

КОНЗЕРВАЦИЈА

*Славица Ристић, Сузана Полић, Данијелка Радовановић,
Јоаким Стрибер, Бојана Радојковић*

ЧИШЋЕЊЕ МЕТАЛНИХ НИТИ НА ТЕКСТИЛНИМ МУЗЕЈСКИМ ЕКСПОНАТИМА Nd-YAG ЛАСЕРОМ

Апстракт: У раду су приказани резултати испитивања ефеката ласерског чишћења текстилних узорака с металним нитима, из фондуса Етнографског музеја у Београду. Корозионе промене на металним нитима су довеле и до оштећења текстилног материјала. Примена класичних метода чишћења није дала очекиване резултате, па је примена ласерске технике била следећи корак. Коришћен је Nd-Yag ласер, енергије до 150 mJ за $\lambda=1064$ nm и 50 mJ за $\lambda=532$ nm и дужину импулса 150 ps. Такође је коришћен комерцијални, наменски ласерски систем „Thunder Art Laser“. Испитивање ефеката на озраченим зонама је вршено оптичком и скенирајућом електронском микроскопијом (ОМ и СЕМ) и ЕДХ анализом. Одређени су параметри за успешно и безбедно чишћење корозионих продуката на металним нитима, на узорку сукања *бојче*, без деградације околног материјала.

Кључне речи: ласерско чишћење, Nd-Yag ласер, корозија, металне нити, текстил

1. Увод

Етнографски музеј у Београду сакупља, проучава и чува етнографско наслеђе с читавог јужнословенског простора. У депоима музеја чува се око 30.000 текстилних предмета. Крајем 2000. године, у музеју је чувано 3.527 текстилних предмета с металним нитима, од којих је 221 од изузетне вредности (А категорија) (Радовановић 2008; Соколовић 2008). Услови простора у којима се текстил чува, не задовољавају у потпуности принципе превентивне заштите, постоје значајне варијације влажности и температуре, што се штетно одражава на текстилне предмете, посебно на оне који су везени или проткани металним нитима. Почетком деведесетих година 20. века, примећене су промене на неколико предмета који имају вез металном нити. Нит је потамнела и постала кртва, а на некима је почела и да се осипа на додир. Поред промена на металној нити, примећено је и оштећење делова тканине око везеног орнамента и на деловима који имају флеке. Временом, ова појава је била видљива на све већем броју предмета. У току последњих

петнаестак година предузимане су мере за решавање ове појаве на металним нитима и текстилу. Комплексан проблем деградиране металне нити на етнографским текстилним предметима није било могуће решити класичним методама које се користе у поступку конзервације (Cirk 1997). Постоји бројна литература која описује класичне методе и проблеме који прате њихову примену у чишћењу и заштити металних нити на текстилним предметима (уп. Abdel-Kareem, 2011; Frade, 2011).

Примена ласера у чишћењу предмета културне баштине последњих година постала је стандардна метода у конзервацији експоната различитог материјала. Постоји велики број публикованих радова из ове области који презентују примену ласера у чишћењу камена (Полић 2007), мермера (Ortiz 2013), стакла (Полић и остали 2012; Radojković 2013), керамике (Pradell 2008, Ristić 2007), зидног сликарства (Andreotti i ostali 2006, Bordalo 2006), слике на платну и дрвету (Carmona i ostali 2011), металних експоната (Pini i dr. 2000; Rode i dr. 2008; Šijački i dr. 1999; Katavić i dr. 2010; Ristić i dr. 2010), папиру и пергаменту (Sportum i dr. 2000; Kautek i dr 2003), текстилу (Ferrero, Testore 2002; Abdel, Haret 2008), других органских и биолошких узорака (Cormona 2011) итд.

Најкомпликованија је примена ласера у чишћењу експоната који имају вишекомпонентни састав, као што су, на пример, комбинација метал и текстил (Degrigny 2003; Lee, Koh 2003; Rezić i dr. 2010; Belli et al. 2005). Иако постоје одређени резултати који су публиковани, ова област је недовољно истражена, јер сваки предмет је проблем који тражи студиозно и свеобухватно истраживање, пре него што се приступи чишћењу. У овом раду је приказан део резултата истраживања која су спроведена ради одређивања оптималних параметара у процесу чишћења корозионих продуката на узорцима текстила протканог металним нитима. Резултати добијени применом Nd-Yag ласера у лабораторијским испитивањима показали су предности истог у односу на CO₂ и рубински ласер. Примена овог ласера омогућава избор три таласне дужине, у инфрацрвеном, видљивом и ултраљубичастом делу спектра, варирање флуенце и броја импулса. Наставак истраживања је реализован комерцијалним Nd-Yag ласером. За испитивање резултата чишћења, поред оптичког микроскопа, коришћен је и СЕМ, са ЕДХ анализом.

Презентовани рад је намењен стручњацима који се баве конзервацијом текстила, како би се упознали с новим методама у превентивној и куративној заштити културне баштине.

2. Хронологија решавања проблема: деградација металних нити у Етнографском музеју

У музејским депоима за текстил Етнографског музеја вршена је редовна контрола и заштита експоната од инсеката разним хемијским средствима. Парадихлорбензол је стављан у депое текстила од 1968. до 1984. године, након редовног годишњег ветрења. Од 1984. године, заштита депоа је рађена фулмигацијом или цијанизацијом. Заштита је спровођена фосфорводоником или Нуваном 7. Последња обрада музејских простора фосфорводоником рађена је 1999. године. Прва дезинсекција препаратом на бази бухача читавог музејског простора, депоа, сталне поставке и радних просторија, обављена је 2001. године (Радовановић 2008).

