



**Др Јоаким  
СТРИБЕР**

*научни сарадник, физичар  
Централни институт за  
конзервацију у Београду*

**Милена  
ЈОВАНОВИЋ**

*конзервајтор  
Централни институт за  
конзервацију у Београду*

**Слободан  
БОГОЈЕВИЋ**

*конзервајтор,  
дипл. инж. технологије  
Народни музеј Чачак*

УДК: 069.441:621.375.826  
069.5:902/904(497.11)

**ЕФЕКТИ ЛАСЕРСКОГ ЧИШЋЕЊА  
АРХЕОЛОШКИХ ПРЕДМЕТА ИЗ  
ЗБИРКЕ НАРОДНОГ МУЗЕЈА У ЧАЧКУ**

**АПСТРАКТ:** У раду су приказани експериментални резултати добијени ласерским чишћењем остатака земљишта и других нечистоћа, као и корозионих продуката на археолошким узорцима, односно фрагменту камене пластике, фрагментима античког стакла и бронзаном металном предмету. Испитивања су вршена помоћу Nd: YAG ласерској сисџема који има три оперативне таласне дужине (у инфрацрвеном, зеленом и ултраљубичастом делу спектра), што даје могућност за његову употребу на широком спектру материјала. Серија фотографија илустрuje стање узорака током различитих фаза ласерског чишћења, као и упоредног механичког и хемијског чишћења.

**КЉУЧНЕ РЕЧИ:** ласерско чишћење, Nd: YAG ласерски систем, бронза, античко стакло, камена пластика

## Увод

Процес чишћења музејских предмета често представља најзахтевнију и најкомпликованију, а неретко и најдужу фазу конзерваторског третмана. Ову чињеницу посебно треба имати у виду када су у питању лабораторије за конзервацију са минималним бројем запослених. У тим случајевима често један

конзерватор треба да на адекватан начин у оптималном временском периоду изврши третман чишћења на већој групи предмета.

Недавна набавка Nd: YAG ласерској сисџема у Централном институту за конзервацију у Београду отворила је могућност сарадње, односно извођење пробног ласерског чишћења археолош-

ких предмета из збирке Народног музеја у Чачку.

Приликом избора археолошких предмета посебна пажња је посвећена будућој имплементацији овог испитивања на конзерваторске третмане широког спектра археолошког материјала који се налази у збиркама чачанског Музеја.

### Технике и методе чишћења археолошких предмета

Процес чишћења археолошких предмета је иреверзибилна акција и као таква представља један од осетљивијих сегмената конзерваторског третмана. Процес уклањања одређених материјала са предмета, у пракси назван *чишћење*, важан је део процеса стабилизације предмета и откривања одговарајућих информација од интереса за сам предмет. Уклањањем нечистоћа, односно контаминената, уклања се и потенцијални извор пропадања.<sup>9</sup> Процес чишћења је углавном почетни, односно препаративни поступак за даље сегменте конзерваторског третмана, мада се може изводити и паралелно са другим сегментима конзерваторског третмана (консолидација, стабилизација итд.). С обзиром да се овај процес тешко контролише, добијени резултати могу бити *критични* за дугорочно очување предмета. Резултати изабране технике примарно би требало да буду постизање стабилности и добијање естетски прихватљивог изгледа предмета, као и поштовање одговарајућих етичких кодекса.<sup>10</sup>

Уобичајене и најзаступљеније методе чишћења базиране су на механичким или хемијским третманима. Механичко чишћење, уз употребу прецизних инструмената и алата, представља метод са високим степеном контроле без на-

ношења *страних* супстанци на предмет. Механичко чишћење практично одваја (*разбија, ломи* итд.) везане нечистоће и наслаге, супротно хемијском чишћењу којим се постиже растварање прљавштине, страних материјала и једињења или изазивање хемијске реакције.<sup>10,11</sup> И поред низа предности, механичким чишћењем у већини случајева није могуће уклонити све нечистоће, односно корозионе слојеве (посебно када су у питању неприступачни делови предмета). У врло деликатним ситуацијама механичко чишћење може бити изузетно ризично.

Хемијске технике чишћења, често као једино могуће и најпогодније решење, имају недостатак који се огледа у тежој контроли хемијских процеса, што утиче на мању могућност очувања патине и заштитних слојева. Опасност представљају и растварачи који могу *уноси* прљавштину у порозне материјале/слојеве предмета. Поред тога, остаци односно резидуалне супстанце након хемијског чишћења могу изазвати дугорочне проблеме, па су неопходна дуготрајна испирања предмета.<sup>10,12</sup> Код ове технике посебну пажњу треба посветити поштовању принципа *зелене хемије* (избор минимално токсичних техника и метода, односно заштита здравља запослених, али и животне средине).

