo razločen vpliv na specifično težo (tabela 1).

Izvedba testa je enostavna. Najprej izmerimo težo objekta na zraku in nato težo objekta, potopljenega v vodi. Razlika med težo na zraku in težo v vodi je blizu volumnu stekla

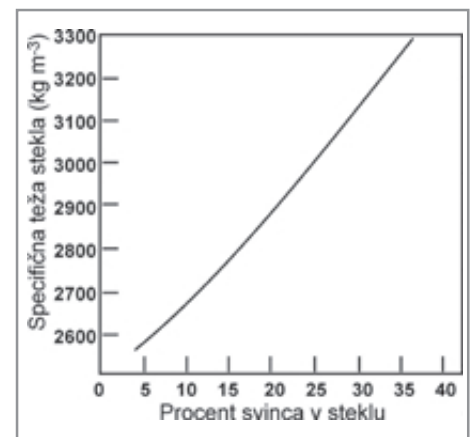


Tabela 1: Odnos svinčevim oksidom v steklu in njegovo specifično težo

v mililitrih. Seveda bi za natančen izračun morali upoštevati specifično težo zraka in temperaturo vode, vendar je v starodavnih steklih zrak v obliki mehurčkov, tako da to izniči natančen rezultat. Specifična teža in lomni količnik sta v tesnem

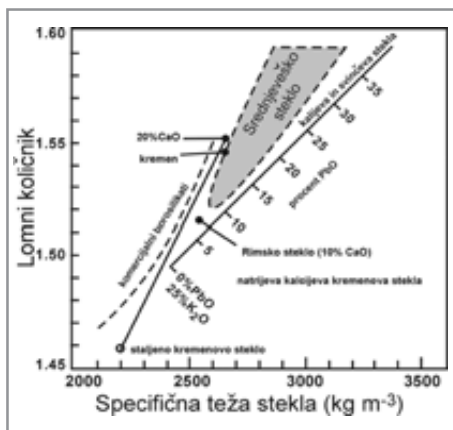


Tabela 2: Odnos med specifično težo in lomnim količnikom

sorazmerju. Odnosi se spreminjajo pri različnih steklih. Ti odnosi nam ponujajo drugačen način ocene lomnega količnika, ker je včasih lažje določiti specifično težo kot lomni količnik (tabela 2).

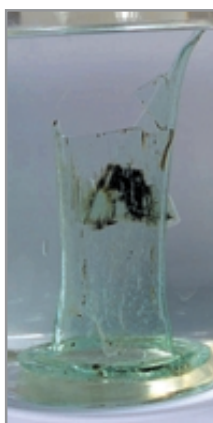
Določitev lomnega količnika je pomembna zaradi pravilne izbire lepil in sredstev za dopolnjevanje stekla.

Opazovanje stekla v različnih tekočinah

Pogosto je težko razločiti detajl v in na površini stekla zaradi njegove obrabe, prask, peskane površine ali njegove zvite oblike. Te vizualne motnje lahko odstranimo s potopitvijo izdelka ali koščka stekla v različne tekočine s podobnim ali istim lomnim količnikom, kot ga ima izdelek (sliki 17, 18).



Slika 17: Steklo na zraku



Slika 18: Steklo v tekočini

Kadar se lomni količnik tekočine ujema s količnikom stekla, površina navidez izgine in zračni mehurčki, nečistoče ter druge nepravilnosti postanejo lepo vidni. Tekočine, primerne za tak poskus, in njihovi lomni količniki so: ksilen – 1.490, klor-benzen – 1.525, nitrobenzen – 1.553, anilin – 1.586, kvanilin – 1.624, toluen – 1.496.

Ugotavljanje napetosti v steklu

Steklo, ki je bilo pri izdelavi izpostavljeno previsoki temperaturi, ima velike napetosti, ki se običajno manifestirajo s prisotnostjo prog ali žil. Proge so opazne, ker imajo drugačen lomni količnik kot drugo steklo.

Enostavni kemični testi

Merjenje vrednosti pH

Močno lužnate raztopine z vrednostjo pH 9,0 in več povzročijo razpad večine stekel, še posebno starega stekla. Kisline z vrednostjo pH 5,0 ali manj bodo vplivale na srednjeveško steklo. Zato je dobro poznati vrednosti pH raztopin, ki jih nameravamo uporabljati v konservatorskem in restavratorskem postopku. Nekatere gobe in plesni so zelo lužnate in moramo narediti test pH zemlje pri izkopavanju arheološkega stekla. Če je steklo vlažno ali ima na površini kapljice, je ravno tako treba ugotoviti vrednost pH. Najenostavnejša metoda je uporaba papirnih indikatorjev za določanje vrednosti pH. Če je na površini tako malo tekočine, da ne moremo uporabiti papirnih indikatorjev, uporabimo pH meter z elektrodo za površinsko merjenje pH.

Določanje klorovega iona

Steklu iz vodnih nahajališč je treba odstraniti soli z namakanjem v čisti vodi in nato še v destilirani vodi. Učinkovitost postopka ugotavljamo z srebro-nitratnim testom (glej poglavje 4).

Točkovni test za določanje svinca

Za določitev svinca v steklu lahko uporabimo fluorovodikovo kislino, mešano z raztopino amonijevega sulfida. Kapljico mešanice nanesemo na steklo. Če je prisoten svinec, se bo mesto obarvalo črno kot posledica nastajanja svinčevega sulfida. Ta test je destruktiven, ker točka, na katero smo nanesli mešanico, ostane motna.

Instrumentalne metode

Metode z elektronskimi žarki

Za pregled površine starega stekla se uporablja metoda SEM (scanning electron microscopy – vrstična elektronska mikroskopija). Za analizo sestave površine stekla se uporabljajo metode SEM-EDS (energy dispersive X-ray analysis – energijsko disperzijska spektrometrija), EPMA (electron probe X-ray microanalysis – elektronsko mikrosondiranje) in AES (Auger emission spectrometry – spektrometrija Augerjevih elektronov). Pri vseh metodah je treba odvzeti vzorec stekla.

Metode z rentgenskimi žarki

Za določanje sestave površine stekla se uporabljata metodi XRF (X-ray fluorescence – rentgenska fluorescenca) in XPS (X-ray photoelectron spectrometry – rentgenska fotoelektronska spektrometrija). Pri metodi EDS XRF ni treba odvzeti vzorca, metodi XRF in XPS zahtevata odvzem vzorca stekla.

