

Avtor: Zoran Milič

## Vsebina

1. Zgodovina in metalurgija
2. Identifikacija in korozija
3. Shranjevanje pred obdelavo
4. Preiskave
5. Čiščenje in zaščita
6. Restavriranje
7. Rokovanje in nega
8. Shranjevanje
9. Primeri

## 1. Zgodovina in metalurgija

Čisti baker je sorazmerno mehka svetlordeča kovina s tališčem pri 1084 °C. Kljub svoji mehкости je še vedno dovolj žilav, trd in raztegljiv, tako da so že v prazgodovini iz njega izdelovali koristne predmete. Baker sodi skupaj s svojima najpomembnejšima zlitinama bronom in medenino med zgodovinsko najpomembnejše kovine. Začetki uporabe bakra segajo v čas okrog leta 7200 pr. n. št. (Canoyu Tempesi iz Turčije). V naravi najden kovinski baker imenujemo samorodni baker, ki je po svoji sestavi izredno čist. Proizvedeni baker iz bakrovih rud pa vsebuje vključke bakrovega (I) oksida ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) in primesi drugih kovin (Fe, As, Sb, Sn, Ni, Ag, Au itd). Prisotnost drugih kovin bakru močno spremeni njegove mehanske, fizične in fizikalne lastnosti.

Zaradi njegove mehкости so baker redko uporabljali za izdelavo rezilnega orodja (**slika 1**). Trdoto so mu povečali s hladnim kovanjem,



**Slika 1:** Prazgodovinska sekira iz bakra iz Hočevarice

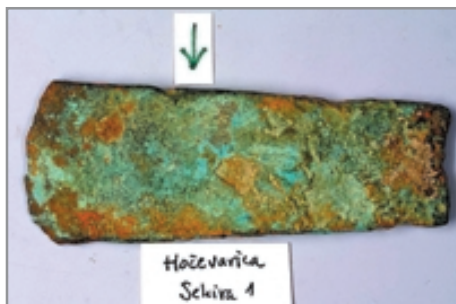
pri čemer je postal bolj krhek. Nasprotno od železa je mogoče baker tudi hladno oblikovati. Zaradi te lastnosti in zaradi njegove dobre toplotne prevodnosti so že zelo zgodaj začeli iz njega izdelovati kuhinjsko posodje.

Baker se v naravi pojavlja v spojinah kot enovalentni ( $\text{Cu}^+$ ) in dvovalentni baker ( $\text{Cu}^{++}$ ). Dvovalentni baker je bolj stabilen in zato v naravi tudi bolj razširjen. Najdemo ga v obliki bazičnih karbonatov malahita in azurita ter bazičnih kloridov atakamita in paratakamita. Zaradi svojega pozitivnega normalnega elektrodnega potenciala (+0,52 V) je dobro korozijsko obstojen. Ta lastnost ga približuje skupini žlahtnih kovin, zlatu in srebru, zato ga pogosto označujemo kot polžlahtno kovino.

### **Bakrove zlitine**

Mešanico dveh ali več kovin imenujemo zlitina. Zlitina ni preprosta mešanica kovinskih elementov, temveč kompleksna kristalna struktura, v kateri majhne spremembe koncentracij posamezne kovine močno spremenijo lastnosti celotne zlitine. Baker tvori dve osnovni zlitini: **bron** in **medenino**. Različne kombinacije in koncentracije drugih kovinskih elementov v bakru tvorijo različne zlitine, ki so v glavnem dobile svoje ime po namenu uporabe.

*Bron* je skupno ime za vse bakrove zlitine, ki ne vsebujejo cinka (Zn) ali pa se ta nahaja le v nizki koncentraciji. Lahko vsebuje elemente, kot so kositer (Sn), svinec (Pb), arzen (As), antimon (Sb), berilij (Be), aluminij (Al) ali silicij (Si). Bron je trši od bakra in ima bistveno nižje tališče. V odvisnosti od sestave se tališče bronu giblje med 800 in 1000 °C. Korozijsko je obstojnejši in mehansko bolj odporen od medenine. Poznali so ga že zelo zgodaj – njegova uporaba sega v četrto tisočletje pr. n. št. Prva uporabna zlitina bakra in arzena datira v leto 4000 pr. n. št. Arzen je pristal v bakru sprva po naključju, ker ga vsebujejo nekatere bakrove sulfidne rude. Pozneje so ga dodajali bakru namenoma, da bi izboljšali njegove lastnosti. Baker je tako postal bolj trd in uporaben za delovno orodje. Če je v bakru do 2,5 % As (**slika 2**), se ta bolje hladno obdeluje, kot če bi bil čist. Če baker



**Slika 2:** Prazgodovinska sekira iz bakra z 2,5 % As iz Hočevarice

vsebuje več kot 15 % As, se ta izloča na njegovi površini in oblikuje srebrnkasto povrhnjico. Arzen je zelo hlapen element in je pri praženju bakrove rude izhlapeval kot arzenov trioksid, pri čemer je povzročal zdravstvene težave nekdanjim metalurgom. Opažamo, da arzenov bron po letu 3500 pr. n. št. počasi izginja in začne ga nadomeščati kositrov bron. Sprva se med letoma 3200 in 3100 pr. n. št. tudi ta pojavlja naključno. Obstajajo dokazi, da do leta 2500 pr. n. št. ni bilo jasno, kako kositer vpliva na trdoto in natezno trdnost bronu, ter da niso znali izračunati ustrezne

količine kositra, s katerim bi dosegli te želene lastnosti. Med letoma 1800 in 1500 pr. n. št. so metalurgi imeli že toliko znanja in spretnosti, da so z mešanjem že izdelanih kovin bakra in kositra v ustreznem razmerju izdelovali bron za izdelavo orožja, ogledal, kipov, zvonov in drugega. Z oznako bron najpogosteje označujemo zlitino bakra s kositrom. Če baker vsebuje več kot 2 % Sn, se šteje za namensko izdelan bron. Tipičen bron vsebuje do 10 % Sn (mogoče ga je hladno obdelovati), za posebno uporabo pa tudi do 50 % Sn. Vsebnost kositra več kot 10 % skokovito spremeni lastnosti bronu. To je istočasno tudi meja topnosti kositra v bakru in tvorbe mešanih Cu-Sn kristalov ( $\alpha$ -faza). Kositer, ki je prisoten nad to mejo, tvori z bakrom različne kristalne faze, ki bistveno vplivajo na mehanske lastnosti bronu. Najpomembnejša je  $\delta$ -faza sestave  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ , ki skupaj z  $\alpha$ -fazo tvori mešane kristale trdega, krhkega in posebno korozijsko odpornega bronu za izdelavo zlitine za ogledala (Speculum).

Bronu so začeli okrog leta 1000 pr. n. št. dodajati manjše količine svinca (Pb). S tem so nadaljevali vse do Rimljanov, ki so to metodo zelo izpopolnili. Ker se svinec ne raztaplja v bronu, se v njem nahaja razpršen v obliki drobnih kapljic. Velikost kapljic je odvisna od količine svinca v bronu in od hitrosti ohlajanja bronaste taline. Svinec so dodajali, ker njegova mehkost in voljnost v suspenziji zagotavljata livnost tekoče zlitine in lažjo obdelovalnost strjenega bronu. Najpogostejša koncentracija svinca v bronu je do 2 %. Pri višjih vsebnostih se kapljice svinca združijo v večje in se izločijo iz predmeta, še preden se tekoči bron ohladi in strdi. Zato so na površini nekaterih predmetov jasno vidni predeli, obogateni s svincom. Bronu, ki vsebuje več kot 2 % Pb, ni mogoče obdelovati s kovanjem.

*Medenina* je zlitina bakra s cinkom z vsebnostjo cinka med 9 in 50 %. Sprva so Rimljani dodajali bronu cink, ker mu je zniževal tališče, ne da bi vplival na njegove lastnosti; v kristalno strukturo se vključuje na podoben način kot kositer. Pozneje so cink začeli dodajati bakru samostojno (brez kositra), da bi izdelali zlitino, podobno bronu. Tako je nastala medenina, ki je po letu 400 n. št. prevladovala. Rimljani so proizvajali medenino po t. i. kalaminskem postopku, ki ni mogla vsebovati več kot 28 % Zn, ker je cink iz taline izhlapel. Po letu 1000 so začeli proizvajati cink po destilacijskem postopku in je bila možna izdelava medenine z neposrednim mešanjem obeh kovin, ko je medenina lahko vsebovala tudi več kot 28 % Zn. Šele z začetkom množične proizvodnje kovinskega cinka v 19. stoletju je bilo mogoče izdelati medenino z vsebnostjo več kot 28 % Zn v večjih količinah. Zlitina bakra in okrog 20 % Zn je zlata medenina, medtem ko višje vsebnosti cinka medenino posvetlijo.

Nekateri najpogosteje uporabljeni bronu v zgodovini imajo naslednja imena in sestavo:

bron: 5–20 % Sn

zvonovina: 20–25 % Sn

monetarni bron: 4–5 % Sn, 1–3 % Zn

topovina: ca. 10 % Sn; občasno do 2 % Zn

nemško srebro: 34 % Ni, 20 % Zn

spekulum: 19–50 % Sn

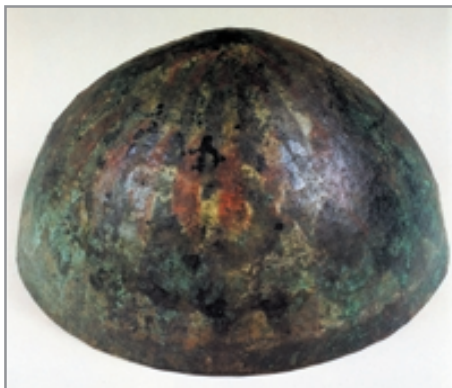
### *Spajanje in povezovanje*

Bakrove zlitine lahko spajamo s trdimi ali mehkiimi loti, kar označujemo kot varjenje. Loti so največkrat tudi sami bakrove zlitine. Tako lahko uporabimo lot z visoko vsebnostjo kositra (nižje tališče) za lotanje predmetov iz bronu z nizko vsebnostjo kositra (višje tališče). Bakrove lote, še posebno medenino, uporabljamo tudi za lotanje železa.

Posamezne dele iz bakrovih zlitin lahko sestavljamo v predmete ne samo z lotanjem, ampak tudi z dolivanjem, tako da posamezen element vlijemo neposredno na predhodno že oblikovani del predmeta. Tehnike varjenja pri bakru ni mogoče uporabiti zaradi močne sprijetosti (adhezije) oksidov na njegovi površini.

### Barvanje in patiniranje

Predmeti iz bakrovih zlitin so velikokrat zlateni, srebrni ali kositreni, da bi jih polepšali ali zaščitili pred korozijo. Znano je, da so v antiki z laki spreminjali predmetom barvo, s smolami in terpentinom poudarjali zlato barvo ter s potemnitvami zakrivali popravila na predmetu. Predmete so torej že pri izdelavi preiščeno patinirali, da bi jim dali lepši ali starejši videz. Takšne posege na predmetu je težko razkriti in dokazati, čeprav so v redkih primerih jasno vidni (slika 3, slika 4). Včasih opazimo v korozijski plasti



Slika 3: Šlem z ostanki barvnega okrasa



Slika 4: Rekonstruiran barvni okras, najden na šlemu, prikazanem na sliki 3

črno plast steklastega videza. Domneva se, da bi to lahko bili ostanki starih premazov laka.