Данас се у свету врши низ истраживања у погледу употребе нових метода и техника у области анализе и заштите културног наслеђа. Ова испитивања односе се и на процес чишћења предмета, односно могућности примене ласерског чишћења, плазме, контролисаног електролитичког чишћења, употребе сувог леда, наткритичних и субкритичних флуида итд. Често се у пракси најбољи резултати постижу комбиновањем више техника и метода.

## Примена ласера на делима културних добара

Историја примене ласера на делима културне баштине почиње раних седамдесетих година. Тим научника предвођен Џон Езмусом<sup>1,2</sup> позван је да произведе холографске записе високе резолуције који ће се уврстити у документацију о стању мермерних скулптура из Венеције. Овај вид документације пружа увид у стање предмета у датом тренутку и може се користити као показатељ за даље праћење стања. Када је у току снимања ласерски сноп случајно, уместо истраживаног предмета, погодио један камени стуб у близини, Езмус је открио могућност примене ласера у чишћењу инкрустација са оштећених мермерних скулптура.<sup>3</sup> Овим пројектом започиње примена ласерског чишћења предмета културне баштине.

У почетку су истраживања била скромнијег обима, да би почетком деведесетих година дошло до прогресивног развоја ласерских система. Група европских научника почиње активно да истражује студије случаја ласерског чишћења, прво на предметима од камена, а затим и другим материјалима.<sup>4,8</sup>

## Процес ласерског чишћења

### Ласерско зрачење

Због изузетних карактеристика ласерског зрачења данас имамо небројене примене ласерске технике у многим пољима људске делатности. Тако, на пример, кохерентност омогућава фокализовање или усмеравање ласерског зрачења на објекте са веома великом енергијом у ласерском снопу. Монохроматско ласерско зрачење омогућава селективно по-

буђивање материјала одабиром одговарајуће таласне дужине. Са друге стране, захваљујући бурном напретку електронике, развијени су ласерски системи који омогућавају просторну и временску контролу ласерског снопа са врло великом резолуцијом.

### Ласерско чишћење

Коришћење ласерске технологије у конзервацији има широку примену приликом чишћења површина, уклањања преслика, анализе материјала који се користе при изради уметничких дела и израде документације.

Ласерско чишћење нуди низ предности у односу на традиционалне методе чишћења – нема контакта (енергија се испоручује у облику светлости); нема абразије на деликатним површинама; осетљивост - физички процес који престаје убрзо након завршетка ласерског импулса; очување површине рељефа (довољно осетљив да сачува фине детаље); селективност (може бити подешен за интеракцију са специфичним супстанцама); процес високе просторне резолуције; прилагодљивост - већина материјала се може уклонити правилним избором оперативних параметара; контролисана акција - специфична дебљина материјала може да се уклони; минималан утицај на животну средину (нема токсичних хемикалија или растварача, нема потрошног материјала, а процес генерише веома мале количине отпадних материја).<sup>10, 12-23</sup>

Ласерско зрачење у процесу чишћења укључује сложене механизме односно фототермалне, фотохемијске и механичке ефекте на циљаном материјалу, у зависности од параметара ласерског зрачења и физичко-хемијских својстава површине (боја, порозност, површин-

ска структура итд.). Промене у дебљини контаминирајућих слојева, дехидратација, као и обезбојење материјала током рада, утичу на избор оперативних параметара. Најважнији параметри ласерског чишћења су густина енергије/флукс ласерског снопа који је дефинисан као енергија по јединици површине, таласна дужина, дужина пулса и карактеристика транспортног медијума. Важно је да је флукс довољан да се уклоне контаминирајући слојеви (земљиште, карбонске насlage, оксиди, органски и неоргански контаминенти итд.), а опет довољно низак да спречи оштећења подлоге. У принципу, кратки пулсеви су корисни у процесу чишћења, јер се помоћу њих спречава провођење топлоте у подлогу. Аблација је заправо процес уклањања материјала (испаривање, сублимација – нижи ласерски флукс; прелазак у стање плазме – виши флукс) ласерским зрачењем са чврстих или течних површина.<sup>10</sup>

Ласерско чишћење може се одвијати са или без присуства танког течног филма (обично вода). Код сувог ласерског чишћења већа количина енергије може се апсорбовати на циљаној површини што омогућава селективно чишћење уз контролу одговарајуће таласне дужине. Ова техника је корисна када подлога и слој контаминената или честица имају различите апсорпционе карактеристике ласерског зрачења. У одређеним случајевима, као што је уклањање инкрустација код метала, ефикасност чишћења постиже се избором одговарајуће ласерске таласне дужине која је снажно апсорбована на циљаној површини уз претходно наносење танког воденог филма.<sup>10, 13</sup>

Ласерски системи могу бити покретни системи са којима се може радити и на терену. Лаки су за руковање, прецизно се

подешавају, имају високу поузданост уз минимално одржавање, а представљају *зелену* и чисту технику. Једини проблем јесте већа почетна инвестиција, односно висока цена инструмента, што је за сада и највећи недостатак ове технике.