Metodo XRD (X-ray diffraction – rentgenska difrakcija) se uporablja za določanje povzročiteljev preperevanja in motnosti. Treba je odvzeti vzorec stekla.

Metode obstreljevanja z delci

Takšni metodi sta NAA (neutron activation analysis – nevtronska aktivacijska analiza) in PIXE (particle induced x-ray emission – z delci sproženo rentgensko žarčenje).

Uporabljata se za merjenje glavnih sestavin, primesi in elementov v sledovih na površini stekla. Tehniki ne zahtevata odvzema vzorca.

Spektroskopske metode

V to vrsto analitičnih metod se uvrščata ICP-OES (inductivity coupled plasma-optical emission spectrometry) in AAS (atomic absorption spectrometry). Z njima določamo glavne elemente, primesi in elemente v sledovih v steklu. Obe metodi zahtevata odvzem vzorca.

Masna spektrometrija

Med metode masne spektrometrije spadajo ICPMS (inductivity coupled plasma mass spectrometry), SIMS (secondary ion mass spectrometry – masna spektrometrija sekundarnih ionov) in lead isotope ratio analysis – analiza svinčevega izotopa. S temi metodami določimo tako glavne sestavine, primesi in elemente v sledovih v sestavi zgodovinskih stekel kot tudi izotopno sestavo. Metode zahtevajo odvzem vzorca.

Metode za določanje stanja oksidacije

ESR (electron spin resonance) in UV-VIS (ultraviolet and visible spectroscopy) sta analitični metodi za določanje stanja oksidacije pri povzročiteljih obarvanosti in bistrosti stekla. Metodi zahtevata odvzem vzorca.

5. Čiščenje

Izkopano arheološko steklo čistimo z odstranjevanjem topnih in netopnih oblog, da bi odkrili njegovo obliko, dekoracijo in površino. Pri že restavriranem steklu se odstranjujejo stara lepila, uporabljena za lepljenje, in dodani manjkajoči deli iz različnih materialov. K preventivni konservaciji pa štejemo občasno čiščenje prahu na steklenih predmetih v depojih ali razstavnih prostorih. Pred vsakim čiščenjem je treba pregledati steklo in njegovo

površino, morda narediti tudi kakšno analizo ter na tak način ugotoviti, ali ne bo čiščenje kvarno vplivalo na steklo in katero čistilno sredstvo uporabiti.

Čiščenje izkopanega stekla

Predmeti, ki so stoletja ležali v zemlji ali na dnu kakšnega pristanišča, so različno poškodovani. Pred čiščenjem je treba raziskati okoliščine, v katerih je bil predmet. S temi informacijami bomo lažje ocenili vzroke in stopnjo propada stekla ter izbrali pravilen način čiščenja.

Pri izkopanem steklu najdemo različne obloge, ki so topljive ali pa tudi ne. Nekatere zlahka odstranimo, pri drugih pa moramo steklo prej utrditi, da ga pri procesu odstranjevanja umazanij ne bi poškodovali. Obloge je tudi lažje odstraniti, ko so še vlažne in zato tudi mehkejše. Krčenje oblog zaradi sušenja lahko poškoduje površino stekla. Zaradi zgoraj naštetih razlogov je treba izkopanemu steklu zagotoviti podobne okoliščine tistim, v katerih je bilo dlje časa. Izsušitev stekla lahko pripelje do poškodb in sprememb videza že kmalu po izkopavanju. Lahko se pojavi irizacija, soli lahko kristalizirajo.

Netopne obloge lahko odstranimo mehansko z uporabo skalpela, vendar samo s trdnega stekla, ki nima poškodovane površine. Takšne obloge bo zelo težko, če sploh, odstraniti s krhkega stekla, ki ima poškodovano površino, čeprav ga prej utrdimo. Predmetu, ki smo ga morali prej utrditi, zmehčamo prekrivajoče obloge s hlapi topila ter jih odstranimo s skalpelom in z vatiranimi palčkami, namočenimi v topilo.

Pri predmetih, najdenih v morski vodi ali mokri zemlji, moramo preprečiti nastanek oblog vodotopnih soli zaradi izsušitve. Izsušitev povzroči kristalizacijo soli, poveča

se volumen, nastane pritisk v porah in preperela vrhnja površina stekla lahko razpade. S tem lahko izgubimo pomembne podatke o površini in debelini stekla. Steklo moramo razsoliti v izmeničnih kopelih, v katerih zmanjšujemo količino soli. Ne smemo pa takšnega stekla takoj potopiti v čisto ali destilirano vodo, ker osmozni tlak, ki nastane med steklom, ki vsebuje na površini raztopino soli in čisto vodo, potisne vodo v preperelo površino. Pri tem se volumen poveča in nastale napetosti uničijo površino. Preperelo steklo je po procesu razsoljevanja treba hraniti v vlažnih razmerah in se v tej fazi odločiti, ali ga utrditi z ustreznim utrjevalcem, ki bi steklu ohranil prozornost, kakršno ima, dokler je prepojeno z vodo. Ko se bo steklo izsušilo, mu bo težko ali skoraj nemogoče povrniti transparentnost.

Pri izkopavanjih na mestnih ali blatnih območjih so lahko na steklu obloge maščob. Te moramo odstraniti z vodo ali s topilom, preden se steklo izsuši ali utrdi.

Preperela površina stekla se največkrat manifestira v obliki irizacije, motnosti površine ali črne prevleke. Takšne oblike spremenjene površine so še vedno del originala in njihova odstranitev, z namenom doseči bolj gladko površino ali prozornost, nepopravljivo spremeni debelino stekla. Odstranjevanje je vprašljivo tudi zato, ker je preperelost lahko napredovala v globino stekla in bi s tem načeli trdnost objekta.