## 2. Identifikacija in korozija

Baker prepoznamo po njegovi tipični rdečkasti barvi. Barva, teža in trdota so osnovne lastnosti, po katerih lahko okvirno ocenimo, za kakšno kovino gre. V tem smislu so zlitine manj prepoznavne. Razlike v barvi in teži med medenino in bronom so lahko tako minimalne, da jih komaj opazimo. Njihova barva se giblje od rdeče prek rumene do srebrne. Zunanji videz kovine je poleg sestave odvisen tudi od stanja površine. Pri arheoloških kovinskih predmetih je površina včasih tako spremenjena, da celo težko ločimo med tako različnima kovinama, kot sta železo in baker. Osnovno kovino lahko določimo tudi na osnovi barve in videza korozijskih produktov na njej. Zaradi korozijskih sprememb na površini včasih napačno domnevamo, da gre za pokositrenje, pocinkanje ali pobakrenje. Pred konserviranjem in restavriranjem vsekakor moramo določiti, s kakšno kovino imamo opraviti. Najprej se lotimo vizualnega pregleda, potem pa uporabimo še različne kemične in fizikalno-kemične metode, ki jih imamo na razpolago. Največkrat nam tudi uspe določiti osnovno kovino, iz katere je predmet izdelan (železo, baker, svinec, aluminij), manj pa smo uspešni pri opredelitvi vrste zlitine. Zato je bolje, da govorimo o npr. bakrovi zlitini, kot da se na pamet opredelimo za medenino ali bron. Bolje je, da govorimo o svetli kovini, kot da jo označimo s kositrom ali cinkom. Napačne ocene so mogoče zlasti pri kovinah, ki so prekrte s plastjo druge kovine (pokositreno ali pocinkano železo, pozlačena medenina in podobno).

Čeprav ima baker pozitiven normalni elektrodni potencial (+0,52 V), kar ga uvršča med

žlahtnejše kovine, rad korodira tako na zraku kot v arheološkem okolju. Ob tem korodirajo tudi kovine, ki so mu primešane. Bakrove zlitine korodirajo na različne in zapletene načine, ki jih bomo le okvirno orisali. Kloridni ioni (Cl<sup>-</sup>) igrajo pri tem pomembno vlogo, zato bomo korozijo ločeno obravnavali v primeru, ko so odsotni, in v primeru, ko so prisotni.

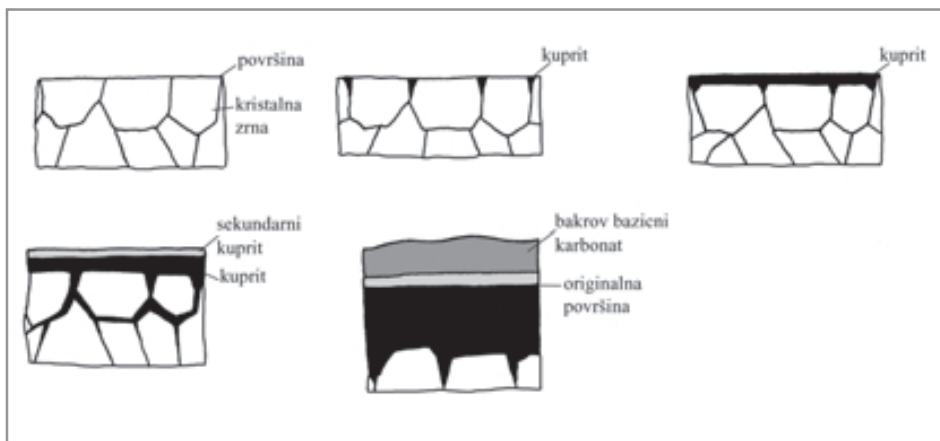
### Korozija brez udeležbe kloridnih ionov

Korozija bakra se začne na robovih kristalnih zrn (interkristalinična korozija, glej 3.1 Kovine) (slika 5), ker imajo robovi zrn večjo energijo in prevzamejo anodno vlogo proti katodni sredici kristalnega zrna. Na robovih kristalnih zrn se tvori primarni kuprit (Cu<sub>2</sub>O), ki zapolnjuje s korozijo nastale medprostore med zrn.



Slika 5: Mikrostruktura bakra z vidnimi kristalnimi zrn

Z napredovanjem korozije se izloča raztopljeni baker kot primarni kuprit na kovinski površini in znotraj vedno šibkejšega in manjšega kovinskega jedra. V nadaljevanju prodirajo bakrovi ioni (Cu<sup>+</sup>) skozi primarni kuprit na površino predmeta, kjer tvorijo sekundarni kuprit, ki glede na zunanje razmere tvori različno debelo zaščitno plast (slika 1). Ko plast kuprita doseže določeno debelino, se dotok bakrovih ionov (Cu<sup>+</sup>) na površino prekine in s tem korozija bakra. Toda pri debelini kupritne plasti več kot 2 nm pride v kristalni strukturi do nepravilnosti, ki povzročajo



Skica 1: Shematski prikaz poteka korozije bakra

napetosti in posledično razpoke. Pri tem se kuprit plasti in odpada, s čimer se tanjša zaščitna plast in nastajajo nove razmere za njegovo nastajanje. Enak učinek opazimo pri spiranju kupritne plasti z deževnico.

Korodiranje bakra se bistveno razlikuje od korodiranja železa v tem, da je gostota bakrovih korozijskih produktov podobna gostoti kovinskega bakra, zato korozijska plast ni voluminozna, temveč je kompaktna in se dobro prilega kovinski površini. To je pomembno, ker tako vse značilnosti površine predmeta ostanejo ohranjene v korozijskih produktih. Gostota bakra proti gostoti kuprita je v razmerju 1 : 2.

Druga pomembna razlika je v tem, da poteka korozija bakra intergranularno, kar pomeni, da se kuprit kopiči tudi znotraj kovinskega jedra.

Zunanje plasti sekundarnega kuprita reagirajo s spojinami iz okolja. Del kuprita reagira s kisikom iz zraka in tvori črni bakrov oksid tenorit (bakrov II oksid, CuO).



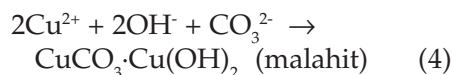
Tenorit se v vlažnem okolju in ob prisotnosti dodatnih plinov spreminja v druge spojine.

Ob prisotnosti ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) nastaja bazični bakrov karbonat. Tvorba karbonata se začne že pri koncentraciji 0,04 %

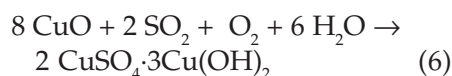
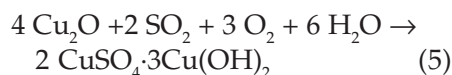
$\text{CO}_2$  v vodi. Pri tem igra pomembno vlogo pH. Bazični karbonat se tvori pri vrednosti pH 6, torej v rahlo kislem okolju. Kislost deževnice je ravno v tem območju pH, kar pomeni, da pospešuje nastanek bazičnega karbonata.



V prsti so zaradi razpada apnenca vedno prisotni karbonati ( $\text{CO}_3^{2-}$ ),  $\text{CO}_2$  in hidrogenkarbonati ( $\text{HCO}_3^-$ ) v obliki kalcijevega hidrogenkarbonata  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Ta daje z vodo bazično reakcijo, kar pospešuje tvorbo bazičnega bakrovega karbonata malahita.



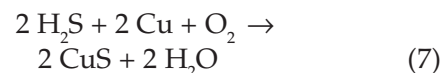
Če zrak in s tem tudi zemlja vsebuje več kot 1 % žveplovega dioksida ( $\text{SO}_2$ ) ali celo žveplovega trioksida ( $\text{SO}_3$ ), se že v rahlo vlažnem okolju tvorijo kisline, ki raztapljajo oksidno plast. Bakrov sulfat ne nastaja v suhem okolju. V močno vlažnem okolju (več kot 70 % RH) pa se zelo hitro tvori bazični bakrov sulfat (brokantit  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ )



Ta reakcija poteka na zraku in v prsti, še posebno v okolju, kjer je prisotnega več žveplovega dioksida,

npr. v mestih. V vsakem primeru je med kovino in sulfatom plast oksida. Ugotovljeno je, da so predmeti iz bakra, ki korodirajo na zraku, zaradi v zraku prisotnega žveplovega dioksida prekriti skoraj izključno z brokantitom in le redko z malahitom.

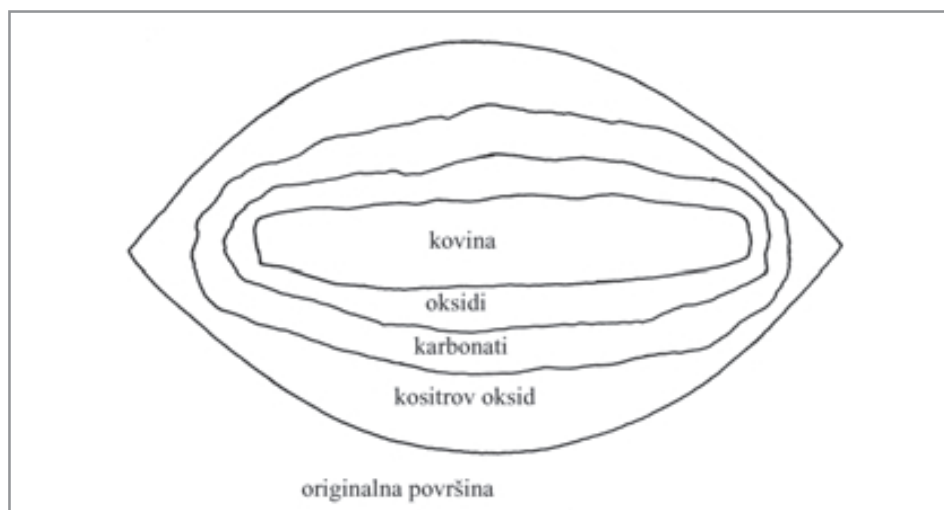
Naslednji plin, ki reagira z bakrom, je žveplovodik ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Baker se najprej prevleče s tenko plastjo kuprita in nato halkozina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ , bakrov sijajnik). Za potek te reakcije zadostuje že 1,7 ppb (part per bilion)  $\text{H}_2\text{S}$ . Sulfidni ioni lahko reagirajo z že nastalimi bakrovimi ioni v njegovih spojinah ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ali pa neposredno s kovinskim bakrom v kovelin ( $\text{CuS}$ ).



Kovelin opazimo tako na nerestavriranih kot na restavriranih muzejskih predmetih iz bakra. V morju kovelin nastaja tudi s pomočjo bakterij.

Dušikove kisline ne najdemo v zraku in prsti, zato tudi bakrovega nitrata v naravi skoraj ne zasledimo. Bazični bakrov nitrat navadno najdemo na umetno patiniranih predmetih in njegova prisotnost je gotov dokaz, da gre za umetno patiniran, torej nov predmet.

Korodiranje bronu poteka po bolj zapletenih mehanizmih, ki imajo drugačne pojavne oblike. Pri ohlajanju bronu se tvorijo drobna kristalna zrna različnih sestav. Tudi pri bronu se začne korozija na robovih kristalnih zrn. Pri bronu z manj kot 10 % kositra se začne korozija na zrnih  $\alpha$ -faze ( $\alpha$ -faza = 9 delov Cu + 1 del Sn). Pri bronu z več kot 10 % kositra delujejo različni korozijski mehanizmi, ki pa ne segajo v globino zlitine. Tako kot pri čistem bakru se tudi tu začne korozija z nastankom kuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) in njegovo pretvorbo v tenorit ( $\text{CuO}$ ). Sočasno s tem poteka oksidacija kositra prek

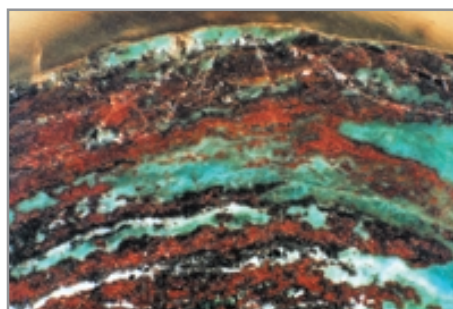


Skica 2: Shematski prikaz korozije kositrovega bronu

hidratiziranih oksidov ( $\text{SnO} \cdot \text{H}_2\text{O}$  in  $\text{SnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) do kositrovega IV oksida ( $\text{SnO}_2$ ), ki ga v naravi poznamo kot kasiterit. Ob prisotnosti ogljikovega dioksida in kisika, pri čemer nastaja bakrov bazični karbonat, ostaja kositrov oksid nespremenjen. Bakrove spojine se sčasoma v kislem okolju lahko raztapljajo in preidejo v raztopino, medtem ko kositrov oksid ostaja na predmetu. Ta proces vodi v peščeni prsti do tvorbe ovojnice iz kositrovega oksida, ki vključuje tudi železove spojine in druge sestavine iz okolja, medtem ko baker difundira v okolico (skica 2). Takšen potek oksidacije bronu nas lahko zavede, da gre za pokositren bron. Druge sestavine zlitine, kot so cink, svinec in nikelj, se izlužijo podobno kot baker. Svinec se pri tem najprej nakopiči v patini in ga pozneje najdemo v prsti kot svinčev oksid. Cink se izluži iz medenine nekoliko hitreje kot baker, čemur rečemo, da pride do razcinkanja. Manjše količine teh primesi ne vplivajo bistveno na potek korozije, ampak kvečjemu na barvo korozijske plasti. Pri koroziji arzenovega in antimonovega bronu se arzen in antimon ohranita kot oksida.

