

Ivo Donelli

## **Pokušaj čišćenja laserom mramorne antičke skulpture br. 12. iz Augusteuma u Naroni**

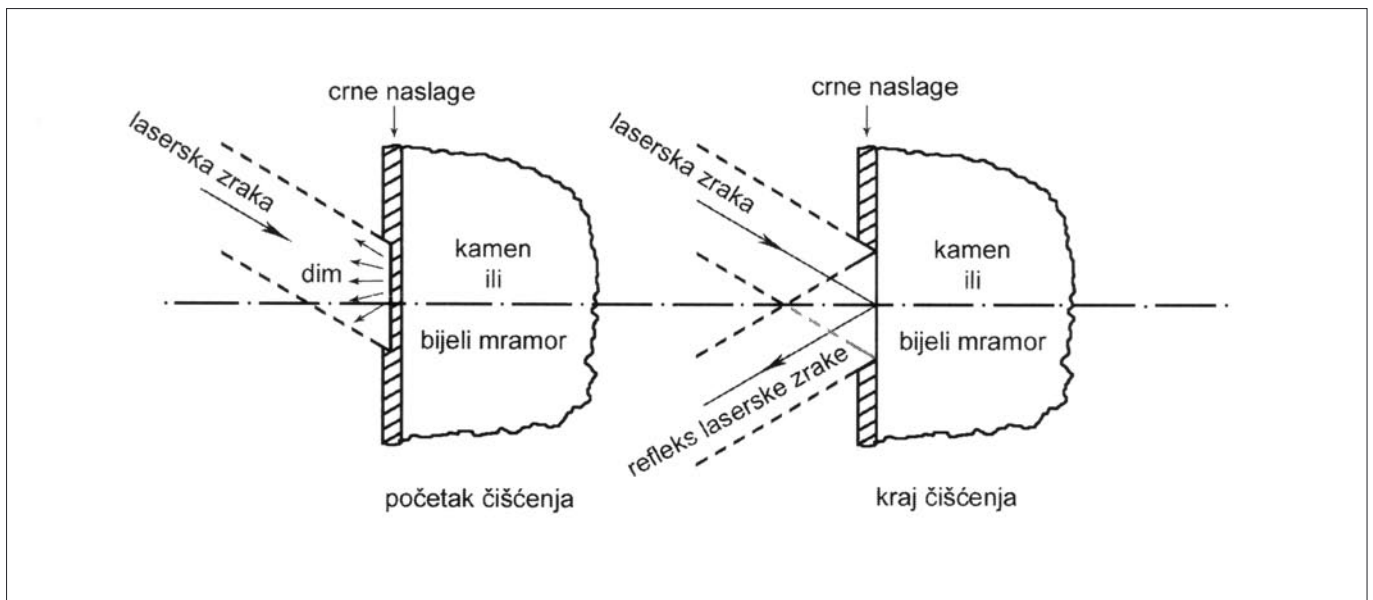
Ivo Donelli  
HR, 21 000 Split  
Arheološki muzej - Split  
Zrinsko - Frankopanska 25  
ivo.donelli@st.t-com.hr

UDK: 73.8.025.3 (497.5 Vid)  
UDK: 73.8.025.3: 691.2  
Stručni rad  
Predano: 20.5. 2005.  
Prihvaćeno: 3. 6. 2005.

U članku se opisuje povijest uporabe lasera kod čišćenja kamenih i mramornih površina od nečistoća. Prilikom međunarodnog simpozija KONKAM 2004, o konzervaciji i restauraciji kamena, gdje su sudionici imali priliku upoznati se s radom lasera četvrte generacije EOS 1000 te sa stručnim osobljem obučanim za rad laserom, prvi put se pokušala očistiti mramorna površina skulpture br. 12. iz naronitanskog Augusteuma .

*Ključne riječi: laser, kalcitne kore, mramor.*





Slika 1.