Čiščenje steklenega predmeta

Steklene predmete, iz depojev, zbirk ali razstavnih prostorov, je treba natančno pregledati, v kakšnem stanju so in ali morda niso bili že kdaj restavrirani. Takšni predmeti imajo lahko dopolnjene manjkajoče dele, kar pa na prvi pogled morda ni videti. Dopolnitve manjkajočih delov so lahko iz različnih

materialov, tako kot tudi lepila, uporabljena za lepljenje črepinj. Odstranjevanje lepil in dopolnitev iz prejšnjih posegov je proces, pri katerem moramo biti zelo pazljivi. Materiali, uporabljeni v prejšnjih posegih, so lahko bolj čvrsti od stekla samega in v takšnem primeru jih je treba omehčati, da bi jih lažje odstranili. Za restavriranje stekla so se uporabljala različna živalska lepila, v novejšem času različne epoksi smole, manjkajoči deli so lahko dopolnjeni z voskom, mavcem pa tudi z akrilnim steklom in patinirani z različnimi barvami. Včasih je težko določiti, s kakšnim materialom imamo opraviti, zato poskušamo prejšnje restavriranje odstraniti najprej s hladno vodo, potem s toplo vodo in če ni rezultata, postopno poskušamo z močnejšimi toplili. Ves čas moramo nadzirati original, da ga ne poškodujemo. Stabilne steklene predmete čistimo v dovolj veliki posodi z mlačno vodo. Steklena posode, žare ali čaše ne smemo nikoli napolniti do vrha z vodo, da bi očistili notranjost. Teža vode lahko steklen predmet zlomi.

Čistimo vedno samo en predmet. Kaj hitro se lahko predmet zlomi in če je na kupu več predmetov, je škoda še večja – črepinje se pomešajo med seboj. Steklo nato položimo na papirnate brisače, da voda odteče. Poseben primer je tako imenovano *solzenje stekla*. Do tega pojava pride, ko je v sestavi stekla preveč alkalij in premalo kalcijevega oksida. Na steklu se zaradi higroskopnega sloja na površini stekla, ki vsrkava vlago iz zraka, tvorijo kapljice rose. Takšno steklo moramo temeljito oprati v destilirani vodi. Sledita alkoholna kopel in sušenje. S tem malo upočasnimo propad in izboljšamo videz stekla, ker se umazanija ne lepi več na vlažno površino. Takšnega predmeta pa ne smemo spet izpostaviti vlagi. Moramo ga

hraniti v nadzorovanem okolju z majhno relativno vlažnostjo (do 42 %).

6. Restavriranje

Utrjevanje

Utrjevanja preperlega stekla ali njegove krhke, včasih luskaste površine se lotimo, kadar je nevarnost, da se steklo zaradi preperelosti zdrobi ali površina olušči. Poseg je nepovraten, tudi kadar uporabljamo materiale, ki so povsem topljivi. Preperelo steklo namreč ne bi preneslo nabrekanja utrjevalca, ki bi ga poskušali raztopiti s topilom, in tudi ne dolgotrajnega namakanja v topilu. Tudi če steklo prenese odstranjevanje utrjevalca, ta v porah kljub temu ostane. Zato se moramo utrjevanja lotiti le, kadar je to za ohranitev stekla zadnja rešitev.

Materiali za utrjevanje

Materiali, s katerimi želimo utrditi preperelo steklo ali njegovo površino, morajo dosegati določene zahteve. Lepilnost takšnih materialov mora biti dobra. V steklo in na njegovo površino ne smejo vnesti prevelike napetosti zaradi skrčkov. Lomni količnik mora biti kar se da blizu lomnemu količniku, ki ga ima steklo. Material naj z leti ne bi začel rumeneti. Utrjevalec mora biti povraten, torej še dolgo po strjevanju topljiv v topilu. Zadovoljive rezultate dosežemo s paralooidom B72. Raztopljenega v ksilenu lahko uporabimo za utrjevanje preperlega stekla in irizirane površine. Kadar je raztopljen v mešanici metanola in etra (3/2), se poveča penetracija in hitro izhlapevanje etra prepreči selitev paraloida na površino. Poskusi so bili narejeni tudi z zelo raztopljenimi epoksi smolami Plastogen EP, Araldit 2020 in Fynebond (epoksi smoli Araldit 2020 in Fynebond polimerizirata v 10% raztopini metanola). V vseh primerih je postalo steklo

nepovratno povezano z utrjevalcem. V preteklosti so za utrjevanje uporabljali razna naravna lepila, naravni vosek in smole. Ti materiali imajo kar nekaj pomanjkljivosti. Lepila se krčijo, na voske se lepi umazanija, naravne smole pa so krhke.

Utrjevanje stekla

Način utrjevanja izberemo glede na stanje stekla. Kadar je treba utrditi pravkar izkopano steklo, je pomembno, da ga do samega postopka ohranjamo vlažnega. Vodo, s katero je prepojeno steklo, v kopelih zamenjamo s topilom. Uporabljamo lahko etanol ali aceton. Prva kopel je mešanica vode in topila v razmerju 50 : 50. Po dobri uri gre steklo skozi niz kopeli, od katerih je pri vsaki večja koncentracija topila. Na zadnji stopnji gre steklo skozi kopel topila, v katerem se bo raztopil tudi utrjevalec. Na tak način dosežemo boljšo prepojitev stekla z utrjevalcem, kot bi ga s sprejanjem, pomakanjem ali z nanašanjem s čopičem. Vendar moramo, glede na stanje stekla, včasih izbrati tudi takšen način. V takšnih primerih mora imeti prvi nanos utrjevalca nizko viskoznost, da lahko prodre v globino. Kadar imamo opraviti s steklom, ki je izsušeno in je v preperelih slojih že zrak, najlažje izvedemo postopek z vakuumsko metodo. Najprej je treba izčrpati zrak in nato uvajati utrjevalec. Steklo pustimo v utrjevalcu do 30 minut, nato uvedemo zrak in zaradi zračnega tlaka bo utrjevalec še bolj prodrl v pore. Ti načini steklo nepovratno povežejo z utrjevalcem, ker so vse pore zapolnjene z njim. Način, ki bi ga lahko imenovali delno utrjevanje, dopušča možnost za kasnejše posege. Med utrjevanjem steklo zavijemo v plastično vrečo za nekaj dni, počakamo, da pride do polimerizacije, preden izpari topilo, in omejimo prehod utrjevalca na

	Hxtal NYL-1	Fynebond	Araldit 2020
Površinsko sušenje (v urah)	96	6	12
Končno sušenje (v urah)	168	24	36

Tabela 3: Čas trdenja

	Hxtal NYL-1	Fynebond	Araldit 2020
Skrčki	1,72%	2,38%	0,68%

Tabela 4: Skrčki

	Hxtal NYL-1	Fynebond	Araldit 2020
Temperatura zmeščanja	40-45°C	44-48°C	40-46°C

Tabela 5: Temperatura zmeščanja

površino. Na tak način pore v steklu niso zamašene in dovoljujejo nove posege, če bi se v prihodnosti izkazalo, da uporabljen utrjevalec ni ustrezen (prehitro propada).