Pri kositrovem bronu opazimo še en pojav, pri katerem so plasti kuprita in malahita večkrat izmenično

naložene druga na drugo. Plast kositrovega oksida oziroma njegovega hidrata  $\text{SnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  deluje kot močno absorpcijsko sredstvo za bakrove ione. Bakrovi ioni  $\text{Cu}^{2+}$  potujejo od sredine (kovina) proti površini predmeta, kjer se delno absorbirajo v plasti kositrovega hidratiziranega oksida, delno pa tvorijo malahitno plast. Iz nasprotni strani, iz prsti, prodirajo v predmet voda, ogljikov dioksid, kisik in kisline, ki reducirajo absorbirane bakrove II ione ( $\text{Cu}^{2+}$ ) do kuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Kositrov hidratiziran oksid vpliva na tvorbo izmeničnih plasti malahita in kuprita (slika 6).



Slika 6: Presek tipične korozijske plasti bronu  
Korozija bakra in bakrovih zlitin doseže sčasoma določeno stabilno ravnotežje, če niso prisotni kloridni ioni, ki to stabilno stanje porušijo.

#### Korozija z udeležbo kloridnih ionov

Ob prisotnosti kloridnih ionov ( $\text{Cl}^-$ ) pride do pojava tako imenovane

bronove bolezni. Kloridni ioni so prisotni zlasti v obmorskih krajih ( $\text{NaCl}$ ). Kloridi prodirajo do kovinskega bakra skozi kupritno plast, kjer reagirajo z bakrovimi ioni  $\text{Cu}^{2+}$ , ki nastajajo iz kovinskega bakra v galvanskem členu, ter tvorijo bakrov II klorid.

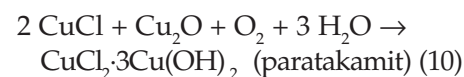


Bakrov (II) klorid ( $\text{CuCl}_2$ ) je vodotopen in se delno pretvarja v bakrov (I) klorid ( $\text{CuCl}$ , nantokit) ter dalje v bazični bakrov klorid ( $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ).

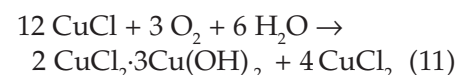


Nantokit je slabo vodotopen in se zadržuje na površini kovinskega bakra, kjer povzroča njegov kontinuiran razpad. Obstaja več možnih reakcij, v katerih daje nantokit različne spojine, med katerimi je značilen paratakamit, ki ga opazimo na površini predmeta kot prašnate svetle sivozelene madeže (glej sliko 11).

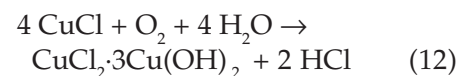
#### prva možnost



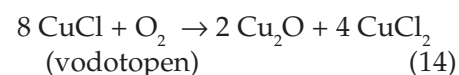
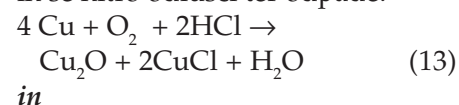
#### druga možnost



#### tretja možnost

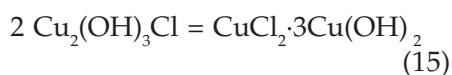


Vidimo, da v teh reakcijah nastaja zelo agresivna klorovodikova kislina ( $\text{HCl}$ ), ki s pomočjo kisika raztaplja kovinski baker. Pri tem nastane tudi nekaj dodatnega kuprita, ki pa ne tvori kompaktne plasti na bakru tako kot prva oksidna plast, in se hitro odlušči ter odpade.



Pri višjih koncentracijah kloridnih ionov se raztaplja tudi kompaktna, sicer zaščitna plast kuprita. Gre za dokaj zapletene korozijske procese, ki še niso razjasnjeni, vendar vsekakor vodijo do počasnega razpada kovine in nastajanja bazičnega bakrovega klorida, ki je v normalnih okoliščinah stabilen. Tudi ta se žal ne oprijema čvrsto površine, tako da skozi nastale razpoke prodirajo novi kloridni ioni, ki nadaljujejo korozijo.

Bazični bakrov klorid ima bruto formulo, ki jo lahko prikažemo na dva načina:



Pri kristalizaciji tvori dve različni kristalni strukturi (modifikaciji), ki sta prepoznavni tako z rentgensko difrakcijsko metodo kot tudi z infrardečo spektroskopijo.

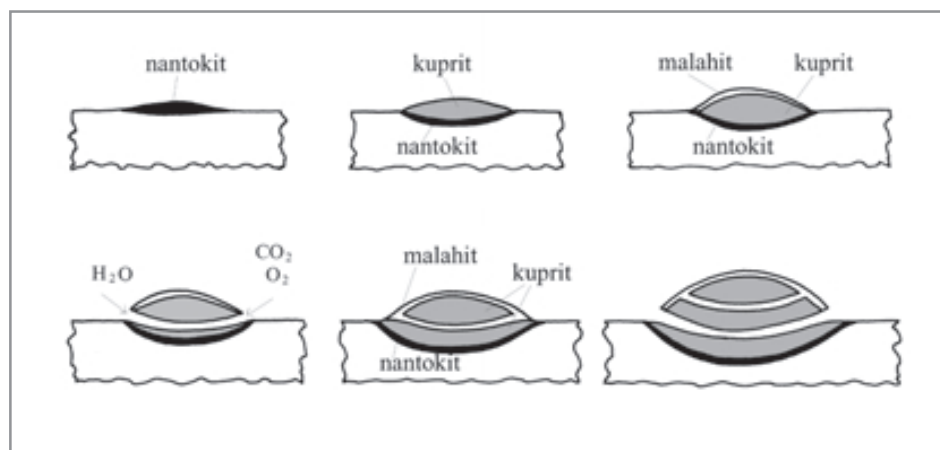
Najpogostejša in najstabilnejša modifikacija je atakamit. Druga modifikacija je paratakamit, ki nastaja iz bakra in  $\text{CuCl}_2$  v vlažnem okolju, ko je koncentracija raztopine  $\text{CuCl}_2$  okrog 0,1-molarna (približno 1%). Pri višjih ali nižjih koncentracijah nastaja atakamit. Prisotno razmerje obeh modifikacij je torej odvisno od koncentracije bakrovega klorida. Prehajanja atakamita v paratakamit v normalnih okoliščinah ni.

V odsotnosti kisika se korozijske reakcije ustavijo pri nantokitu ( $\text{CuCl}$ ). Prav tako se korozija ustavi v suhem okolju, ko je RH manj kot 30 %.

Če se kloridom pridruži še acetat ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), ki je dobro vodotopen, nastane maligna patina, ki hitro uniči kovino. Takšno obliko korodiranja bakrove pločevine so uporabljali v antiki in srednjem veku za pridobivanje slikarskega pigmenta verdigris.

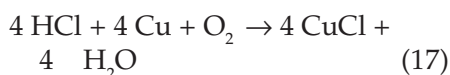
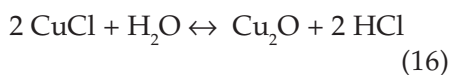
#### Luknjičasta korozija

Luknjičasta korozija je oblika



Skica 3: Shematski prikaz nastanka bradavičaste korozije

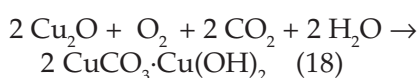
bronove bolezni in nastaja tam, kjer je prisoten nantokit ( $\text{CuCl}$ ), ki leži pod plastjo kuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Reagira na naslednji način:



Na tak način se ponovno tvori kuprit, ki pa se hitro spere. Nastala klorovodikova kislina (solna kislina) reagira s kovinskim bakrom do nantokita ( $\text{CuCl}$ ). Tako se zaključi krog kemičnih reakcij, ki poglobljajo že nastale korozijske luknjice, zaradi česar je ta oblika korozije dobila svoje ime. Ta vrsta korozije je tipična za baker, ki korodira na zraku, v katerem so prisotni kloridi.

#### Bradavičasta korozija

Proces bradavičaste korozije je prav tako vrsta bronove bolezni, ki je značilna za baker in njegove zlitine, ki korodirajo v zemlji. V procesu luknjičaste korozije nastali kuprit tvori ob prisotnosti ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ), vode in kisika bazični bakrov karbonat ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  – malahit), ki počasi tvori trdo plast.



Z napredovanjem korozije nastaja iz nantokita ( $\text{CuCl}$ ) vedno novi kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), ki izriva zgoraj ležečo trdo

plast malahita. Včasih zaradi različno hitre korozije na različnih mestih v določenem trenutku plast malahita počni, pri čemer nastane razpoka, ki je paralelna s korozijsko plastjo. Z novim vdorom vlage, ogljikovega dioksida in kisika skozi nastalo razpoko se tako izpostavljeni kuprit pretvori v malahit. Proces se ciklično ponavlja, vse dokler nastajata novi nantokit ( $\text{CuCl}$ ) in kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Tako v bakru nastajajo kraterji, nad katerimi se tvorijo vedno večje bule (skica 3).

#### Splošno in zaključek

Korozija bakra in njegovih zlitin na koncu vedno privede do tvorbe bazičnih bakrovih spojin (sulfati, karbonati, kloridi). Tabela 1 navaja večino korozijskih produktov.

Če je korozijski proces počasen, se tvori kompaktna plast bazičnega bakrovega karbonata ali sulfata (žlahtna patina), v primeru hitre korozije pa nastaja prašna ali krastava oblika, ki ni cenjena in je za predmet škodljiva. Včasih pride na različnih mestih do različno hitre korozije, pri čemer nastajajo korozijski produkti v obliki bradavic (bradavičasta korozija), ki prekrivajo nastale jamice na površini predmeta. Ta vrsta korozije vodi do popolne izgube originalne površine pod bradavico.

Kako hitro in v katero smer bo

Mineraloško ime	Kemijsko ime	Formula	Barva
<i>oksid/hidroksidi</i>			
kuprit	bakrov I oksid	Cu <sub>2</sub> O	rdeča
tenorit	bakrov II oksid	CuO	rjava do črna
kasiterit	kositrov IV oksid	SnO <sub>2</sub>	bela
varlamofit	kositrov II hidroksid	Sn(OH) <sub>2</sub>	bela
<i>karbonati</i>			
malahit	bazični bakrov karbonat	CuCO <sub>3</sub> · Cu(OH) <sub>2</sub>	zeleno
azurit	bazični bakrov karbonat	2CuCO <sub>3</sub> · Cu(OH) <sub>2</sub>	plava
halkonatronit	bazični bakrov karbonat	CuCO <sub>3</sub> · Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 3H <sub>2</sub> O	plavozelena
<i>sulfati</i>			
brokantit	bakrov sulfat	CuSO <sub>4</sub> · 3Cu(OH) <sub>2</sub>	zeleno
antlerit		CuSO <sub>4</sub> · 2Cu(OH) <sub>2</sub>	zeleno
		CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	plava
<i>kloridi</i>			
atakamit	bazični bakrov klorid	CuCl <sub>2</sub> · 3Cu(OH) <sub>2</sub>	svetlozeleno
paratakamit	bazični bakrov klorid	CuCl <sub>2</sub> · 3Cu(OH) <sub>2</sub>	svetlozeleno
nantokit	bakrov I klorid	CuCl	siva
<i>sulfidi</i>			
halkozin	bakrov I sulfid	Cu <sub>2</sub> S	črna
kovelin	bakrov II sulfid	CuS	plavočrna

Tabela 1: Pregled pomembnejših bakrovih korozijskih produktov

potekala korozija, je odvisno od okolja, v katerem se nahaja predmet, in od njegove sestave. Pri arheoloških predmetih igra zelo pomembno vlogo prst, v kateri se predmet nahaja. Humozna in peščena tla dobro prepuščajo vodo, kisik in ogljikov dioksid; humus vsebujejo kisle substance; blato in mulj vsebujeta vodo in v njej raztopljene snovi; v glino ne prodira zrak, zato v njej ni korozije. Tudi zelo majhne količine soli v zemlji lahko škodljivo delujejo na predmet. V popolnoma suhi zemlji ne pride do prenosa soli iz okolja v predmet, zato redko nastopi korozija. V teh procesih ima temperatura odločilen vpliv. Onesnažen zrak škodljivo vpliva na predmete na prostem, vendar prodira tudi v prst, kjer škodljivo deluje na zakopane predmete. Žveplov dioksid (SO<sub>2</sub>), nitrati (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrozni plini (NO<sub>x</sub>) in vodikov sulfid (S<sup>2-</sup>) v povezavi z

ogljikovim dioksidom (CO<sub>2</sub>) in vodo so najpogostejše omenjeni škodljivi dejavniki okolja. Različna topnost različnih ionov ima pri korozijskih procesih pomembno vlogo.

