

## ЈОНСКЕ ТЕЧНОСТИ КАО ИДЕАЛНИ ПРЕДСТАВНИЦИ ЗЕЛЕНЕ ХЕМИЈЕ У СВРХУ ДЕЗИНФЕКЦИЈЕ ПАПИРНЕ АРХИВСКЕ И БИБЛИОТЕЧКЕ ГРАЂЕ

110

*Апстракт:* Сарадња између уметника (конзерватора) и научника (хемичара) огледа се у побољшању постојећих конзерваторских метода, као и усвајању нових савремених научних технологија. Конзерватори традиционално користе лако испарљиве и токсичне раствараче приликом уклањања микробиолошких намесника и самог процеса дезинфекције на папирној архивској и библиотечкој грађи. Принципи зелене хемије и одрживог развоја од великог су значаја у даљем развоју конзерваторских метода и самој заштити писаног културног наслеђа, пошто је главни циљ овог новог приступа у хемији коришћење и примена производа и процеса који смањују или елиминишу употребу штетних супстанци, а да се при томе употребљавају искључиво хемикалије и хемијски процеси који немају негативне последице на животну и радну средину, самог конзерватора, као ни даљег корисника, те да не оштећује ни саму структуру подлоге на којој је писано. Да би се струка кретала напред, све више се ради на изналажењу нових метода и примени нових растварача, при чему је највећа пажња усмерена на јонске течности које су означене као растварачи 21. века. У те сврхе, четрнаест новосинтетисаних јонских течности тако је дизајнирано да показују својства која подлежу принципима и правилима зелене хемије, а коришћене су ради истраживања њиховог фунгицидног дејства и могуће примене током дезинфекције папирне грађе.

*Кључне речи:* конзервација, дезинфекција, зелена хемија, јонске течности

### УВОД

Папир је један од најстаријих и најчешће коришћених медијума за снимање и чување информација. Међутим, упркос својој наизглед осетљивој природи, ако је правилно произведен и чуван, може показати изузетну отпорност на старење, што га чини важним материјалом у очувању културног и историјског наслеђа.<sup>2</sup> Међутим, као материјал подложен спољним утицајима, папир је изложен различитим оштећењима, од којих су посебно значајна биолошка.

Микробне заједнице, укључујући хетеротрофне организме као што су гљиве и бактерије, могу знатно утицати на дуговечност папира. Ови микроорганизми

<sup>1</sup> дипломирани конзерватор, [natasapsy@gmail.com](mailto:natasapsy@gmail.com)

<sup>2</sup> Letnar Meta Cernić and Jedert Vodopivec, „Influence of Paper Raw Materials and Technological conditions of Paper Manufacture on Paper Aging“, *Restaurator*, 18 (1997): 73.

производе метаболите који могу хемијски и физички оштетити супstrate на којима се развијају, што доводи до слабљења структуре папира и његове деградације. Биодетериорација, процес пропадања објеката од културног, историјског и уметничког значаја изазван микроорганизмима, започиње када споре микроба досегну површину папира на којој је присутна или доступна вода. Овај процес може бити убрзан у условима високе влажности и температуре, што су фактори који промовишу раст микроорганизама.

Израда ефективне стратегије за превенцију и ублажавање биодетериорације, као и за уклањање микроорганизама, нарочито гљивица, захтева дубоко разумевање материјала који се конзервира, процену узрока биопадања и одређивање контекста у којем се оно дешава. Свеобухватни приступ конзервацији захтева интеграцију хемијских, физичких и биолошких метода како би се обезбедила дуготрајна заштита папира.<sup>3</sup>