Shematski prikaz čišćenja kamene površine laserom "Normal - Mode" (crtež: Z. Podrug)

## Povijest lasera

Posljednjih je godina, uz kemijske i mehaničke metode čišćenja kamenih i mramornih površina, razvijen i sustav čišćenja impulsnim laserom, koji je izašao iz eksperimentalnih okvira. Najveća korist ove metode ogleda se u tome što se postiže visoka selektivnost i posve sigurno čišćenje, što se u pojedinim slučajevima ne može postići kemijskim ili mehaničko-abrazivnim djelovanjem.

Laser (kratica od *Light amplication by simulated Emmission of radiation*) se temelji na principima fizikalne svjetlosti (optike), a otkriven je prije više od dvadeset godina. Sastoji se od tri glavne komponente: generatora, sustava za hlađenje i laserske jedinice. Zraka se prenosi preko zglobne ruke zrcalima ili optičkim vlaknima. Zglobna ruka omogućuje prijenos zrake velike snage, dok optičko vlakno omogućuje postizanje pravilnog presjeka zrake, što je važno kod osjetljivih predmeta gdje se koristi niska gustoća energije. Optičko vlakno omogućuje i prijenos laserske zrake na veće udaljenosti, što je korisno kod rada na građevinama, jer nije potrebno stroj pomicati po skeli.

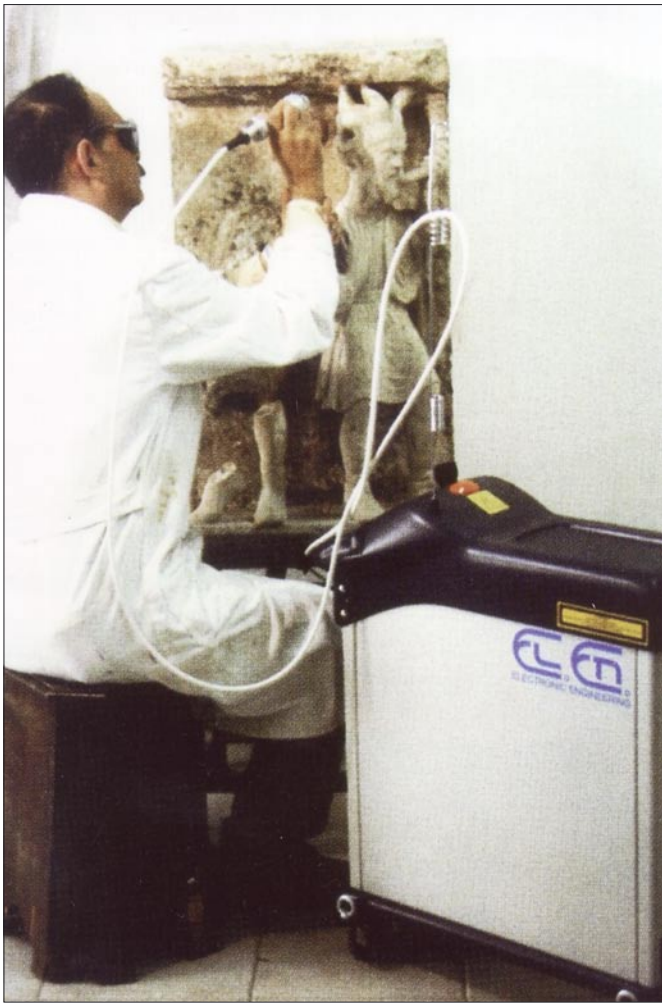
Laser emitira intenzivan, čisti oblik svjetla u vrlo kratkom vremenu. Kad se pulsirajuće svjetlo usmjeri na onečišćenu površinu, nečista materija snažno apsorbira energiju, pri čemu se stvara fotomehanički efekt.<sup>1</sup> Ispuštanjem svjetlosne zrake laser uklanja tamne dijelove skrama s površine kamena tolikom brzinom da ne dodiruje svijetlu površinu koja se nalazi ispod skrama.<sup>2</sup>

