Skupnost
muzejev
Slovenije

NARAVNI KAMEN 3.3

Avtorici: Sabina Kramar, Irena Porekar Kacafura

Vsebina

1. Uvod
2. Načini konservatorsko-restavratorskih posegov
3. Metode čiščenja
4. Utrjevanje
5. Spajanje in dopolnjevanje
6. Nadomeščanje z naravnim kamnom
7. Kopistika
8. Zaščitni premazi
9. Vzdrževanje in hranjenje
10. Zaključek
11. Literatura

1. Uvod

Naravni kamen je najstarejši in tudi najpogostejši material, iz katerega so izdelani številni predmeti, arhitekturni elementi in objekti okrog nas. Raznolikost v barvah, teksturi in lastnostih je omogočila uporabo tega materiala v številne dekorativne in funkcionalne namene. Njegove lastnosti, tehnologije obdelave, mesta postavitve ali načini vgradnje se odražajo v ohranjenosti oz. obliki propadanja določenega predmeta ali objekta. Konserviranja in restavriranja naravnega kamna se je treba lotevati previdno in vse morebitne posege analitično ovrednotiti. Vsak primer zahteva svojevrstno obravnavo, še posebej ker konservatorsko-restavratorski posegi vključujejo tako majhne predmete, kot so kamnite posode in kamniti kipi, kot večje objekte in elemente, npr. vodnjake, portale in same kamnite fasade. Določen konservatorsko-restavratorski postopek je lahko kritičen, ker lahko spremeni strukturo originalnega materiala in povzroča heterogenost v strukturi na meji med originalnim in uporabljenim materialom (Amoroso in Fassina, 1983).

Vrednost konservatorskega posega je odvisna od konservatorskih načel in interdisciplinarnega dela. Strokovnjaki na tem področju, torej konservatorji in restavratorji, sodelujejo s strokovnjaki humanističnih in naravoslovnih ved, pri sami izvedbi nekega posega pa sodelujejo tudi različni mojstri tradicionalnih obrti.

Naravni kamen pod vplivom različnih dejavnikov propada. Sčasoma to privede do škodljivih estetskih učinkov ali strukturne nestabilnosti spomenika, ki je zgrajen iz naravnega kamna.

Ko se prvič srečamo s poškodovanim predmetom iz naravnega kamna, je treba določiti vzrok za propadanje materiala, in kjer je mogoče, ta vzrok odstraniti ali zmanjšati njegov vpliv. V nekaterih primerih je stopnja propadanja naravnega kamna že tako visoka, da kamnine ne moremo več rešiti pred propadom niti s čiščenjem niti utrjevanjem. V takem primeru poškodovane kamnine zamenjamo oz. nadomestimo deloma ali v celoti.

Pri konservatorsko-restavratorskih posegih je treba upoštevati princip minimalnih posegov, omejevanje uporabe materialov, ki se lahko izkažejo za škodljive kamnini ali okolju, in dejstvo, da je preventivno delovanje boljše kot kurativno (Price, 1996). Vsi materiali, ki se nanašajo na površino kamnine ali v kamnino, naj bi bili inertni in reverzibilni. Zaporedje posegov je običajno tako: diagnoza stanja,

čiščenje, predutrjevanje in utrjevanje, dodelovanje in dopolnjevanje z lepljenjem in fugiranjem, površinska zaščita ter obnavljanje in vzdrževanje (Amoroso in Fassina, 1983).

Konvencionalni tehnološki postopki ponavadi istočasno delujejo tako na mehanske lastnosti kamnine kot njihov videz, zato izbira konservatorsko-restavratorske metode pogosto zahteva kompromis med likovnimi in tehničnimi standardi.

Samo popravilo določenega objekta oz. predmeta iz naravnega kamna ima tudi zgodovino in ni le gola mehanska operacija, ki bi jo lahko izvedli na čist, uporaben način. Poznamo preventivno in kurativno delovanje. Preventivno delovanje zajema planirane interventne posege, katerih cilj je vnaprej onemogočiti ali vsaj omejiti propadanje, kurativno delovanje pa zajema odstranjevanje ali minimiziranje škodljivih učinkov in nevtraliziranje njihovih posledic. Konservatorsko-restavratorski posegi lahko zajemajo naslednja področja:

- tehnične lastnosti okolja: atmosfera (vlaga, temperatura, plini, prah), naravna in umetna svetloba (vrsta in količina) in konstrukcija okoliških objektov (statika, odstranjevanje škodljivih vibracij);
- likovne lastnosti okolice: afirmacija primernega konteksta, funkcionalnost osvetlitve (svetloba, senca, refleksi);
- tehnične in likovne lastnosti konstrukcije: ojačevanje (poškodovani ali slabo izvedeni elementi), odstranjevanje kasnejših dodatkov;
- tehnične lastnosti materiala: čiščenje škodljivih snovi, utrjevanje poškodovanih in spajanje razdvojenih delov;
- likovne lastnosti materiala: odstranjevanje tujih delov s površine, eventualna dodelava uničenih delov.

2. Način konservatorsko-restavratorskih posegov

Glede na to, ali posegamo v sam material ali ne, lahko konservatorsko-restavratorske posege delimo na **preventivne** in **aktivne**.

Preventivna konservacija zajema kontrolo stanja okolice, konstrukcije, materiala, fizične zaščite spomenika, varnostne ukrepe, vzdrževanje, plan za primer nesreč in dokumentacijo. Urejevanje okolice spomenika se tiče kontroliranja relativne vlažnosti in temperature, preprečevanje vstopa vode v spomenik. To je dokaj lahko doseči v muzejskih prostorih, za spomenike na prostem pa veliko teže. Ponavadi se za spomenik postavi mehansko zavetje, npr. nadstrešek (Price, 1996). Pogosta je tudi zimska zaščita, kar naredimo predvsem pri vodnjakih. Kljub vsemu številni spomeniki ostajajo brez prepotrebne zaščite in so izpostavljeni dnevnim vremenskim vplivom (**slika 1**).

Slika 1: *Orfejev spomenik na Ptuju je izdelan iz marmorja, ki je izredno dovzeten za propadanje, ko je izpostavljen na prostem*

K **aktivni konservaciji** spadajo npr. čiščenje, utrjevanje in odstranjevanje soli.

Ponavadi je čiščenje (**slika 2**) eden prvih posegov, ki jih opravimo na spomeniku. Čiščenje skoraj vedno povzroči določeno stopnjo poškodbe kamnine, ne glede na to, katero metodo smo uporabili. Zato spomenika/predmeta nikoli ne čistimo samo zaradi estetskih razlogov, ker se to s stališča konservatorsko-restavratorske stroke šteje kot neetično ravnanje. Velika raznolikost različnih vrst kamnin ter površinskih posegov (tako originalnih kot kasnejših) in tudi vrsta propadanja zahtevajo veliko različnih metod čiščenja. Čiščenje je potrebno le, kadar nečistoče škodujejo sami kamnini kot materialu ali estetskemu videzu umetnine (grafiti, lokalne nečistoče …). Ko nečistoče odstranimo, je stanje kamnine jasneje vidno in tako laže presodimo, kakšna vrsta nadaljnjega posega je potrebna. V nekaterih primerih pomeni čiščenje odstranjevanje škodljivih snovi s površine kamnine. Običajno je prvotni razlog za čiščenje v očitni spremembi pojavnosti, ki se na takšen način lahko doseže. Omeniti je treba, da se tu srečujeta dva pogleda na čiščenje: reverzibilnost – eden osnovnih principov konserviranja in to, da z odstranjevanjem nečistoč brišemo tako smisel kot priče preteklosti/zgodovine (Price, 1996). Vsekakor je treba pri vsakem spomeniku posebej pretehtati, kaj je manj škodljivo. Patino kamnine pogosto ohranimo.

Odstranjevanje topnih soli je v praksi dokaj težavno in v popolnosti skoraj neizvedljivo (Price, 1996). Tam, kjer so topne soli največji dejavnik preperevanja, je logično, da jih poskusimo odstraniti. Nujno je, da najprej poskusimo odstraniti ali

Slika 2: *Nagrobna stela iz marmorja pred čiščenjem in po njem*

minimalizirati vzroke izsoljevanja s primernimi metodami (drenaža, preprečitev horizontalnih transportov raztopine soli kot posledice nihanja temperature …).

Utrjevanje je potrebno takrat, ko je kohezija kamnine močno oslabljena, kar vodi v propadanje površine in s tem spremembo videza. S tem se kamnini povrne trdnost. V idealnem primeru naj bi kamnini povrnili enako trdnost, kot jo je imela prvotno, vendar se včasih lahko zaustavi nadaljnje propadanje že s preprostimi postopki, kot sta postavitev zavetja ali preprečevanje posedanja pticam (Price, 1996).

Glede na način delovanja na sam predmet oz. material delimo konservatorsko-restavratorske posege na strukturne, volumske in površinske.

Strukturno konserviranje. Poseg zadeva študij vloge posameznih kamnitih elementov in njihovo povezanost s preostalim objektom, s katerim tvorijo določeno strukturno celoto. Osnovni cilj je odstraniti neprimerne dodatke z odstranjevanjem vzrokov, ki se lahko pojavljajo v sami kamnini (npr. soli), konstrukciji (posedanje sten) ali v okolju (onesnaženo ozračje). Sanacija kamnine, ki zrnato propada, vključuje uporabo utrjevalcev. Konstrukcijske naloge pa obsegajo zamenjavo uničenih delov kamnine (nadomeščanje, modeliranje segmentov) in vezi.

Površinsko konserviranje zajema čiščenje in nanos zaščitnih premazov in biocidov, ki jih uporabljamo predvsem pri spomenikih na prostem.

Volumsko konserviranje. Potreba po nadomestitvi izgubljenih delov kamnine prav tako sodi v sklop prepletanja tehničnih, funkcijskih in estetskih vidikov. V splošnem je najboljša rešitev tista, ki spoštuje in varuje original. Idealen nadomestni material naj ima specifične lastnosti (optične, mehanske in kemične) čim bolj podobne originalu.

3. Metode čiščenja

Onesnaženost kamnine nastane prvenstveno z nalaganjem prahu organskega in anorganskega izvora iz atmosfere. Obloge umazanije estetsko degradirajo kamen, hkrati pa s svojo sestavo kemijsko in fizikalno delujejo na površino in jo uničujejo.

Za čiščenje so na razpolago številne tehnike, ki vključujejo tehnike za čiščenje kamnitih fasad in tehnike za čiščenje delikatnih kamnitih predmetov. Vse te tehnike se nenehno izboljšujejo, kar priča o večjem zavedanju škodljivih posledic za spomenik, ki jih lahko povzroči napačno uporabljena metoda čiščenja. Škodljivi učinki, ki jih lahko povzroči čiščenje, so npr. izguba površine, nastajanje madežev, nastajanje topnih soli ali večja dovzetnost kamnine za polutante in naselitev različnih organizmov.