Тимол (2-изопропил-5-метилфенол) је већ више од шездесет година широко коришћен као фунгицид у конзервацији папира, посебно у библиотекама и архивима Републике Србије.<sup>4</sup> Иако је ефикасан у сузбијању раста гљивица, тимол носи и одређене ризике. Људски организам га лако апсорбује удисањем или контактом са кожом и сматра се да је средње токсичан. Користи се у облику раствора или као пара у поступку фумигације, где се директно наноси на папир.<sup>5</sup> Међутим, иако пружа заштиту од микроорганизама, његова примена има и негативне ефекте, као што су интензивно жуђење папира и деградација везива водених боја и мастила након фумигације.<sup>6</sup> Ови проблеми указују на потребу за развојем нових, мање штетних метода и растварача за конзервацију који би били безбеднији како за људе, тако и за радну средину.<sup>7</sup>

У последње време јонске течности су се истакле као алтернатива традиционалним органским растварачима. Као органске соли које се састоје од јона и имају тачку топљења испод 100°C, јонске течности су посебно занимљиве због својих неуобичајених физичких својстава, могућности рециклирања и биоразградивости. Ова једињења су привукла пажњу индустрије, али и академске заједнице због своје способности да растварају различита неорганска и органска једињења, као и могућности да се дизајнирају са тачно жељеним физичко-хемијским својствима.<sup>8</sup> Променом ањона или увођењем различитих функционалних група у катјонску структуру,

<sup>3</sup> Hanna Szczepanowska and Ralph Alphonse Cavaliere, „Conserving Our Cultural Heritage: The Role of Fungi in Biodeterioration“, у: *Bioaerosols – Fungi, Bacteria, Mycotoxins in Indoor and Outdoor Environments and Human Health*, edited by Eckardt Johannning, Philip Morey, and Pierre Auger (Albany: Fungal Reserch Group, 2012), 306.

<sup>4</sup> Вера Радосављевић и Радмила Петровић, *Конзервација и рестаурација архивске и библиотеке грађе и музејских предмета од коже* (Београд: Архив Србије, 2000), 184.

<sup>5</sup> William Johnson Arthur, *Book repair and conservation* (London: Thames and Hudson, 1st edition, 1988), 161-163.

<sup>6</sup> Lisa Hall Isbell, „The effects of thymol on paper, pigments, and media“, *Abbey Newsletter*, 21 (1997): 39.

<sup>7</sup> Michael McCann, „Artist Beware“, *The Lyons Press* (1992): 549.

<sup>8</sup> Stefan Stolte and Piotr Stepnowski, „Editorial Hot Topic: Ionic Liquids: Analytical and Environmental Issues“, *Current Organic Chemistry*, 12 (2011): 1871.

могуће је прилагодити својства јонских течности одређеним потребама, што их чини врло флексибилним за примену у различитим индустријама.<sup>9</sup>

Истраживања су показала да јонске течности имају неколико значајних предности приликом конзервације папира. Њихова ниска испарљивост смањује ризик по здравље и животну средину, док њихов висок вискозитет може омогућити лакше продирање кроз различите слојеве папира, чиме се повећава сама ефективност приликом чишћења или дезинфекције материјала. Додатно, подесивост мешања јонске течности са водом или мање токсичним растварачима омогућава њихово безбедно уклањање након примене. Још једна важна карактеристика јесте антимицробна активност јонских течности, што је посебно важно у контексту конзервације, јер гљивично и бактеријско пропадање представља један од главних узрока деградације папирних артефаката.<sup>10</sup>

112

Процењује се да постоји велики број могућих комбинација јона који формирају јонске течности, што их чини изузетно флексибилним и способним да се прилагоде специфичним потребама конзервације. Недавно су синтетизоване нове протичне јонске течности које су привукле значајну пажњу због своје једноставне синтезе и ниске цене производње. Ове течности, формиране реакцијом преноса протона између Бронстедове киселине и базе, имају додатне водоничне везе које им омогућавају већу стабилност и ефикасност у конзервацији папира.<sup>11</sup>

У склопу истраживања<sup>12</sup> синтетизовано је четрнаест нових протичних јонских течности чија је антимицробна активност експериментално испитана. Амино алкохоли који су коришћени за синтезу жељених протичних јонских течности изабрани су због своје ниске токсичности и одсуства пријављених штетних ефеката на људе. Поред тога, ове протичне јонске течности су стабилне у нормалним условима, лако се мешају са различитим врстама растварача и имају потенцијалну примену у разним индустријама, укључујући производњу материјала за чишћење и фармацеутских производа.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