Ispitivanja koja su se provodila o djelovanju sustava impulsnog lasera na kamene površine, započeli su krajem sedamdesetih godina dr. J. Asmus sa Sveučilišta La Jolla u Kaliforniji i dr. G. Saracini iz Firence. Istodobno finalno ispitivanje vodio je dr. L. Lazzarini iz Uprave za zaštitu spomenika kulture u Veneciji, u laboratoriju Misericordija i u muzeju Ca' d'Oro u Veneciji u razdoblju od 1978. do 1980. godine.<sup>3</sup> Tom su prigodom ispitani i ocijenjeni prvi efekti fizičkog tipa na kamenom materijalu, putem komparativnih i znanstvenih studija, morfološkim i petrografskim tehnikama, sa svrhom da se otkriju eventualni sekundarni i kvalitativni učinci laserskog snopa na kamenu. Istodobno je do kraja osamdesetih godina laserski sustav prve generacije upotrijebljen u laboratorijima u Veneciji s intervencijama na

<sup>3</sup> Lazzarini 1991, str. 3. Zanimljivo je znati kako se zračenje laserske zrake ponaša u kontaktu s nepravilnim ili hrapavim površinama prekrivenima crnim naslagama. Efekt je dvojak, ovisno o brzini impulsa (normal-mode ili Q-switching); mi ćemo se ovdje osvrnuti na prvi slučaj. Zrake tipa normal-mode apsorbira crna naslaga koja u kratkom vremenu postiže visoku temperaturu (400 - 7000 K). Kad zraka dopre do svijetlog mramora ili kamena ispod naslage, reflektira se kao obična bijela svjetlost, čak i nakon ponovljenih impulsa na istoj površini. Sa zrakama reda veličine od  $10^3$  do  $10^4$  W/cm i kratkim vremenom zračenja ( $t = 10^{-3}$ ) zapravo nema značajnijeg širenja temperature s naslagom, te se izbjegava taljenje strukture kamena i mikro pukotine. Izračunato je da za jedan impuls u normal-modu na mramoru ili kamenu površinu termički val iznosi samo 0,03 mm. Laser je usavršen nakon serije prototipova i koristio se u laboratorijima-radionicama Duoma u Cremoni na četirima skulpturama Profeti del Willigermo; to je specifičan laser s crvenom frekvencijom, tipa impulsni YAG s neodimijem (YTTRIUM ALUMINIJUM GARNET, granat od itrija i aluminija) s usmjerenjem, pomoću ogledala i prizmi. Laser na helij - neon od kontinuiranog 1 mW, koji proizvodi crvenu točku za usmjerenje, koja je korisna za određivanje tretirane površine.

<sup>1</sup> Nikšić 2004, str. 41-44.

<sup>2</sup> Lazzarini 1991, str. 1 - 6.



Slika 2.  
Rad s laserom četvrtre generacije EOS 1000 (preuzeto iz Zanini 2004, str. 14)



Slika 3.  
Pokušaj čišćenja kalcitnih kora s mramorne skulpture br. 12 iz Augusteuma u Naroni (foto: I. Donelli)

### Pokušaj čišćenja skulpture br.12

Međunarodni simpozij KONKAM 2004,<sup>5</sup> o konzervaciji i restauraciji kamena, koji su organizirali Umjetnička akademiji u Splitu, Arheološki muzej u Splitu te Zavod za zaštitu spomenika kulture u Splitu, omogućio je polaznicima upoznavanje s tehnikama čišćenja kamenih površina i mramora.

Stručnjaci na tom području, D. Almesberger i A. Zanini,<sup>6</sup> demonstrirali su na kamenim spomenicima, koji se nalaze u lapidariju Arheološkoga muzeja u Splitu rad laserom četvrtre generacije EOS 1000<sup>7</sup> (sl. 2). Za razliku od ranijih modela taj tip lasera omogućuje bolju gradaciju čišćenja kamenih uzoraka. Može postići brzinu čišćenja od jednog centimetra četvornog u sekundi, ali u praksi se prakticira aktiviranje svake 2-3 sekunde, jer je to vrijeme potrebno operateru da bi dovršio čišćenje i odabrao novi dio za čišćenje. Taj tip lasera radi na principu optičkih vlakana, a ne kao prethodni, pomoću prizmi i ogledala.