Sestavljanje in lepljenje

Kot že omenjeno, je steklo problematično za lepljenje, ker so robovi črepinj ponavadi gladki, na površini stekla pa so molekule absorbirane vode, kar prav tako zmanjšuje lepilno moč. Predmet lepimo, kadar mu je treba izboljšati stabilnost ali kadar je povsem fragmentiran in je treba poiskati njegovo originalno obliko.

Materiali za lepljenje

Nekateri materiali se uporabljajo za utrjevanje, lepljenje in dopolnjevanje. Lastnosti, ki se zahtevajo, so že opisane pri *Materialih za utrjevanje*. Treba je opisati tri materiale, ki so široko uporabljeni v restavriranju stekla. To so epoksi smole Hxtal NYL-1, Fynebond in Araldit 2020 (znan tudi kot Ciba-geigy XW 396/7). Hxtal NYL-1 in Araldit 2020 sta že nekaj časa na trgu, Fynebond pa je novejši proizvod. Morda je malo manj praktičen za pripravo, ker je treba eno komponento pred mešanjem stopiti. Čas trdenja je včasih pomemben faktor (tabela 3).

Primerjava teh smol in njihove odpornosti proti rumenenju je pokazala, da ima hxtal NYL-1 dobro

barvno stabilnost tudi po umetnem staranju s toploto in svetlobo. Tako pri aralditu 2020 kot fynebondu pa zaznamo rumenenje pri umetnem staranju s toploto in svetlobo približno petkrat prej. Primerjavo skrčkov lahko vidimo v tabeli 4.

Glede trdote sta smoli Hxtal NYL-1 in Fynebond nekoliko trši kot smola Araldit 2020. Vez s steklom je pri fynebondu nekoliko šibkejša kot pri aralditu 2020. Hxtal NYL-1 ima najtršo vez s steklom. Pomemben podatek je tudi, pri kateri temperaturi se smola zmešča (glass transition temperature) (tabela 5). Za tako imenovano točkovno lepljenje uporabljamo sekundna lepila.

Sestavljanje in lepljenje

Kadar imamo opraviti s fragmentiranim predmetom in ne poznamo njegove oblike, sortiramo črepinje glede na kakšen prepoznaven detajl, na primer ustje, ročaj, dno posode, vzorec (slika 19).

Pri že restavriranem predmetu, ki ga je treba zaradi starega in porumenelega lepila popolnoma razstaviti, moramo zrisati načrt črepinj, kajti ponovno iskanje oblike je lahko dokaj zamudno (sliki 20 in 21, skica 1).

Prelome razmastimo z acetonom in se jih med sestavljanjem oblike ne dotikamo, ker bo na takšnih mestih lepilna moč oslabljena.



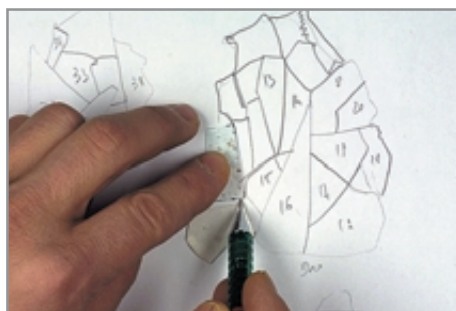
Slika 19: Sortiranje črepinj



Slika 20: Že restavrirana vaza



Skica 1: Zrisana vaza z označenimi lomi



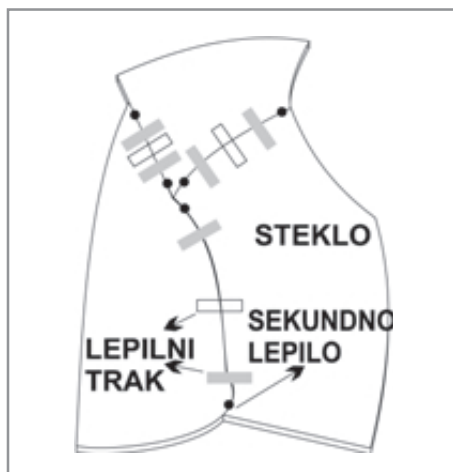
Slika 21: Obrisi posameznih črepinj

Obliko začnemo graditi pri dnu posode (če imamo črepinje z dna). Črepinje med seboj lepimo z lepilnim trakom, ki naj bo mat zaradi boljšega nadzora. Zaradi gladkih prelomov in tankosti stekla ne moremo biti povsem prepričani, da smo našli pravilno lego in nagib črepinj. Zato predmet, če je mogoče, najprej sestavimo s pomočjo lepilnega traku. To nam dopušča korekcije nagibov, ko se približujemo ustju posode (slika 22).



Slika 22: Z lepilnim trakom zlepljena vaza

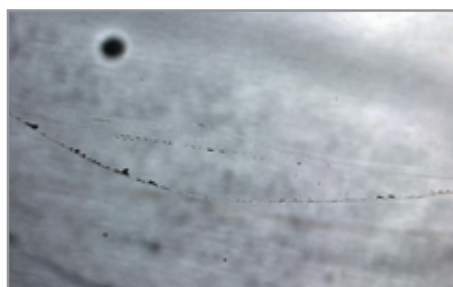
Črepinje lepimo z lepilnim trakom tako na notranji kot zunanji strani. Nekatere črepinje so lahko tako majhne, da jih z lepilnim trakom ne



Skica 2: Točkovno lepljenje

moremo pritrditi. Takšne fragmente točkovno zlepimo. Ko je oblika sestavljena, začnemo lepiti. Lepila so viskozna in bodo sama stekla v razpoke. Potegnili jih bo tudi med lepilni trak in površino stekla. To lahko kasneje, s stekla z nepoškodovano površino, odstranimo s skalpelom, s preperle površine pa ne. Pomagamo si s točkovnim lepljenjem (skica 2) in uporabimo hitro sušeče lepilo (sekundno lepilo).