Када је уочено да се стање предмета који имају вез рађен металном нити погоршава, извршена су испитивања како би се утврдио узрок ових неуобичајених промена. Испитивања током 2000. године обухватила су: физичко-хемијска испитивања и мерења, микроскопско посматрање површине узорака, анализу хемијских поступака коришћених у дугогодишњој пракси музеја, стање процеса деградације и угрожености предмета. Испитивања су вршена у физичко-хемијској лабораторији Института Винча и у простору депоа за текстил Етнографског музеја у Београду (Радовановић 2008).

Испитивања рН-вредности узорака угрожених металних нити су показала да је $\text{pH}=3,5$ што значи да је реакција значајно кисела. Узорци нове срмене нити, која није била изложена условима депоа и лабораторије за конзервацију текстила, давали су неутралну реакцију. Испитивање угрожених узорака посребрене и позлаћене нити емисионом спектроскопијом показало је велико присуство фосфора (9%) и врло мало присуство сребра (0,11%). Извршена је и масена спектрометријска анализа више узорака који су били различитог степена оштећења, као и анализа узорака који су, у експерименталне сврхе, кородирали у атмосфери фосфина. Фосфин реагује с племенитим металима и изазива њихову корозију. Порастом температуре и влажности ваздуха расте брзина реакције. Фосфин реагује и са солима племенитих метала. На кородираним површинама су регистровани и оксидациони производи фосфина. На злату се овај процес одиграва далеко спорије него на сребру и бакру. Адсорбовани слојеви фосфина могу ступити у хемијску реакцију с подлогом, градећи различита једињења. Фосфин реагује с вишком сребрних соли у раствору, који даје, као крајњи производ, сребро и фосфорну киселину, која даље нагриза преостали метал, дајући нерастворене соли. Слично се дешава и са солима злата.

Микроскопским прегледом установљено је да је површина металне нити прекривена кристалима различитих соли. У случајевима поодмаклог процеса, површине су потпуно прекривене, а у почетној фази местимичне су промене где је стварање соли тек почело. Извршена су детаљна испитивања како би се утврдио утицај хемикалија на текстил; то су хемикалије које

би се користиле за заустављање процеса деградације металне нити и које обухватају: визуелну анализу узорака, одређивање сировинског састава, избор показатеља утицаја хемијског третирања узорака, одређивање хемијског третмана узорака, прорачун концентрације киселине и неутрализатора према рН вредностима, као и испитивање скупљања и јачине.

На основу спроведених испитивања донет је закључак да се може применити поступак чишћења металне нити, на текстилним предметима, раствором фосфорне киселине, без угрожавања текстилних узорака (Радовановић 2008). По обављеном третману, узорци треба да се заштите од поновне корозије полимером, односно паралоидом. На неколико предмета извршене су пробе санирања корозије, почев од јула 2000. године. Након третмана предмети су враћени у депо, и чувају се у истим условима као и сви остали текстилни предмети. Њихово стање и промене редовно се прате. Примећује се и то да корозија брже напредује на местима где има флека и код срме (особито сребрне) лошијег квалитета. Заштита паралоидом примењује се код свих конзервираних предмета који имају вез металном нити.

3. Опис узорака

Метална нит којом је израђен вез на текстилним предметима је, у основи, бакар или цинк, посребрен или позлаћен. Дебљина превлаке племенитим металом је микронска. Поједине врсте металних нити су обавијене око свилене или памучне нити беле или жуте боје, која је, врло често, непостојана. Подлога на везеним предметима домаће радиности је памучна, ланена, куделна, вунена или комбинована – мезелно платно. Одевна карактеристика која значајно типолошки дефинише женску одећу централнобалканске зоне је сукња, обликована од две попречно састављене поле, набрана и отворена целом дужином. Подједнако су је носиле девојке, невесте и удате жене. Јавља се у две основне варијанте. *Бојче*, запрега – кратка женска сукња, отворена целом дужином – која покрива само бокове или допире до колена, орнаментисана везом или претежно утканим разнобојним шарамма, заступљена је у областима Косова, Метохије и Рашке (Zlatanović 2012).

У документацији Етнографског музеја записано је да је сукња *бојче* поклон Етнографском музеју 1950. године од Славе Табаковић, једне од наследника гђе Милке Грујић, председнице Кола српских сестара и дворске даме. Сукња *бојче* је део свечане женске ношње Српкиња, на простору Косова и Метохије, током деветнаестог века. Откана је на домаћем разбоју, у *два нита* платнени преплетај, дужине 29 cm, и ширине 150 cm. Геометријски орнаменти су откани на *нитице*. Основа је од памучног, небојеног предива. Потка је од вуненог предива, бојеног постојаном биљном бојом, кореном

броћа, анилинским непостојаним бојама, и металном нити која је посребрени бакар.

Чишћење металне нити на предметима од текстила, односно на сукњи *бојче*, обављано је по класичним методама и препоруци искусних конзерватора. На предметима бојеним непостојаним бојама чишћење је вршено само механички – четкицама од природних или синтетичких влакана – уз употребу акохола или, пак, стакленим четкицама различите нумерације. Стаклене четкице су врло брзо избачене из употребе због могућих оштећења и текстилних и металних нити. Предмети од текстила постојаних боја су третирани у воденом раствору „комплексола“ (од 4 до 10 процената), у кади за конзервацију мокрим поступком за предмете већих димензија и у ултразвучној кади за предмете мањих габарита.



a



б

Слика 1. Сукња бојче; *a* – нова, отворена сукња [31]; *б* – сукња са оштећењима из фондуса Етнографског музеја у Београду

4. Експеримент

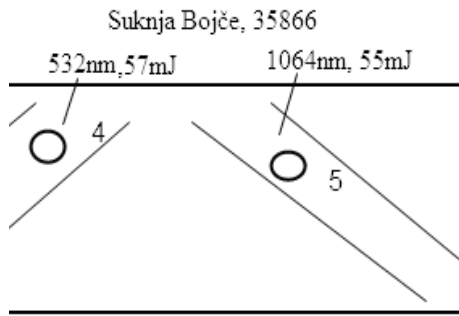
Први део експеримента је извршен у лабораторијским условима, са Nd-Yag ласером који је производ фирме EKSPLA, модел SL212/SH/FH. Ласер има две таласне дужине, 1064 nm или 532 nm; дужина трајања импулса 150 ps (FWHM); а енергија по импулсу до 150 mJ за $\lambda=1064$ nm и 50mJ за $\lambda=532$ nm. Ласерски сноп је био фокусиран с кварцним сочивом, чији је фокус $f=10$ cm, и усмерен нормално на површини узорка. Деловање ласера на узорак је вршено у нормалним атмосферским условима. Учесталост импулса се мењала од 1 до 10 Hz.