## Принцип рада

### *Nd: YAG ласерској системи*

У Централном институту за конзервацију у Београду користи се најновија верзија ласерског система произвођача *Quanta System* - ласерски систем *Thunder Art* (ради у *Q switched* пулсном режиму (дужина пулса износи 10 ns, пречник ласерског зрака 10 mm, а фреквенција пулса 20 Hz)). Ласерски зрак пролази кроз ласерску руку која је дизајнирана тако да има велику покретљивост, а фокусна дистанца износи 1m.

Код овог ласерског система приликом чишћења јавља се модел *spallation* (спалација). Спалација је процес у којем се фрагменти материјала *избацују* (цепају) са основног тела услед одређеног удара или стреса. Тип механизма аблације са кратким пулсевима (5 - 100 ns) и густином енергије од 0, 1 до 4 J/cm<sup>2</sup> представља брзо испаривање у комбинацији са спалацијом. Овај механизам карактерише интензитет ласера од ~ 10<sup>7</sup> до 10<sup>10</sup> W/cm<sup>2</sup>, у такозваном *Q-switched* режиму рада. Озрачени материјал испарава, а будући да и даље апсорбује ласерско зрачење, његова температура достиже вредност ~ 10<sup>3</sup> – 10<sup>4</sup> К. Са овим ласерским параметрима генерише се плазма на озраченој површини. Настали висок притисак плазме (~1 – 100 Kbar) резултира појаву таласног удара који води до појаве микроскопског притиска на повр-

шини материјала. Након ласерског пулса долази до релаксације материјала што резултира уклањање односно *избацивање* танког површинског слоја (1 - 100  $\mu\text{m}$ ), односно појаву механизма спалације.<sup>24</sup>

### Опис и стање изабраних археолошких предмета, односно узорака

За ово испитивање изабрани су предмети из Археолошке збирке с обзиром да је код ове врсте предмета процес чишћења, у највећем броју случајева, најзахтевнији. Сви испитивани предмети су након ископавања одложени у депо без конзерваторског третмана. Анализа оригиналних материјала, корозионих продуката и нечистоћа вршена је на основу визуелних и микроскопских прегледа. За будућа испитивања, односно детаљнију анализу, неопходно је укључивање одговарајућих инструменталних метода анализе.

Фрагмент камене пластике потиче са античког локалитета Порта Цркве Успења Пресвете Богородице (ископавање из 2002. године). Узорак је извађен из земље након дугог низа година и на његовој површини је присутан компактни униформни сивкасти слој (највероватније остаци земље и калцитне насlage). Раније анализе указују да се ради о типу камена кречњака (сл. 1).

Фрагменти равног прозорског стакла потичу са рановизантијског локалитета Градина-Јелица (ископавање из 1986. године). На површини стакла присутан је таман синтерован слој везан за иридиновани/гел-слој стакла или оригиналну површину (сл. 2, 3).

Фрагмент бронзаног предмета потиче са рановизантијског локалитета Градина-Јелица (ископавање из 1994. године). На површини узорка присутне су нечистоће (честице околног земљишта, песак итд.), као и слојеви корозионих продуката и егзогених материјала. На површини бронзаног предмета видљив је зеленкасти слој базних соли испод којег се налази тамни слој оксида и сулфида. На предмету након ископавања није примећено присуство активне корозије (сл. 4, 5).

### Експериментални поступак

Сви тестови ласерског чишћења на различитим супстратима (различити материјали и површинске насlage) вршени су коришћењем исте дистанце између места зрачења и објекта. Тестовима су утврђивани оптимални параметри зрачења (таласна дужина, флуks, време зрачења, фреквенција пулса - степен пулсирајућег понављања) уз праћење ефекта, односно утицаја промене одређених параметара на супстрат и површинске насlage. У том циљу бирани су већи и равни делови узорака са хомогеним површинским слојевима како би се упоређивали различити услови зрачења.<sup>15</sup> Пре самог ласерског чишћења нису вршена додатна прелиминарна чишћења предмета. Стање предмета праћено је помоћу лупа и микроскопа, као и визуелно, на основу субјективне процене.

Пробе су урађене са три различите таласне дужине - 1064 nm (инфрацрвена таласна дужина), 532 nm (зелена) и 266 nm (ултраљубичаста) при ласерском флуksу од 1 cm.