Metode čiščenja morajo biti skrbno izbrane, upoštevajoč naslednja dva kriterija:

- ne smejo povzročiti neposredne ali posredne škode na objektu oz. predmetu,
- dovoliti morajo čim večjo možnost ohranitve patine naravnega kamna.

Metode čiščenja lahko delimo v tri osnovne skupine, in sicer **tehnike čiščenja z vodo**, **mehanske metode** in **kemične metode**, poznamo pa tudi nekatere posebne tehnike, kot so npr. radiacijske (KONKAM, 2004; Martin in Wood, 2012). V praksi se velikokrat uporabljajo kombinacije različnih tehnik (**slika 3**). Vsaka ima svoje prednosti in slabosti; neka tehnika nikakor ni uporabna za vse vrste nečistoč in vse vrste naravnega kamna. Čiščenje je občutljiv in

Slika 3: *Odstranjevanje alg na dnu pepelnice iz peščenjaka s kombinacijo različnih tehnik: pranje z vodo, ščetkanje in lokalno čiščenje z ultrazvočnimi kladivci*

interventni proces, pri katerem je uspeh odvisen od usposobljenega in izkušenega strokovnjaka, skrbne specifikacije in prilagodljivega pristopa, ki temelji na preliminarnih testih.

Metodo čiščenja vedno izberemo glede na najmanjšo invazivnost, s katero bomo dosegli želene učinke, upoštevajoč stroške, dostopnost metode, vplive na zdravje in varnost izvajalca ter druge dejavnike. Pri izbiri sta pomembni tako vrsta kamnine oz. njene lastnosti, torej trdnost, trdota, poroznost, prepustnost, kemična in mineralna sestava, kot tudi stanje substrata, saj bo preperela površina bolj občutljiva na čiščenje kot trdna. Za čiščenje peščenjaka, ki povečini zrnato razpada, bomo torej uporabili drugačno metodo kot pri granitu, ki je zelo trden.

Pred uporabo določene metode moramo izvesti test na manjši površini kamna, videz površine pa dokumentirati pred posegom in po njem. Pri mokrih metodah pregledamo kamnito površino tako v mokrem kot v suhem stanju. Na nekaterih površinah kamna bodo učinki čiščenja boljši in učinkovitejši, bodisi zaradi drugačne stopnje propadanja ali naravne raznolikosti oz. heterogenosti kamnine.

Čiščenje z vodo

Uporaba velike količine vode ter odstranjevanje nečistoč z vodo pod pritiskom sta lahko škodljiva na mestih, na katerih je kamnina že močno poškodovana, saj lahko pride do erozije površine. Uporablja se tudi vodna para pod pritiskom, predvsem za odstranjevanje mastnih nečistoč. Pri tem je moramo biti previdni, ker para zaradi segrevanja površine lahko povzroči poškodbe (napetosti zaradi temperaturnih razlik). Čiščenje in s tem vlaženje kamnine z vodno meglico, t. i. nebulizacija, poteka s finim razprševanjem vode pod visokim tlakom. Pri tem kamnina ni zelo omočena, nečistoče pa se omehčajo in nato jih lahko odstranimo s ščetkanjem. Uporablja se tudi kombinacija vodnega curka z različnimi abrazivi (kremenčev pesek, lešnikove lupine, koruzni zdrob).

Večina problemov pri tovrstnem čiščenju nastane zaradi nasičenja kamnine z vodo, kar ima lahko negativne posledice, kot so pojav soli, propadanje kamnine zaradi zmrzali ipd. (**slika 4**).

Slika 4: *Čiščenje z vodo*

Mehansko čiščenje

Z mehanskim čiščenjem odstranjujemo nečistoče z drgnjenjem površine. Sem spadajo ščetkanje (**slika 5**), strganje, poliranje, čiščenje s stisnjenim zrakom in abrazivne metode. Z brušenjem odstranimo nečistoče na površini kamnine, ki so škodljive za kamen, in ustvarimo novo gladko površino, ki sprejema manj nečistoč. Princip, po katerem deluje ta metoda, je abrazivna moč uporabljenih snovi. Te pod

Slika 5: *Čiščenje z mokrim ščetkanjem*

različnimi pritiski usmerimo na kamnito površino, s katere lahko odstranimo tako tanke kot tudi debele in trdne sloje nečistoč, določene plitve poškodbe na kamnini in tudi barvne prevleke.

Peskanje

Peskanje je metoda, po kateri se v zaprtem ali odprtem sistemu z abrazivnim čiščenjem mehansko odstranjuje sloj nečistoč (**slika 6**). Pogosto se dogaja, da se poleg nečistoč uničuje tudi naravna patina kamnine. Sem spadajo različne vrste peskanja, kot sta suho in mokro peskanje. Za čiščenje občutljivejših predmetov se uporablja mikropeskanje. Stopnja abrazije je odvisna od več dejavnikov: trdote abraziva, oblike in velikosti delcev, pritiska medija, širine curka, oddaljenosti in kota curka. Abraziv je lahko trši od kamna (aluminijev oksid – korund), lahko ima trdoto kamnine (delci kamnine) ali pa je mehkejši od kamna (steklene kroglice, soda bikarbona).

Slika 6: *Čiščenje stebra iz marmorja s suhim peskanjem*

Uporabiti je treba tisti abraziv, ki ima najmanjšo trdoto, vendar še pridobimo želeni učinek brez poškodbe kamnine. V praksi to pomeni, da začnemo čistiti s čim mehkejšim abrazivom, ki je še učinkovit.

Suhi abrazivni postopki lahko poškodujejo površino, še posebej takrat, ko je nečistoča trša od kamna.

Brušenje

Kadar obdelujemo tiste površine kamna, na katerih so obloge umazanije debelejše, in takrat, kadar dodelujemo poškodovan objekt ali predmet z novim kamnom, je treba ta kamen občasno tudi brusiti. Postopkov brušenja na originalu se vedno lotevamo previdno in na omejeni površini ter opravljeno delo nenehno kontroliramo.

Brušene površine so lahko hrapave ali gladke. Poznamo grobo ali izravnalno ter končno, fino brušenje ali brušenje na lesk. Brusimo lahko strojno ali ročno. Postopek brušenja pogosto izvajamo tako, da kamen med delom močimo, saj se na ta način izognemo prahu, ki nastaja med brušenjem, dobimo pa tudi bolj gladko površino. Za grobo brušenje uporabljamo brusilna sredstva, ki so trša od brušenega materiala, fino brušenje pa lahko izvedemo z umetnim ali naravnim plovcem oz. kamnino iste ali za stopnjo višje trdote. Na roko brusimo z brusnimi kamni razne profile. Za brušenje ravnih ploskev uporabljamo pri mehkejših naravnih kamninah brusilne moke in peske, pri trših kamninah pa običajno jeklene opilke ali korund.

Poliranje

Predvsem predmeti uporabne in likovne umetnosti imajo pogosto polirano površino, ki lahko zaradi različnih zunanjih vplivov matira oz. je poražena. Če se konservator-restavrator in kustos ali konservator dogovorita o obnovi polirane površine, naj bo to narejeno premišljeno in v prid predmetu ali obdelani površini.

Če fino brušene površine obdelamo s polirnimi masami, dobimo polirane površine (**slika 7**). S poliranjem dosegamo gladke in svetleče ploskve. Gre za glajenje in zgoščevanje površine, kar je z vidika propadanja naravnega kamna ugodno, saj je polirana površina manj reaktivna in dovzetna za procese preperevanja. Pri ročnem poliranju uporabljamo posebne platnene ali penaste polirne blazinice z dodatkom polirnih past, strojno pa jih obdelujemo s finimi polirnimi brusi (diamantni, karbidni, korundni itd.). Gl. tudi pogl. 4.7.

Slika 7: *Poliranje marmornega fragmenta z mokro polirno gobico*

Kemično čiščenje

Kemično čiščenje temelji na spojinah, ki lahko razdrejo vezi med nečistočami in kamnino ali vezi, ki delce nečistoče povezujejo med seboj. Pri kemičnem čiščenju sta pomembna tako način aplikacije kot reagent. Kemijska sredstva se uporabljajo, kadar so drugi postopki neuspešni, posebno kadar nečistoče prodrejo globlje v pore kamnine. Kemično čiščenje temelji na uporabi kislih in bazičnih kemikalij. Pri kemičnih metodah je nemogoče kontrolirati globino prodora kemikalije v kamnino, zato moramo tovrstno čiščenje uporabljati zelo previdno, v omejenem obsegu in ob nenehnem kontroliranju učinkovanja kemičnega sredstva na samo kamnino. Kemičnemu čiščenju delikatnih površin se raje izognemo. V marsikaterem primeru je potrebno predutrjevanje kamnine. Načeloma pri vseh kemičnih postopkih čiščenja površine najprej omočimo, da s tem zmanjšamo absorpcijo kemikalije v pore kamnine in s tem potrebo po izpiranju. Za dosego učinkovitega stika med kamnino in kemikalijo je treba površino kamnine razmastiti s paro ali alkalno raztopino.

Kemična sredstva so lahko že pripravljena (npr. bazično čistilo T-51) ali pa si jih pripravljamo sami sproti. Ustrezno pripravljeni koncentraciji kislin, baz in organskih topil pogosto dodajamo zgoščevalce, da se laže nanašajo na površino in da ne zatekajo, hkrati pa lahko vsaj delno kontroliramo njihovo prodiranje v globino kamnine. Po vsaki uporabi kemičnih sredstev na kamnini je treba izvesti nevtralizacijo. Na voljo so različni proizvodi, vendar je treba večkrat izmeriti pH, da preverimo, ali je bila nevtralizacija uspešna.

Kisline

Za čiščenje se uporabljajo močno razredčene in ne koncentrirane kisline. Najpogosteje se uporabljata fluorovodikova (HF) in klorovodikova kislina (HCl) z dodatkom kristaliničnega amonijevega bifluorida (NH_4HF_2). Kisline, npr. fluorovodikova in fosforjeva (H_3PO_4), ki jih uporabljamo pri čiščenju, proizvajajo netopne soli. Druge kisline lahko reagirajo z drugimi substrati in proizvajajo topne soli. Da bi se temu izognili, ponekod uporabljamo kislino in bazo skupaj, da se nevtralizirata oz. lužita in tako ne proizvajata škodljivih soli, vendar je lahko učinek tudi nasproten. Postopka čiščenja s kislinami ne smemo uporabljati na kamninah, ki so občutljive na kisline, npr. apnenec in marmor.