Ko posodo tako zlepimo, lahko odstranimo lepilni trak in začnemo lepiti z epoksi lepilom. Nanašamo ga s skalpelom in pustimo, da sam steče v razpoke. Kadar se razpoke lepo zalijejo, ostaneta na zunanji in notranji strani stekla za las tanki črti (slika 23).

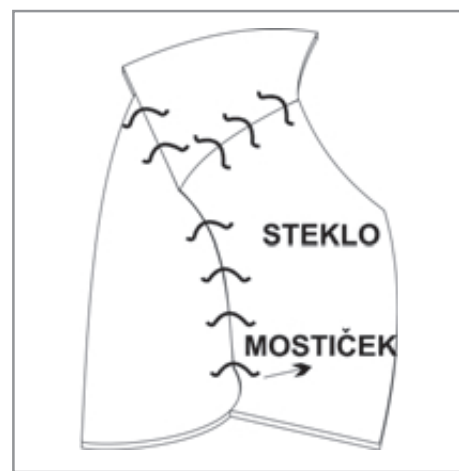


Slika 23: Lom po lepljenju z aralditom 2020. Opazen je skrhan rob preloma na obeh straneh stekla.

Do tega pride zaradi skrhanosti roba preloma in ker moramo odvečno lepilo očistiti s površine, ga s tem nekaj odstranimo tudi iz



Slika 24: Primer, ko nam mostiček pomaga držati črepinjo v pravilni poziciji, medtem ko modeliramo manjkajoči del.



Skica 3: Tehnika sestavljanja črepinj z mostički

razpoke. Odvečno lepilo očistimo z vatiranimi palčkami, pomočenimi v aceton. Paziti moramo, da z acetonom ne razredčimo lepila v razpokah, ker se lahko proces trdenja upočasni ali pa se lepilo sploh ne strdi. So primeri, ko si lahko pri sestavljanju oblike namesto z lepilnimi trakovi pomagamo s tako imenovano metodo mostičev (skica 3, slika 24).

Mostičke naredimo iz tanke medeninaste ali jeklene žičke, ki jo oblikujemo tako, da imamo dostop do razpoke. Žičko pritrdimo na steklo s sekundnim lepilom, vendar ne preblizu razpoke, da nam lepilo ne bi steklo v razpoko. Po končanem lepljenju črepinj med seboj raztopimo lepilo, ki lepi žičke na steklo, in jih odstranimo. Na tak način se izognemo točkovnemu lepljenju, pri katerem imamo v razpokah dve vrsti lepil (epoksi smolo in sekundno lepilo).

Dopolnjevanje

Dopolnjevanja manjkajočih delov se lotimo, da bi steklenemu predmetu povrnili stabilnost ali izboljšali videz, seveda le, če imamo na samem predmetu dovolj podatkov o obliki. Vsak steklen objekt ima za restavriranje svoje specifične probleme, in izvedljivost ter zadovoljiv rezultat sta odvisna od stanja stekla, stanja površine, tankosti, dostopnosti do notranjosti itd. Dopolnjevanje je zelo zamudno in je sestavljeno iz modeliranja, jemanja odtisov, izdelovanja najrazličnejših kalupov in vlivanja. Stanje steklenega objekta določa izbiro načinov restavriranja, ki jih lahko razdelimo na:

– Delno dopolnjevanje

Predmet delno dopolnimo, kadar ni predviden za popolno rekonstrukcijo ter mu je treba samo vrniti stabilnost zaradi lažje in varnejše manipulacije s predmetom pri raziskovanju, risanju itd (slika 25).



Slika 25: Delno dopolnjen steklen kozarec (delna dopolnitev je med dnom in ustjem)

V takšnem primeru tudi ni treba posvečati veliko pozornosti estetskemu videzu. Premostiti moramo le manjkajoče dele, kar lahko storimo s stekleno tkanino, ojačeno z epoksi smolo ali s poliestrom.

– *Dopolnitve, narejene v kalupih, ki jih dobimo kot odtis na samem steklenem objektu*

V večini primerov lahko pri votlem steklu odtisnemo obliko in jo uporabimo pri postopku nadome-



Slika 26: Stik med zgornjim in spodnjim delom vaze je samo na enem delu v širini štirih centimetrov.



Slika 27: Dopolnjena vaza

stitve manjkajočega dela. To lahko naredimo na ustju, obodu ali dnu predmeta, če je le ohranjena dovolj oblike. Če je ohranjenega zelo malo stekla (slika 26), je treba s postopnim jemanjem odtisov in izdelovanjem manjkajočih delov zgraditi toliko oblike, da je predmet najprej stabilen in lahko vzamemo večji odtis (slika 27). So primeri, ko je predmet takšne oblike, da je lažje izvedljiva postopna gradnja oblike kot modeliranje nove.

– *Dopolnitve, narejene v kalupih, ki jih dobimo kot odtis prejšnjega restavratorskega posega, ali nanovo modelirane manjkajoče oblike*

Že restavriranemu predmetu, katerega dopolnjen del je porumenel ali pa je bil izdelan iz neustreznega materiala, lahko vzamemo odtis dopolnjenega dela, kar uporabimo kot kalup za novo dopolnitev. Pri predmetih s težko dostopno notranjostjo bomo lahko dobili le odtis zunanega dela in bo treba notranjo obliko domodelirati. Modeliranje oblike, prek katere naredimo kalup, je potrebno takrat, kadar je ohranjenega malo stekla (sliki 28, 29) ali pa je na steklu ornament, ki ga ne moremo odtisniti z ohranjenega stekla (glej sliko 24).

– *Dopolnitve, izrezane iz različnih materialov*

Uporabimo lahko akrilno steklo in izrežemo obliko manjkajočega dela ter toplotno ukrivimo material v želeno obliko. Pripravimo si lahko tudi ploščo iz epoksi smole ali poliestra, ki ju tudi lahko ukrivimo s segrevanjem. Segrevamo lahko samo enkrat, ker se lahko pri drugem gretju in zvijanju material strga. Japonski papir lahko utrdimo s paraloidom in izrežemo želeno obliko. To pritrdimo na steklo s paraloidom.