Pri bakru opažamo naslednje hitrosti korodiranja:

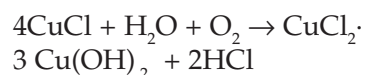
- podeželsko okolje 0,06 μm/leto  
1 μm = 0,001 mm = 0,000001 m = 10<sup>-6</sup> m
- prst 0,3 μm/leto
- morsko ozračje 0,13 μm/leto
- morska voda 3,2 μm/leto

Pri koroziji opažamo, da ne gre samo za gibanje kovinskih ionov iz kovine proti raztopini, temveč tudi v obratni smeri. Železovi, aluminijevi, silicijevi in fosfatni ioni se gibljejo iz raztopine proti kovini, vdirajo vanjo in jo na tak način v določeni meri tudi utrdijo. Pri tem opažamo pojav, ko nastajajoči minerali na kovinski površini

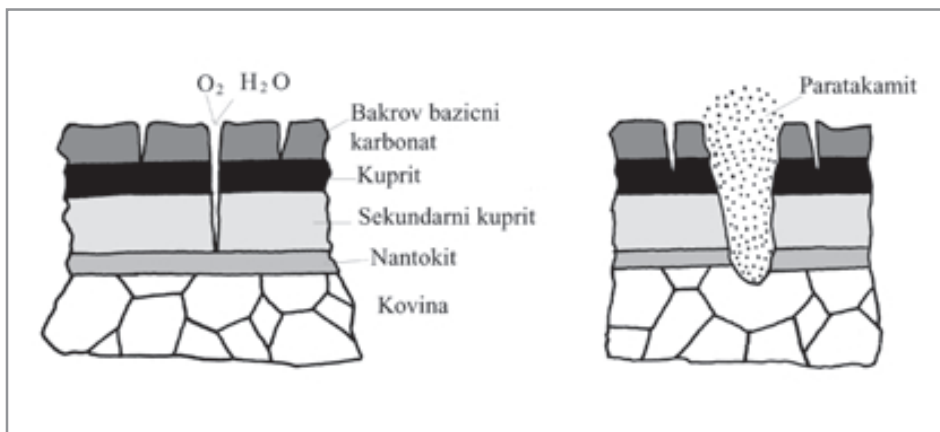
vključujejo zemljo iz okolne prsti. Nastaja večja neenakomerna kristalna struktura, ki ne sledi obliki predmeta in jo s tem spreminja. Vidimo, da so pri razlagi korozijskih pojavov pomembni tako kemični kot mineraloški procesi.

### 3. Shranjevanje pred obdelavo

Korodirani bakreni predmeti so po izkopu stabilni, če jih hranimo v suhem okolju. To ne drži, če je ozračje onesnaženo z agresivnimi plini, še zlasti ne, če so v predmetu prisotni kloridni ioni. Korozijski procesi so še posebno dejavni tam, kjer je koncentracija kloridnih ionov lokalno povečana. Izjemno uničujoča oblika korozije, bronova bolezen, nastopi tam, kjer je v patini prisoten nantokit (CuCl). Ta povzroča korozijo tudi v tako suhem okolju, kjer je relativna vlažnost zraka manj kot 50 %. Ob prisotnosti kisika in vlage zelo hitro poteka reakcija, v kateri nastaja blede zelen prašni bazični bakrov (II) klorid (paratakamit).



Ker nantokit leži na kovinski površini kot najbolj spodnja korozijska plast, prihaja pri njegovi reakciji z vodo in kisikom v paratakamit do odtrganja zgornjih korozijskih plasti in končno do izbruha na površino (**skica 4, slika 11**). Pri tej reakciji nastali klorovodik poskrbi za nadaljevanje korozije še preostalega kovinskega bakra vse do popolnega propada. Pri sveže izkopanem bronu se lahko bronova bolezen razvije v nekaj urah. Nantokit je stabilen le v odsotnosti kisika in vlage, torej ko je korozijska plast na predmetu tako gosta in kompaktna, da ne omogoča dostopa kisiku in vlagi do njegove površine, kjer se nantokit nahaja. Do porušitve tako stabilnega stanja lahko pride zaradi čiščenja površine predmeta ali pa



Skica 4: Shematski prikaz poteka bronove bolezni

zaradi temperaturnih sprememb, ki povzročajo razpoke v kompaktni patini, ki ščiti nantokit pred vplivi kisika in vlage.

Če takoj po izkopavanju predmetov ne moremo konservirati, smo jim dolžni zagotoviti ustrezno hranjenje, ki bo zagotovilo njihovo ohranitev. Suhe predmete hranimo v suhih, vlažne pa v vlažnih shrambah. Suho hranjenje jim zagotovimo z uporabo ustrezno velikih in zrakotesnih škatel, v katere vložimo suhi silikagel. Vlažne predmete hranimo v enakih škatlah, le da namesto silikagela vstavimo vlažilne vrečke ali še bolje, artsorb, ki je kondicioniran na višjo zračno vlago (npr. 55–65 % RH). Predmete, ki so zmožni prenesti zamrzovanje, lahko shranimo v zamrzovalnih skrinjah in omarah. Nizke temperature upočasnjujejo vse kemične reakcije in tako tudi napredovanje korozije bronu. Čim nižja je temperatura, tem počasnejši so korozijski procesi kovine. Za skladiščenje ogroženih bronastih predmetov se priporoča temperatura med  $-20$  in  $-30$  °C. Pri tem je nujno, da vlažen predmet zelo hitro ohladimo, s čimer preprečimo počasno kristalizacijo ledu in s tem tvorbo velikih kristalov, ki so za predmet nevarni. Če takih možnosti nimamo, se moramo potruditi, da predmetov ne izpostavimo velikim temperaturnim spremembam in spremembam zračne vlage.

#### 4. Preiskave

Vse predmete, ki imajo zapleteno strukturo, so prekriti z zemljo ali kako drugače zanimivi, najprej rentgeniziramo (poglavje 6), jih na osnovi rentgenskih posnetkov ocenimo ter nato še vizualno preiščemo in pregledamo pod mikroskopom (poglavje 6). S pregledom ugotovimo, kako je predmet sestavljen, kako so izdelani in okrašeni posamezni deli, ter določimo vse druge prisotne materiale. S testom s srebrovim nitratom ugotavljamo prisotnost ali odsotnost kloridnih ionov (poglavje 4). Nato predmete analiziramo z metodo XRF EDS ali katero drugo neinvazivno metodo (poglavje 6), s katerimi ugotavljamo njihovo sestavo. Pomembno je, da ločimo, ali gre za bakren, bronast ali medeninast predmet. Z metodo XRF EDS hitro in zanesljivo ugotovimo, ali gre za pozlate, posrebritve ali pokositrenja. To nam pomaga pri odločitvi, kako se lotiti čiščenja in na kaj moramo biti pri čiščenju pozorni.

#### 5. Čiščenje in zaščita

Pristop k čiščenju in nadaljnji obdelavi predmetov ločimo glede na to, ali gre za arheološke kovinske predmete ali predmete nearheološkega izvora. Med arheološke predmete štejemo tiste, ki so pridobljeni z arheološko metodo, ki so bili zakopani v zemlji

ali potopljeni v vodi, oziroma tiste, ki pripadajo arheološkim obdobjem. Druge predmete prištevamo k nearheološkim, npr. predmete tehnične kulture, etnološke, umetnoobrtne, umetniške predmete in podobno.

#### Arheološki predmeti

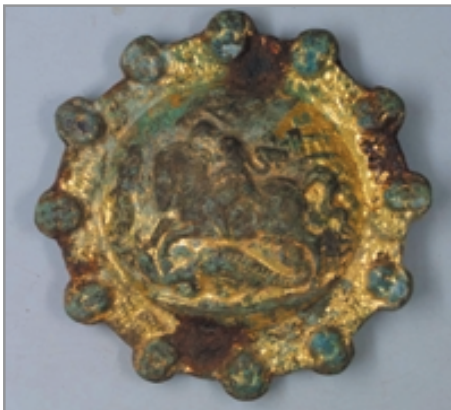
Pri čiščenju predmetov iz bronu je vedno pomembno vprašanje patine, ki predmete prekriva. Kot **patino** (poglavje 4) najpogosteje razumemo korozijske produkte, ki spontano nastanejo na predmetu zaradi njegovega postopnega propadanja. Videz in kakovost patine sta odvisna predvsem od sestave bronu in seveda tudi od vrste okolja, v katerem se predmet zadržuje. Patina pa je lahko tudi namenoma nanesena na predmet, bodisi s kemičnimi postopki bodisi z barvanjem površine. Namenoma naneseno patino je težko ločiti od spontano nastale in v naši delavnici nam pri vseh izkušnjah, ki jih imamo, tega še ni uspelo razločiti. Korozijski produkti, ki nastajajo z reakcijo med bronom in okolico, tvorijo patino, ki je po svoji kemični sestavi in tudi po svoji estetski veljavi zelo različna. Pri obdelavi arheoloških predmetov iz bronu se trudimo ohraniti pričujočo patino, ne glede na njeno estetsko vrednost, če le ne zakriva pomembnih informacij na predmetu ali če ni predmetu škodljiva. Tako imenovano žlahtno patino ohranimo vedno in v celoti, ker je to kompaktna gladka plast korozije, lepe zeleno-modre barve, ki sledi vsem najmanjšim podrobnostim površine in jih poudarja ter istočasno varuje predmet pred nadaljnjo korozijo. Svoje ime **žlahtna** je dobila prav zaradi svoje izredne lepote, ki spreminja svoj videz od predmeta do predmeta. Patina na bakru je lahko tudi rdeča, črna, modra, bela, gobasta, krastasta, prašnata in tako dalje. Najnevarnejša in moteča je tako





*Slika 7: Razkrit ornament pod krastasto patino na bronastem predmetu*

imenovana bronova bolezen. To je svetlozeleni bazični bakrov (II) klorid (paratacamit), ki se zajeda v bronasto maso v obliki kraterjev (glej slika 11, skica 4). Tega odstranjujemo temeljito in v vsakem primeru. Odstranjujemo tudi tisto zeleno patino, ki prekriva ornamente (slika 7) in napise ter druge značilnosti, kot so nanese plasti pozlate, posrebritve, barvne plasti in podobno (slika 8).