Други део експеримента је реализован помоћу комерцијалног ласера „Thunder Art Laser“. Морфологија површине узорка је снимана оптичким микроскопом SZX10 OLYMPUS, и скенирајућим електронским микроскопом (SEM), JEOL JSM-6610LB. SEM је повезан с енергетски дисперзионим X-спектрометром (EDX), INSA350, за прелиминарну анализу хемијског састава узорка. Пре снимања узорак је напарен са 20 nm дебелим слојем злата како би се повећала електрична проводљивост, односно добила квалитетнија слика структуре површине узорка.

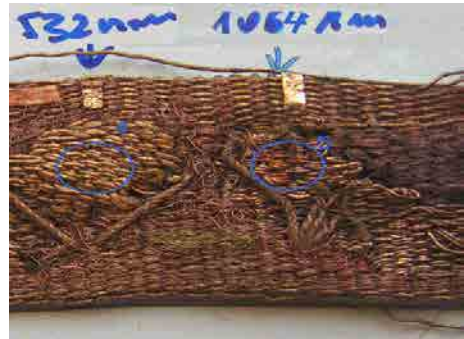
5. Резултати и дискусија

Како је у уводу већ речено, у овом раду су анализирани резултати деловања Nd-Yag ласера на делове сукње с металним везом. На слици 2а приказан је распоред зона које су изложене деловању ласерске светлости с различитом флуенцом, таласном дужином и бројем импулса. Издвајају се две зоне које имају различите таласне дужине, а остали су параметри исти; зона 4: $\lambda=532$ nm, $\Phi=57$ mJ/cm², $n=400$ импулса, зона 5: $\lambda=1064$ nm, $\Phi=55$ mJ/cm², $n=400$ импулса.

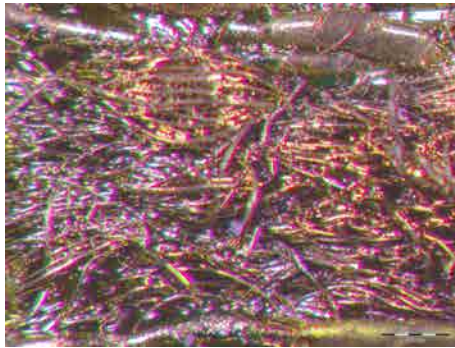
Анализа је фокусирана на зоне интеракције 4 и 5 како би се видео утицај таласне дужине на чишћење корозионих продуката на металним нитима. На сликама 2ц и 2д, приказане су фотографије узорка снимљени оптичким микроскопом SZX10 OLYMPUS и софтверским пакетом Olympus cellSens Dimension.



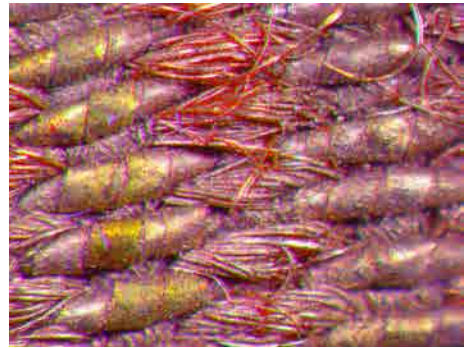
a



b



ц

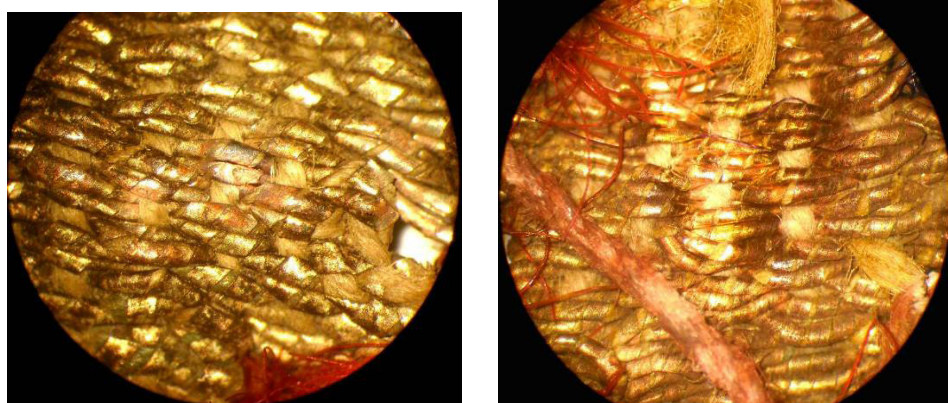


д

Слика 2. Сукња бојче: а – шематски приказ зоне деловања ласером; б – изглед узорка припремљеног за СЕМ-испитивања; ц – зумиран део узорка са израженим оштећењима; д – с релативно очуваном структуром

5.1. Оптичка микроскопска (ОМ) анализа зона 4 и 5

Снимања ОМ вршена су пре напаравања златом. Анализа снимака показује да је централна зона деловања ласером с обе таласне дужине добро очишћена од корозионих продуката. Периферне зоне, због Гаусове расподеле енергије по попречном пресеку ласерског снопа, нису довољно очишћене. Преглед снимака ОМ с већим увећањем није омогућио прецизну анализу утицаја ласерског снопа на тканину узорка, која је органског порекла.