Компаративни тестови ласерског, механичког (микромотор) и хемијског

(употреба ацетона и воде) чишћења вршена су на фрагменту бронзаног предмета (сл. 6).

## Резултати и дискусија

### Фрагмент камене пластике

Код узорка камене пластике ниво аблација при таласној дужини од 1064 nm и густини енергије од 55 mJ/cm<sup>2</sup> доводи до уклањања жељеног нивоа наслага (сл. 7, 8). Временски период зрачења износи 30 секунди, док се временски период чишћења наслага продужава за 20 секунди уколико је ниво наслага деље. Одговарајући степен чишћења површина уз адекватан естетски изглед предмета постиже се за кратко време. Оптимални параметри могу се применити на целокупан материјал камене пластике са овог локалитета с обзиром да се ради о сличној проблематици, односно површинским наслагама на камену. Притом, велику предност представља примена *зелене* технике (нема употребе потрошног материјала и нема генерисања отпада), уз повољан економски аспект.

### Фрагмент равног прозорског стакла

За бројне фрагилне археолошке предмете прекривене јаким синтерованим слојевима традиционалне методе чишћења често могу бити безуспешне. Код археолошког стакла слојеви нечистоћа могу бити блиско повезани са гел-слојем што условља да се локална оштећења током чишћења не могу увек избећи. Додатан проблем могу представљати слојеви који су више повезани са гел-слојем у односу на везу гел-слоја са оригиналном површином стакла. Тада се чишћењем често не може избећи уклањање оба слоја истовремено (ком-

плетна нечистоће/гел фаза). У супротном, ласерским чишћењем могу се постићи задовољавајући резултати. Недостатак ове технике може представљати и делимично емитована ласерска светлост која може изазвати интеракције на задњој страни стакла, као и ефекат соларизације (обезбојавање стакла).<sup>11, 13</sup>

Код испитиваног фрагмента рановизантијског прозорског стакла урађени су тестови уклањања синтерованог слоја са три таласне дужине (1064 nm, 532 nm и 355 nm) (сл. 9, 10, 11, 12). Слој је ефикасно уклоњен, уз одговарајући естетски изглед предмета, на таласној дужини од 532 nm и 355 nm, односно енергијама од 110 mJ и 45 mJ. За неки прецизнији закључак у овом погледу потребни су додатни тестови на ширем спектру узорака. За будућа испитивања неопходна је детаљна анализа основног материјала (стакла), иридизоване/гел-фазе и површинских наслага прецизним аналитичким техникама.

### Фрагмент бронзаног предмета

Ранија испитивања су показала да слојеви оксида имају за око 40% вишу апсорпциону моћ ласерске светлости од очишћене површине бакра. Узевши у обзир ниску топлотну проводљивост оксида бакра од 5 W/m<sup>2</sup>К у поређењу са багром од 400 W/m<sup>2</sup>К, закључује се да се нижом енергијом ласера може утицати на оксиде бакра без оштећења бакарне подлоге.<sup>10</sup>

Употреба воденог филма у процесу чишћења изузетно је корисна с обзиром да претходно поменути ниска топлотна проводљивост оксида бакра утиче на појаву високе температуре, односно њихову редукцију у метално стање. Овом редукцијом може настати превлака новонасталих металних честица на суп-

страту које могу ометати даљи процес чишћења.<sup>10</sup>

Код испитиваног бронзаног предмета из чачанског Музеја коришћена је инфрацрвена таласна дужина у опсегу енергије од 180 mJ до 550 mJ, што је водило до иреверзибилних оштећења слојева куприта и/или типичних бакарних супстрата на бронзаном археолошком предмету. Тачније, при испитиваним параметрима неравномерно се уклањала зелена патина која представља типичне зеленксте слојеве базних соли (сл. 13). Ово је условило да естетски прихватљив изглед предмета односно патине није постигнут, тако да су неопходна даља испитивања у овом погледу.

Сличне ефекте ласерског чишћења на археолошким бакарним легурама постигла је друга група научника. Они су закључили да би употреба генерисаних импулса у наносекундама у *Q-switched* режиму *Nd:YAG* ласера изазвала локална оштећења и површинско *шољење* на слоју супстрата испод границе површинске аблације егзогених материјала (остаци земље, нечистоће). Ово се дешава чак и ако се користи минимална ласерска густина енергије. Ове чињенице би требало узети у обзир приликом одабира дужине времена трајања ласерских импулса (у опсегу од десетина и стотина наносекунди), посебно када метални предмет не може бити изложен високом механичком стресу или тренутном температурном градијенту.<sup>14</sup>

## Закључак

Пробни тестови ласерског чишћења археолошких предмета из чачанског Музеја показују велики потенцијал ласер-

ског система *Thunder Art*. Избор и анализа оптималних параметара ласерског чишћења у области културног наслеђа представљају изазов с обзиром да је сваки археолошки, историјски и уметнички предмет случај за себе.