### Материјали и методе

Ово истраживање се фокусира на правилном одабиру и оптимизацији нових растварача на бази јонских течности са унапређеном безбедношћу, погодним за примену у конзерваторским методама чишћења папирне грађе и дезинфекције

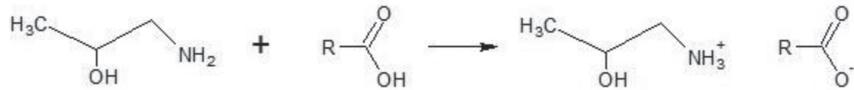
<sup>9</sup> Robin Rogers and Kenneth Seddon, „Ionic Liquids as Green Solvents“, in: *ACS Symposium Series*, American Chemistry Society (Washington D.C., 2003): 792.

<sup>10</sup> Alexander Kokorin, *Ionic Liquids: Applications and Perspectives* (New York: Tech Open, 2011), 587-604.

<sup>11</sup> Tawsif Siddique et.al., „Synthesis and Characterization of Protic Ionic Liquids as Thermochemical Materials“, *Royal Society of Chemistry*, 22 (2016): 18267.

<sup>12</sup> Наташа Димитрић, „Карактеризација, токсичност и примена новосинтетисаних јонских течности за чишћење и конзервацију папирне архивске грађе“ (докторска дисертација), Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, 2020.

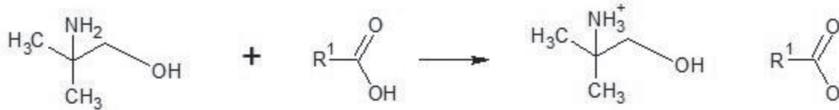
Слика 1. Шематски приказ синтезе јонских течности



2-хидроксипропил амин

киселина

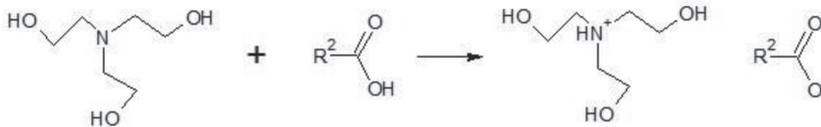
јонска течност



1-хидрокси-2-метилпропан-2-амин

киселина

јонска течност



триетаноламин

киселина

јонска течност

113

од целулолитичких микроорганизама. Проналажењем идеалне комбинације анјона и катјона омогућило је синтезу четрнаест јонских течности са жељеним физичко-хемијским својствима у складу са синтетичком путањом приказаном на Слици 1. Катјонску компоненту су чинили (2-хидроксипропил) амонијум јон, 1-хидрокси-2-метилпропан-2-амонијум јон и триетаноламонијум јон, док смо као анјоне користили различите врсте киселина (формијат, ацетат, лактат, трифлуороацетат, хлороацетат, трихлороацетат, 3-хлоропропанат, 4-хлоробутанат, манделат и салицилат).