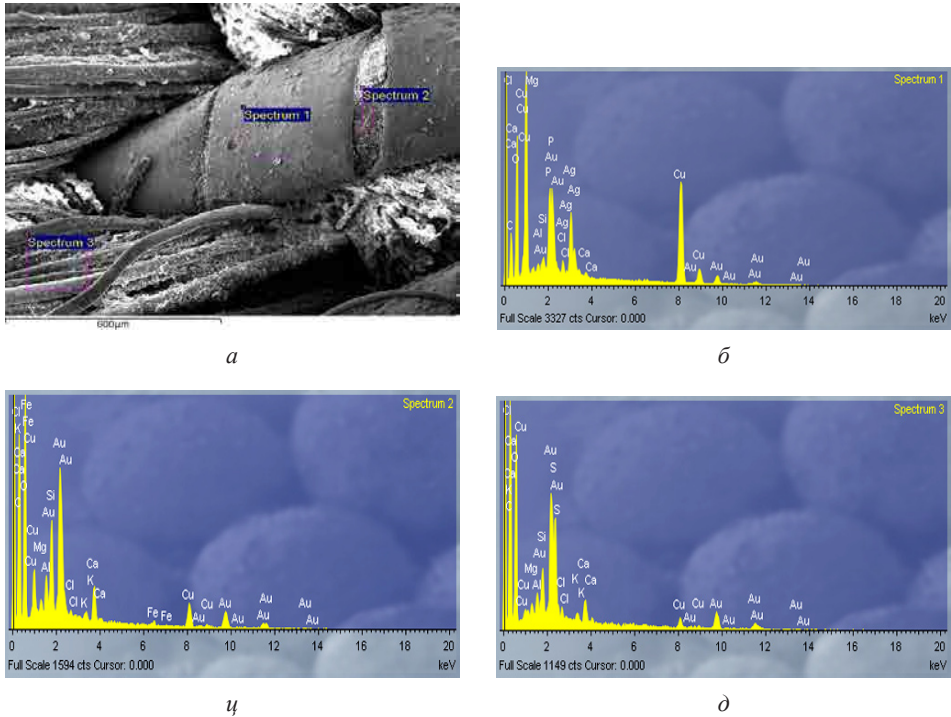
а

б

Слика 3. Оптичка микроскопија: а – зона 4, увећање $\times 25$, $\lambda=532 \text{ nm}$, $\Phi=57 \text{ mJ/cm}^2$, $n=400$ импулса; б – зона 5, увећање $\times 25$, Nd-Yag ласер, $\lambda=1064 \text{ nm}$, $\Phi=55 \text{ mJ/cm}^2$, $n=400$ импулса

5.2. СЕМ и ЕДХ анализа

Поред СЕМ и ЕДХ анализе озрачених зона, дати су и снимци на делу узорка на којем није деловано ласером, како би се направила компарација и проценила ефикасност примене ласера. Резултати испитивања на делу узорка који није изложен ласерском зрачењу, приказани су на слици 4. СЕМ фотографија (сл. 4а), показују да постоје седименти на површини узорка, односно да је површина металне нити прекривена кристалима различитих соли. ЕДХ спектри у изабраним површинским сегментима дају усредњене вредности масених удела присутних елемената; 4б на металном делу нити, 4ц на текстилу унутар металног дела и 4д на осталом текстилу. У табели 1, приказани су масени удели елемента изражени у процентима (%). Метална нит је бакар с додатком сребра. На свим деловима, посебно на неметалним, висок је проценат присуства С и О, а регистровано је и присуство хлора, фосфора и сулфура.



Слика 4. СЕМ фотографија и ЕДХ спектра дела узорка с корозионим продуктима

Табела 1. Масени удели елемената у %

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Ag	Total
Spectrum 1	26.09	37.26	0.33	0.36	0.35	2.80		0.52		0.21		25.21	6.87	100.00
Spectrum 2	39.10	50.06	0.43	0.99	2.22			0.28	0.26	1.43	0.44	4.78		100.00
Spectrum 3	47.17	44.92	0.38	0.54	0.93		2.73	0.45	0.27	0.87		1.75		100.00

На слици 5а дата је СЕМ фотографија централног дела зоне 4 – зоне деловања ласером са $\lambda=532\text{ nm}$ – и неколико зумираних сегмената (5б, 5ц и 5д). Слика 5е показује распоред тачака за које је снимљен EDX спектар. Један од добијених спектра је дат на слици 5ф. Табела 2 садржи квантитативне податке о хемијском саставу добијеном EDX анализом, израженом у процентима масених удела. Очигледно је да се након деловања ласером смањио удео кисеоника и угљеника, а повећао удео металних елемената. Сви остали елементи су – осим хлора и сулфура – елиминисани.

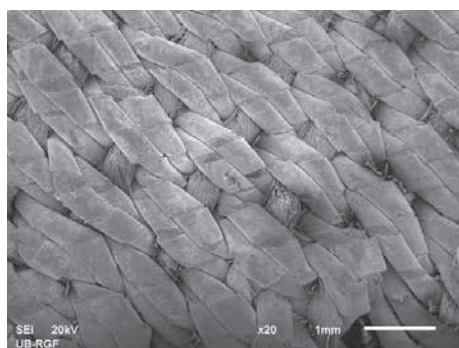
Зона 6 је део узорка који је изложен деловању ласерске светлости са следећим параметрима: $\lambda=1064\text{ nm}$, $\Phi=55\text{ m J/cm}^2$, $n=400$ импулса. На слици ба приказана је комплетна зона деловања, на сликама 6б–6д, зумирани делови из централног дела зоне, а 6е и 6ф снимци с периферије зоне 5. EDX анализа је спроведена у централном делу зоне деловања ласером. Позиције изабраних површина су дати на слици 6г, а један од спектра на слици 6х.