– *Dopolnjevanje, kadar je zaradi oblike težko dostopna notranjost steklenega objekta*

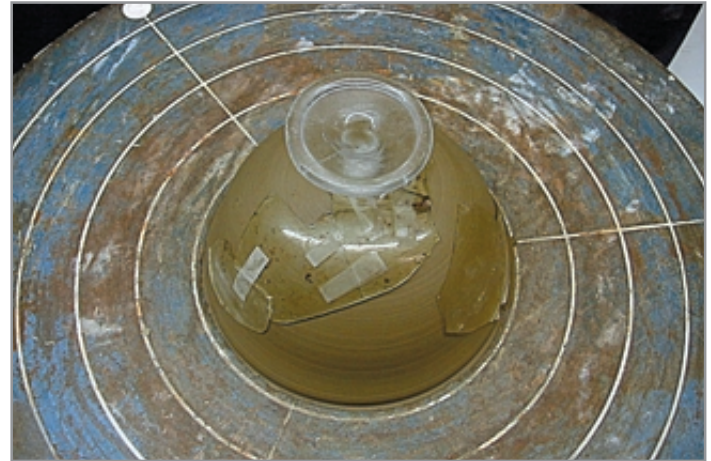
Pri predmetih z zaprto obliko, ko zelo težko dosežemo notranjost, uporabimo vse zgoraj opisane načine za izdelavo kalupov. Izdelati moramo dober načrt dela zaradi težko dostopne notranjosti, kar je opisano v poglavju *Strategija dela*.

Materiali za dopolnjevanje, modeliranje in izdelavo kalupov

Za **dopolnjevanje** se že nekaj časa z dobrimi rezultati uporablja tri



Slika 28: Priprava za izdelavo notranje oblike kozarca iz gline



Slika 29: Na lončarskem vretenu izdelana notranja oblika kozarca in nanjo položene črepinje

epoksi smole Hxtal NYL-1, Fynebond in Araldit 2020. Njihove lastnosti so že opisane v poglavju *Materiali za lepljenje*. Za **modeliranje** manjkajočih delov lahko uporabljamo široko paleto materialov, glino, plastelin, vosek, mavec itd. Seveda s temi materiali ne smemo dodatno vnesti umazanije na steklo. Od restavratorjevih spretnosti obdelave materiala in stanja stekla je odvisno, kateri material bo izbral. Sam zadovoljive rezultate dosegam z mešanico primala SW24 in akrila v razmerju 1 : 1, v katero vmešam kalcitno moko. Mešanico lahko naredim redko ali gosto, odvisno od potreb. Ko se strdi, se lahko zbrusi do visokega sijaja. Sama trdnost modelirane dopolnitve je manjša od trdnosti stekla (predvsem tankega) in ni bojazni, da bi pri odstranjevanju modelacije poškodoval steklo, kot se to lahko zgodi pri mavcu. Po odstranjevanju nekaj materiala ostane na prelomih, a se enostavno odstrani s skalpelom in z acetonom. Materiali za **izdelavo kalupov** morajo dosegati naslednje zahteve: ne smejo poškodovati stekla tako, da bi se nanj preveč zalepili, kemično ga ne smejo kontaminirati, imeti morajo dobro lastnost odtisa najmanjših detajlov, dobro morajo prenašati toploto zaradi polimerizacije epoksi

smol in pomembna je tudi lastnost, da obdržijo obliko po snemanju s površine, ki jo želimo odtisniti. Vse te zahteve izpolnjuje silikonski kavčuk, s katerim delamo zelo enostavno in nadzorovano. Z dodatkom bencina ga naredimo bolj tekočega, bolj pastozen pa postane z dodatkom materiala za tiksotropijo. Uporabljamo lahko tudi ploščice dentističnega voska. Za izdelovanje kap ali opore za kalup iz silikonskega kavčuka uporabljamo mavec pa tudi poliestre ali epoksi smole. Omeniti moram še vakuumsko folijo (PVC-folija), ki sem jo uvedel namesto enega dela silikonskega kalupa (ponavadi zunanjega).

Za obarvanja dopolnitve imamo na razpolago pigmente in barve za epoksi smole in poliestre. Ker je dopolnjevanje proces, pri katerem je potrebnih več nanosov ali vlivanj, je treba pripraviti zadostno količino obarvane smole. Kasneje je namreč težko ujeti enak odtenek, ne da bi bila razlika vidna.

Strategija dela

Stekleni predmeti so različnih oblik in različno poškodovani. Nekateri imajo odprto obliko (kozarec, žara, krožnik), drugi zaprto (steklenica, vaza). Odprte oblike nam ne delajo preveč težav. Naredimo odtis zunanje in notranje oblike, kalupa

pritrđimo čez manjkajoči del, injektiramo epoksi smolo, pustimo, da se strdi, odstranimo kalupa in ju po potrebi zbrusimo. Drugače je pri zaprti obliki. Tu moramo že pred fazo lepljenja načrtovati, kako bomo naredili notranji kalup, ga pritrdili in tudi odstranili. Če nam mreža lomov dopušča predmet obdelovati kot dve polovici, ne bomo imeli večjih težav. Kadar to ni mogoče, je treba na delu predmeta načrtovati tako imenovano okno, skozi katero bomo imeli dostop do notranjosti. Izberemo nekaj črepinj, ki jih ne prilepimo dokončno, temveč samo z lepilnim trakom. Tako jih lahko odstranimo in skozi odprtino v notranjosti izvedemo postopek izdelave kalupa, njegovo pritrdjevanje čez manjkajoči del, injektiranje epoksi smole, odstranjevanje kalupa in čiščenje. Na koncu zapremo »okno« s črepinjami in jih zlepimo z lepilom. Kakšen predmet ima lahko zelo veliko manjkajočih delov in ga samega sploh ne moremo sestaviti, ker ni stabilen. Postopoma mu dopolnjujemo posamezne manjkajoče dele in tako povrnemo stabilnost (*slike 30, 31, 32, 33*).

Stekleni skodelici je manjkala skoraj tretjina oblike. Večji fragment je imel zelo majhen stik s preostalo obliko in samo lepilo ne bi preneslo vseh postopkov med delom. Zato sem



Slika 30



Slika 31



Slika 32



Slika 33

najprej domodeliral in izvedel postopek dopolnjevanja na ustju in pod njim (slika 30). Hkrati sem z mostičkom utrdil pozicijo večjega fragmenta (slika 31). Naslednji korak je bil modeliranje in dopolnjevanje praznine pod večjim fragmentom (glej sliko 24). S tem je bila skodelica že zelo stabilna in lahko sem začel modelirati in

dopolnjevati manjkajočo tretjino oblike (slika 33). Na sliki 32 se vidi, kje se stikata dve dopolnitvi, ki bi ju bilo zelo zapleteno izvesti v enem kosu.