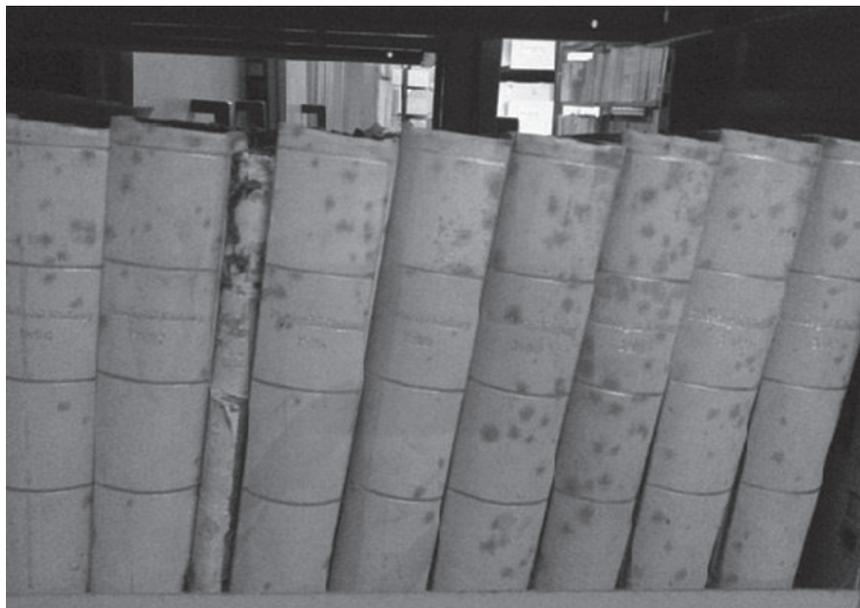
Синтеза јонских течности започета је тако што су 2 g одговарајућег катјона одмерена у ерленмајеру запремине 50 ml. На ниској температури (ерленмајер је постављен у лед), еквимоларна количина одговарајуће киселине додавана је кап по кап. Након додавања киселине, реакциона смеша је мешана на собној температури током петнаест минута. Добијене јонске течности сушене су у вакууму у трајању од тридесет минута до три сата како би се уклонили сви трагови воде. Добијени течни производ је затим чуван у вакуум ексикатору са  $\text{P}_2\text{O}_5$  (фосфор(V)-оксид) на-

редна двадесет четири сата. Након сушења, садржај воде у протичним јонским течностима (ПИЛ) одређен је Карл Фишером титрацијом (користећи Метрохм 831 Карл Фишер кулометар). Утврђено је да је садржај воде мањи од 100 ppm у свим припремљеним ПИЛ-овима. Детаљан поступак синтезе, заједно са снимљеним нуклеарно-магнето-резонантним и инфрацрвеним спектрима, њиховом доделом, као и резултатима термичке стабилности, приказани су у претходном раду.<sup>13</sup> Ради што боље и конкретније карактеризације својстава јонских течности и њиховог понашања у биолошким системима мерени су густина, вискозност и електрична проводљивост само одабраних јонских течности које су се у каснијем раду показале као најефикаснија дезинфекциона средства.

Током дезинфекционог третмана коришћени су упијајућа хартија (*Carta Assorbente Canson, Art. KT 1111000, Feuilles Buvard Neutre*), памучни штапићи и аутоматска пипета. Преносиви дигитални микроскоп (*Levenhuk DTX 500 Mobi*) коришћен је за праћење промена током дезинфекционог третмана на књижном материјалу. *Levenhuk DTX 500 Mobi* омогућава увећање од 20x до 500x и има фини зум до 4x. Коришћењем специјалног софтвера могуће је мерити линеарне величине, полупречнике и углове са тачношћу од једног микрометра.

### Антимикробни тестови

Плесни које су коришћене за испитивање антифунгалног ефекта новосинтетисаних јонских течности прикупљене су из књижног фонда „Чешког магацина“ Библиотеке Матице српске у Новом Саду. Узорци су узимани стерилним брисом са корица и унутрашњих листова насумично одабраних књига које су биле изложене



влази и показивале видљива оштећења и флеке изазване њеним утицајем. Ови узорци су затим нанети на претходно стерилно припремљене подлоге сладног агара и инкубиране на собној температури од 26°C. Друга група узорака плесни прикупљена је методом седиментације која

<sup>13</sup> Исто

подразумева отварање Петри-плоча на 5-10 минута, чиме се стерилно разливене подлоге сладног агра излажу ваздуху, присутним плеснима и њиховим спорама. Након тога, подлоге се инкубирају на температури од 26°C.

Након формирања колонија на агаризованој подлози, извршена је идентификација плесни на основу спољашњих карактеристика колонија, укључујући боју, структуру и присуство уљаних капи. За испитивање антифунгалног деловања одабране су следеће културе: *Trichoderma* sp., *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. и *Aspergillus* sp. Остале испитиване врсте плесни, укључујући *Aspergillus flavus*, *Penicillium citrinum* и *Fusarium graminearum*, преузете су из колекције култура са Департмана за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду.