Табела 3 показује да је ласерски снап елиминисао све елементе на површини металне нити која је бакрена. На делу нити који је од конца задржали су се калцијум и алуминијум у веома малим процентима.

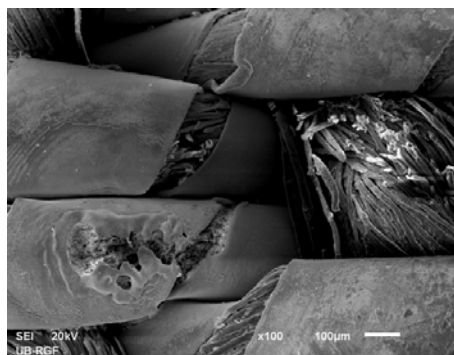
У складу с овим налазом, који се потврдио у поновљеним испитивањима, може се закључити да је ефикасније чишћење корозионих продуката на металним нитима с таласном дужином $\lambda=1064$ nm. Међутим, с овом таласном дужином повећао се масени удео кисеоника на текстилним нитима, што може да буде последица додатне оксидације ових делова.

Табела 2. Зона 4: Масени удели елемената у %

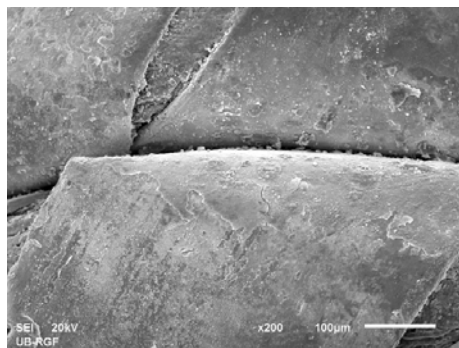
Spectrum	C	O	S	Cl	Cu	Ag	Total
Spectrum 1	27.63	7.65	5.93	1.85	49.65	7.29	100.00
Spectrum 2	14.93	2.28		0.74	79.12	2.92	100.00



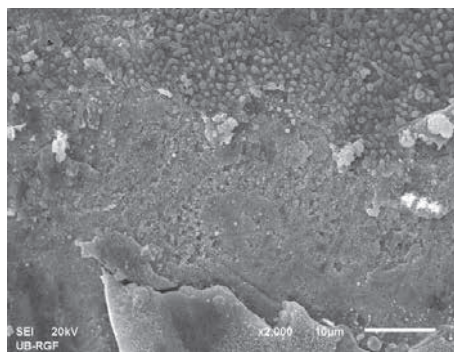
a



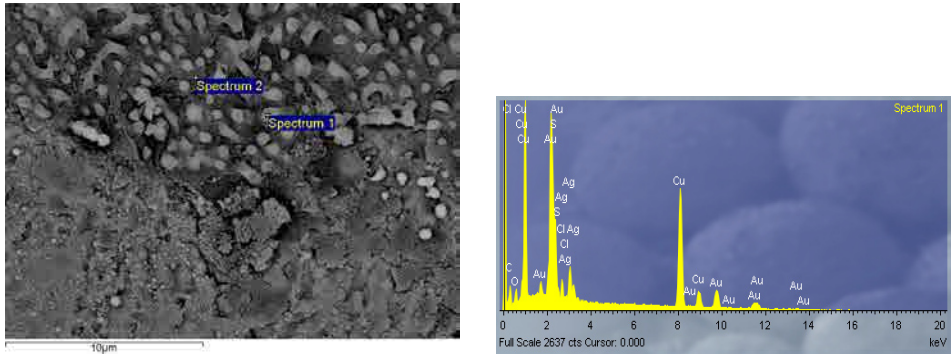
б



ц



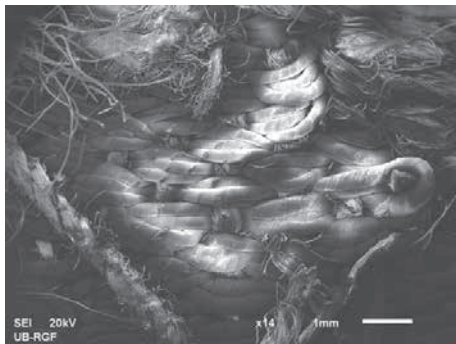
д



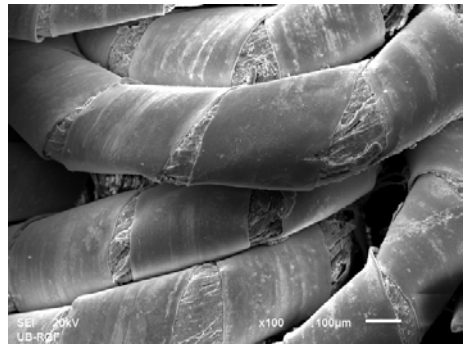
e

φ

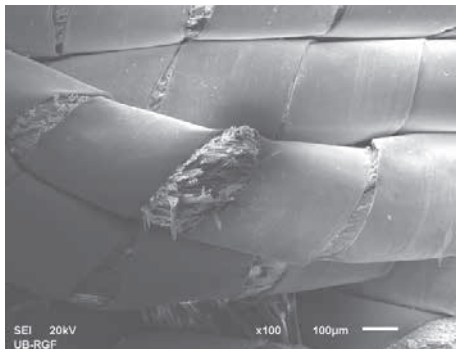
Слика 5. Зона 4: $\lambda=532$ nm, $\Phi=57$ mJ/cm², $n=400$ импулса, а–д: СЕМ фотографије са различитим увећањима, е – СЕМ фотографија и локација EDX спектра