*Slika 8: Pozlačen bronast okov, prekrit z zeleno patino*

Bronast predmet, ki ga sprejmemo v delavnico, najprej vpišemo v konservatorsko dokumentacijo. Nato ga fotografiramo in po potrebi rentgeniziramo. Opisan bo tipičen postopek obdelave velikega števila sorazmerno enostavnih arheoloških bronastih predmetov, ki pa se v posameznih težavnejših primerih lahko dopolni z drugimi tehnikami, ki jih najdemo drugje v literaturi. Posebno skrbne obdelave, dodatnega premisleka in truda so deležni tisti bronasti predmeti, ki so bodisi pozlačeni, posrebrani ali



*obesek*



*fibula*



*glava igle*



*fibula*

*Slika 9: Tipični bronasti predmeti, ki jih je treba konservirati*

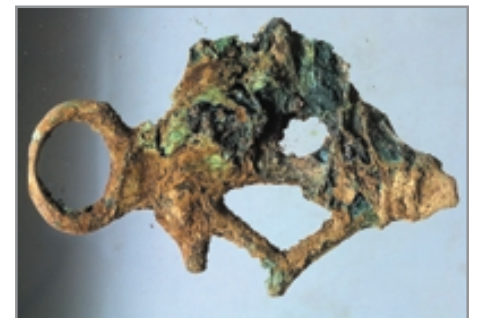
pokositreni bodisi okrašeni s kovinskimi vložki, niellom ali emajlom. Korozija poteka tudi pod temi okrasnimi vključki, ki zaradi tega odstopajo od bronaste podlage in jih ob nepazljivem postopanju zlahka poškodujemo ali izgubimo. Videz tipičnih bronastih predmetov, ki jih sprejemamo v delo, je prikazan na sliki (slika 9). Če predmet nima dodatkov iz organskih snovi in če je sorazmerno trden, ga najprej kuhamo v destilirani vodi z



*pasna spona*



*fibula z emajliranim okrasom*

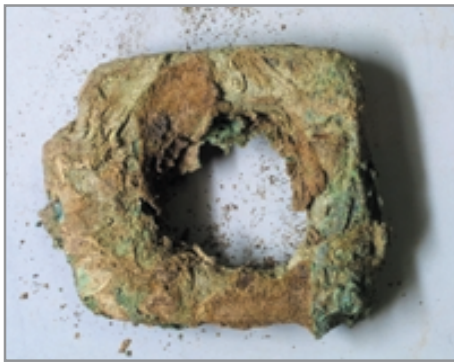


*obesek*



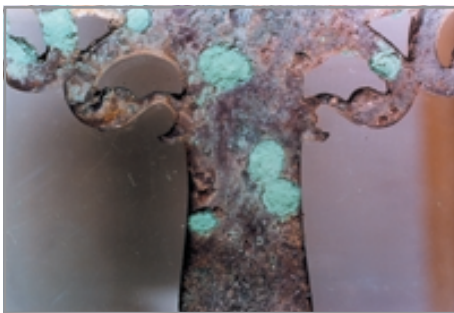
*fibula*

dodatkom detergenta. Predmeta, kot ga vidimo na sliki 10, nikakor ne namakamo v vodi ali kakšni drugi tekočini, ker bi uničili vse ostanke na njem. Nato predmet s pomočjo čopiča v vodi operemo od zemlje. Ponovno ga kuhamo v destilirani vodi in opravimo test na kloride (glej poglavje 4). Če so v predmetu prisotni kloridi, jih



*Slika 10: Ostanki usnja, tekstila in lesa na obročku*

odstranjujemo z globinskim spiranjem (glej poglavje 4) ali pa s spiranjem v Soxletovem aparatu (glej poglavje 4). Namesto vode lahko uporabimo organsko topilo acetonitril, ki učinkoviteje odstranjuje kloridne ione, ker je nantokit ( $\text{CuCl}$ ) v njem bolj topen kot v vodi. Acetonitril lahko uporabimo kot topilo v Soxletovem aparatu ali pa predmete v njem namakamo. V nobenem primeru ne smemo predmetov v njem kuhati, ker je vnetljiv in strupen. Predmetov, na katerih so vidni svetli madeži bronove bolezn (slika 11), ne prekuhavamo. Svetlozeleni prah



*Slika 11: Antično bronasto cedilo s svetlozelenimi madeži atakamita – bronove bolezn*

bazičnega bakrovega (II) klorida (paraatakamita), ki ga na sliki 11 vidimo kot okrogle svetlozelene madeže, temeljito odstranimo s peskanjem do kovinske osnove (slika 12). To storimo zato, ker se slabo topni nantokit ( $\text{CuCl}$ ), ki povzroča nastanek bronove bolezn, nahaja pod svetlozelenimi madeži tik ob kovinski površini in ga le na

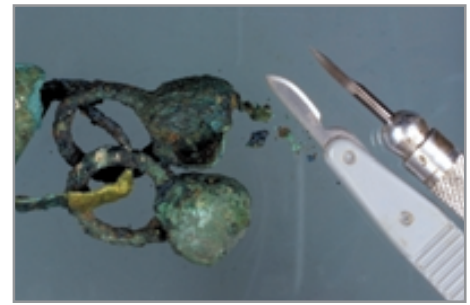


*Slika 12: Odstranjena žarišča bronove bolezn s peskanjem*

tak način učinkovito odstranimo. Tako nastale kraterje premažemo z benzotriazolom (glej poglavje 4) in jih zapremo z aralditom AV 129 (slika 13). Odstranjevanje kloridov sodi med postopke stabilizacije bronu, napotke pa najdemo v vseh knjigah, ki opisujejo to tematiko. Ponujenih je veliko načinov, a le redki so še v rabi, zato jih tu ne navajam, razen najučinkovitejših, tj.



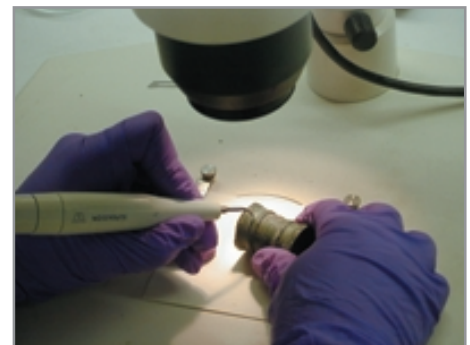
*Slika 13: Kraterji, ki so nastali po odstranitvi korozijskih produktov, so zapolnjeni s smolo*



*Slika 14: Odstranjevanje korozijskih produktov s skalpelom ali strgalom*

mehanskega, namakanje v vodi ali acetonitrilu.

Predmete, ki smo jih namakali v destilirani vodi, posušimo in se lotimo mehanskega čiščenja. Pri tem poskušamo odstraniti vso trdo korozijo, ki prekriva predmet in okrasje na njem, ne da bi ga ogulili do kovinske osnove. Trdo krastasto korozijo najprej poskusimo odstraniti s skalpelom ali strgalom (slika 14). Včasih se trda krasta rahlo drži spodnje gladke patine in pri uporabi skalpela zlahka odstopi od osnove ter odpade. Na tak način hitro in varno očistimo predmet do originalne površine. Če se izkaže, da je uporaba skalpela ali strgala neučinkovita, uporabimo močnejše orodje, kot je ultrazvočno kladivce (slika 15). Vibracije UZ-kladivca povzročijo ločitev zgornje krastaste



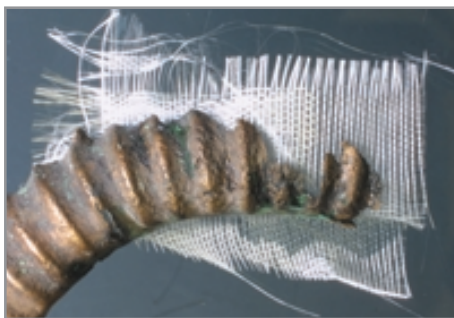
*Slika 15: Odstranjevanje korozijskih oblog z ultrazvočnim kladivcem*

korozije od spodnje gladke, ki formira originalno površino (slika 16). Tudi s tem orodjem hitro dosežemo zeleni čistilni učinek. Pri tem delu moramo biti pazljivi, da premočne vibracije ne poškodujejo tudi



*Slika 16: Površina ornamentiranega obročka, delno očiščena z ultra zvočnim kladivcem*

spodnje plasti in jo uničijo. To se zlasti rado zgodi takrat, ko je originalna površina mehka in je tik pod njo prašnata korozija. Na takšno korozijo naletimo predvsem pri bronastih predmetih z visoko vsebnostjo kositra in/ali svinca. Če tudi UZ-kladivce ni dovolj učinkovito, uporabimo še peskanje, mokro peskanje ter diamantne bruse in polirne gumice. Če gre za zelo tenko in propadlo bronasto pločevino, jo pred mehanskim čiščenjem utrdimo s podlaganjem z neko odpornejšo snovjo (vosek, kavčuk, smola itd.) (slika 17). Po čiščenju podlago odstranimo. Tudi



*Slika 17: Podlepljanje krhke pločevine s tkanino, namočeno v akrilnem laku*

druge krhke predmete iz bronu utrdimo pred mehanskim čiščenjem, ker bi se nam pri čiščenju v rokah razsuli. Utrdimo jih tako, da jih impregniramo z incralakom. Pri pozlatih, posrebrtavih ali dodatkih iz emajla, kosti itd. uporabimo tudi kemični način čiščenja. Na tak način učinkovito odstranimo korozijske produkte, ki te okrase prekrivajo. Ker so kemične metode čiščenja



*Slika 19: Uporaba binokularne lupe za natančen nadzor čiščenja*



*Slika 18: Bronast uhan z vložki iz emajla*

neselektivne pri odstranjevanju posameznih tipov korozijskih produktov, predmetov ne namakamo v čistilnih raztopinah, temveč se lotimo lokalnega kemičnega mehčanja ali odstranjevanja neželenih delov korozije (slika 18). Lokalnega čiščenja s čistilnimi raztopinami se lotimo tudi zato, ker te stečejo pod dodane okrase, od koder jih težko odstranimo, in pozneje povzročajo korozijo. Pri tem je najbolje uporabiti nevtralne ali rahlo kisle raztopine, saj njihovo učinkovanje

lažje kontroliramo. Najpogosteje uporabimo kompleksirajoče spojine (EDTA) ter bioaktivne, okolju in človeku prijazne snovi (biox). Pri tem delu pazimo, da uporabljeno čistilo ne zaide pod okrasno plast. Med plastjo pozlate, posrebrtve ali emajla in spodaj ležečo kovino je plast korozije, ki jo čistilo lahko raztopi in pride do odstopanja teh okrasnih oblog ter do njihovega izgubljanja. Po vsaki uporabi kemičnih sredstev predmet prekuhamo v destilirani vodi. Lahko uporabimo tehniko globinskega izpiranja (glej poglavje 4). S tem odstranimo vse prisotne vodotopne ostanke čistilnih sredstev, ki bi čez čas lahko nekontrolirano učinkovali na predmet in ga poškodovali. Ne glede na to, katero orodje ali kemikalijo uporabimo pri čiščenju, vedno uporabimo binokularno lupo, ker z njeno pomočjo lažje spremljamo dogajanje na površini predmeta in se izognemo pretiranemu čiščenju ter s tem poškodbam originalne površine. Na tak način smo lahko prepričani, da ne puščamo sledov orodja (slika 19).

Ko je predmet mehansko očiščen, ga

z namakanjem v alkoholu in s čopičem očistimo primesi, ki so v predmet prišle med obdelavo. Če smo predmet čistili s kemičnimi sredstvi, ga po čiščenju še prekuhamo v destilirani vodi, da odstranimo vse prisotne kemikalije. Nato ga vakuumsko sušimo 20 ur pri 80 °C (glej poglavje 4). Ohlajen predmet vakuumsko namočimo v 5% raztopino benzotriazola v etanolu in počakamo toliko časa, da prenehajo izhajati mehurčki. Po sušenju na zraku (nekaj minut) predmet še vakuumsko lakiramo v razredčenem (okrog 5 %) incralacu v ksilenu. Če je treba, predmet še lakiramo s čopičem z gostejšim (okrog 8 %) incralakom v ksilenu.

Če je bronast predmet fragmentiran, lahko očistimo najprej vsak fragment posebej in jih nato zlepimo ali pa jih najprej zlepimo in potem čistimo predmet kot celoto. Kateri način bomo izbrali, je odvisno od velikosti in oblike predmeta ter od stopnje propadlosti kovine. Najbolje je, da posamezne fragmente najprej očistimo in jih po obdelavi v benzotriazolu in lakiranju z incralakom še zlepimo. V tem primeru z lakom ločimo lepilo od kovine in s tem preprečimo njegov vpliv na kovino ter olajšamo morebitno poznejše razlepljenje spoja. Fragmente bronastega predmeta lepimo tako, da jih najprej fiksiramo s sekundnim lepilom (cianoakrilatno lepilo) in nato spoje utrdimo še s tekočim epoksidnim lepilom Araldit M. Paziti moramo, da ne namočimo patine z aralditom, ker bo potemnela in bo predmet pisan. Namesto araldita M lahko uporabimo araldit AV129, ki je v obliki kita. V tem primeru poleg lepljenja zapolnimo tudi medprostore, ki so po lepljenju s sekundnim lepilom še ostali na prelomih. Porozne in skoraj uprašene predmete pred lepljenjem utrdimo z akrilnim lakom Incralac.