Будући тестови, поред микроскопске анализе, укључили би и одговарајуће дијагностичке аналитичке технике у погледу карактеризације оригиналних материјала и површинских наслага пре, у току и након процеса ласерског чишћења, као што су колориметрија, спектри рефлексције, ласерски индукована флуоресценција (LIF), спектроскопија ласерски индуковане плазме (LIBS), инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (FTIR), рендгенска флуоресцентна спектрометрија (XRF) итд.

Испитивање у Централном институту за конзервацију у Београду показује велики потенцијал ласерског чишћења многобројне и габаритне збирке камене пластике у чачанском Музеју, посебно када је реч о већим предметима попут стубова, лукова итд. Ово представља добру основу за креирање будућих пројеката у овом контексту односно адекватну заштиту и презентацију збирке камене пластике Народног музеја у Чачку.

## Литература:

1. J. F. Asmus, G. Guattari, L. Lazzarini, G. Musumeci, R. F. Wuerker, „Holography in the conservation of statuary”, *Studies in Conservation* 18, 1973, pp. 49-63, URL 2. J. F. Asmus, S. G. Murphy, W. H. Munk, „Studies on the interaction of laser radiation with art artifacts”, in R. F. Wuerker (ed.), *Developments in Laser Technology II*, Proc. SPIE 41
3. (R. Bordalo, „John Asmus, from Lasers to Art Conservation”, *e-conservation magazine* 3, 2008, pp. 12-19, <http://www.e-conservationline.com/content/view/598/>). 1973, pp. 19-30)

4. M. Cooper, *Laser cleaning in conservation: an introduction*, Butterworth Heineman, Oxford, 1998.
5. A. C. Tam, W. P. Leung, W. Zapka, W. Ziemlich, „Laser cleaning techniques for removal of surface particulates”, *Journal of Applied Physics* 71, 3515, 1992, doi:10.1063/1.350906
6. S. Georgiou, V. Zafropoulos, D. Anglos, C. Balas, V. Tornari, C. Fotakis, „Excimer laser restoration of painted artworks: procedures, mechanisms and effects”, *Applied Surface Science* 127-129, 738, 1998, doi:10.1016/S0169-4332(97)00734-4
7. R. Oltra, O. Yavas, F. Cruz, J. P. Boquillon, C. Sartori, „Modelling and diagnostic of pulsed laser cleaning of oxidized metallic surfaces”, *Applied Surface Science* 96-98, 484, 1996, doi:10.1016/0169-4332(95)00500-5
8. C. Fotakis, *Optics and Photonics News* 6 (5), 30, 1995, URL
9. Shannon M. Hollsten, *Techniques used in artifact cleaning*, [http://calintec.biz/uploads/artifact\\_cleaning.pdf](http://calintec.biz/uploads/artifact_cleaning.pdf)
10. Yang Sook Koh, *Laser Cleaning as a Conservation Technique for Corroded Metal Artifacts*, (Luleå: Luleå University of Technology 2005), 1-85.
11. Ramadan Abd-Allah, „Chemical cleaning of soiled deposits and encrustations on archaeological glass: A diagnostic and practical study”, *Journal of Cultural Heritage* 14 (2013) 97–108.
12. Mauro Matteini, Carlo Lalli, Isetta Tosini, Annamaria Giusti, Salvatore Siano, „Laser and chemical cleaning tests for the conservation of the Porta del Paradiso by Lorenzo Ghiberti”, *Journal of Cultural Heritage* 4 (2003) 147s–151s
13. J. Nimmrichter W. Kautek M. Schreiner (Eds.), *Lasers in the Conservation of Artworks*, Lacona VI Proceedings, Vienna, Austria, Sept. 21–25, 2005, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 1-636.
14. Halina Garbacz, Elzbieta Fortuna-Zalesna, Jan Marczak, Andrzej Koss, Anna Zatorska, Grazyna Z. Zukowska, Tomasz Onyszczuk, Krzysztof J. Kurzydowski, „Effect of laser treatment on the surface of copper alloys”, *Applied Surface Science* 257 (2011) 7369–7374.
15. S. Siano, J. Agresti, I. Cacciari, D. Ciofini, M. Mascalchi, I. Osticioli, A. A. Mencaglia, „Laser cleaning in conservation of stone, metal and painted artifacts: state of the art and new insights on the use of the Nd:YAG lasers”, *Appl. Phys. A* (2012) 106: 419-446.
16. Renzo Salimbeni, „Laser techniques for conservation of artworks”, *Archeometriai Műhely* 2006/1, 34-40.
17. I. Nikolov, T. Popmintchev, T. Todorova, I. Buchvarov, M. Surtchev, S. Tzaneva, „Laser Restoration of Ceramic Artifacts with Archeological Value”, *Applied Physics A Materials Science and Processing*, Vol. 79, Issue 4-6, pp. 1111-1115 (2004).
18. Halina Garbacz, Andrzej Koss, Jan Marczak, Janusz Mroz, Tomasz Onyszczuk, Antoni Rycyk, Antoni Sarzy, Wojciech Skrzeczanowski, Marek Strzelec, Anna Zatorska, „Optimized laser cleaning of metal artworks – evaluation of determinants”, *Physics Procedia* 5 (2010) 457–466.
19. Farideh Fekrsanati, Stefan Klein, Jens Hildenhagen, Klaus Dickmann, Yiorgos Marakis, Aleka Manousaki, Vassilis Zafropoulos, „Investigations regarding the behaviour of historic glass and its surface layers towards different wavelengths applied for laser cleaning”, *Journal of Cultural Heritage* 4 (2001) 253–258.
20. S. Polić-Radovanović, S. Ristić, J. Stašić, M. Tirtica, „A study of Roman glass from Mala Barutana/ Belgrade Fortress irradiated with pulsed CO<sub>2</sub>, Nd:YAG and ruby laser — Comparison”, *Journal of Non-Crystalline Solids* 358 (2012) 3048–3056.
21. Roberto Pini, Salvatore Siano, Renzo Salimbeni, Marinella Pasquinucci, Marcello Miccio, „Tests of laser cleaning on archeological metal artefacts”, *J. Cult. Heritage* 1 (2000) S129–S137.
22. Ivo Donelli, „Pokušaj čišćenja laserom mramorne antičke skulpture br. 12. iz Augusteuma u Naroni”, *Vjesnik za arheologiju i povijest dalmatinsku* Vol.1 No.98 (2005) 283-288.
23. J. Barrio, M<sup>a</sup>.C. Medina, A.I. Pardo, J.P. Cid, M. Turégano, *Possibilities of LASER Conservation of Metal Objects from Archaeological Context*, Servicio de Conservación, Restauración y Estudios Científicos del Patrimonio Arqueológico (SECYR). Dpto. Prehistoria y Arqueología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid
24. Marco Lentjes, *Controlled laser cleaning of artworks via low resolution plasma spectroscopy and linear correlation*, [http://doc.utwente.nl/58098/1/thesis\\_Lentjes.pdf](http://doc.utwente.nl/58098/1/thesis_Lentjes.pdf)