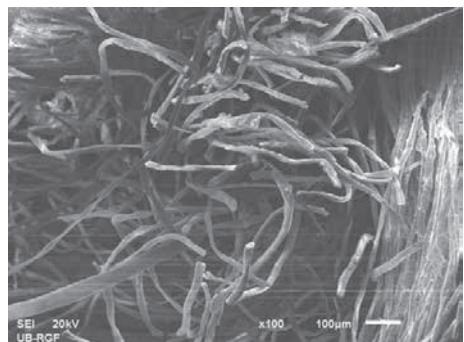
a



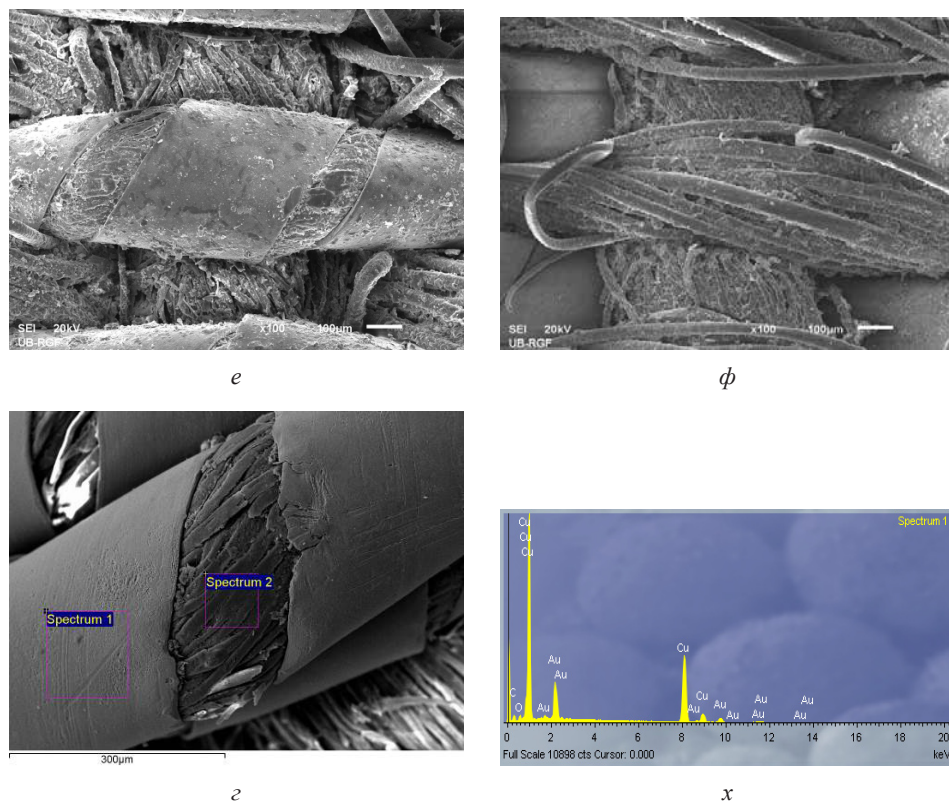
б



ц



д



Слика 6. Зона 5, Nd-Yag ласер, $\lambda=1064\text{ nm}$ $\Phi=55\text{ mJ/cm}^2$, $n=400$ импулса

Табела 3. Масени удели елемената у % у зони 5

Spectrum	C	O	Al	Ca	Cu	Total
Spectrum 1	24.07	5.23			70.69	100.00
Spectrum 2	44.78	50.79	0.33	0.36	3.74	100.00

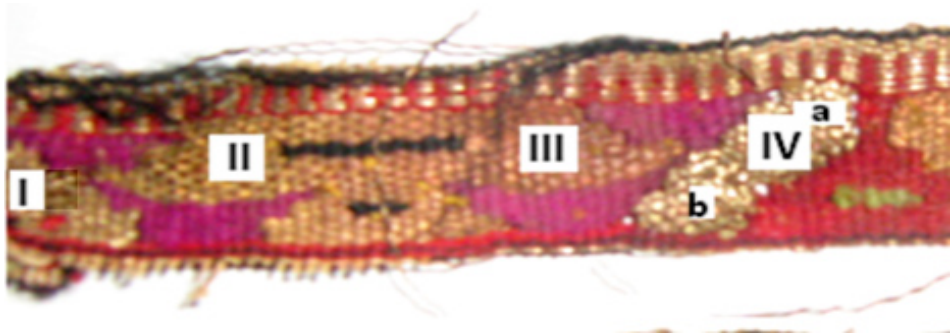
5.3. Оптичка микроскопија: зона чишћења комерцијалним Nd-Yag ласером

Комерцијални ласер је коришћен с таласним дужинама које су лабораторијски испитане (основна и први хармоник, али са мањим бројем импулса). За сваку таласну дужину извршена су чишћења сувог и влажног узорка. Присуство влаге у материјалу који се чисти доприноси повећању ефикасности аблације седимената, било да су то прљавштине или корозиони продукти. Велика енергија, унета ласерским зрачењем, доводи до наглог

загревања и експлозивног испарења воде. Ударни талас ваздуха и водене паре креће се великом брзином, врши аблацију, и односи седimente. На слици 7 дат је узорак сукње бојче са обележеним зонама чишћења при условима датим у Табели 4.

Табела 4

Зона	λ (nm)	E mJ/cm ²	Напомена	Слика
1	није чишћено			8а
2	1064	300	без воде	8б
3	1064	300	с водом	8ц
4а	532	250	без воде	8ц
4б	532	250	с водом	8д

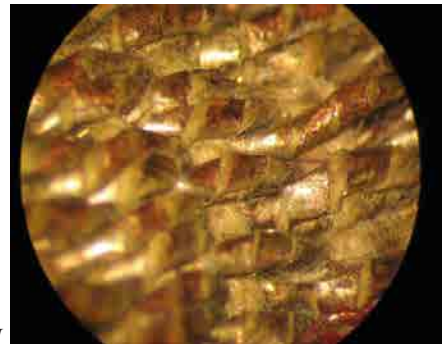


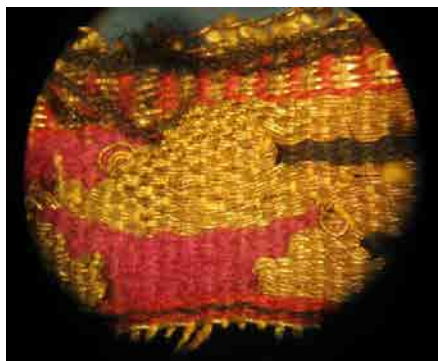
Слика 7. Узорак сукње бојче са зонама деловања ласерске светлости