*Slika 20: Popolnoma korodiran bronasti okras na propadlem koščku tekstila*

Z akrilnim lakom utrjujemo predmet tudi med postopkom mehanskega čiščenja, če se izkaže, da je predmet prekrhek in da ne bi prenesel mehanske obdelave brez poškodb.

Luknje in razpoke na predmetu lahko po lakiranju zapolnimo z epoksi kitom Araldit AV129. Odvečni kit odstranimo z drobnimi frezami. Nato patino in dopolnjena mesta poliramo s polirnimi gumicami različnih stopenj grobosti. Ostanke gumice odstranimo z izpihovanjem s stisnjenim zrakom in če je treba, z brisanjem površine z blazinicami, namočenimi v alkoholu. Predmet nato še enkrat lakiramo z namakanjem ali premazovanjem. Po strditvi laka ga voskamo z voščeno pasto Renaissance (glej poglavje 4). Površino nato še poliramo z mehko krtačo in mehko krpo. Temne madeže epoksi kita lahko pobarvamo z oljnimi, akrilnimi ali tempera barvami

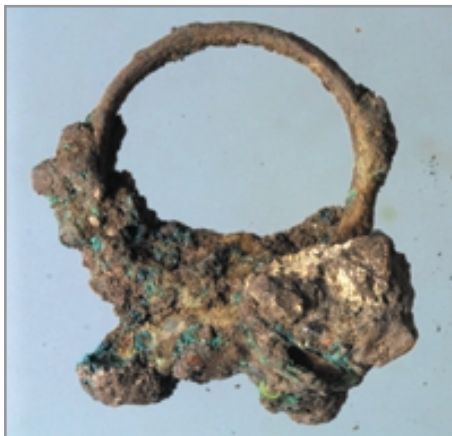
ustreznih barvnih odtenkov. S tem poenotimo videz predmeta, vendar tako, da so dodana pobarvana mesta pri natančnem ogledu še vedno opazna.

Učinkovitost postopka odstranjevanja škodljivih kloridnih soli in učinkovitost korozijske zaščite predmeta preverimo v vlažni komori (glej poglavje 4). Če v nekaj dneh opazimo na predmetu nastajanje belih pik bronove bolezni, je zaščita neučinkovita in se ponovno lotimo čiščenja.

Čiščenje propadlih bronastih predmetov, ki so poleg tega sestavljeni še iz drugih materialov, je izjemno težavno delo, ki zahteva prilagojen pristop. Vse opisane tehnike čiščenja in navedeni materiali so enaki, le pristop je drugačen in zahteva veliko občutljivost ter iznajdljivost konservatorja-restavratorja z veliko izkušnjami (slika 20). Zelo previdni moramo biti pri čiščenju popolnoma korodiranih predmetov, ker se ob



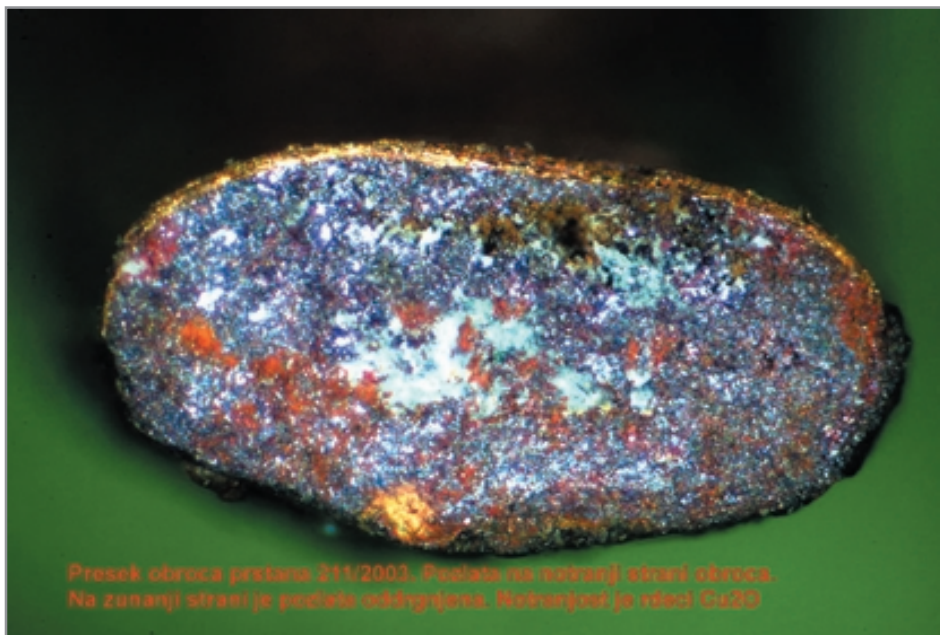
*Slika 21: Prelomljena igla fibule z votlo sredico*



*Slika 22: Pozlačen bronast prstan s trdo, težko odstranljivo oblogo*

najmanjšem pritisku zlomijo in zdrobijo (slika 21). Zdrobljenih delcev navadno ne moremo več sestaviti, kar pomeni, da je predmet izgubljen. Enako velja za popolnoma korodirane pozlačene bronaste predmete, ki so prekriti s trdo in težko odstranljivo patino (slika 22). Pri mehanskem čiščenju močno obloženega pozlačenega prstana je prišlo do loma obročka. S fotografije preloma je jasno vidno, da je jedro propadlo in da obroček nima kovinskega jedra (slika 23).

Večje bakrene, bronaste ali medeninaste predmete obdelujemo na enak način kot drobne, le da nam pristop k obdelavi narekujejo njihova velikost, oblika in ohranjenost. Situlo, ki jo vidimo na sliki 24, obdelujemo po delih, ki jih na koncu sestavimo v celoto. Ker je situla v tem primeru zelo propadla in ni samonosilna, uporabimo pri njenem sestavljanju osnovno oporo iz umetne mase, na katero nalepimo ohranjene dele. V tem primeru gre



*Slika 23: Prelom pozlačenega bronastega prstana*



*Slika 24: Restavrirana situla s podporo iz plastične mase*

za obsežen restavratorski poseg, ki zahteva premišljen pristop in dogovor o izboru materialov in tehniki restavriranja, kar vpliva na končni videz predmeta.

#### Predmeti umetne obrti

Umetnoobrtni predmeti, izdelani iz bakra in njegovih zlitin, se med seboj tako zelo razlikujejo, da v enem besedilu ni mogoče opisati vseh možnosti njihovega čiščenja, restavriranja in načinov zaščite. Gre za velike in robustne predmete, kot so skulpture na prostem, ali pa majhne in nežne predmete, kot je



*Slika 25: Merilni instrument*

nakit. Literatura se posveča restavriranju in konserviranju vsakega tipa predmetov posebej, ki so večinoma izdelani iz kombinacije različnih materialov, med katere sodijo tudi različne kovine. Tako bomo lahko našli napotke za čiščenje, restavriranje in zaščito spomenikov na prostem, orožja in obrambne opreme, nakita, posodja, orodja, tehnične robe, ur ali pohištvenega okovja (slika 25). Čeprav se pri vseh teh predmetih lahko osredotočimo na obdelavo le ene vrste kovin, so konstrukcijske značilnosti predmetov, povezave z drugimi materiali, stopnja ohranjenosti, dimenzije predmetov in njihova površinska obdelava tako različne in specifične, da vsak



Slika 26: Ura

predmet posebej zahteva sebi prilagojen pristop (slika 26). V tem besedilu se bom omejil na splošne principe čiščenja, konserviranja in restavriranja predmetov iz bakra in njegovih zlitin, ki jih lahko izvedemo v vsakem primeru z manjšimi ali večjimi prilagoditvami predmetu in njegovi situaciji v okolju.

Baker tvori, kot sem povedal že v uvodu, nenavadno veliko število različnih zlitin. Lahko vsebuje kositer, svinec in cink med 0 in 30 %, tako da lahko tvori 25 različnih materialnih skupin, iz katerih so izdelani predmeti. Umetnoobratni predmeti so izdelani v glavnem iz bakra, medenine ali bronca. Površina kovine je lahko različno obdelana, kar ji daje tipičen videz in obenem karakterizira sam predmet. Lahko je umetno patinirana na kemični način ali pa je preprosto pobarvana. Patina je seveda lahko tudi naravna, tako da je obe vrsti patine treba ločiti. Nekateri tipični predmeti so lakirani s posebnim lakom, ki jim daje karakterističen videz (naravoslovni instrumenti). Pri čiščenju predmetov je treba te značilnosti upoštevati, jih razkriti in



Slika 27: Kovinski predmet prekrit z barvnimi plastmi

ohraniti, če je to potrebno. Poleg barv (slika 27), lakov in patine na kovini lahko najdemo tudi kovinske plasti iz navadno bolj žlahtnih kovin (zlata, srebra) (slika 28). Pozlate in posrebitve pa tudi pokositrenja in pocinkanja so navadno takoj opazni, včasih pa jih opazimo šele z natančnim pregledom pod lupo oziroma določimo s katero od fizikalno-kemičnih analiznih metod. Poleg teh površinskih nanosov najdemo na kovinski površini predmeta tudi druge okrase, kot so niello, emajli, stekleni vložki ali obloge oziroma vložke iz kosti, želvovine, usnja, krzna, dragega kamena ali drugih kovin (slika 29). Kovinska površina je lahko tudi gravirana, cizelirana, puncirana ali kako drugače okrašena (glej poglavje 2 Krasilne tehnike). Vse te posebnosti moramo na predmetu razkriti in identificirati, preden se lotimo čiščenja, ter jih upoštevati pri izbiri načina čiščenja. V nobenem primeru nismo ogroziti ali celo zavestno žrtvovati enega materiala na račun drugega.

Tu bo govor o načinih čiščenja in zaščite bakra, medenine in bronca, ne



Slika 28: Predmet iz pozlačene medenine

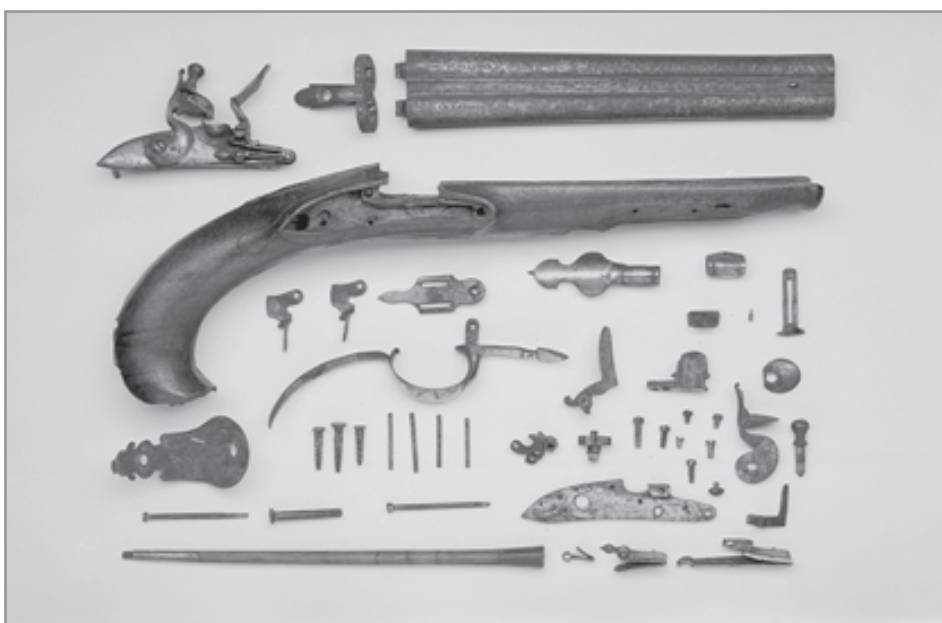
pa tudi drugih prisotnih materialov, ki so obravnavani drugače. Seveda bomo izbirali take postopke, ki bodo upoštevali prisotnost vseh omenjenih značilnosti. Pri tem je treba omeniti še velikost predmeta, ki določa pristop in tehnologijo obdelave, včasih pa tudi samo metodo oziroma tehniko dela.

Predmet, s katerim se ukvarjamo, položimo na čisto in veliko mizo, ki jo obložimo z mehkim materialom, kot je karton, trša pena, guma ali mehka tkanina.