Током експеримента све културе су посејане на сладном агару (МЕА) коју се показао као одговарајућа подлога за брзи раст и спорулацију, при температури од 27°C током седам дана. Након инкубације у стерилним условима, узорак култивисаних плесни је узет езом и суспендован у стерилној дестилованој води. Густина спора плесни *Trichoderma* sp., *Penicillium* sp. (три пута), *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. (три пута), *Aspergillus flavus*, *Fusarium graminearum* и *Penicillium citrinum* износила је  $1,5 \times 10^8$ . За постизање одговарајуће густине инокулума коришћени су Bürker Türk комора (хемоцитометар) и микроскоп.

Антимикробна активност протичних јонских течност одређена је *in vitro* микродилуционом методом како би се утврдиле минималне инхибиторне и минималне фунгицидне концентрације (МИЦ и МФЦ), уз поштовање CLSI процедура<sup>14</sup> и Spremo et al.<sup>15</sup> У ту сврху коришћене су стерилне полипропиленске микротитар плоче са 96 велова (Спектар Чачак, Србија). Укупна радна запремина по велу износила је 111 µl, састављена од 100 µl стерилне течне подлоге, 10 µl јонске течности одређене концентрације и 1 µl суспензије спора гљива у девет серијских двоструких разблажења (100%, 50%, 25%, 12,5%, 6,25%, 3,125%, 1,56%, 0,78%, 0,39%). Протичне јонске течности растворене су у стерилној дестилованој води у концентрацијама које су варирале од 150 mg/ml до 0,59 mg/ml. Свака микротитар плоча садржала је контролу раста и контролу стерилности протичних јонских течности.

Микротитар плоче су инкубиране седамдесет два сата на температури од 26°C, а резултати су визуелно очитани по завршетку инкубације. Прва концентрација јонске течности без видљивог раста третирана је као минимална инхибиторна концентрација (МИЦ), док је минимална фунгицидна концентрација (МФЦ) одређена након читавања МИЦ вредности преношењем запремине културе на Петријеве плоче са сладним агром. Након инкубације од седамдесет два сата на 26°C, резултати су очитани пребројавањем колонија. Резултати антифунгалне активности испитиваних протичних јонских течности микродилуционом методом детаљно су представљени у оквиру претходних истраживања.<sup>16</sup>

<sup>14</sup> "Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically", *Clinical Laboratory Standards Institute: M07-A9*, Approved Standard – Ninth Edition (2008).

<sup>15</sup> Spremo et al., "Antifungal activity of macrofungi extract on phytopathogenic fungal species of genera *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp.", *Matica Srpska Journal for Natural Sciences*, 133 (2017): 234.

<sup>16</sup> Nataša Dimitrić i dr., "New protic ionic liquids for fungi and bacteria removal from paper heritage artefacts", *Royal Society of Chemistry*, 9 (2019): 17906.

## РЕЗУЛТАТИ, ДИСКУСИЈА И ОПТИМИЗАЦИЈА МЕТОДЕ

На основу добијених резултата, четири протичне јонске течности нису показале антифунгалну активност: (2-хидроксипропил)-амонијум салицилат, 1-хидрокси-2-метилпропан-2-амонијум лактат, триетаноламонијум ацетат и триетаноламонијум лактат. Осталих десет јонских течности показало је значајну антифунгалну активност на скоро све сојеве гљивица.

Од јонских течности које као катјон имају 1-амино-2-пропанол, само једна није показала антифунгалну активност, а то је течност која садржи салицилат. Варијација у антифунгалној активности између ових јонских течности зависи искључиво од анијонске компоненте. Течности које садрже монохлороване деривате као што су хлороацетат, 3-хлоропропанат и 4-хлоробутанат показале су већи афинитет приликом интеракције са ћелијском мембраном, а самим тим и високо антифунгално дејство. Претходни рад је разматрао утицај специфичних функционалних група на анијонску структуру, густину, запреминске особине и природу интеракције у воденим растворима.<sup>17</sup> Из групе са катјоном триетаноламином, једино је она са трифлуороацетатом показала антифунгалну активност, док се катјон 2-амино-2-метил-1-пропанол показао као лош избор за антифунгално средство.