V primeru, prikazanem na slikah 34, 35, 36 in 37, je bilo treba zaradi nedostopne notranjosti in premalo lomov, ki bi dovoljevali izvedbo »okna«, narediti kopijo enega kosa stekla, ki je nadomeščala original, medtem ko sem izdeloval kalup in dopolnitev. Po procesu trdenja smole sem nadomestek odstranil in originalni fragment je lepo sedel na svoje mesto.

Takšnih ali drugačnih primerov je veliko, zato je pomembno izdelati načrt dopolnjevanja.

Nadziranje postopka

Končni videz in uspešnost dopolnitve je skupek vseh postopkov. Bolj ko so natančni kalupi ter vlivanja, manj je brušenja in obdelovanja dopolnitve. Pri brušenju moramo uporabiti določen pritisk in posebno pri tankem steklu je to lahko problematično. Vsako fazo moramo nadzirati, da ne poškodujemo stekla in si ne otežimo naslednjih faz dela.

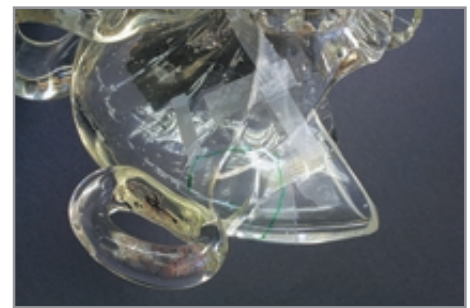
Treba je nadzorovati:

- odtis
- pravilno namestitev kalupa čez manjkajoči del
- dobro prilepljen kalup
- razmak med zunanjim in notranjim kalupom
- injektiranje epoksi smole
- mehurčke in krčenje epoksi smole

Uporaba dentističnega voska kot materiala za kalup je lahko težavna, ker moramo uporabiti nekaj sile, da oblikujemo ploščico voska po obliki. Potrebujemo tudi dovolj veliko »okno«, kadar delamo znotraj zaprte oblike, da lahko vstavimo in potem odstranimo voščeni kalup. Tudi pritrjevanje (s toploto vosek ob



Slika 34: Manjkajoči del



Slika 35: Kopija iz epoksi smole nadomešča originalno steklo med izvedbo dopolnitve.



Slika 36: Nameščanje notranjega kalupa



Slika 37: Odstranjevanje kopije, ki je nadomeščala original, med postopkom dopolnjevanja.

robvih stalimo na steklo) ni najbolj uspešno, ker bo med vosek in steklo, kjer sega kalup čez manjkajoči del, stekla smola in jo bo treba odstraniti. Skozi vosek tudi ne moremo nadzorovati razmika med stenama kalupa in kaj se dogaja s smolo.

Za delo je veliko boljši silikonski



Slika 38: Odstranjevanje notranjega kalupa iz silikonskega kavčuka

kavčuk. Z njim lahko naredimo detajlne odtise. Po postopku ga enostavno odstranimo in ga lahko tudi zvijemo (**slika 38**), kadar ga je treba odstraniti iz notranjosti predmeta. Še vedno pa ne vemo, kakšen je odmik obeh sten in ali ni morda mehurčkov v smoli. Kalup lahko rahlo stisnemo in tako iztisnemo mehurčke, vendar potrebujemo za to kar nekaj izkušenj. Posebno kadar nadomeščamo zelo tanko steklo, se bo mehurček zaradi površinske napetosti držal tako zunanje kot notranje stene kalupa in ga bo težko iztisniti.

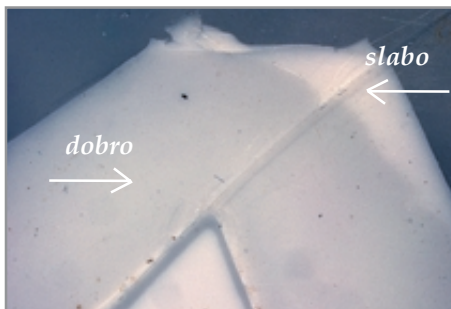
Da bi lahko nadzorovali čim več postopkov, potrebujemo material, skozi katerega lahko vidimo, kaj se dogaja znotraj kalupa. Kot zelo uporabna se je pokazala vakuumska folija (PVC-folija). Lahko jo toplotno obdelujemo, zvijamo čez obliko in po ohladitvi obdrži formo.

Sposobna je tudi odtisov detajlov in se ne lepi s smolo. Folijo uporabljamo praviloma za zunanji kalup, za notranjega pa silikonski kavčuk.

Na naslednjih slikah je prikazano, kako nadzorujemo kalup in njegovo polnjenje s smolo.

Kako je prilepljen kalup (slika 39)

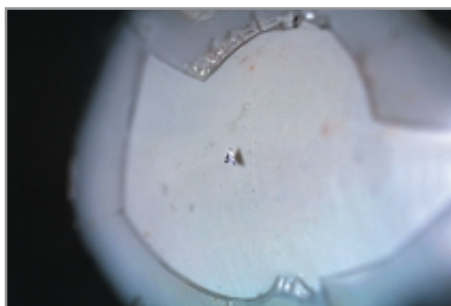
Kalup prilepimo s silikonskim kavčukom, ki ga namažemo na steklo okoli manjkajočega dela. Ne smemo ga nanesti preveč, da ne bi stekel v kalup. Na sliki se vidi, kako je kalup prilepljen. Temnejši del je dobro zalepljen, svetlejši pa slabo. Na takšnem, slabo zalepljenem delu



Slika 39: Kalup iz silikonskega kavčuka, prilepljen na notranjo stran steklene predmeta

lahko odteče smola. Ali je lepljenje uspelo, lahko nadziramo pri notranjem kalupu skozi steklo in pri zunanjem kalupu skozi prozorno folijo. Dobro vidimo tudi, ali nam je silikonski kavčuk, s katerim lepimo kalup na steklo, stekel v notranjost kalupa.