### **Effects of laser cleaning of archaeological objects from the collection of National Museum in Cacak**

The process of artefact cleaning is an reversible action and as such it presents one of very sensitive segments of conservation treatment. It is mostly used for removing surface layers of soil remains, dirt, salts and corrosion products so as to achieve better readability of objects enabling research and its presentation. Cleaning also gives the opportunity to remove layers i.e. chemical compounds responsible for appearance of active corrosion on the object. Laser systems provide high level of control and precision so they are more and more the technique in use in the field of analyses and conservation of cultural heritage. Recent acquisition of Nd:YAG laser system in the Central Institute for Conservation in Belgrade has opened the possibility for collaboration and for carrying out laser cleaning tests on the artefacts from the collection of the National Museum in Cacak. This system emit light with wavelengths, in infrared, green and ultraviolet part of the spectrum which makes its usage possible on a wide range of materials. This is one of the first usages of laser for these purposes in Serbia. Testing was carried out on the fragment of architectural stone decoration, fragments of antique glass and bronze archaeological artefact. After microscopic analyses of surface layers, comparative mechanical, chemical and laser cleaning was carried out on different segments of

the objects. In the paper, experimental results obtained by laser cleaning of soil remains and other burial deposits as well as corrosion products compared to traditional, common methods of cleaning are presented. Parameters on the laser system (energy and wavelength) were optimized for each material separately and while it was taken care not to damage objects, it was also cared about the object's aesthetic appearance. Preliminary results on the sample of architectural stone decoration show excellent perspective for efficient cleaning of soil layers, dirt and corrosion products. Satisfying results were obtained in removing sintered layers on the fragments of antique glass, while future research will be focused on the influence of laser cleaning on gel or iridized phases of glass. In the case of bronze archaeological objects laser generated impulses lead to damages of typical greenish layers of base salts. This caused that aesthetic acceptable appearance of the analyzed artefact was not achieved, thus further experimental researches in this view are necessary. Obtained experimental results present a good base for further researches and practical application of laser in creating future projects in this context. Future researches would primarily include different analytical techniques in material identification and characterization of corrosion products.