Vsak predmet pred obdelavo razstavimo v sestavne dele tako, da jih ne poškodujemo (slika 30). To predvsem velja za spoje, kot so vijaki, žebliji ali kovice. Ne razstavljamo delov, ki so trajno spojeni – zavarjeni, zalotani, zatolčeni ali zakovičeni. Tega se lotimo s premislekom in v posvetovanju z drugimi kolegi le takrat, kadar je to nujno za varnost predmeta. Pri razstavljanju si zabeležimo položaj posameznih delov, da jih pri ponovnem sestavljanju lahko vrnemo na prvotno mesto. Tudi če gre za identične dele, kot so vijaki ali žebliji, ni vseeno, ali po sestavljanju zamenjamo njihov položaj ali pa jih položimo tja, kjer so bili pred razstavljanjem. Ves postopek razstavljanja dokumentiramo s skico, fotografijo ali obojim. Posamezne dele označimo, da ne bi



Slika 29: Medeninasti triptih z vstavljenim emajlom



Slika 30: Razstavljena pištola in pripravljena za čiščenje

prišlo pozneje do zamenjav (slika 31). Način označevanja izberemo sami ob upoštevanju vseh okoliščin. Paziti moramo, da oznak med postopkom čiščenja ne izgubimo. Posamezne dele predmeta obdelujemo ločeno in jih po končanem delu spojimo tako, kot smo jih pred čiščenjem razstavili.

Pri čiščenju uporabljamo kemične in mehanske metode.

#### Kemične metode čiščenja

Kemični načini čiščenja bakra, medenine in bronca so hitri in

učinkoviti, a so lahko tudi preveč agresivni in neselektivni. Zato je lahko čiščenje teh kovin s kemičnimi preparati tvegano in zahteva njihovo dobro poznavanje ter striktno upoštevanje navodil za uporabo. Najprej uporabimo manj agresivne kemikalije in šele ko ugotovimo, da so neučinkovite, uporabimo močnejše. Po vsaki uporabi kemičnih sredstev predmet dobro speremo v ustreznem topilu, ki je največkrat destilirana voda. Kemična sredstva uporabimo za popolno odstranitev korozijskih in



Slika 31: Označeni deli razstavljenega mehanizma pištole

drugih oblog ali pa kot pomožno, mehčalno sredstvo ob uporabi fizikalnih metod. Zato teh raztopin ne uporabljamo na patiniranih ali barvanih kovinskih površinah. To še posebno velja za lepo patinirane rjave bronaste kipce ali medalje (slika 32) in druge okrasne bronaste predmete, ki jih čistimo izključno s pranjem v mlačni milnici. Predmet lahko v celoti namočimo v čistilno kopal ali pa čistilno sredstvo nanesemo lokalno. O tem se odločimo glede na velikost predmeta ali pa glede na prisotnost drugih snovi, ki bi jim čistilno sredstvo lahko škodovalo (barvne plasti, obloge ali vložki iz drugih materialov). Vsa kemična sredstva uporabljamo pri sobni temperaturi, le redko jih segrevamo, da pospešimo njihovo delovanje. Čistilnih raztopin, ki smo jih uporabljali pri čiščenju ene kovine, ne uporabljamo za čiščenje drugih kovin. Najbolje je, da čistilno raztopino takoj po uporabi zavržemo. Največkrat so te raztopine po uporabi izrabljene in neučinkovite.



*kipec*

*Slika 32: Lepo patiniran bronast predmet (kipec, medalja)*

– *Voda*

Voda je najpreprostejše in najuporabnejše čistilno sredstvo. Umazane kovinske dele najprej operemo v vodi z dodatkom pralnih sredstev. Največkrat uporabimo demineralizirano vodo, da se izognemo sivim madežem izločenega kamna po sušenju. Demineralizirano vodo vedno uporabimo za izplakovanje predmetov po čiščenju z drugimi kemičnimi sredstvi.

– *Organska topila*

Organska topila so skupno ime za nevodna topila in imajo zelo različno kemično sestavo. Pri čiščenju bakra in njegovih zlitin najpogosteje uporabljamo alkohol, aceton, bencin, white spirit in ksilen. Topila uporabljamo za odstranjevanje starih premazov, maščob in drugih nečistoč, ki jih ne moremo odstraniti z vodo. Predmet



*medalja*

lahko namočimo v topilo ali pa ga obrišemo s krpo, ki je namočena v topilu. Topilo pri čiščenju večkrat zamenjamo. Izrabljenih topil ne zavržemo v odtok, ampak jih zbiramo v sode in odstranimo po posebnem postopku. V to skupino uvrščamo tudi lavo, ki je izdelana na osnovi kloriranih ogljikovodikov.

– *Biox*

Biox je komercialno ime za mešanico blagih organskih kislin in naravnih tenzidov. Natančna sestava ni znana. To je zelo učinkovito sredstvo za odstranjevanje kovinskih korozijskih produktov. Nabavimo ga pri prodajalcih materialov za konservatorje in restavratorje. Predmet namočimo v hladno raztopino bioxa za nekaj minut in ga nato krtačimo s krtačo ustrezne čvrstosti. Postopek večkrat ponovimo, da pridemo do ustreznega čistilnega učinka. Čiščenje lahko pospešimo tudi z uporabo ultrazvočne kopeli. Namakamo samo kovinske predmete, za katere smo prepričani, da na njih ne bo prišlo do kakršnih koli poškodb. Biox v principu ne škoduje organskim materialom, vendar se na to ugotovitev ne zanašamo preveč in bodimo kljub vsemu previdni. Lahko uporabimo tudi biox v gelu. Nanesemo ga na mesto, ki ga želimo očistiti. Gel pustimo učinkovati toliko časa, kolikor je treba. Če pustimo gel

učinkovati nekaj ur, ga prekrijemo z gospodinjsko folijo, da se ne izsuši. Po uporabi bioxa predmet vsakokrat dobro speremo z demineralizirano vodo. Izpiramo lahko tudi tako, da predmet prekuhamo v vodi ali pa ga pustimo stati v vodi dalj časa – tudi čez noč. Vodo pri tem večkrat zamenjamo.

– *EDTA*

Natrijeva sol etilen diamin tetraacetne kisline (EDTA) je kompleksirajoča snov, ki veže nase težke kovine in s tem počasi, a učinkovito in neagresivno odstrani korozijske obloge na kovinski površini. Nabavimo jo pri prodajalcih kemikalij in ima različna trgovska imena (Komplekson III, Kompleksal, Idranal II). EDTA uporabimo kot 5–15% vodno raztopino. Baker ali bakrove zlitine namočimo v to raztopino za toliko časa, da se korozijske obloge raztopijo ali vsaj zmehčajo. Delovanje raztopine lahko pospešimo z rahlim segrevanjem (40–50 °C) ali z mehanskim čiščenjem. Pri tem uporabimo mehko krtačo ali ultrazvočno kopel. Pri uporabi EDTA odstranimo vse zelene in plave soli, ostane pa rdeči kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), ki ga odstranimo z bioxom ali mehansko. Nekateri priporočajo uporabo razredčene žveplove kisline, katere uporaba je zelo tvegana in jo odsvetujemo.

– *Kalgon*

Kalgon je natrijev heksa metafosfat in prav tako sodi med kompleksirajoče reagente. To je znano sredstvo, ki veže nase kalcij iz vode in jo tako mehča. Raztopino kalgona uporabimo pri odstranjevanju kalcijevih oblog tam, kjer ne smemo uporabiti kislih raztopin. Predmet potopimo v 5% raztopino kalgona in ga pustimo stati nekaj ur. Počasi, a vztrajno razgrajuje apnenčaste obloge, ki jih odstranjujemo mehansko s



krtačenjem in skalpelom.

Poleg omenjenih tekočin so v literaturi našteje še številne druge, ki pa se po svoji učinkovitosti bistveno ne razlikujejo od zgoraj omenjenih. Pred uporabo katerega koli čistila se moramo dobro seznaniti z njegovimi lastnostmi in načinom delovanja. Prav tako moramo poznati načine zaščite pri delu in uporabe osebnih zaščitnih sredstev.

#### *Mehanske metode čiščenja*

Mehanske metode čiščenja so natančno opisane v 4. poglavju tega priročnika. Dovoljena je uporaba vseh metod mehanskega odstranjevanja nečistoč, le da je pri vsaki od njih potrebna pazljivost in previdnost. Izbor metode je odvisen od opremljenosti delavnice, od izkušenj posameznega konservatorja-restavratorja in od predmeta, ki ga čistimo. Najbolj so v rabi krtačenje s krtačami raznih oblik in kakovosti, poliranje, peskanje, ultrazvočne kopeli, vibracijska orodja in seveda najpreprostejša uporaba ročnega orodja, kot so skalpeli, strgala, igle in podobno. V zadnjem času se vse bolj uveljavlja tudi čiščenje z laserjem. Pri mehanskem čiščenju je treba najbolj paziti, da medtem ko čistimo, ne poškodujemo predmeta ali njegove površine. Posebno baker ima mehko površino, ki jo zlahka poškodujemo ob uporabi tršega orodja. Temu se moramo izogniti, saj konservator-restavrator v principu ne sme puščati za sabo sledov uporabljenega orodja. Poliranje sodi v končno obdelavo površine, ki spremeni njen videz. S poliranjem včasih tudi zakrijemo manjše sledi mehanskega čiščenja, ki ga pusti orodje. Poliramo samo tiste predmete ali dele predmetov, ki so bili originalno polirani. Druge dele predmetov ne poliramo, saj lahko s tem spremenimo splošni videz predmeta in vtis, ki ga predmet pušča na opazovalca.

## 6. Restavriranje

Restavriranja umetnoobrtnih predmetov se lotimo le, če smo za to dovolj usposobljeni in če je to nujno potrebno. Potrebe po restavriranih predmetih se pokažejo, ko se pripravljajo razstave ali ko predmete restavriramo za trg. Stopnje restavriranja so lahko zelo različne in praviloma se odločamo za minimalne posege, s katerimi oblikujemo predmet tako, da je stabilen, da poudarimo pomembne značilnosti, da je urejen in prijetnega videza, a še vedno ohranja videz starine z vsemi svojimi značilnostmi. Ne posegajmo v predmet tako močno, da bo videti kot nov in bo izgubil svojo očarljivost starine. Predmeti so stari in takšen videz naj tudi ohranijo. Lotimo se torej samo tistih popravil, ki močno kazijo podobo predmeta. Pri restavriranju ne smemo tvegati uničenja drugih delov predmeta ali sledov na predmetu, ki so rezultat njegove zgodovinske poti. Restavriranje predmetov iz bakra, medenine ali bronca pomeni:

- ravnanje ukrivljenih delov,
- ravnanje in izenačevanje lomov in raztrganin,
- odpravljanje prask in odrgrnin na površini,
- odpravljanje vdolbin ali izboklin pri posodah,
- zapolnjevanje lukenj in drugih manjkajočih delov,
- lepljenje ločenih sestavnih delov,
- delno patiniranje uničenih patiniranih ali barvnih plasti.

Vse te posege lahko uspešno opravimo le, če smo dobro izurjeni, če imamo ustrezno orodje in veliko občutka za pravo mero. Teh sposobnosti ni mogoče posredovati s priročnikom, zato je potrebno praktično urjenje ob strokovnjaku in dolgoletna praksa. Vedeti pa moramo, katere od omenjenih



*Slika 33: Vdolbina v čeladi kot posledica uporabe*

poškodb ne smemo odstraniti, ker so znamenje nekega dogodka v preteklosti, ki je zaznamoval predmet in je postal njegov sestavni del, npr. vdolbina v čeladi ali oklepu, ki je znamenje udarca v boju (**slika 33**).

Enaki osnovni etični napotki veljajo tudi pri restavriranju arheološkega gradiva. Ker gre za zelo stare in propadle predmete, je tu predvsem pomembno, da predmetom povrnemo razumljivost oblike, fizično stabilnost in mu damo ustrezen videz. Te zahteve vključujejo iskanje originalne površine ter njeno razkrivanje in ohranjanje. Videz predmeta ne bo nikoli enak, kot ga je imel v času njegove funkcije, a to niti ni potrebno, saj doseganje tega cilja največkrat pomeni tudi uničenje predmeta. Pri arheoloških predmetih gre predvsem za čiščenje in konserviranje, manj pa, če sploh, za restavriranje.