S fluorovodikovo kislino (HF) kemično čistimo predvsem peščenjak in nepoliran granit. Ta metoda se uporablja že več kot petdeset let. HF v peščenjaku reagira s kremenom, ki je glavna sestavina kamna. Ko se kremen raztaplja, razpadejo vezi med

umazanijo in ta se lahko izpere. Konservator-restavrator, ki čisti s HF, mora biti izkušen, imeti mora primerno opremo za delo z močnimi kislinami in ustrezno osebno zaščito (rokavice, očala). Uporabiti moramo vnaprej pripravljeno razredčeno kislino (med 1 % in 15 %) na z vodo očiščeni in omočeni površini kamna, ki jo med postopkom ščetkamo. V povprečju se porabi liter razredčene kisline na 3,7 m^2. Čas delovanja variira v odvisnosti od umazanosti kamnite površine in temperature okolice. Okvirno naj v toplem dnevu kislina deluje na površino od 20 do 30 minut, v hladnem vremenu pa največ 1 uro. Paziti moramo, da se površina kamna med tem postopkom ne osuši. Površino kamnine je treba po čiščenju s kislinami nevtralizirati (npr. z natrijevim hidroksidom), nato pa je kislino dobro izprati z vodo. Postopek je lahko problematičen, saj ni možno dobro nadzirati čiščenja, prav tako pa lahko nastane problem, če uporabimo preveč koncentrirano kislino. Po izvedenem postopku preverimo pH površine z indikatorji, da se prepričamo, da ni več kisla.

Baze

Od čistil, ki imajo za osnovo bazo, največkrat uporabljamo tista, ki vsebujejo natrijev NaOH ali kalijev hidroksid KOH (**slika 8**). Pri odstranjevanju sadrinih oblog s karbonatnih kamnin se uporabljajo tudi amonijeve soli (amonijev bikarbonat, amonijev karbonat), ki pri reagiranju s sadro tvorijo bolj topen amonijev sulfat.

Organska topila

Organska topila, kot sta npr. aceton in mineralni špirit (»white spirit«), se načeloma uporabljajo za čiščenje lokaliziranih mest na predmetu, kot so ostanki barv, voskov in prevlek.

Slika 8: *Čiščenje antičnega kipa z natrijevim hidroksidom*

Izbira topila je odvisna od narave umazanije – vedno je treba proučiti več možnosti. Najpogosteje se topila uporabljajo za odstranjevanje barv; komercialno dostopni odstranjevalci so bili pripravljeni na osnovi metilen klorida, a ti niso več dovoljeni. Zamenjala so jih topila na vodni osnovi, okolju prijazni materiali, ki vsebujejo aktivne sestavine, kot so emulgatorji in surfaktanti. Topila mešamo z vodo ali mineralnim špiritom, včasih jih pripravimo tudi v gelu (dodatek zgoščevalcev). Na površino jih nanesemo v razpršilu ali s premazom in jih po določenem času ob nenehnem preverjanju učinka delovanja odstranimo s spatulo, površino pa izperemo z vodo, paro ali acetonom. Včasih jih nanesemo tudi z oblogami, da se poveča kontaktni čas, saj so topila izredno hlapljiva (Martin in Wood, 2012).

Kelatorji

Kelatorji, kot je npr. EDTA, se vežejo s kovinskim ionom, ki nato tvori kovinske komplekse, topne v vodi. Postopek je zelo uporaben pri odstranjevanju kovinskih madežev (rja), ki nastanejo v stiku kamna z npr. kovinskimi sponkami ali sidri v predmetu. EDTA je rahlo kisel, zato lahko poškoduje polirane površine marmorja in apnenca. Po uporabi kelatorjev je treba površino nevtralizirati.

Biocidi

Žive mikroorganizme na naravnem kamnu, kot so npr. glive, alge ali bakterije, odstranjujemo z različnimi biocidi. V večini primerov uporabljamo biocide v obliki raztopin, zato vedno obstaja nevarnost, da jih izpere dež. Zaradi tega je njihovo učinkovanje omejeno in jih je treba obnavljati. Delovanje in učinkovitost biocidov je odvisno od vrste in koncentracije samega biocida, vrste mikroorganizmov, pH-vrednosti kamnite površine, temperature, mikroklime, vrste kamnine ter izpostavljenosti prekomerni sončni svetlobi in vlagi. Biocidi lahko v nekaterih primerih povzročijo razbarvanje površine naravnega kamna, kar je posledica organskih pigmentov iz uničenih celic organizmov. Zaradi škodljivega vpliva na okolje je treba uporabo biocidov dobro pretehtati in naj bi predstavljali zadnjo izbiro.

Posebne metode čiščenja

Obstaja tudi vrsta specialnih čistilnih sistemov, namenjenih za specifične probleme in situacije, ki se pojavljajo pri konserviranju-restavriranju naravnega kamna.

Čiščenje z oblogami

Čiščenje z oblogami se uporablja predvsem takrat, ko je s površine kamnine ali iz kamnine treba odstraniti soli ali trdovratnejše obloge in madeže, ki so se zajedli v strukturo kamnine.

Obloge so vpijajoči materiali, ki se mešajo s pasto. Najpogosteje se

uporabljajo posebne vrste naravne gline (sepiolit, atapulgit, diatomejska zemlja), umetne gline (laponit), nekisla veziva kot odpadek bombaža ali papirna pulpa (KONKAM, 2004). Uporabimo jih lahko ločeno ali v kombinaciji. Na razpolago imamo obkladke z vpojnimi glinami, biološke vpojne obkladke ter obkladke na osnovi kemično aktivnih snovi. Glini, ki ju uporabljamo pri tej metodi, sta poligorskit ($Mg_5Si_8O_2Ox4H_20$) in sepiolit ($Mg_2H_2(Si_3O_3)x3H_2O$). Metoda je učinkovita pri odstranjevanju črnih oblog oz. razsoljevanju kamnitih izdelkov in površin, pri čiščenju mastnih madežev in železovih oksidov. Pri bioloških vpojnih obkladkih se med samim postopkom razvijejo mikrobakterije, ki sodelujejo pri odstranjevanju oblog. Obkladki na osnovi kemično aktivnih snovi vsebujejo nevtralna industrijska mila. Njihova uporaba je učinkovita predvsem, kadar odstranjujemo črne in apnenčaste obloge. Površino kamna, ki ga bomo očistili, najprej omočimo in obrobimo z bombažno volno. Čeprav ni vedno izvedljivo, je oblogo najbolje namestiti na predhodno položen japonski papir, da jo potem laže odstranimo. Oblogo nanesemo v debelini od 1 do 2 cm, pri čemer s folijo preprečimo evaporacijo. Kontaktni čas je odvisen od hitrosti evaporacije in izbranega topila, medija obloge in dejavnikov v okolju, traja pa lahko od ene ure do več kot en dan. Optimalen čas določimo s poskusi. Nikoli ne dovolimo, da se obloga popolnoma izsuši, saj to lahko povzroči ponovni pojav umazanije in včasih tudi poškodbo površine kamna. Oblogo odstranimo s plastičnimi ali lesenimi pripomočki in sintetičnimi ščetkami. Glede na vrsto obloge površino nato izperemo z vodo – vpliv vode moramo prav tako upoštevati pri izbiri načina čiščenja.

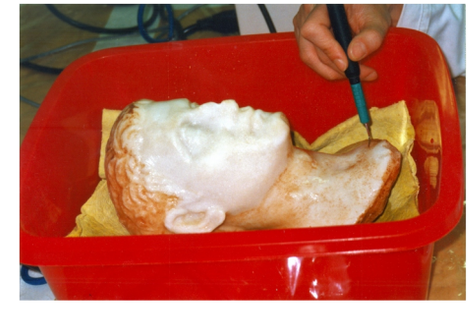
Čiščenje z ultrazvokom

Pri ultrazvočnem čiščenju izrabljamo vibracije, da dosežemo učinek čiščenja. Ta postopek uporabljamo predvsem na manjših, muzejskih predmetih, saj tehnika ni primerna za obdelavo večjih kamnitih površin zaradi zamudnosti postopka. Pogosto ga kombiniramo z drugimi tehnikami čiščenja. Čiščenje lahko izvedemo v kopelih ali z ultrazvočnimi kladivci z vodno meglico.

Z električnim tokom proizvajamo vibracije, ki jih prek kovinskih plošč prenašamo v čistilni medij v posodi, običajno vodo. Zvočni valovi se prenašajo z izmeničnim stiskanjem in raztezanjem tekočine. Če je ta menjava dovolj hitra, intenzivni vibracijski valovi pri potovanju skozi tekočino v njej povzročajo uparjanje, nastajanje »mehurčkov«. Mehurčki torej nastajajo oz. se sesedajo pri ultrazvočni frekvenci. Ta pojav je znan kot kavitacija. Ultrazvočni mehurčki imajo čistilni učinek na površino predmeta, ki je potopljen v kopel, saj se zaradi sesedanja mehurčkov tekočina lokalno giblje zelo hitro. Proces lahko opišemo kot abrazijo z zrni v velikosti molekule. Ultrazvočno čiščenje v kopeli je primerno le za stabilne, ohranjene manjše okrasne predmete iz naravnega kamna. Pomembno je, da med čiščenjem nenehno opazujemo površino predmeta in čistimo v več krajših intervalih, saj lahko v vmesnem času preverjamo stanje površine predmeta.

Za čiščenje lahko uporabljamo tudi ultrazvočna kladivca (**sliki 9 in 10**). Orodje ima ultrazvočno vibracijsko glavo, potopljeno v razpršen vodni medij, ki teče skozi glavo in okoli nje. Vibracije se prenašajo v vodne plasti, kar povzroča gibanje, vibracije medija in kavitacijo, to pa povzroča čiščenje površine. Pri delu naj bo uporabljena najnižja

Slika 9: *Ultrazvočna kladivca*



Slika 10: *Odstranjevanje oblog z marmornega portreta z ultrazvočnimi kladivci*

frekvenca, pri kateri je čiščenje še učinkovito. Ta metoda ni primerna za preperele ali zelo poškodovane površine, saj lahko vibracije povzročijo dodatne poškodbe kamnitega materiala.

Čiščenje z laserjem

Čiščenje z laserjem je postopek, pri katerem uporabljamo laserske žarke določene frekvence, ki reagirajo na temno površino oblog, v njej ustvarjajo resonanco in jih pretvarjajo v prah in vodno paro (**slika 11**). Laserski žarek je monokromatski, vsak laser ima značilno valovno dolžino. Z laserjem lahko odstranjujemo nečistoče različnega nastanka: črne obloge, biološke obloge (lišaji, mahovi, alge), grafite. Želene učinke čiščenja, upoštevajoč, da ne poškodujemo površine, dobimo z izbiro ustrezne valovne dolžine, gostote energije in dolžine impulza. Prednosti čiščenja z laserjem so

Slika 11: *Odstranjevanje črnih oblog z reliefa z laserjem*

nekontaktnost s kamnito površino, natančna kontrola, selektivnost, lokalnost, ekološko čist postopek in komplementarnost. Laserski žarek deluje na omejeni površini in preneha delovati, ko pride v stik s svetlo površino kamna. To je zelo pomembno, saj tako ni možnosti, da bi se površina poškodovala, na njej pa se ohrani tudi originalna patina. V nasprotju z vsemi drugimi tehnikami čiščenja degradiranih površin kamnine, ki so velikokrat zelo nestabilne, pri čiščenju z laserjem predhodno ni treba utrditi (KONKAM, 2004). Da umazanija izgubi kohezijo in izpari, mora absorbirati dovolj energije iz laserskega žarka. Čiščenje z laserjem je torej najbolj učinkovito tam, kjer je velik kontrast med temno umazanijo in belim kamnom. Pred postopkom površino ponavadi omočimo. Z laserjem lahko očistimo od 0,1 do 1 m^2 površine na uro. Metoda je najprimernejša za čiščenje manjših kamnitih predmetov oz. elementov, saj je za čiščenje večjih portalov zelo zamudna. V takih primerih raje uporabimo hitrejšo in ekonomsko ugodnejšo metodo, kot je npr. peskanje.