Odmik med zunanjim in notranjim kalupom (slika 40)



Slika 40: Preverjanje odmika med zunanjim kalupom iz vakuumske folije (PVC-folija) in notranjim kalupom iz silikonskega kavčuka

Kadar imamo opraviti z večjimi manjkajočimi deli in s tankim steklom, je težko oba kalupa namestiti tako, da bi bila oddaljenost pravilna in enakomerna. Če bosta kalupa preveč skupaj, bo tu nastala preveč tanka stena ali pa bo na tem mestu luknja. Zelo lahko pa preverimo odmik sten s senco, ki jo meče košček neprosojnega materiala. Na **sliki 40** se vidi, kako košček aluminijaste folije meče senco na notranjo steno kalupa.

Injektiranje epoksi smole (slika 41)

Kalup lahko napolnimo tako, da smolo vlivamo ali injektiramo. Pri



Slika 41: Injektiranje epoksi smole v kalup

vlivanju moramo narediti dva lijaka. Skozi enega bomo vlivali smolo, skozi drugega bo uhajal zrak. To je kar zamudno in težko izvedljivo pri majhni dopolnitvi. Kadar pa smolo injektiramo, moramo paziti, da predremo samo zunanji kalup in ne tudi notranjega. Skozi prozorni kalup lepo vidimo, do kam smo prodrli z iglo. V zunanji kalup naredimo dve luknjici. Skozi eno injektiramo smolo, skozi drugo uhaja zrak. Lepo je vidno, kako se kalup polni s smolo.

Mehurčki in krčenje smole (slika 42)

Skozi prozorni kalup vidimo mehurčke (**slika 42**), ki nastanejo zaradi zelo razgibane oblike in mrtvih kotov, v katere jih ujame smola, ko polni kalup. Lahko pa jih vnesemo s slabo injekcijsko iglo, ko nam ta iztisne zrak skupaj s smolo.



Slika 42: Mehurček zraka v kalupu

Ti mehurčki so izredno majhni in jih moramo zbrati v večji mehurček, da se jih lahko znebimo. Po mehurčku narahlo udarjamo in s treslaji premagujemo površinsko napetost, tako da mehurčki potujejo proti luknjici za zrak. V procesu trdenja

se smola skrči. Tudi to je dobro vidno in lahko injektiramo potrebno količino smole. Na tak način lahko obdelujemo več dopolnitev na različnih koncih predmeta.

7. Zaščita

Pri steklu in steklenih izdelkih pride v poštev samo pasivna zaščita. Nikoli stekla ne premažemo s kakšnim lakom, v želji dobiti bolj prozorno površino. Vlaga bi pod takšnim premazom veliko hitreje dosegla kritično vrednost pH (9,0).

8. Rokovanje in nega

Brez rokavic se predmeta ne dotikamo. Uporabljamo rokavice iz lateksa, ker imajo dober oprijem in zmanjšamo možnost, da bi nam predmet zdrsnil iz rok. Pri dvigovanju in polaganju predmeta moramo biti skoncentrirani. Steklo je lahko in premočan prijem lahko zdrobi predmet. Votlo steklo vedno dvigujemo z obema rokama in nikoli samo za ročaj ali ustje. Tako zmanjšamo možnost, da bi trčili v kak drug predmet, kajti pri steklu je včasih težko oceniti razdalje, ker je večinoma prozorno. Predmetov nikoli ne potiskamo, da bi jih malo odmaknili. Vedno jih predstavljamo z dvigovanjem in nežnim polaganjem na trdno, ravno podlago. Izogibamo se tudi dvigovanja prek drugih steklenih predmetov, na primer iz ozadja police. Rokujemo vedno samo z enim predmetom. Kadar imamo opraviti z irizirano površino na predmetu, se le-tega minimalno dotikamo. Takšen predmet naj stoji na plošči, ki nam bo služila za premikanje, pri čemer nam mora nekdo pomagati. Predmete, na katerih se nabere prah, razprašimo, za kar uporabimo mehke čopiče. Poseben primer sta solzenje stekla in irizacija na površini stekla (**glej poglavje Čiščenje steklenega predmeta**).

9. Shranjevanje

Okolje, v katerem hranimo predmete, ne sme biti prevlažno in ne presuho. Relativna vlažnost naj bi bila med 40 in 60 %. Posebne oblike propadanja, kot je solzenje stekla, zahtevajo relativno vlažnost med 40 in 55 %. Steklo z razpokano površino hranimo v okolju z relativno vlažnostjo med 42 in 55 %. V prostoru, kjer hranimo steklo, mora biti temperatura višja. Nekateri materiali, ki se uporabljajo za utrjevanje, lepljenje in dopolnjevanje stekla pri višjih temperaturah, postanejo lepljivi in izgubijo trdnost. Prav zaradi prahu je restavrirano steklo treba pokriti z brezislinskim ali silikonskim papirjem. Ker je steklo mehansko zelo občutljivo, predmeti v premičnih omarah ne smejo stati drug ob drugem, da ne bi med tresenjem udarjali med seboj.

10. Literatura

1. Kovine, zlitine, tehnologije 33, Sašo Štrum & Breda Mirtič, Določanje izvora in starosti arheološkega stekla s preiskavo primarnih surovin, Ljubljana 1999, str. 189–192
2. Roy Newton & Sandra Davison, *Conservation of glass*, Oxford 1989
3. Živan Siridžanski, *Tehnologija stakla*, Beograd 1979
4. Charles Bray, *Dictionary of glass materials and techniques*, London 1995
5. Janet Margaret Cronyn, *The elements of Archaeological Conservation*, London, 1990
6. Henry Hodges, *Artefacts*, London 1964
7. Norman H. Tennet: *Conservation of glass and ceramics*: Jennifer L. Mass: *Instrumental methods of analysis applied to the conservation of ancient and historic glass*, London 1999, str. 15–41
8. Leonard C. Feldman & James W. Mayer: *Fundamentals of surface and thin film analysis*, New York 1986
9. Argo 42/1, Žiga Šmit, Primož Pelicon, Miloš Budnar, Mateja Kos: *Analize srednjeveškega stekla*, Ljubljana 1999, str. 35–37
10. Gorazd Lemajič, *Konserviranje in restavriranje arheološkega votlega stekla*, Magistrsko delo, Ljubljana 2002