Зона I

а

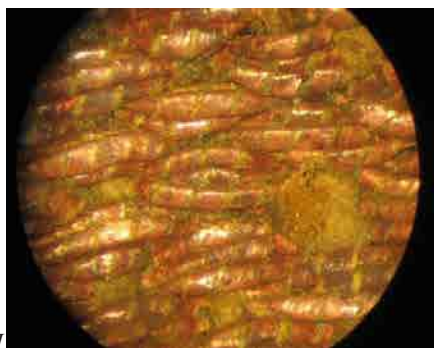




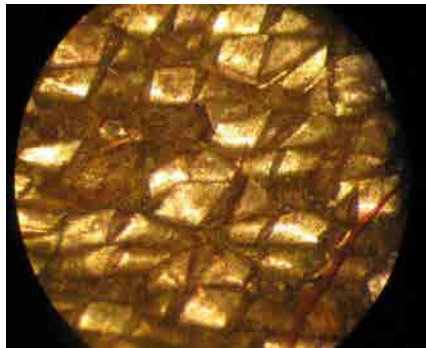
Зона II
б

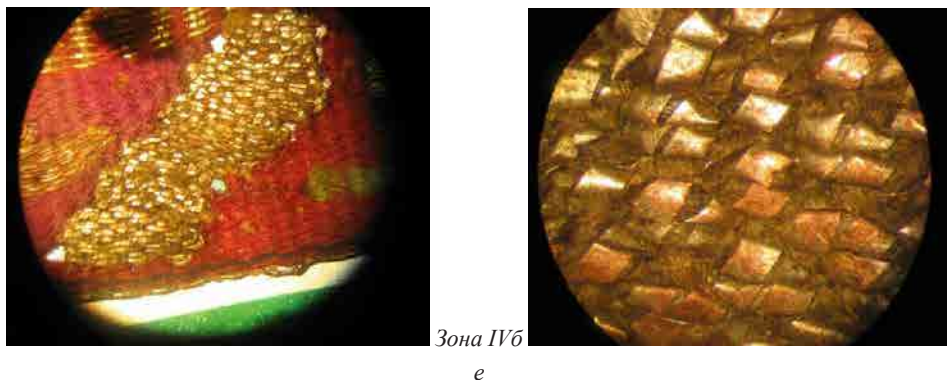


Зона III
в



Зона IVa
д





Слика 8. Оптичка микроскопија зоне деловања ласером на узорак сукње бојче

6. Закључак

Анализа резултата примене Nd-Yag ласера у чишћењу корозионих продуката на металним нитима узорка сукања *бојче* је показала да је ово метода избора која може да помогне у решавању дугогодишњег проблема појаве корозије на текстилним предметима са металним нитима. Постигнут је основни циљ, да се без примене класичних метода одстране корозиони продукти и остале насlage на нитима, а да се при томе сачува текстилни материјал. Изабране вредности флуенце не смеју да буду веће од 300 mJ/cm^2 . Примена ласера је ефикаснија ако се делује на узорак натопљен водом.

Резултати истраживања ласерског чишћења корозионих продуката на металним нитима текстилног узорка, приказани у овом раду, представљају први корак који је имао за циљ да демонстрира могућности ове методе. У даљем истраживању ће бити укључени специјалисти из различитих области, који ће на основу анализа стања металних нити и текстилних влакана узорка, одређивати оптималне параметре – таласна дужина, флуенца, број импулса, итд. – за примену ласера у чишћењу корозионих продуката и других наслага. Такође се планирају и истраживања утицаја примене метода ласерског чишћења на процес старења, кртости и истегљивости текстилног влакна, утицаја ласерског чишћења на боје и пигменте на текстилним предметима, појаву процеса рекорозије и остале промене које могу настати применом ласера у процесу конзервације текстилних предмета с металним нитима.

Литература

- Abdel-Kareem O. Investigation and Conservation of a Historical Woman's Cloak Decorated with Fur Parts. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management* 7 (2). 2011, 1–12
- Abdel-Kareem O. Harith M., Evaluating the use of laser radiation in cleaning of copper embroidery threads on archaeological Egyptian textiles. *Applied Surface Science* 254. 2008, 5854–5860.
- Andreotti A. et al. Multianalytical Study of Laser Pulse Duration Effects in the IR Laser Cleaning of Wall Paintings from the Monumental Cemetery of Pisa. *Laser Chemistry* Vol. 2006. Article ID 39046. 11 pages, doi:10.1155/2006/39046
- Belli R., Miotello A., Mosaner P., Toniutti L. Laser cleaning of ancient textiles. *Applied Surface Science* 247. 2005, 369–372.
- Bordalo R. et al. Laser Cleaning of Easel Paintings: An Overview. *Laser Chemistry* Vol. 2006. Article ID 90279. 9 pages, doi:10.1155/2006/90279
- Carmona N., Oujja M., Roemichc H., Castillejo M. Laser cleaning of 19th century Congo rattan mats. *Applied Surface Science* 257. 2011, 9935–9940.
- Curk Franc, Nedović Živan. *Štetni agensi u konzervaciji*. Narodni muzej Niš, 1997.
- Degrigny C. et al. Laser cleaning of tarnished silver and copper threads in museum textiles. *J. of Cul. Heritage* 4. 2003, 152–156.
- Ferrero F., Testore F. Surface degradation of linen textiles induced by laser treatment: comparison with electron beam and heat source, *AUTEX Research Journal* Vol. 2, No 3. September 2002, 109–114.
- Frade C. et al. Cleaning classical Persian carpets with silk and precious metal thread: conservation and ethical considerations, *Textiles*. 2011, 1–10. <http://s461.photobucket.com/user/Kulturna-bastina-Srbije/media/Nosnja-obuca-nakit%20kod%20Srba/Emuzej-OtvorenasuknjabojeKosovoSrbi.jpg.html>
- Katavić Boris, Ristić Slavica, Polić-Radovanović Suzana, Nikolić Zoran, Puharić Mirjana, Kutin Marina. Analiza praga oštećenja bakra i aluminijuma u interakciji sa Rubinskim laserom. *Hemijska industrija*. 2010, 447–452, doi:10.2298/HEMIND100325042K,
- Kautek W. et al. Diagnostics of parchment laser cleaning in the near-ultraviolet and near-infrared wavelength range: a systematic scanning electron microscopy study, *J. of Cul. Heritage* 4. 2003, 179–184.
- Konzervacija i restauracija arhivske i bibliotečke građe muzejskih i predmeta od tekstila i kože*. Beograd, 2000.
- Lee J, Yu J., Koh Y. Experimental study on the effect of wavelength in the laser cleaning of silver threads. *J. of Cul. Heritage* 4. 2003, 157–161.