Razsoljevanje

Razsoljevanje je postopek odstranjevanja škodljivih topnih soli iz naravnega kamna. Soli so med glavnimi povzročitelji propadanja naravnega kamna, njihovo odstranjevanje pa izredno zahtevno in ima lahko za posledico mešane rezultate. Soli na kontaminiranem materialu so različnega izvora: lahko so kloridi iz morske vode ali zraka, sulfati iz onesnažene urbane atmosfere kot produkt izgorevanja fosilnih goriv, soli iz iztrebkov ptic, tal ipd.

V osnovi je razsoljevanje površinski proces, saj soli odstranimo s krtačo ali pa uporabimo obloge, ki soli mobilizirajo in absorbirajo. Izbira metode je ponavadi odvisna od velikosti površine, ki jo je treba očistiti. Razsoljevanje pomeni tveganje za izgubo površine in nastanek novih poškodb. Pred posegom je pomembno, da ugotovimo ali ocenimo:

- vrsto prisotnih soli,
- obseg poškodb zaradi soli,
- izvor soli,
- vpliv okoljskih dejavnikov na pojav soli.

Izvedljivost razsoljevanja je odvisna od več dejavnikov:

- od tega, ali je vir soli možno odstraniti; če to ni mogoče, je postopek razsoljevanja neučinkovit, saj soli nenehno nastajajo;
- od tega, ali lahko kontroliramo kristalizacijo soli (dostop meteorne vode, kontroliranje okolja z uravnavanjem temperature in vlage);
- od tega, ali se razsoljevanje lahko izvede brez odstranjevanja poškodovanega kamna in ali bo izguba materiala vplivala na integriteto kamnitega izdelka.

Suho odstranjevanje soli

Suho odstranjevanje soli je preprost in učinkovit postopek čiščenja kamnitih površin. Nemalokrat je to tudi preliminarni postopek pred intenzivnejšim razsoljevanjem z uporabo oblog.

Večino eflorescenc oz. kristalizacije soli na površini lahko odstranimo s čopičem. Debelejše obloge soli lahko odstranimo s skalpelom.

Pulpe (obloge)

Uporaba pulpe temelji na dejstvu, da so soli v kamnini topne in jih lahko mobiliziramo. Mokre pulpe naj bi odstranile soli s kapilarnim dvigom, suhe pa z difuzijo. Najučinkovitejšo metodo izberemo na podlagi predhodnih testov. Pulpo namestimo v debelini vsaj 5–10 mm, potem jo po določenem času odstranimo in površino očistimo z vodo. Proces ponavljamo toliko časa, dokler ni količina odstranjenih soli v pulpi zanemarljiva. Število nanosov je odvisno od topnosti in koncentracije soli.

4. Utrjevanje

Postopek zajema utrjevanje in konserviranje poškodovanega dela kamnine ali zaščito nepoškodovanega dela, da bi upočasnili procese staranja (Amoroso in Fasina, 1983). Utrjevanje ali konsolidacija je poseg z dokaj velikim tveganjem in ponavadi nepovratna intervencija, ki ji lahko sledijo kvarni učinki (KONKAM, 2004). Uporabljeno sredstvo naj bi imelo enake fizikalne lastnosti kot kamnina in ne sme biti vidno. Namen utrjevalcev je, da povrnejo kohezijo med delci in mehansko trdnost brez neželenega vpliva na obnašanje kamna in nastanka sekundarnih produktov, ki bi vplivali na videz (**slika 12**). Čeprav je bilo v zadnjih desetletjih

izvedenih veliko raziskav pri razvoju različnih utrjevalcev, je večina proizvodov še vedno nepreverjenih. Uspeh je pogosto omejen predvsem na spomenike, ki niso izpostavljeni zunanjim dejavnikom. Za spomenike, ki stojijo na prostem, imajo utrjevalci omejeno korist, saj ponavadi učinkujejo le kratek čas po aplikaciji, marsikdaj pa še pospešujejo propadanje (**slika 13**).

(a) ***(b)***

Slika 13: *Posledice uporabe neprimernih utrjevalcev oz. premazov: (a) napihovanje (peščenjak), (b) sprememba barve – rumenjenje površine marmorja*

Slika 12: *Pred utrjevanjem površino običajno očistimo in razsolimo*

Utrjevalci morajo izpolnjevati naslednje zahteve (Amoroso in Fassina, 1983; Price, 1996):

- ne smejo ovirati difuzije vode in vodne pare skozi kamnino,
- preprečevati oz. zmanjševati morajo učinek delovanja polutantov, prahu, bioloških dejavnikov in erozije vetra,
- imeti morajo fizikalne in kemične lastnosti, ki so kompatibilne s kamnino,
- ne smejo razbarvati, obarvati ali kako drugače spremeniti naravnega videza kamnine,
- penetrirati morajo globoko v kamnino in ostati v njej, dokler ne otrdijo,
- ne smejo ostajati na površini kamnine, ne glede na to, ali je hladno ali mrzlo,
- uporabni morajo biti tako v vlažnih kot suhih razmerah,
- ne smejo se koncentrirati na površini kamnine in tvoriti trde skorje, toda istočasno morajo površino dovolj utrditi, da kljubuje nadaljnji eroziji,
- raztezati in krčiti se morajo enako kot kamnina in ne smejo povzročati luščenja,
- ne smejo biti korozivni ali škodljivi za uporabo,
- biti morajo ekonomični in enostavni za uporabo,
- obdržati morajo učinek utrjevanja,
- trdna snov v utrjevalcu ne sme biti občutljiva na alkalne ali kisle substance,
- ne smejo kristalizirati in tako povzročiti propadanja kamnine zaradi rasti kristalov.

Uporaba utrjevalcev je upravičena v naslednjih primerih (Ashurts in Ashurts, 2007):

- ko je poškodovanost površine izredno velika,
- ko so vzroki za propadanje natančno identificirani in razumljeni,
- ko ni praktičnega načina za izboljšanje dejavnikov v okolju objekta,
- kadar so lastnosti utrjevalca in tehnika znani in preverjeni z laboratorijskimi testi,
- ko je bila narejena vsa dokumentacija objekta pred utrjevanjem.

Uporaba utrjevalcev pride v poštev le, ko smo proučili vse druge možnosti in je kamnina v tako slabem stanju, da bi ji brez tega posega grozil propad.

Utrjevanje z anorganskimi materiali

Večina anorganskih utrjevalcev povzroča netopno mineralno fazo v porah kamnine z nalaganjem ali kemičnimi reakcijami z minerali kamnine. Pri uporabi anorganskih materialov pa v porah kamnine nastajajo mineralne faze, ki imajo podobno sestavo kot naravni kamen, kar je velika prednost. Toda rezultati pogosto niso zadovoljivi zaradi nastajanja površinskih trdih skorij, topnih soli kot stranskih produktov reakcije in rasti novonastalih kristalov. Poleg tega je pogosto vprašljiva tudi njihova sposobnost vezanja razdvojenih kamninskih delcev, proces utrjevanja pa je včasih tudi prehiter, tako da material ne more dovolj prodreti v globino kamnine.

Vodna raztopina kalcijevega hidroksida

To raztopino imenujemo tudi apnena voda, uporabljamo pa jo za utrjevanje karbonatnih kamnin. Sam kalcijev hidroksid ($Ca(OH)_2$) nima vezivnih sposobnosti, vendar ko vodna raztopina reagira s CO_2 iz zraka, nastali kalcijev karbonat veže delce. Pomanjkljivost metode je v

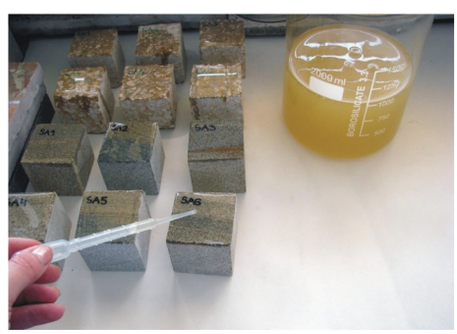
tem, da nastala karbonatna skorjica na površini ne dopušča karbonatizacije globlje v kamnini, zato velja za slab utrjevalec. Poleg tega večkratno močenje škodi kamnini, saj lahko povzroča nastanek topnih sulfatnih soli. Apnena voda je zelo alkalna in lahko škoduje tudi barvam in kovinskim delom v kamnitem spomeniku.

Uporaba nanotehnologije je omogočila razvoj novih utrjevalcev na osnovi apna. Ti utrjevalci vsebujejo nanodelce kalcijevega hidroksida, ki je raztopljen v različnih alkoholnih raztopinah. Zaradi alkoholnega medija ne močimo podlage, nanodelci pa penetrirajo globlje.

Biomineralizacija

Osnovni koncept biomineralizacije je zmožnost t. i. karbonatogenih bakterij, da tvorijo površinske zaščitne prevleke na karbonatnih kamninah (apnencih), kar lahko uporabimo pri utrjevanju kamna na stavbah, spomenikih in kipih (Le Métayer-Levrel idr., 1999). Biomineralizacija poustvarja material, ki je občutno podoben apnenčevemu substratu, saj uporablja naravno posredovanje mikroorganizmov, ki sledijo istemu naravnemu procesu, kot je bil prisoten pri nastanku številnih apnencev. Ukrep temelji na sposobnosti bakterij, da pospešujejo izločanje karbonatov. Za postopek se uporablja kar nekaj različnih vrst bakterij, največji učinek pa so dosegli z bakterijo *Bacillus cereus.* Poleg tega je *B. cereus* enostavno pridobiti, odporen je proti večini težkih kovin ter proti fungicidom. Postopek je sestavljen iz dveh faz. Najprej se na površino nanese primerna suspenzija bakterijske kulture (**slika 14**). Sledi dnevno (ali vsaka dva dni) hranjenje kulture s primernim medijem, da se ustvari površinska apnenčeva plast, imenovana biokalcin.