Potonji je tip lasera dr. A. Zanini u Firenci koristio prilikom čišćenja kamena i za čišćenje različitih metalnih oksida, poput srebrnog oksida i oksida bronce, što nam govori da laserska zraka prepoznaje i druge boje osim crne i bijele.<sup>8</sup>

Do sada su se restauratori Arheološkog muzeja u Splitu prilikom čišćenja tvrdih kalcitnih kora s kamenih površina služili mehaničkim sredstvima poput strugača te mikropjeskarenjem, kao

kamenom materijalu lokalnog muzeja.

Stručnjaci iz laboratorija ARECON su u suradnji s dr. J.F. Asmusom sa Sveučilišta La Jolla iz San Diega u Kaliforniji od 1988. ponovno započeli s ispitivanjem i istraživanjem lasera, radeći na projektu restauriranja Duoma u Cremoni, iz čega se razvio laserski sustav druge generacije.

U prvom fazi radova obavljeno je čišćenje kamenih površina skulpture sa strane portala Duoma u Cremoni (*Profeti del Willigermo*), s time da su se prethodno još jednom kemijsko-fizičkim i morfološkim istraživanjima analizirani fizički efekti svjetlosne energetske zrake u sudaru s materijalom (sl.1).

Tijekom radova nastavljeno je istraživanje, čiji je rezultat prototip lasera treće generacije, kojim je završeno čišćenje kamenih površina spomenutih skulptura (četiri skulpture sa strane portala). Prilikom projekta restauracije grbova godine 1990., u Cortile Antico u Padovi,<sup>4</sup> odlučeno je da se sustavom impulsnog lasera intervenira kako bi se odredili operativni aspekti za neku buduću opsežniju intervenciju.

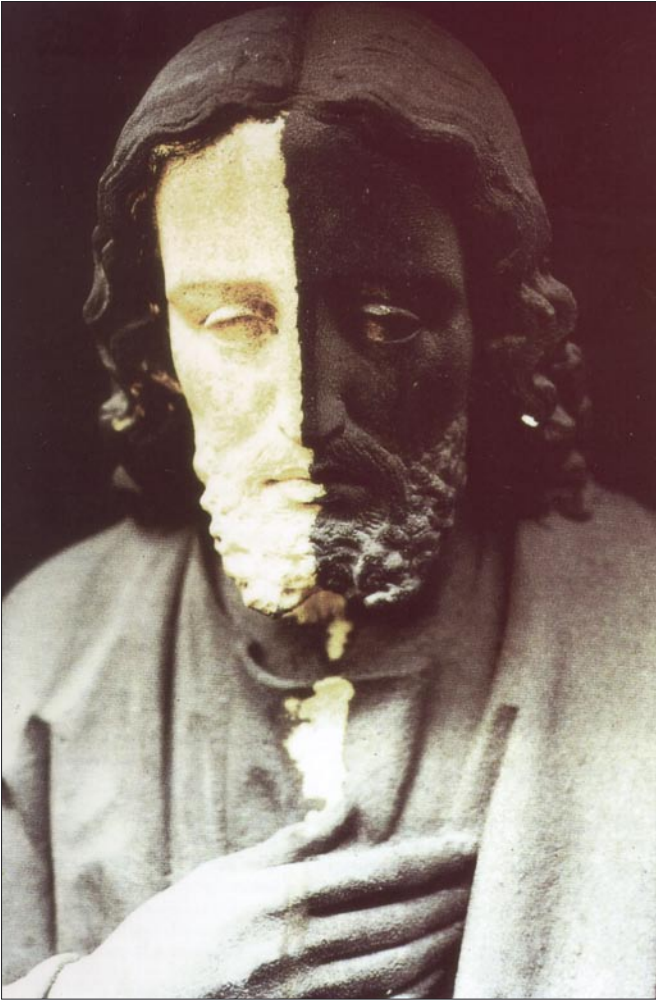
<sup>5</sup> Simpozij je održan u Splitu u rujnu 2004. g.