- Ortiz P., et al. Comparative study of pulsed laser cleaning applied to weathered marble Surfaces. *Appl. Surf. Sci.* 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apusc.2013.06.081>
- Pini R., Siano S., Salimbeni R., Pasquinucci M., Miccio M. Tests of laser cleaning on archeological metal artifacts. *J. Cult. Heritage* 1. 2000, 129–137. Beograd, 2007.
- Polić Radovanović Suzana, Ristić Slavica, Stasić Jelena, Trtica Milan. A study of Roman glass from Mala Barutana / Belgrade irradiated with pulsed CO₂, Nd:YAG and ruby laser – comparison. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2012, ISSN: 0022-3093.
- Polić Radovanović Suzana. *Primena lasera u obradi, zaštiti i dijagnostiranju materijala predmeta kulturne baštine*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2012.07.034>.
- Pradell T., Molera J, Smith A., Climent-Font A., Michael S. Tite. Technology of Islamic luster. *J. of Cul. Heritage* 9. 2008, 123–128.
- Радовановић Данијелка. *Деградација металне нити на текстилним предметима у Етнографском музеју у Београду*. Етнографски музеј у Београду, 2008.
- Radojković Bojana, Ristić Slavica, Polić Radovanović Suzana. Study of Ruby Laser Beam Interaction With Glass. *FME Transactions* 41. 2013, 109–113.
- Rezić I., Ćurković L., Ujević M. Simple methods for characterization of metals in historical textile threads. *Talanta* 82. 2010, 237–244.
- Ristić Slavica, Polić-Radovanovic Suzana, Katavić Boris, Nikolić Zoran, Ristić Ognjen, Pacevski Aleksandar. Some Experimental Results of Ruby Laser Beam Interaction with Neolithic Ceramics from Stubline, Serbia. *Lasers in engineering* Vol. 23, No 5–6. 2012, 403–412. 0898-1507 (print), ISSN: 1029-029X (online), <http://www.oldcitypublishing.com/LIE/LIEabstracts/LIE23.5-6abstracts/LIEv23n5-6p413-427Chen.html>
- Ristić Slavica et al. Ruby laser beam interaction with ceramic and copper artifacts. *Journal of Russian Laser Research* Vol. 31, No 4. 2010, 401–412.
- Rode A. et al. Ultrafast laser ablation for restoration of heritage objects, *Applied Surface Science* 254. 2008, 3137–3146.
- Соколовић Зорица. Методе превентивне заштите текстилних предмета у музеју. *Гласник Етнографског музеја у Београду* 72. 2008, 159–164.
- Sportun S. et al. An investigation into the effect of wavelength in the laser cleaning of Parchment. *J. Cult. Heritage* 1. 2000, 225–232.
- Srećković Mileša et al. Lasers interactions, influence and applications in textile industry. *Proceedings of the International Conference on Lasers*. New Mexico, Mc Lean. 2000, 752–763.
- Sutcliffe H., Cooper M., Farnsworth J., An initial investigation into the cleaning of new and naturally aged cotton textiles using laser radiation, *J. Cult. Heritage* 1. 2000, 241–246.
- Šijački Žeravčić Vera, Srećković Mileša, Vedlin Boris, Ristić Slavica. Laser Interaction with Brass Material. Ed. By V. J. Corcoran, T. A. Corcoran. *Pro-*

ceedings of the Int, Conf, on Lasers 98. SOQuE, STS Press, Mc Lean. 1999, 993–1001.

Златановић Сања, Свадба, традиционални женски костим и идентитетски дискурси српске заједнице југоисточног Косова. *Гласник Етнографског института САНУ* 60 (2). 2012, 89–105.

*Slavica Ristić, Suzana Polić, Danijelka Radovanović,
Joakim Štriber, Bojana Radojković*

ND-YAG LASER CLEANING OF METAL THREADS ON MUSEUM TEXTILE OBJECTS

Summary

The paper presents the results of an examination of the effects of laser cleaning of textile samples with metallic threads from the collection of the Ethnographic Museum in Belgrade. The corrosion of metal threads caused damage to the underlying textile material. The conventional cleaning methods did not produce the expected results, and the use of laser technology was the next step. An Nd:Yag laser was used, 150 mJ at $\lambda=1064$ nm and 50 mJ at $\lambda=532$ nm, pulse length 150ps. The commercial, special purpose laser system Laser Art Thunder was also used. The examination of effects on the irradiated areas was carried out by optical and scanning electron microscopy (OM and SEM) and EDH analysis. Parameters were defined for the successful and safe cleaning of the corrosion products of the metal threads on the sample of a skirt *Bojče*, without degradation of the surrounding material.