Z biomineralizacijo na naraven način dosežemo zmanjšanje transporta vode v kamnino in istočasno ohranimo njeno primarno plinoprepustnost. To je sicer relativno nova oblika utrjevanja in zaščite (prvič so postopek uporabili v Franciji leta 1993), vendar je že jasno, da je ena izmed prednosti te tehnike tudi dolga obstojnost. Prednost te tehnike je tudi v tem, da se na novo ustvarjeno vezivo trdno drži substrata in ne blokira por. Tudi negativnega vpliva na estetski videz kamnine ni. Na podlagi rezultatov in situ so predlagali, naj bi se tak postopek na zunanjih površinah ponovil vsakih 10 let. Produkt sestavljata dve komponenti, litofilizirane bakterije in organska hranila. Zagotoviti moramo, da je površina kamnine, na katero bomo nanašali, očiščena. Na površino nanesemo raztopino z bakterijami. Ponavadi pršimo pod nizkim pritiskom na površino kamnitega izdelka. Prve štiri dni hranimo bakterijsko kulturo s tekočim hranilom, ki je nujen za razvoj mikroorganizmov in jim omogoča proizvodnjo in odlaganje kalcijevega karbonata na površino oz. v pore kamnine. Če posege opravljamo na prostem, postopka ne izvajamo v deževnem vremenu.



Slika 14: *Preskušanje učinkovitosti utrjevanja s postopkom biomineralizacije. Nanašanje bakterijske kulture na vzorce peščenjaka iz Strtenice in litotamnijskega apnenca – kamnini, iz katerih je veliko objektov kulturne dediščine v SV Sloveniji.*

Barijev hidroksid

Podobno kot pri kalcijevem hidroksidu z reakcijo nastajajo številni karbonati. Toda tudi pri barijevem hidroksidu ($Ba(OH)_2$) je problem v tem, da bo hidroksid prešel v karbonat le na površini kamnine in karbonatizacija ne bo potekla tudi v notranjosti, kar bo kamen slabo utrdilo. Nanos barijevega hidroksida ima več učinkov. Barijev hidroksid lahko kalcijev sulfat pretvori v barijev sulfat, kar zmanjša poškodbe zaradi kristalizacije kalcijevega sulfata. Poleg tega po karbonatizaciji tvori prevleko barijevega karbonata, ki je bolj odporna na kisli dež kot kalcijev karbonat.

Amonijev oksalat

Enostavno transformacijo kalcita v kalcijev oksalat na površini karbonatne kamnine je možno izzvati z reakcijo raztopine amonijevega oksalata ($(NH_4)_2C_2O_4$ x H_2O). Uporaba postopka ima dva učinka, in sicer utrjevanje in povečanje barvnega kontrasta, oksalat pa je tudi zaščitno pasivacijsko in desulfatizacijsko sredstvo. Naravne patine kamnine ponavadi tvorijo kalcijevi oksalati, ki so v primerjavi s kalcijevim karbonatom ali kalcijevim sulfatom izredno netopne. Površino karbonatnih kamnin torej lahko tretiramo z amonijevim oksalatom, ki kalcijev karbonat pretvori v kalcijev oksalat in s tem zaščiti površino kamna pred propadanjem. Prav tako lahko pretvori kalcijev sulfat v kalcijev oksalat.

Vodno steklo

Vodno steklo je t. i. raztopina natrijevega ali kalijevega silikata. Vpijanje vodnega stekla v kamnino je po večini zelo šibko, poleg tega pogosto nastajajo topne soli, zato se njegova uporaba opušča.

Utrjevanje s sintetičnimi organskimi materiali (polimeri)

Za utrjevanje se uporablja predvsem skupina polimerov, ki se imenujejo poliplasti in jih delimo v plastomere, duromere ter elastomere. Plastomerom se s segrevanjem do visokih temperatur ne menja kemična struktura kot duromerom, ki se razgrajujejo. Predstavniki plastomerov so poli (metil metakrilat) in akrilatni-metakrilatni kopolimeri, predstavniki duromerov so epoksidne smole in poliuretani, predstavniki elastomerov pa polifluoretileni. Kamen lahko utrjujemo s polimernimi raztopinami ali monomernimi organskimi molekulami, ki polimerizirajo v strukturi kamnine. Monomerne organske molekule najprej polimerizirajo, zatem pa kot polimerne raztopine delujejo na kamen, monomerne molekule, čiste ali raztopljene, pa polimerizirajo v razpokah in porah. Pri izbiri sintetičnih utrjevalcev moramo biti previdni, saj je njihov vnos v kamnino običajno ireverzibilen, zato uporabljamo le utrjevalce, ki so jih preizkusile in potrdile pooblaščene inštitucije.

Sintetične utrjevalce nanašamo na površino in v notranjost kamnine raztopljene v ustreznem topilu (aceton, ksilen, toluen, etanol itd.) v različnih koncentracijah z injiciranjem, premazovanjem in s potapljanjem (manjši kosi ali kamniti predmeti). Običajno začnemo utrjevanje z nižjimi koncentracijami pripravka, da ta bolje penetrira v kamnino, potem pa koncentracijo postopoma zvišujemo. Pozorni moramo biti na to, da se nam med delom površina ne osuši, saj tako na njej nastane film, ki preprečuje nadaljevanje prodiranja utrjevalnega sredstva v globino kamnine. Na koncu utrjevanja višek sredstva vedno dobro obrišemo s površine. Da se utrjena površina kamna ne bi nenaravno svetila, jo ob koncu dela očistimo še z ustreznim topilom, ki v popolnosti odstrani utrjevalec z vidne površine objekta.

Akrilatni polimeri

Akrilatne smole, ki se uporabljajo kot utrjevalci, so: butil metakrilat, metil metakrilat, metil akrilat in etil metakrilat. Zaradi velike togosti so te smole slabi utrjevalci in jih zato opuščamo (Price, 1996).

Akrilatni kopolimeri

Najbolj znana sta kopolimera etil metakrilata in metil akrilata, v Evropi znanega s trgovskim imenom Paraloid B-72 (**slika 15**), v Ameriki pa kot Acryloid B-72. Ta utrjevalec je stabilen, transparenten in s časom ne porumeni. Njegova uporabnost in trajnost sta preizkušeni in dokazani z leti uporabe na različnih kamnitih spomenikih kulturne dediščine po svetu in pri nas.

Slika 15: *Utrjevanje površine s Paraloidom B-72*

Epoksidne smole

Epoksidne smole imajo odlične toplotne in kemijske lastnosti, obstojne so proti delovanju vode in imajo dobro adhezivnost. Med strjevanjem smol prihaja do izgube volumna zaradi velike hlapljivosti, kar je pri delu treba upoštevati. Če je epoksidna smola preveč viskozna, ji lahko med delom dodamo nekaj ustreznega topila in tako povečamo njeno možnost prodiranja v kamnino. Pozorni moramo biti na to, da razredčenje ni preveliko, saj bi v tem primeru zmanjšali možnost polimeriziranja smole in s tem njenega utrjevalnega učinka na kamnino. Uporaba epoksidne smole kot utrjevalca se opušča in nadomešča s sintetičnimi utrjevalci, ki so stabilnejši (predvsem ne rumenijo) in bolj žilavi.

Poliuretani

Poliuretanske smole izredno povečajo trdnost kamnine, vendar so občutljive na toploto in svetlobo in s časom razpadajo. Imajo vlogo zaščite in utrjevanja kamnine. V kamen se vnašajo v obliki raztopin ali disperzije. Dosežemo lahko globoko penetracijo in vodoodbojni učinek, a se njihova uporaba opušča.

Polifluoretileni (fluorirani elastomeri)

So izvrstno obstojni proti učinku toplote, kemikalije in atmosferilije zaradi visoke trdnosti kemijske vezi ogljik-fluor. Razen za utrjevanje se uporabljajo tudi za zaščito kamnine.

Utrjevanje z organosilicijevimi spojinami

Organosilicijeve spojine se pogosto uporabljajo za utrjevanje zaradi svoje stabilnosti in ustreznih kemičnih lastnosti. Glavnino njihove uporabnosti lahko razdelimo v naslednje kategorije:

- alkoksi silani (etil silkat) za peščenjak (Estel 1000; Wacker OH, RC 70 Rhone Poulenc, Tegovakon V),
- zmesi alkoksi silana in oligomera alkilsiloksana (Estel 1100) za peščenjak,
- mešanica akoksi silana (etil silikat) in alkil polisiloksana (RC 120 Rhone Poulenc) za peščenjak,

- alkil aril poliksiloksani za peščenjak, marmor in apnenec (Rhodorsil 11309),
- mešanica akrilatnih in silicijevih smol za peščenjak, marmor in apnenec (Eurostac ACS 2001, STAC).

Organosilicijeve spojine so zmožne utrditi kamen brez popolne zapolnitve por in učinka na spremembo paroprepustnosti. Ponavadi se pripravljajo kot raztopine v etanolu, propanolu ali acetonu oz. v mešanici alkohola in mineralnega špirita, poznanega kot »white spirit«. Imajo izredno sposobnost prodiranja globoko v kamnine zaradi svoje velike površinske napetosti in nizke viskoznosti. Pomanjkljivost pa je, da niso primerni za konsolidacijo poškodovanega kamna, ki ima zrna večja od 3 mm ali se površinsko lušči.

5. Spajanje in dopolnjevanje

Propadanje naravnega kamna lahko vodi do odstopanja kamnine in nastanka razpok. Te lahko omogočijo vstop vlagi in umazaniji, ki pospeši propadanje določenega kamnitega elementa, nemalokrat pa se s tem ogrozi strukturna stabilnost določenega objekta ali predmeta. V tem primeru moramo stabilizirati napake, zapolniti praznine in razpoke ali pa zlepiti med seboj dva dela.

Žal moramo postopke spajanja in dopolnjevanja večkrat izvesti na kamnitih elementih in predmetih zaradi delovanja različnih zunanjih dejavnikov, predvsem mehanskih poškodb, ko se material zlomi ali poruši.

Lepljenje

Za zapolnjevanje razpok, lepljenje delov in lusk se uporabljajo različna lepila ali adhezivi (**slika 16**).

Slika 16: *Fiksiranje elementov pri lepljenju*

Poznamo apneno-kazeinsko lepilo, akrilne smole, poliestrski mastiks in epoksidne smole. Adheziv izberemo glede na njegovo ujemanje s kemičnimi in fizikalnimi lastnostmi s kamnino in glede na uporabo kamnitega elementa oz. predmeta. Končna izbira naj bi temeljila na podlagi izvedenih preliminarnih testov. Za lepljenje so primerni številni proizvodi, ki jih sicer uporabljamo tudi za utrjevanje.

V lepila lahko dodajamo še polnila (**slika 17**), ki zvišujejo viskoznost (manjša možnost zatekanja lepila) in izboljšajo videz lepljenega spoja, saj posnemajo sestavo kamnine. Tako lahko v lepila zamešamo zdrob ali prah enake kamnine, kot jo lepimo, dodamo fin prah kalcijevega karbonata, stekleno moko, pigmente ipd. S temi dodatki posnemamo videz lepljene kamnine, zato na vidnih površinah večkrat ni treba retuširati lepljenih spojev. Pri lepljenju moramo paziti, da nam odvečno lepilo ne zateka (**slika 18**). Razpoke ustrezno zaščitimo.