Антимикробна активност зависи од дужине алкилног ланца<sup>18</sup>, са максималном активношћу код анијона који садрже три или четири атома угљеника. Хидрофобност је кључна за пролазак антимикробног средства кроз фосфолипидни двослој ћелијске мембране, при чему монохалогенски деривати показују већи афинитет за интеракцијом са ћелијском мембраном. Повећањем липофилности једињења очекује се већи афинитет према ћелијској мембрани, омогућавајући ефикасније продирање и појачавајући инхибицију раста гљивица. Оптималан биолошки ефекат зависи од комбинације физичко-хемијских параметара као што су хидрофобност, адсорпција, критична концентрација мицела, растворљивост у води и транспорт кроз ћелијску мембрану.<sup>19</sup>

Да бисмо утврдили ефикасност јонских течности у дезинфекцији папирних материјала, спровели смо опсежне тестове на зараженим материјалима књига. За тестове смо користили јонске течности које су у претходним истраживањима показале већу активност, посебно оне са функционалним групама које садрже атом хлора у анијонској структури ((2-хидроксипропил) амонијум-хлороацетат  $[H_3N_{3(2'OH)}]^+ ClAc$ , (2-хидроксипропил) амонијум-3-хлоропропанат  $[H_3N_{3(2'OH)}]^+ ClPro$ , (2-хидроксипропил) амонијум-4-хлоробутанат  $[H_3N_{3(2'OH)}]^+ ClBut$ ), као и две друге јонске течности са веома једноставним и економичним анијонима ((2-хидроксипропил) амонијум-формијат  $[H_3N_{3(2'OH)}]^+ For$ , (2-хидроксипропил) амонијум-ацетат  $[H_3N_{3(2'OH)}]^+ Ac$ ).

<sup>17</sup> Nikolett Cakó Bagány et al., "Volumetric Properties of Amino Alcohol-Based Protic Ionic Liquids: Influence of Counterions", *Journal of Chemical & Engineering Data* 67 (2022): 956-965.

<sup>18</sup> Ernest Freese, Chinhju W. Sheu and Enid Galliers, "Function of lipophylic acids as antimicrobial food additives", *Nature*, 241 (1973): 321.

<sup>19</sup> Carmen Morán et al., "Chemical structure/property relationship in single-chain arginine surfactants", *Langmuir*, 17 (2001): 5071.



**РЕЗИМЕ**

Овај рад истражује примену новосинтетисаних протичних јонских течности (ПИЛ) као зелених растварача за дезинфекцију папирне архивске и библиотечке грађе, с циљем унапређења конзерваторских метода у складу с принципима зелене хемије и одрживог развоја. Традиционалне методе конзервације папира користе токсичне и лако испарљиве раствараче, што представља ризик за здравље конзерватора и даљег корисника, као и за животну средину. Због тога је неопходно пронаћи ефикасне, а мање штетне алтернативе.

Папир је материјал који, иако наизглед деликатан, може показати изузетну отпорност на старење уколико је правилно произведен и чуван. Међутим, биолошка оштећења, нарочито изазвана микоорганизмима попут гљивица, представљају значајан проблем у очувању папирне грађе. Тимол, који се користи више од шездесет година као фунгицид, има низ недостатака, укључујући средњу токсичност за људе, као и негативне ефекте на папир, попут жућења и деградације боја.

Јонске течности су се показале као потенцијално решење за ове проблеме. Оне су органске соли са тачком топљења испод 100°C и поседују низ корисних својстава: ниску испарљивост, висок вискозитет, могућност рециклаже и биоразградивост. Четрнаест протичних јонских течности је синтетисано и подлегло тестирању на антифунгалну активност против више сојева гљивица прикупљених из „Чешког магацина“ Библиотеке Матице српске и добијене из колекције култура са Департмана за биологију и екологију Природно-математичког факултета, Универзитета у Новом Саду.