Joakim STRIBER, PhD  
Milena JOVANOVIĆ  
Slobodan BOGOJEVIĆ

## Les effets du nettoyage au laser des objets archéologiques du recueil du Musée national à Cacak

Le processus de nettoyage des objets archéologiques est une action irréversible et comme telle, elle représente un des éléments de traitement de conservation les plus délicats. Le plus souvent, il se rapporte à l'élimination des couches superficielles, c'est-à-dire des restes de terre, de saletés, de sels et de produits corrosifs afin d'obtenir une meilleure lisibilité de l'objet, c'est-à-dire de rendre possible la recherche et sa présentation. Par le nettoyage, on peut également éliminer les couches, c'est-à-dire les composés responsables de l'apparition de corrosion active sur l'objet. Les systèmes laser procurent un degré élevé de contrôle et de précision, si bien qu'ils sont la technique la plus présente dans le domaine de l'analyse et de la conservation de l'héritage culturelle. L'acquisition récente Nd:YAG du système laser YAG à l'Institut central pour la conservation à Belgrade a ouvert une possibilité de collaboration, c'est-à-dire d'exécution du nettoyage au laser expérimental des objets archéologiques du recueil du Musée à Cacak. Ce système a trois longueurs d'onde dans la partie infrarouge, verte ou ultraviolette du spectre, ce qui rend possible son utilisation sur le vaste spectre du matériel. Ceci est une des premières utilisations du laser en Serbie à ces fins. L'expérimentation fut effectuée sur un spécimen, c'est-à-dire sur un fragment de sculpture en pierre antique, sur des fragments de verre antique et sur des objets métalliques en bronze. Après l'analyse microscopique des couches superficielles, on procéda parallèlement au nettoyage mécanique, chimique et au laser des divers segments de l'objet. Dans cette étude sont présen-

tés les résultats expérimentaux obtenus par le nettoyage au laser expérimental des restes de terre et des autres saletés, ainsi que des produits corrosifs par rapport aux méthodes classiques, c'est-à-dire aux méthodes de nettoyage habituelles. Les paramètres sur le système laser (énergie et longueur d'onde) furent optimisés sur chaque matériel individuel, si bien qu'on fit attention à ce qu'il ne se déroule aucune dégradation et à ce que tous les objets obtiennent une apparence esthétique convenable. Les résultats préliminaires sur les exemplaires de sculpture en pierre indiquent une excellente perspective pour le nettoyage efficace des couches de terre, de saletés et de produits corrosifs. Des résultats satisfaisants furent obtenus également concernant l'élimination des couches frittées sur le verre antique, tandis que les recherches à venir se rapporteront avant tout sur l'influence du nettoyage au laser sur les phases gel ou iridiée du verre. Chez les objets archéologiques en bronze, les impulsions générées du laser menèrent aux dégradations typiques de couches verdâtres des sels basiques. Cela conditionna que l'apparence esthétique acceptable de l'objet ne fut pas obtenue, de sorte que de nouvelles recherches à cet égard sont indispensables. Les résultats expérimentaux obtenus représentent une bonne base pour les nouvelles recherches et un usage pratique du laser, c'est-à-dire de la création des projets à venir dans ce contexte. Les expérimentations à venir intègreraient essentiellement les techniques analytiques différentes dans l'identification du matériel et la caractérisation des produits corrosifs.

Joakim STRIBER, Dr  
Milena JOVANOVIĆ  
Slobodan BOGOJEVIĆ



*Сл. 1 - Фрајменїй камене йласїйике*



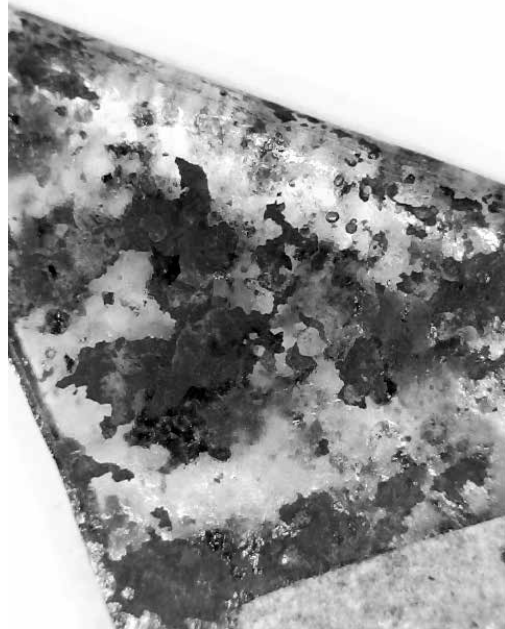
*Сл. 7- Делимично ласерски очишћен фрајменїй камене йласїйике*