Slika 17: *Nanašanje epoksidne smole s polnili*

Slika 18: *Zatekanje epoksidne smole pri lepljenju, kar ni ustrezno*

Spajanje s klini, sponami in zagozdami

Za stabilizacijo zlomljenih, razpokanih in delaminiranih delov kamnine lahko uporabimo različne kline, spone in zagozde. Izdelani morajo biti iz inertnih materialov, ki ne reagirajo s kamnino, in imeti morajo zadostno natezno trdnost. Običajno so iz nerjavečega jekla, ogljikovih vlaken ali keramike.

Delaminirana kamnina

V poškodovano kamnino izvrtamo vrtine do take globine, da sežejo za delaminirano površino. Izvrtine običajno utrdimo z ustreznim utrjevalcem. Ko se ta posuši, v vrtine injektiramo primerno injekcijsko maso, ki se hitro trdi, in vstavimo zagozde. Izbor injekcijske mase je odvisen od vrste kamnine in

obremenitve zagozd po stabilizaciji kamnitega elementa. Prah kamnine, ki ostane po vrtanju, lahko zberemo, da ga potem uporabimo za zapolnitev površine vrtine.

Razpokana kamnina

Razpokano kamnino lahko stabiliziramo tudi s kombinacijo lepil in z zagozdami. Poliestrske in epoksidne smole so primerne takrat, ko so potrebne visoke trdnosti. V večini primerov razpoke zapolnimo z zagozdo in maso z apnenim vezivom. Uporaba zagozd je ireverzibilni postopek.

Zlomljeni deli

Z uporabo klinov ali zagozd lahko zlepimo tudi dva ali več prelomljenih delov kamnine. Gre predvsem za večje dele kamnitih elementov, pri katerih zgolj lepljen spoj ne bi držal lastne teže ali prenesel drugih obremenitev. V tem primeru ravnamo enako kot pri sanaciji delaminirane ali razpokane kamnine. V posamezni odlomek izvrtamo vrtino, ki jo z zagozdo ali klinom ter z ustreznimi lepili spojimo z drugim koncem odlomka.

Fugiranje in injektiranje

Za zapolnjevanje manjših razpok mehurjev in prostorov med odstopljenimi plastmi kamnine lahko uporabimo injekcijsko maso. To je delikaten postopek, ki ga uporabimo predvsem takrat, ko želimo ohraniti kak pomemben detajl, ki bi ga drugače izgubili. Maso injektiramo z injekcijo. Uporabimo lahko različne mešanice z različno finimi agregati in vezivi. Morebitno iztekanje takoj popivnamo z bombažno vato in mesto očistimo z ustreznim topilom. Postopek fugiranja v nekaterih primerih izpeljemo tudi po lepljenju. Za fugiranje in injektiranje se lahko uporabljajo različni materiali oz. malte, ki so opisane v poglavju Dopolnjevanje z malto, le da uporabimo drobnozrnati agregat (ponavadi je velikost zrn manj kot 0,6 mm) in več veziva. Za sam postopek potrebujemo dokaj preprosto orodje, kot so večja injekcija, bombaž in modelirna glina (**slika 19**).

Slika 19: *Polnjenje razpok z metodo injektiranja*

Kamnite predmete, ki se hranijo v zaprtih prostorih, lahko fugiramo z mešanico akrilne emulzije, ki ji dodajamo ustrezno zmleto kamnino, pigmente, stekleno in kalcitno moko (**slika 20**).

Slika 20: *Fugiranje večje razpoke na antičnem nagrobniku*

Dopolnjevanje z malto

Malta je raznolik material, ki je s pravim vezivom kompatibilen z večino kamnin, lahko pa jo pripravimo tako, da se ujema v barvi in teksturi. Malta, ki jo uporabimo za dopolnjevanje poškodovanih delov določenega predmeta, mora biti vizualno in mehansko-fizikalno kompatibilna z originalno kamnino in z njo lahko domodeliramo/dopolnimo manjkajoči del spomenika ali jo uporabimo za zapolnitev večjih razpok in votlin. Prednost dopolnjevanja poškodovanega naravnega kamna z malto je v tem, da omogoča maksimalno količino ohranjenega originalnega materiala. Nadomeščanje z malto je reverzibilno in se lahko uporabi kot zaščita za poškodovane dele kamna ali kot modeliranje kopije izgubljene forme. V primerjavi z nadomeščanjem s kamnom je ta postopek manj trajen.

Pred nanosom malte moramo površino kamnine ustrezno pripraviti. Ponavadi odstranimo dele kamnine, ki so poškodovani, in sicer do njenega nepoškodovanega dela. Manjše razpoke in praznine nato izperemo z vodo.

Najpomembnejše lastnosti, ki jih mora imeti malta, so (**slika 21**):

- vizualne lastnosti (barva, tekstura, oblika površine),
- sestava (vrsta agregata, vrsta veziva, velikost zrn),

Slika 21: *Primeri uporabe neustrezne malte za dopolnjevanje kamnitih elementov*

- trdnost (tlačna, natezna),
- elastičnost (modul elastičnosti, deformabilnost),
- poroznost (odprta poroznost, velikost por, absorpcija vode zaradi kapilarnega dviga).

Kot agregat lahko uporabimo zrna drobljene originalne ali njej podobne kamnine, različna polnila in pigmente. Kot vezivo lahko uporabimo različne materiale, ki morajo imeti zgoraj navedene lastnosti, kar so največkrat kar materiali, ki jih uporabljamo tudi za utrjevanje.

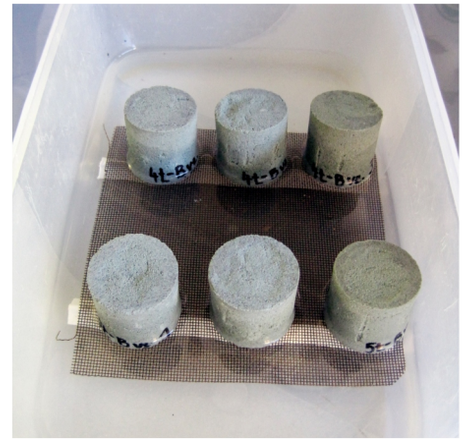
Do nedavnega je veljalo, da je kamnino treba dopolniti z materialom, ki je obstojnejši kot originalna kamnina (npr. cementna malta), a se je izkazalo, da je bolje dopolnjevati z malto, ki je šibkejša in poroznejša od originalne kamnine. Malta tako predstavlja neke vrste žrtveni material, ki prepereva hitreje kot originalna kamnina. Pri samem procesu obnove je treba zagotoviti kompatibilnost novega materiala s starim, kajti novi material ne sme imeti negativnih vplivov na starega. Uskladitev starih materialov z novimi pa ni vedno uspešna (**slika 22**).

Največkrat uporabljeno vezivo je tudi apno, a je problem v tem, da beli in je tudi z dodajanjem pigmentov težko doseči podobno barvo, kot jo ima kamnina, poleg tega se težko polira.

Če navedemo primer uporabe modelirne mase za sanacijo apnenca, lahko vidimo, da so konservatorji-restavratorji pogosto uporabljali malte, sestavljene iz zdrobljene kamnine in apna. Pri silikatih kamninah, npr. pri granitih, pa so bile malte na osnovi apna manj uspešne in zadovoljive, predvsem zaradi večje količine kalcija v njih, saj kalcij kot sestavina povzroča nastanek soli kot rezultat medsebojnega vplivanja zraka in onesnaževalcev. Zaradi teh razlogov so malte, ki se uporabljajo za silikatne kamnine, npr. granite, tufe (**slika 23**) ali peščenjake, sestavljene iz drugačnih sestavin, torej iz zdrobljene kamnine, kremenčevega prahu, mikrosilike, za vezivo pa je najprimernejši etilni ester silicijeve kisline, ki pri polimerizaciji preide v silikagel in se ponavadi uporablja kot utrjevalec.

Za kamnine, ki imajo visok sijaj oz. so polirane, uporabljamo kot vezivo tudi akril, poliester ali epoksidne smole, ki jih mešamo z ustreznimi polnili, kamnitim agregatom in pigmenti. Po končanem strjevanju jih spoliramo.

V zadnjem času se uveljavlja tudi uporaba geopolimernih veziv. Gre za anorganske, trdne, stabilne in temperaturno obstojne materiale s strukturo od amorfne do polikristalne. Take materiale pridobimo s sintezo alumosilikatov (metakaolin) in alkalnim aktivatorjem (vodno steklo, natrijev ali kalijev hidroksid).



Slika 23: *Poskusne malte za dopolnjevanje tufa. Na sliki je prikazanih več mešanic.*

Z ustrezno pripravo geopolimernega veziva in polnila (mešanice, sestavljene iz kremenčevega peska, krede, skrilavca in montmorillonitne gline) lahko dobimo primeren geopolimerni kompozit, ki ga uporabimo kot lepilo za poškodovane dele kipa ter za polnjenje razpok. S kombinacijo dodatkov osnovnemu geopolimernemu vezivu, ki jih predstavljajo različni materiali (npr. peščenjak, apnenec, keramična telesa itd.), lahko dosežemo veliko podobnost v barvi, poroznosti in mehanskih lastnostih. Geopolimeri v kombinaciji s polnili, kot je kremenov pesek (v odvisnosti od velikosti zrn, barve in kakovosti), predstavljajo možnost za ohranitev številnih predmetov in objektov iz naravnega kamna. Omenjeni agregati oz. polnila se dobro vežejo z geopolimernim vezivom in tako ustvarijo peščenjaku podoben material, ki je porozen in prepusten za vodo in plin, a hkrati odpornejši proti škodljivim zunanjim vplivom, kot je kisli dež.

Slika 22: *Primera uporabe neustrezne malte za dopolnjevanje na kamnitem spomeniku*

6. Nadomeščanje z naravnim kamnom

Če so deli določenega kamnitega spomenika ali kamnitih elementov zelo poškodovani, pride v poštev nadomeščanje dela z novo kamnino (**slika 24**). Velja, da mora biti nadomestna kamnina enaka originalni ali tej čim bolj podobna. V preteklosti je bila zamenjava poškodovanih kamnitih delov z novo kamnino dokaj pogost pojav, nekateri kamniti elementi, ki so še posebej izpostavljeni, so bili nadomeščeni celo večkrat.

Žal velikokrat opazimo, da je bil marsikateri kamniti objekt ali spomenik nadomeščen s kamnino, ki se popolnoma razlikuje od originalne.

Slika 24: *Nadomeščanje kamnine s kamnino iste vrste*

Posega se lotimo tako, da poškodovani del kamnine odstranimo, in sicer tako, da odstranimo čim manjši del. Ko nadomeščamo del kamnitega elementa, odprtino najprej omočimo in obložimo s primerno malto. Da novi element ne vpija preveč vode iz malte, omočimo tudi tega, oba dela pa nato sestavimo ter pritrdimo.

Danes je večinoma praksa, da pri kipih ne klešemo na novo manjkajočih delov, sploh če ni na razpolago ustrezne dokumentacije. Včasih izdelamo, glede na obstoječo dokumentacijo ali analogijo, tudi kak manjkajoč detajl, ki ga lahko izklešemo ali izrežemo z laserjem in pritrdimo na osnovo z ustreznim materialom.