Резултати показују да десет од четрнаест тестираних јонских течности имају значајну антифунгалну активност, док четири нису показале ефекат. Течности са монохалогенованим ањонским компонентама, као што су хлороацетат, 3-хлоропропанат и 4-хлоробутанат, показале су се као нарочито ефикасне.

Експериментални део рада укључује синтезу јонских течности, карактеризацију њихових физичко-хемијских својстава, као и тестирање њихове антимикробне активности. Синтетисане течности су биле стабилне при нормалним амбијенталним условима, лако су се мешале са водом и мање токсичним растварачима, што омогућава њихово сигурно уклањање након примене. Антимикробна активност је одређена *in vitro* микродилуционом методом, што је омогућило прецизно утврђивање минималних инхибиторних и фунгицидних концентрација.

Примена протичних јонских течности представља значајан корак напред у конзерваторским методама, јер омогућава ефикасну дезинфекцију без негативних последица по здравље и животну средину. Њихова прилагодљивост специфичним потребама конзервације, уз задржавање структуралног интегритета папира, чини их идеалним решењем за заштиту писаног културног наслеђа. Даља истраживања и оптимизација ових течности може додатно унапредити постојеће методе и допринети очувању угрожене архивске и библиотечке грађе.

## ЛИТЕРАТУРА

- Димитрић, Наташа. „Карактеризација, токсичност и примена новосинтетисаних јонских течности за чишћење и конзервацију папирне архивске грађе“. Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за хемију, биохемију и заштиту животне средине, 2020.
- Dimitrić Nataša, Spremo Nemanja, Vraneš Milan, Belić Sanja, Karaman Maja, Kovačević Strahinja, Karadžić Milica, Podunavac-Kuzmanović Sanja, Korolija-Crkvenjakov Daniela and Gadžurić Slobodan. „New protic ionic liquids for fungi and bacteria removal from paper heritage artefacts“. *Royal Society of Chemistry*, 9 (2019): 17905-17912.
- Isbell, Lisa Hall. „The effects of thymol on paper, pigments, and media“. *Abbey Newsletter*, 21 (1997): 39.
- Johnson, Arthur William. *Book repair and conservation*, London: Thames and Hudson, 1st edition, 1988.
- Kokorin, Alexander. *Ionic Liquids: Applications and Perspectives*. New York: Tech Open, 2011.
- „Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically“. *Clinical Laboratory Standards Institute: M07-A9*, Approved Standard – Ninth Edition (2008).
- Morán Carmen, Clapés Pere, Comelles Francesc, García Teresa, Pérez Lourdes, Vinardell María Pilar, Mitjans Montse and Infante María Rosa. „Chemical structure/property relationship in single-chain arginine surfactants“. *Langmuir*, 17 (2001): 5071.
- McCann, Michael. „Artist Beware“. *The Lyons Press*, (1992): 549-555.
- Радосављевић, Вера и Петровић Радмила. *Конзервација и рестаурација архивске и библиотечке грађе и музејских предмета од коже*. Београд: Архив Србије, 2000.
- Rogers, Robin i Seddon Kenneth. „Ionic Liquids as Green Solvents: Progress and Prospects“. In: *ACS Symposium Series, American Chemistry Society, Chemistry Society*. Washington D.C., 2003.
- Szczpanowska, Hanna and Alphonse Ralph Cavaliere. „Conserving Our Cultural Heritage: The Role of Fungi in Biodeterioration“. In: *Bioaerosols – Fungi, Bacteria, Mycotoxins in Indoor and Outdoor Environments and Human Health*, edited by Eckardt Johanning, Philip Morey, and Pierre Auger, 293-309. Albany: Fungal Research Group, 2012.
- Siddique, Tawsif, Balamurugan S., Said Suhana, Sairi Nor Asrina and Normazlan Melissa. „Synthesis and Characterization of Protic Ionic Liquids as Thermoelectrochemical Materials“. *Royal Society of Chemistry*, 22 (2016): 18266-18278.