## 7. Rokovanje in nega

Pravila nege in rokovanja bronastih predmetov se ne razlikujejo bistveno od pravil, ki veljajo za druge kovinske predmete. Predmetov se dotikamo le z orokavičenimi rokami. Rokavice so lahko bombažne ali še bolje, nitrilne oziroma iz lateksa. To velja tako za očiščene kot neočiščene predmete. Bodimo previdni pri morebitnih odpadajočih delčkih predmeta. Predmete, ki se drobijo in

razpadajo, takoj prenesemo v konservatorsko delavnico in se lotimo aktivne konservacije. Krhke predmete prenašamo na podloženih pladnjih ali v obloženih škatlah ali košarah. Za posebno občutljive in dragocene predmete lahko izdelamo škatle, katerih obloga je izdelana po meri predmetov. Pri tem še poskrbimo za uporabo ustreznih in neškodljivih materialov.

Zaprašeni predmetov ne razprašujemo v depojskih prostorih, saj s tem prah, delčke oksidov in soli prenašamo na druge predmete. Pri čiščenju ne uporabljamo vode in detergentov, temveč jih čistimo na suh način. Prah in umazanijo odkrtačimo. Pri tem uporabimo večje, manjše, mehke ali trde krtače, odvisno od predmeta in njegove stabilnosti ter umazanije. Ščetine krtač lahko oblikujemo tudi z rezanjem, da dosežemo najbolj nedostopne dele predmeta. S krajšanjem ščetin dosežemo tudi želeno, ustrezno čvrstost krtače. Pri čiščenju arheoloških kovinskih predmetov pazimo, da ne odstranimo korozijskih plasti, ker je spodaj ležeča kovina mehansko zelo občutljiva. Odpadli košček korozije je lahko bistveni del predmeta ali vsebuje kakšno pomembno informacijo o njem, zato ga shranimo ob predmetu. Gladke nekorodirane ali rahlo korodirane predmete razprašimo s posebnimi krtačami ali krpami, ki elektrostatično privlačijo prah. Pri tem pazimo, da ne poškodujemo ali odstranimo rahlo pritrjenih delov predmeta.

Bodimo še posebno pozorni na bronaste predmete, ki so pozlačeni, posrebreni ali pokositreni. Te kovinske plasti lahko zaradi korozije odpadajo in se izgubljajo. Takšne predmete je treba takoj odnesti v konservatorsko-restavratorsko delavnico v obdelavo. Enako velja tudi za

predmete, ki so emajlirani ali imajo dodatke iz drugih materialov in ki kažejo očitne znake propadanja.

## 8. Shranjevanje

Predmete, pri katerih opazimo aktivno korozijo (bronovo bolezen), shranimo ločeno od stabilnih predmetov pri relativni vlagi (RH) manj kot 30 %. Ta pojav je nevaren in tako močno ogroža predmet, da ga lahko uniči v nekaj mesecih. Če kljub temu opazimo, da predmeti dalje korodirajo, znižamo RH pod 15 %. Takšne skrajno suhe okoliščine dosežemo, če predmet zapremo v zatesnjeno škatlo skupaj s suhim silikagelom. Tega damo v bombažno vrečko ali perforirano polietilensko vrečko, da preprečimo stik s predmetom. Namesto silikagela lahko uporabimo bolj učinkovit artsorb, ki ima večjo absorpcijsko zmogljivost in ga zato lahko uporabimo v manjših količinah za enak učinek. Večje število občutljivih bronastih predmetov shranimo v dobro tesnjeni omari. Vanjo vložimo večjo količino silikagela (5 kg/m<sup>3</sup> omare) ali artsorba (0,75 kg/m<sup>3</sup> omare) ali pa uporabimo manjši sušilnik zraka. Suh zrak pomembno znižuje hitrost korodiranja, ne odpravi pa vzrokov zanj. Zato je najbolje, da takšne predmete odnesemo v konservatorsko-restavratorsko delavnico v obdelavo.

Tudi za korozijsko stabilne bronaste predmete poskrbimo, da so pravilno in varno shranjeni. Predvsem poskrbimo za suh zrak (manj kot 40 % RH) in da se predmeti ne prašijo. Manjše predmete shranjujemo v zaprtih škatlah in vrečkah iz nekislega materiala (brezkislinski karton, papir, polipropilenske folije) ali v prahotesnih omarah s predali ali policami. Večje predmete zlagamo na police in jih prekrijemo z brez-kislinskim papirjem ali nebeljenim bombažnim platnom.

Police in predale obložimo z mehкими nevtralnimi polietilenskimi ali polipropilenskimi folijami. Te ščitijo predmete pred trdimi udarci in drgnjenjem. Posebno dragocene ali izredno nestabilne predmete lahko zaščitimo s podporniki, ki jih izdelamo iz polietilenske pene.

Iz prakse vemo, da večina predmetov ni izdelana samo iz ene vrste materiala in tako imajo tudi bronasti predmeti dodatke iz kosti, lesa, usnja, tekstila itd., katerim nizka vlažnost zraka škoduje. Zato shranjujemo takšne predmete v okolju, ki ustreza zahtevam celotne zbirke. Navadno je to 50–55 % RH, ki pa se po potrebi lahko tudi zniža, če gre za močno ogroženost kovinskih delov. Pomembno je, da vzdržujemo konstantno vlažnost zraka, ki naj se ne bi spreminjala za več kot ±5 % RH. Vsekakor je pomembno, da predmetov, sestavljenih iz različnih materialov, ne izpostavimo vlažnosti nad 65 ali pod 40 %.

Pogoji hranjena v depojih in razstavljanja:

Relativna vlaga zraka: spodnja meja ni določena; optimalno 20–35 %

Temperatura: 18–22 °C ±1 °C

Prah: učinkovitost filtriranja najmanj 99,9 %

Plini: SO<sub>2</sub> in NO<sub>2</sub> manj kot 10 mg/m<sup>3</sup>, ozon (O<sub>3</sub>) manj kot 2 mg/m<sup>3</sup>

## 9. Primeri

Kadilnica 588/97

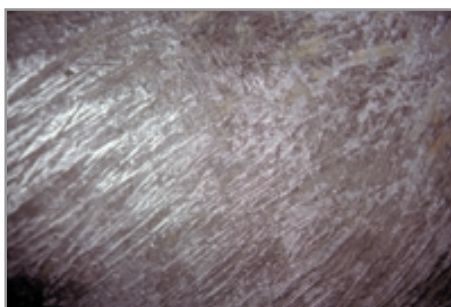
Opis

Kadilnica ni popolna, ker ji manjka podstavek. Oblika podstavka ni znana, mogoče pa jo je določiti po analogijah. Kadilnica je sestavljena iz zgornjega in spodnjega dela, ki ju na eni strani povezuje bronast pant, na drugi pa železni kaveljček z zanko (slika 34). Na predmetu so vidni ostanke panta in zanke, ni pa



*Slika 34: Kadilnica pred obdelavo*

več kaveljčka. **Zgornji del:** na vrhu so tri oblikovane luknje za dim kadila. Ena luknja je poškodovana z odlomom. Ob luknji je tudi odtis dveh vzporednih črt, ki sta nastali kot posledica udarca. Prav na vrhu je še ena zelo majhna okrogla luknjica. Na vrhu je ostanek verižice, ki ima še dva členka. Na spodnjem robu je okrogla luknjica, okrog katere so vidni ostanke rje. Na tem mestu je bil verjetno pritrjen železni kaveljček. Na nasprotni strani je ostanek bronastega neta, ki je pritrjeval zgornji del panta. Zemlja prekriva zunanjo površino, ki ima zelo raznolik videz. Delno je prekrita s črno, delno z zeleno in delno s sivo gladko patino. Na površini so vidne raze, ki potekajo v glavnem poševno (*slika 35*). Notranja površina kadilnice je bolj groba kot zunanja, niso pa vidne poševne raze. **Spodnji del:** zunanja in notranja površina imata enak videz kot pri zgornjem delu. Zunanja površina je dodatno delno prekrita z belo oblogo, ki bi lahko bila apnenec ali gips. Zgornji obod je oblikovan tako, da se spodnja polovica usede v zgornjo. Ta rob je



*Slika 35: Raze na bronasti površini kadilnice*

nekoliko poškodovan in ga del tudi manjka. Na enem delu je zanka, v katero naj bi se zataknil kaveljček od zgornjega dela, s čimer bi se kadilnica zaprla. Na nasprotni strani je ostanek bronastega panta. Na dnu tega dela je luknja za pritrditev noge.

Da bi ugotovili sestavo kovine, iz katere je kadilnica izdelana, in ali je bila prevlečena z drugo svetlejšo kovino, smo opravili analizo kovine z metodo PIXE. Analizirali smo notranjo in zunanjo površino. Na zunanji površini je vsebnost kositra in svinca višja kot na notranji površini. To navaja k sklepu, da je zunanja površina prevlečena z zlitino kositra in svinca, ki ima relativno nizko tališče. Zato je tudi videz zunanje površine drugačen kot v notranjosti kadilnice. Tudi barva in videz patine ustrežata ugotovljeni sestavi kovine.

#### *Čiščenje in konserviranje*

Predmet sem namočil v destilirano vodo z dodatkom kapljice neionskega detergenta (Etolat) in ga čistil s čopičem. Kljub namakanju zemlje v celoti ni bilo mogoče odstraniti. Poskus čiščenja z rahlim peskanjem ali ultrazvočno kopeljo ni bil uspešen, ker so na mehki kovinski površini nastajale tipične poškodbe. Pazljivo čiščenje s skalpelom se je izkazalo kot najustreznejše. Pred tem sem oblogo, ki je bila mešanica zemlje in korozije, zmehčal z lokalnim nanašanjem bioxa v obliki gela. Njegovo učinkovanje sem preverjal



*Slika 36: Restavrirana kadilnica*

pod mikroskopom. Po čiščenju je površina postala gladka in prekrita s črno in sivo patino. Ker površina ni ravna, sem pri čiščenju s skalpelom, kljub pozornosti, odstranil tudi nekaj črne patine in pri tem razkril čisto svetlečo kovino. V poševnih praskah je ostalo še nekaj neodstranjene zemlje. Po čiščenju sem predmet opral z destilirano vodo in ga vakuumsko sušil. Lakiral sem ga z incralakom in voskal z voskom Renaissance (glej poglavje 4). Nogo sem dal izdelati iz polnega brušenega pleksi stekla (*slika 36*).

Večino predmetov, ki so prikazani na fotografijah, so restavrirali konservatorji-restavratorji iz Narodnega muzeja Slovenije: Zoran Milič, Sonja Perovšek, Zdenka Kramar, Anita Virag, Irma Langus in Igor Ravbar.

### Viri in avtorji fotografij in skic

Fotografije 1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 28, 34, 35, 36: Zoran Milič

Fotografije 3, 4, 6: iz knjige Hermann Born; Archäologische Bronzen, Berlin 1985

Fotografija 5: iz AMS Metals Handbook Vol.7, Atlas of microstructures of industrial alloys, Ohio 1973

Fotografija 8: Anita Virag

Fotografija 18: Sonja Perovšek

Fotografija 24: Tomaž Lauko

Fotografije 15, 19, 33: Igor Ravbar

Skici 1, 4: izrisala Ida Murgelj po predlogi iz knjige J. M. Cronyn; The elements of archaeological conservation, London 1990

Skica 2: izrisala Ida Murgelj po predlogi iz knjige Hermann Born; Archäologische Bronzen, Berlin 1985

Skica 3: izrisala Ida Murgelj po predlogi iz Knjige Peter Heinrich; Metal Restaurierung, München 1994

### Literatura

1. T. Stambolov, *The corrosion and conservation of the metallic antiquities and works of arts*, Amsterdam 1985
2. V. Koesling, *Vom Feuerstein zum Bakelit*, AdR Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Band 5/6
3. J. M. Cronyn, *The Elements of Archaeological Conservation*, London 1990
4. Hermann Born, *Archäologische Bronzen – Antike Kunst, Moderne Technik*, Berlin 1985
5. Peter Neinrich, *Metall-Restaurierung*, Callwey–München 1994