Velikokrat se zgodi, da so kamnolomi določenega naravnega kamna, ki so ga izkoriščali v preteklosti, že zapuščeni. Za večjo količino materiala je treba pridobiti rudarske pravice za ponovno odprtje kamnoloma.

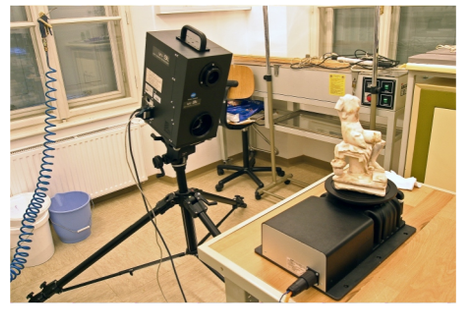
7. Kopistika

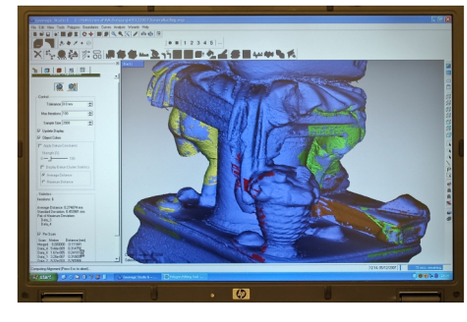
Kopijo izdelamo, ko je originalni predmet v tako slabem stanju, da ga je treba shraniti, da preprečimo nadaljnje propadanje, ki bi privedlo do dokončnega uničenja. Na njegovem mestu velikokrat postavimo kopijo. Kopijo lahko izdelamo tudi, če originalnega predmeta ali objekta zaradi uničenja ni več. Seveda mora v tem primeru obstajati dokumentacija ali analogije, po katerih lahko posnamemo original. S kopijo začasno ali za vedno nadomestimo original v prostoru, ki bi drugače izgubil svojo značilnost in pomen. Kopija je delo, ki se od originala loči po času nastanka. Narejena je lahko iz istega materiala kot original ali iz katerega drugega. Pri izdelavi kopije se uporabljajo tehnike, s katerimi je bil izdelan original, lahko pa uporabljamo dostopnejše, cenejše in hitrejše načine (gl. pogl. 10.1). Uporabljamo različne postopke. Eden najpogostejših je odlitek originalnega dela. Kopija je lahko izdelana s tehnikami, s katerimi je bil izdelan original. Kot primer lahko omenimo kopijo Robbovega vodnjaka, ki je bila ročno izklesana iz enakih kamnin kot original; ta je danes shranjen v Narodni galeriji. V zadnjem času vse bolj uporabljamo strojno izdelane kopije in tudi umetne materiale. To so uporabili tudi pri kamnitem okrasju na rekonstruirani fasadi minoritskega samostana na Ptuju. Zelo pomembna tehnika za izdelavo kopij je tudi laser, ki posname veliko količino podatkov o površini in obliki predmeta (**slika 25**). Podatki se obdelajo v računalniku in kopijo z laserjem izrežemo iz enakega materiala, kot je original, ali iz katerega drugega. V nekaterih primerih je po samem izrezu potrebna še ročna obdelava detajlov.

8. Zaščitni premazi

Zaščitne premaze uporabljamo predvsem na kamnitih objektih, ki so postavljeni na prostem (na mestnih ulicah in trgih ali v arheoloških parkih) ali v obremenjenih okoljih (npr. onesnaženost ozračja, velika frekvenca ljudi in možnost dotikanja objekta). Kamnitih predmetov, ki jih razstavljamo ali hranimo v kontroliranem muzejskem okolju, ni treba površinsko zaščititi.

Zaščitni premaz je plast med okoljem in površino kamnine in ne sme penetrirati globlje v kamnino. V idealnem primeru naj bi tvoril neviden film na površini kamnine, ki ne bi spremenil njene teksture.



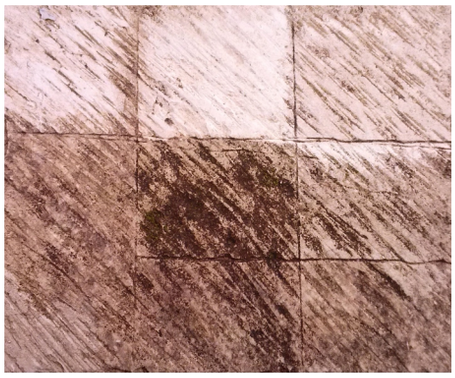


Slika 25: *Skeniranje antičnega kipca in obdelava podatkov na računalniku*

Premaze lahko delno odstranimo, vendar so v veliki meri ireverzibilni. Pri uporabi premazov je potrebna velika previdnost, saj je večina neprimernih, ker spreminjajo površinsko prepustnost kamna in pospešijo propadanje. Premaz sčasoma izgine s površine (npr. se izpere) in ga je treba ponovno nanesti. Poznamo hidrofobne, samočistilne, antigrafitne premaze itd.

Premazi imajo danes poleg osnovne funkcije, tj. zaščita in dekoracija površin različnih objektov, tudi želene posebne lastnosti, opravljajo lahko različne dodatne funkcije, kot je npr. samočistilnost (**slika 26**). Prvenstveno morajo seveda zadostiti svojemu osnovnemu namenu: zaščititi površine materialov pred škodljivimi dejavniki okolja in tako podaljšati trajnost prekritega materiala. Poleg tega izkazujejo še dodatne lastnosti oz. opravljajo določeno funkcijo. Od premaza pričakujemo, da bo ohranil vse svoje funkcionalne (osnovne in dodatne) ter estetske lastnosti še dolgo časa.

O zaščiti govorimo, kadar nanesemo na površino zaščitno sredstvo. Zaščitna sredstva so različne snovi, raztopljene v topilu. Premaz je definiran kot material (ponavadi v tekočem agregatnem stanju), nanesen na površino drugega materiala, ki po sušenju tvori zvezni ali nezvezni film (Sever-Škapin, 2006, 2009). Lastnosti premazov v večini primerov določajo njihove sestavine, kot so tip veziva, pigmenti ali barvila in različni dodatki. Poleg naštetega pa na lastnosti premaza vplivajo tudi vrsta podlage, predhodna obdelava podlage, način nanašanja in pogoji za tvorbo filma.



Slika 26: *Učinkovitost fotokatalitskih in hidrofobnih premazov v primerjavi z nepremazano površino*

Samočistilni premazi so premazi s posebno funkcionalno lastnostjo – sposobnostjo samočiščenja. Glavni namen samočistilnega premaza je, da čisti organsko umazanijo, preprečuje širjenje in rast mikroorganizmov ter zmanjša škodljive emisije. Samočistilno lastnost premazov lahko dosežemo na dva različna načina: z lotosovim efektom ali superhidrofobnostjo površin in fotokatalizo. S pojmom hidrofobnost označujemo lastnost nekaterih snovi, da odbijajo vodo (**slika 27**). Lotosov efekt označuje pojav superhidrofobnosti površin, pri katerem se zaradi zelo hidrofobne površine (velik kot omakanja oz. kontaktni kot) kapljice dežja po površini kotalijo. Med kotaljenjem zaradi površinske napetosti pobirajo delce umazanije s površine kamnine, zato se ta že z majhno količino padavin popolnoma očisti. Veliko pozornosti je dandanes namenjene predvsem samočistilnim premazom na osnovi fotokatalizatorjev. Na vodilnem mestu po uporabi je kot fotokatalitski material nedvomno nanodimenzijski titanov dioksid (zato jih imenujemo tudi nanopremazi). Ko fotokatalitsko aktivne nanodelce titanovega dioksida izpostavimo UV-sevanju (npr. sončni svetlobi), se ustvarijo prosti elektroni in elektronske luknje. Oboji migrirajo na površino delca, tam elektronske luknje reagirajo z vodo, elektroni pa s kisikom ter ustvarijo zelo reaktivne radikale. Ti razgradijo organsko umazanijo ali uničijo mikrobe.

Slika 27: *Zaradi hidrofobnosti površine peščenjaka, premazanega z zaščitnim premazom, ima kapljica vode izredno velik kontaktni kot*

Premazi se ponavadi nanašajo v več slojih (plasteh, nanosih), zato jih imenujemo tudi premazni sistemi. Najprej na podlago nanesemo osnovni premaz, nato sledi eden ali več zaključnih slojev.

9. Vzdrževanje in hranjenje

Zmotno je prepričanje, da je kamen čvrst, odporen in trajen. Njegova življenjska doba je odvisna od njegove mineralne in kemične sestave ter strukture (npr. poroznosti) in teksture (npr. plastnatost). Občutljiv je na vpliv atmosferskih dejavnikov (vodo, toploto, mraz, kemijsko onesnaženje zraka) in mehanske poškodbe, ko lahko zaradi različnih vzrokov poči, se premakne ali celo prelomi (gl. tudi razdelek 2.5). Obstojnost kamna je pogojena tudi z načinom obdelave in ustreznostjo postavitve (npr. stik s tlemi). Najbolj so ogroženi kamniti izdelki (kipi ali celotni spomeniki, dekorativni elementi v arhitekturi), ki stojijo na prostem.

Opazovanje nastajanja novih poškodb na izdelkih iz naravnega kamna in nadzor (monitoring) nad njimi je zato izjemnega pomena, saj lahko s tem preprečimo resnejše poškodbe. V te namene je najbolje, da kamnite izdelke fotografiramo in

si v dokumentaciji označimo potencialna mesta, na katerih bi poškodbe lahko najhitreje nastale. Ta mesta moramo nato redno spremljati in beležiti njihovo stanje. Morebitne poškodbe se ne bodo takoj pokazale, saj je razpadanje kamna počasen kumulativni proces, zato sta natančno dokumentiranje in primerjanje stanja kamna v daljšem času toliko pomembnejša. Spomeniki na prostem so večinoma v stiku s tlemi. Pomembno je, da jih zaščitimo z izolacijskimi plastmi, ki preprečujejo dvig vlage iz tal in s tem transport topnih soli po kamnini. Za to lahko uporabimo različne folije, smolne plasti, bitumenske laminate ali pa izdelamo ločene temelje, na katere nato postavimo kamnite izdelke. Ločeni temelji oz. izolacijske plasti so lahko hkrati tudi blažilci tresljajev, ki nastajajo zaradi premikov tal ali prometa. Kakšno vrsto izolacijske plasti uporabimo, je odvisno od velikosti in teže izdelka (omejeno premikanje), možnosti terena, obremenitev okolice ter zahtev konservatorjev ali kustosov.

Kamen sčasoma dobi patino, ki ga do določene mere ščiti. Če se patina poškoduje, pa se poveča možnost propadanja kamna. Za kamnite skulpture je najbolje, da so shranjene v zaprtih ali vsaj pokritih prostorih, predvsem pozimi, ko je koncentracija kislih hlapov in topnih soli v zraku in padavinah povišana. Če kamnitih skulptur nimamo možnosti shraniti v zaprt prostor, jim pozimi izdelajmo nadstreške ali jih pokrijmo s polietilensko folijo. Takšna intervencija večkrat ni sprejemljiva iz estetskih razlogov, zato je monitoring v teh primerih toliko pomembnejši. Če konservator-restavrator meni, da bo skulptura uničena, lahko predlaga tudi preselitev na ustreznejše mesto ali hrambo v depo ter izdelavo kopije.