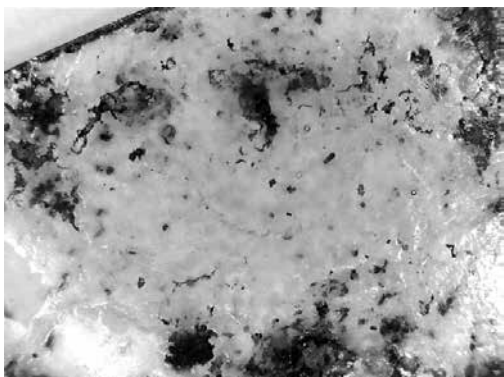
Сл. 2 - Фрајментии равної йрозорскої сїакла



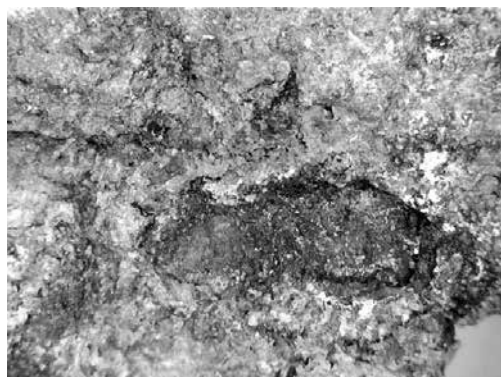
Сл. 12 - Уйоредно лазерско чишћење  
фрајментїа сїакла  
(їталасна дужина 355 нм, 532 нм, 1064 нм)



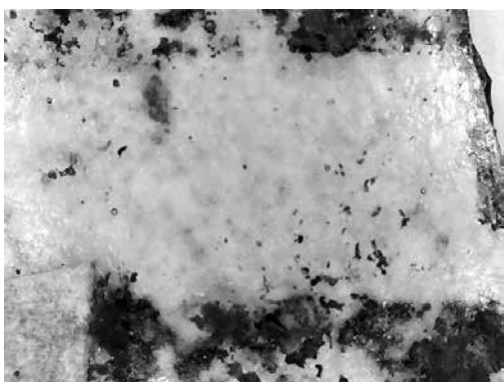
Сл. 3 - Изабрани фрајментїи равної йрозорскої сїакла



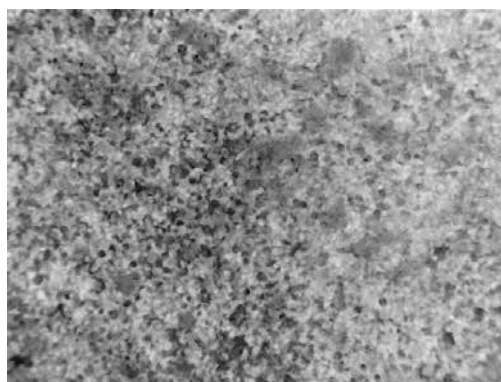
9



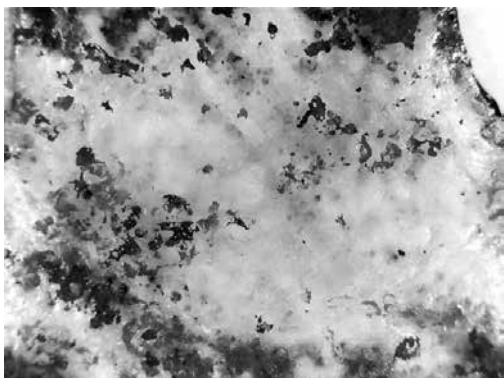
5



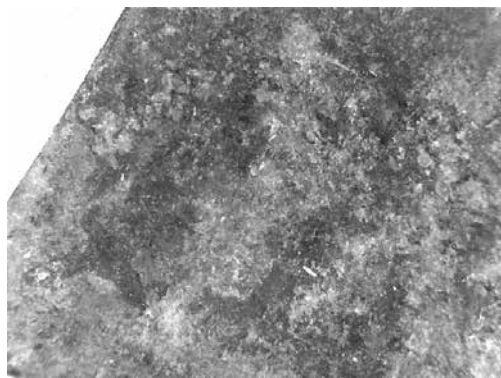
10



8



11



13

*Сл. 9, 10, 11 - Детаљ ласерски очишћеној фрајменџа  
стакла (шласна гружина 355 нт, 532 нт, 1064 нт)*

*Микроскојски детаљи (увећање 400 х)*

*Сл. 5 - Бронзани љредмеј*

*Сл. 8 - Фрајменџ камене љласџике*

*- очишћена и не очишћена љовршина*

*Сл. 13 - Делмично ласерски очишћен  
бронзани љредмеј*



*Сл. 4 - Бронзани предмет*



*Сл. 6 - Упоредни испитови ласерској, механичкој и хемијској чишћења бронзаног предмета*

*\* Аутори фотографија: Марко Бојовић, Милена Јовановић*