<sup>6</sup> Stručnjaci su predstavljali tvrtku iz Trsta u Italiji, SER. CO. TEC. (Servizzi controlli tecnici) koja se bavi kontrolom materijala bez razaranja, odnosno bez uzimanja uzoraka već analizom spomenika na licu mjesta.

<sup>7</sup> Zanini 2004, str. 14.

<sup>8</sup> Zanini 2004, str. 66; Za uklanjanje tanke i crne naslage (1-2 mm) dovoljna su 1,3 impulsa. Patina i originalne površine savršeno su očuvane. Ovaj tip lasera može razlikovati boje. Osim crne i bijele, prepoznaje zelenu, svijetloplavu i crvenu. Kako bi se poboljšao efekt čišćenja, poželjno je povremeno vodom vlažiti površinu koja se čisti. Voda pojačava ton boje i tako olakšava selektivnost.

<sup>4</sup> Belemín, Pichoti, Oriol 1997, str. 3 - 6; projekt je izveden u suradnji s laboratorijima Sop. B.A.A.



Slika 4.

*Dio skulpture nakon čišćenja laserom (preuzeto iz Belmin, Pichot, Oriol 1997, str. 22)*

uspješnijim metodama čišćenja kamena. Istim metodama čistile su se i mramorne skulpture iz Augusteuma u Naroni.

Prilikom demonstracije čišćenja laserom EOS 1000 obavljeno je nekoliko sondažnih čišćenja tvrdih kalcitnih kora različitih boja i tonova s površine mramora skulpture br. 12.

Rad laserom zahtijeva određene vještine i iskustvo. Prije uključivanja aparata treba staviti specijalne naočale koje će zaštititi oči od refleksnog snopa laserske zrake. Frekvenciju i jačinu snopa treba regulirati prema vrsti i debljini nečistoće na kamenu. Za vrijeme čišćenja laserski snop proizvodi pucketav zvuk, i to zato što laserska zraka stvara visoku temperaturu na samoj površini nečistoće. Mjehurić koji se stvori zbog visoke temperature pukne te proizvodi zvuk. Što je sloj nečistoće deblji i tamniji, zvuk je prodorniji. Isto se tako na mjestu udara zrake stvara dim, koji ima specifičan miris, kao pri klesanju kamena. Čišćenje se pospješuje raspršivanjem vode na kamenu površinu, jer se tako stvara veći kontrast između tonova boja pa laser lakše prepoznaje nečistoću.

Nakon dugotrajnih pokušaja s različitim frekvencijama zrake na ciljanoj površini, laser je počeo čistiti određene kalcitne kore. Najprije su se moćile i uklanjale tamnije i deblje naslage. Za 15 minuta laser je očistio kvadrat veličine 3x3 cm. Ponovnim