Na kamnitih predmetih se lahko na zunanjih površinah naselijo tudi različni mikroorganizmi (alge, glive in bakterije), predvsem v senčnih in vlažnejših mestih, ki poškodujejo in obarvajo površino kamnine. Te odstranjujemo s suhim ali mokrim ščetkanjem, kamen pa nato premažemo s fungicidnim ali algicidnim premazom (npr. Algicid). Pomembno je, da redno skrbimo za vzdrževanje okolice kamnitih izdelkov, saj s tem preprečimo vraščanje rastlinja v kamnite izdelke.

Mehanske poškodbe nastajajo dostikrat tudi zaradi slabe kvalitete kamna, napačne lege vgradnje kamnitih blokov, pokanja in korozije spojnih elementov (sponk, zagozd), nepravilnih popravil in vandalizma. Ti problemi so običajno vidni kot nastajanje in širjenje razpok, lomi, grafiti ipd. Tovrstnih poškodb praktično ne moremo preprečiti, lahko pa jih upočasnimo z ustrezno zaščito, a v kamnino moramo že aktivno posegati z utrjevanjem, površinskimi zaščitnimi premazi, zamenjavo dotrajanih delov (**slika 28**). Če je kamen na prostem zaščiten s površinskim premazom, ga obnavljamo v ustreznih intervalih, saj se s časom izrablja (izpira, erodira ipd.). Če moramo zamenjati preperele masivne sklade, jih vgrajujemo v njihovi naravni legi, če je to mogoče. Prav tako dobro zatesnimo spoje med posameznimi deli kamna, da vanje ne pridejo voda (problem zmrzali), umazanija in tujki, ki bi ga dodatno poškodovali. Pri spajanju delov uporabljamo sponke in zagozde iz obstojnih materialov (npr. jekla) in ne železnih, ki korodirajo. Vsak lom čim hitreje popravimo, da se posamezni del ne bi izgubil in da spomenik ne bi naprej propadal ali doživel vandalizma. Konserviran-restavriran in ustrezno vzdrževan spomenik je vsaj delno zaščiten pred vandalizmom, saj je znano, da je na kamnitih izdelkih, ki niso vzdrževani in so poškodovani, vandalizma več.

Slika 28: *Zaščita z gazo*

Površinska umazanija na kamnu običajno ne predstavlja problema, razen z estetskega vidika. Marsikateri kamnit izdelek, ki je prekrit s črnimi oblogami, je popolnoma stabilen in zaščiten, seveda pa lahko to predstavlja tudi potencialni vir poškodb (npr. segrevanje kamna). Vsakršno pretirano čiščenje kamna je bolj škodljivo kot koristno. Kamen je porozen in čistila ter pralni mediji, s katerimi bomo obdelovali površino, bodo prodirali v njegove pore in še pospešili propadanje (predvsem pri kamninah z visoko poroznostjo, kot je peščenjak) ali kristalizacijo in transport topnih soli. Skoraj nemogoče jih je tudi popolnoma odstraniti ali izprati iz površine. Najenostavnejše in najmanj škodljivo je suho čiščenje kamna s ščetkami, omeli in sesalniki za prah, kadar je kamen stabilen in se površina ne kruši. Stabilne in kompaktne predmete lahko peremo tudi z vodo, vendar tega ne smemo početi prepogosto in v mrazu.

Kamnito skulpturo ali izdelek je najbolje obravnavati celostno v okviru projekta konserviranja-restavriranja in nato izvajati le skrben monitoring.

Predmete iz kamna, ki jih hranijo muzeji, laže vzdržujemo in jim zagotovimo ustrezne klimatske razmere, vendar moramo prav tako spremljati potencialno nastajanje poškodb. Najbolje je, da jih hranimo pri relativni vlagi zraka med 35 % in 55 % in temperaturi med 16 °C in 22 °C. To območje je lahko tudi ožje, pomembno pa je, da spremembe niso hipne. Kamnitih predmetov ne shranjujemo in razstavljamo ob toplotnih virih ter na neposredni sončni ali umetni svetlobi, treba pa jih je odmakniti tudi od zunanjih sten. Rokovanje s predmeti naj bo zmanjšano na minimum (ob obvezni uporabi rokavic iz lateksa ali bombaža), pred prijemanjem pa naj bodo predmeti zaščiteni tudi v razstaviščih.

Vsak premik (**slika 29**) oz. transport, predvsem večjih kamnitih predmetov, moramo skrbno načrtovati in pripraviti ustrezen projekt, v katerem predvidimo morebitne nevarnosti za predmet in ljudi. Tako se bomo izognili nastanku novih poškodb in preprečili delovne nesreče (obvezna uporaba osebnih zaščitnih sredstev).

Slika 30: *Transport kamnitih elementov*

Za premikanje večjih kamnitih predmetov uporabljamo ročne viličarje ali viličarje na pogon, dvigala (ročna, avtodvigala; **slika 30**), škripce in drugo opremo, ki se uporablja tudi v gradbeništvu. Seveda je pri vseh premikih še vedno nepogrešljiv človek, ki mora predmete ustrezno pripraviti in zaščititi, da se med premikanjem kamnita substanca ne bi poškodovala. Spomenike pred transportom običajno zaščitimo. Ovijemo jih lahko v filc, razne koprene iz blaga, polietilenske folije ipd. (**slika 31**). Štrleče in občutljive dele podložimo in dodatno stabiliziramo s penami, vrvmi, sponami. Predmete večkrat transportiramo v iz lesa po meri izdelanih zabojih. Vsak premik večjih predmetov iz naravnega kamna je zahteven, zato je treba ravnati premišljeno in imeti na razpolago dovolj opreme, pripomočkov (tudi npr. lesa za podlaganje) in izkušenih delavcev.

Slika 29: *Obračanje pokrova sarkofaga s pomočjo vzvodov*

Slika 31: *Priprava kamnitih predmetov za transport*

10. Zaključek

Vrednost in kvaliteta konservatorsko-restavratorskega posega sta odvisni od strokovnih načel in interdisciplinarnega dela. Obnova vsakega kamnitega objekta zahteva znanje s področja konservatorstva in restavratorstva, arhitekture, umetnostne zgodovine, geologije, gradbeništva, kemije, fizike, biologije idr. Pri konservatorsko-restavratorskih posegih je treba upoštevati princip minimalnega posega, omejevanje uporabe materialov, ki se lahko izkažejo za škodljive kamnini ali okolju, in dejstvo, da je boljše preventivno kot kurativno delovanje. Nadaljnje procese propadanja lahko upočasnimo s preventivnim konserviranjem, zato se za primeren poseg odločimo glede na stopnjo ohranjenosti posameznega objekta. Čiščenje je ponavadi eden prvih posegov, ki jih opravimo na spomeniku. Površina kamnine se lahko čisti z različnimi mehanskimi ali kemičnimi metodami, ki jih pogosto uporabljamo v kombinaciji. Čiščenje skoraj vedno povzroči določeno stopnjo poškodbe kamnine, ne glede na to, katero metodo smo uporabili. Zato čiščenja nikoli ne izvajamo samo zaradi estetskih razlogov, ker se to s stališča konservatorsko-restavratorske stroke šteje kot neetično ravnanje. Utrjevanje ali konsolidacija je poseg z dokaj velikim tveganjem in ponavadi nepovratna intervencija, ki ji lahko sledijo kvarni učinki. Uporabljeno sredstvo naj bi imelo enake fizikalne lastnosti kot kamnina in ne sme spreminjati videza predmeta.

Predhodno izvedeni posegi so pomembni kot priče stalno se spreminjajočega odnosa in interpretacije umetnine. Zavedati se je treba pomena zgodovinske in estetske funkcije, ki ju ima določen spomenik, in ravnati tako, da nobena funkcija ne prevlada nad drugo, ampak se medsebojno dopolnjujeta. V polpretekli zgodovini je industrija ponujala in izumljala nove in nove materiale za utrjevanje in zaščito, njihova uporaba pa se je pogosto izkazala kot neprimerna, kar naj nas uči in vodi, kadar se odločamo za uporabo določene konservatorsko-restavratorske metode.

11. Literatura

1. Amoroso, G. G., Fassina, V., Stone decay and conservation. Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection, Materials Science Monographs, Elsevier Science Publishing Company Inc., New York, 1983, 453 str.
2. Ashurst, J., Ashurst, N., Practical Building Conservation, Volume 1: Stone Masonry, 2007.
3. Ashurst, J., Dimes, F. G., Conservation of Building and Decorative stone, 1998, 254 str.
4. Bilbija, N., Matovič, V., Primenjena Petrografija. Svojstva i primene kamena, Građevinska knjiga, Beograd, 2009, 417 str.
5 Doehne, E. , Price, C. A., Stone Conservation, An overview of Current Research, 2nd Edition, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 175 str.
6. KONKAM 2004. Seminar i radionica o konzervaciji kamena. Zbornik radova. Umjetnička akademija Sveučilišta u Splitu, Odsjek za konservaciju i restauraciju.
7. Martin, B., Wood, C., English Heritage, Practical Building Conservation, Stone, Series Editors, English Heritage, London, 2012, 333 str.
8. Le Metayer-Levrel, G., Costanier, S., Orial, G., Loubiere, J. F., Perthuisot, J. P. Applications of bacterial carbonatogenesis to the protection and regeneration of limestones in buildings and historic patrimony. *Sedimentary Geology*, 1999, 126, 25–34.
9. Muñoz-Viñas, S., Contemporary Theory of Conservation, Elsevier, Amsterdam, 2005, 239 str.
10. Price, C. A. Stone Conservation. An Overview of Current Research, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1996, 86 str.
11. Sever Škapin, A. Funkcionalni premazi, Gradbenik, 13/7,8, 2009, 12–14.
12. Sever Škapin, A, Samočistilni premazi, Gradbenik, priloga Barve & fasade, 2006, 14–16.
13. Kamen kao graditeljski material. Konzervacija kamenih spomenika – principi, metode, dosezi. Dani evropske baštine. Republika Hrvatska & Hrvatski restauratorski zavod. Mimara Museum, Zagreb, 2000.
14. Winkler, E. M., Stone in Architecture, Properties, Durability, 1997, 313 str.

Avtorji fotografij

Boris Farič: slika 1

Lidija Korat: sliki 21 a in 23

Sabina Kramar: slike 13 a, 21 b, 24

Nina Kržišnik: slika 14

Zoran Milić: slika 11

Irena Porekar Kacafura: slike 2–10, 12, 15–20, 22, 25, 28–31

Luka Škrlep: sliki 13 b in 26

Matjaž Zupanc: slika 27