- Solte, Stefan and Stepnowski Piotr. „Editorial Hot Topic: Ionic Liquids: Analytical and Enviromental Issues“. *Current Organic Chemistry*, 12 (2011): 1871-1872.
- Spremo Nemanja, Tešanović Kristina, Rakić Milana, Janjušević Ljiljana, Ignjatov Maja, Bijelić Dragana and Karaman Maja. „Antifungal activity of macrofungi extract on phytopathogenic fungal species of genera Fusarium sp. and Alternaria sp.“. *Matica Srpska Jurnal for Natural Sciences*, 133 (2017): 231-240.
- Freese Ernst, Sheu Chingju W. and Galliers Enid. „Function of lipophylic acids as antimikrobiaal food additives“. *Nature*, 241 (1973): 321-325.
- Cakó Bagány Nikolett, Nataša Dimitrić, Sanja Belić, Milan Vraneš and Slobodan Gadžurić. „Volumetric Properties of Amino Alchol-Based Protic Ionic Liquids: Influence of Counterions“. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 67 (2022): 956-965.
- Cernić, Letnar Meta and Jedert Vodopivec. „Influence of Paper Raw Materials and Tecnological Conditions of Paper Manufacture on Paper Aging“. *Restaurator*, 18 (1997): 73-91.

Nataša DIMITRIĆ, PhD

## IONIC LIQUIDS AS IDEAL REPRESENTATIVES OF GREEN CHEMISTRY FOR THE PURPOSE OF DISINFECTING PAPER-BASED ARCHIVAL AND LIBRARY MATERIAL

### Summary

This paper explores the application of newly synthesized protic ionic liquids (PILs) as green solvents for the disinfection of paper-based archival and library material, with the aim of enhancing conservation methods in accordance with the principles of green chemistry and sustainable development. Traditional methods of paper conservation use toxic and volatile solvents, which pose a risk to the health of conservators and further users, as well as to the environment. Therefore, it is necessary to find effective but less harmful alternatives.

121

Paper is a material that, although seemingly delicate, can show exceptional resistance to aging if properly produced and stored. However, biological damage, especially caused by microorganisms such as fungi, represents a major problem in the preservation of paper-based materials. Thymol, which has been used for more than sixty years as an antifungal agent, has a number of deficiencies, including moderate toxicity to humans, as well as negative effects on paper, such as yellowing and colour degradation.

Ionic liquids have emerged as a potential solution to these problems. They are organic salts with a melting point below 100°C and possess a number of useful properties: low volatility, high viscosity, recyclability, and biodegradability. Fourteen protic ionic liquids were synthesized and tested for antifungal activity against several fungal strains collected from the “Češki magacin” (the Czech Warehouse) of the Matica Srpska Library and obtained from the culture collection of the Department of Biology and Ecology, Faculty of Science, University of Novi Sad.

The results show that ten of the fourteen tested ionic liquids have significant antifungal activity, while four showed no effect. Liquids with monohalogenated anionic components, such as chloroacetate, 3-chloropropanoate, and 4-chlorobutanol, have been particularly effective.

The experimental part of the work includes the synthesis of ionic liquids, the characterization of their physical and chemical properties, as well as the testing of their antimicrobial activity. The synthesized liquids were stable under normal ambient conditions, easily miscible with water and less toxic solvents, which allows their safe removal after application. Antimicrobial activity was determined by the *in vitro* microdilution method, which enabled precise determination of minimum inhibitory and fungicidal concentrations.

The application of protic ionic liquids represents a significant step forward concerning conservation methods because it enables effective disinfection without negative consequences for health and the environment. Their adaptability to specific conservation needs, while maintaining the structural integrity of paper, makes them an ideal solution for the protection of written cultural heritage. Further research and optimization of these liquids can further improve existing methods and contribute to the preservation of endangered archival and library materials.