mijenjanjem frekvencije laserske zrake pokušavalo se ukloniti svijetlosivkasti ton kalcita. Nakon dvadesetak minuta uspjelo se očistiti površinu od 5 centimetara četvornih (sl. 3). Konstantnim vlaženjem te mijenjanjem frekvencija pokušalo se čistiti žućkasto sivkasti sloj kalcita, ali bez uspjeha. Tu boju laser je čitao kao prirodnu patinu kamena, te se zraka jednostavno reflektirala od površine. Došlo se do zaključka da laser EOS 1000 uspješno može očistiti sve tamne i svijetlosive kalcitne kore, dok je neučinkovit kod svjetlijih tonova. Može se koristiti s maksimalnom sigurnošću u pogledu autoograničenja na svim svijetlim kamenim materijalima. Koristan je kod čišćenja unutrašnjosti rupa, otvora, plitkih udubljenja, nabora ili rascjepa, to jest na točkama i dijelovima gdje je teško mehanički ili kemijski intervenirati zbog dubine ili uskoće prostora ili zbog hrapavosti površine. Iznimne rezultate postiže kod uklanjanja nečistoća različitog podrijetla: crne kore nastale taloženjem iz zagađene atmosfere, biološki slojevi (mahovina, lišajevi i alge), slojevi korozije, grafiti. Laser se uglavnom koristi u čišćenju zgrada i sakralnih objekata, kako eksterijera tako i interijera<sup>9</sup> (sl. 4). Kod kamena i ukrasnih kamenih elemenata izvađenih iz zemlje (arheološki kamen) laser nije pokazao znatnije rezultate. Zbog drugačijih uvjeta ležanja kamena na njemu se taložila i nečistoća različite kemijske strukture. Uglavnom su to kalcitne naslage i biološki slojevi. Upravo zbog specifičnosti boja tih slojeva, uglavnom svijetlih, laser ih teško prepoznaje kao divlju patinu te ih ne može čistiti.

<sup>9</sup> Lazzarini, Tabasso 1986, str. 142 - 146; Nikšić 2004, str. 41 - 44.

## Literatura

Belmin, Pichot, Oriol 1997  
V. V. Belmin, C. Pichot, G. Oriol,  
*Laboratoire de Recherche des  
Monuments Historiques, Champs  
- sur - Marine, France, QUÉLIN,*  
Pariz-Dubrovnik 1997

Lazzarini, Tabasso 1986  
L. Lazzarini, M. L. Tabasso, *Il  
restauro della pietra*, Padova 1986,  
142 -146

Lazzarini 1991  
L. Lazzarini, *Relazione tecnica e  
documentazione degli interventi  
eseguiti nel periodo 1988 - 1991  
mediante sistema laser*, Attivita di  
restauro Conservativo su opere  
di interesse storico e artistico 1,  
Padova 1991, 1-25

Nikšić 2004  
G. Nikšić, *Čišćenje kamena,  
svjetska iskustva i aktualni  
konzervatorsko restauratorski  
principi*, Zbornik radova  
"KONKAM 2004", Split 2004, 41  
- 44

Zanini 2004  
A. Zanini, *Laser Cleaning of  
Stone Architectural Surfaces  
and Objects*, Zbornik radova  
"KONKAM 2004" Split 2004, 66  
- 71

Zanini 2004  
A. Zanini, *Il sistema EOS 1000,*  
*Kermes - la rivista del restauro,*  
55, 06.-07. 2004, Ferrara 2004, 14

## Summary

### **An Attempt to Clean with Laser Marble Roman Sculpture No.12 from Augusteum in Narona**

*Key words: laser, layers of corrosion, marble*

Laser cleaning is a most modern procedure where laser beams of certain frequency are used to remove harmful layers off the stone surface. Laser can remove dirt of various origins such as black film deposited from atmosphere, layers of corrosion, biological layers, and graffiti. The level of cleaning effect depends on the choice of wave length, density of energy, and length of impulse. The advantages of laser cleaning are: no physical contact, direct and precise control, selectiveness - self-limiting, localness, ecologically clean procedure and complementarity. In modern Europe there are various types of laser differing from each other in the light source, wave length, delivered energy and length of *impulse*. The use of laser is not the only way of cleaning stone surfaces/areas, but a combination of other techniques will give optimum results.

An attempt to remove with laser the calcite film from the marble sculpture No. 12, Augusteum - Narona, had no expected result. Some of the factors why this method should be given up are: the limited possibility of reading colours and shades of calcite layers, excessive soaking of marble surface in water, the price of instruments and speed of cleaning. Restorers of the Archaeological Museum, Split, have decided to continue cleaning the sculptures by previous methods and programme that has given good results so far.

Translated by: Danica Šantić