

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

На IV редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 12.4.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације мастер физикохемичара Николе Здолшек под насловом: „**Јонске течности као медијуми и прекурсори за синтезу порозних угљеничних материјала за примену у горивним ћелијама и складиштењу енергије**“. Израда докторске дисертације под наведеним насловом одобрена је одлуком Наставно-научног већа са I редовне седнице од 12.10.2016. године. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 27.10.2016. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације. На основу прегледа и анализе докторске дисертације, подносимо Наставном-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Николе Здолшек написана је на 139 страна куцаног текста према Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду и садржи следеће делове: насловне странице на српском и енглеском језику (2 стране), страницу са информацијама о менторима и члановима комисије (1 страна), захвалницу (1 страна), странице са подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику (4 стране), списак коришћених скраћеница (1 страна), садржај (2 стране). Текст рада по поглављима је подељен на *Увод* (2 стране), *Општи део* (27 страна), *Предмет и циљ истраживања* (1 страна), *Експериментални део* (8 страна), *Резултати и дискусија* (56 страна), *Закључак* (3 стране), *Литература* (236 навода, 20 страна) и *Прилог* (11 страна). Кандидат је уз текст дисертације уз *Прилог* приложио Биографију и Библиографију, тј. листу радова објављених из дисертације, као и изјаве прописане од стране Универзитета. Дисертација садржи укупно 41 слику и 7 табела. Све слике и табеле су резултат истраживања кандидата.

У делу *Увод* описани су општи проблеми који настају као последица примене фосилних горива и значај примене електрохемијских извора енергије који су предмет истраживања ове дисертације, као и циљ истраживања.

Поглавље *Општи део* подељено је на четири целине. У првој целини описане су примене, типови и принципи рада горивних ћелија. Представљена је актуелна проблематика електрокатализе реакције редукције кисеоника и дат је преглед материјале који се примењују као електрокатализатори. У другој целини дат је општи преглед, принципи рада и подела електрохемијским суперкондензатора, као и електродни материјали који имају примену у суперкондензаторима. С обзиром да угљенични материјали налазе велику примену као катодни материјали у горивним

ћелијама и електродни материјали у суперкондезаторима, у трећој целини описани су начини синтезе порозних угљеничних материјала и проблеми који су везани за њихову синтезу. Четврта целина обухвата физичко-хемијске особине јонских течности и њихову примену у синтези угљеничних материјала. Описане су методе синтезе угљеничних материјала применом јонских течности: јототермалне карбонизације биомасе и директне карбонизације јонских течности.

У делу **Предмет и циљ истраживања** дефинисани су следећи циљеви ове докторске дисертације: синтеза угљеничних материјала применом глукозе као прекурсора угљеника јототермалном карбонизацијом, хидротермалном карбонизацијом потпомогнутом јонском течношћу и хидротермалном карбонизацијом; синтеза угљеничних материјала директном карбонизацијом јонских течности допираних азотом и сумпором или азотом и кобалтом; детаљна карактеризација свих синтетисаних материјала у циљу корелисања морфологије, текстуре и површинске хемије са методом синтезе и прекурсором; испитивање електрокаталитичке активности синтетисаних материјала за реакцију редукције кисеоника и потенцијалне примене у горивним ћелијама као катодних материјала; и испитивање могућности складиштења наелектрисања и корелисање капацитивних својстава са особинама испитиваних материјала.

У поглављу **Експериментални део** детаљно су описане све експерименталне процедуре: синтезе јонских течности, синтезе порозних угљеничних материјала, као и поступак рециклирања јонске течности након јототермалне карбонизације глукозе. Такође, детаљно су представљене методе карактеризације угљеничних материјала и електрохемијска мерења.

Поглавље **Резултати и дискусија** подељено је у шест делова у којима су детаљно приказани, објашњени и упоређени са литературним подацима резултати добијени у овој дисертацији У првом делу приказана је синтеза нових јонских течности: бис(1-бутил-3-метил-имидазолијум) тетраклоридокобалтата ($[\text{bmim}]_2[\text{CoCl}_4]$) и бис(холинијум) тетраклоридокобалтата ($[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$). У другом делу приказано је рециклирање јонске течности након јототермалне карбонизације. У трећем делу приказани су, анализирани и упоређени приноси синтетисаних угљеничних материјала. Четврти део обухвата карактеризацију синтетисаних материјала. Описане су разлике у морфологији, текстури и површинској хемији применом скенирајуће и трансмисионе електронске микроскопије, N_2 и CO_2 сорпције, фотоелектронске спектроскопије и Раманске спектроскопије. Пето поглавље приказује резултате примене синтетисаних угљеничних материјала за реакцију редукције кисеоника у горивним ћелијама тј. детаљну електрохемијску карактеризацију синтетисаних материјала. У шестом делу, испитана је могућност складиштења наелектрисања одабраних материјала. У свим наведеним деловима детаљно су дискутовани добијени резултати и поређени са литературним подацима.

У делу **Закључак** су сумирани сви закључци изведени на основу резултата приказаних у докторској дисертацији.

У поглављу *Литература* су наведене цитиране референце по редоследу њиховог појављивања.

У *Прилогу* су приказане слике који нису стављене у главни текст дисертације ради прегледности и дате су изјаве прописане од стране Универзитета у Београду.

Б. Опис резултата дисертације

Главни фокус ове дисертације је синтеза и карактеризација угљеничних материјала синтетисаних применом јонских течности и испитивање њихове примене као електрокатализатора за реакцију редукције кисеоника и као електродних материјала у електрохемијским суперкондензаторима. У оквиру ове дисертације синтетисани су порозни угљенични материјали методама заснованим на употреби јонских течности: јонотермалном карбонизацијом глукозе, хидротермалном карбонизацијом глукозе потпомогнутом јонском течношћу и директном карбонизацијом јонских течности. За поменуте сврхе користиле су се следеће јонске течности: 1-бутил-3-метилимидазолијум метансулфонат ($[\text{bmim}][\text{MeSO}_3]$), бис(1-бутил-3-метилимидазолијум) тетраклоридокобалтат ($[\text{bmim}]_2[\text{CoCl}_4]$) и бис(холинијум) тетраклоридокобалтат ($[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$).

Код јонотермалне карбонизације глукозе испитана је могућност рециклирања јонске течности након реакција карбонизације. Раманском и инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом урађена је анализа јонске течности пре и након процеса јонотермалне карбонизације глукозе и потврђено је да се јонска течност након јонотермалне карбонизације може рециклирати и поново користити. Ово је веома битно са аспекта заштите животне средине и економске исплативости (ако се узме у обзир релативно висока цена јонских течности).

У случају примене глукозе као прекурсора угљеника синтетисаног путем јонотермалне, хидротермалне и хидротермалне карбонизације потпомогнуте јонском течношћу највећи принос порозног угљеника је добијен код јонотермалне карбонизације. Са друге стране, приноси директно карбонизованих јонских течности зависе од структуре јонске течности. Највећи принос добијен је за материјал синтетисан карбонизацијом јонске течности са холинијум катјоном ($[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$).

Карактеризацијом синтетисаних материјала показано је да јонска течност игра битну улогу у генерисању специфичних особина материјала. Морфологија синтетисаних материјала зависи од избора методе синтезе и прекурсора. Морфологија угљеника добијеног јонотермалном карбонизацијом глукозе знатно се разликује од угљеника синтетисаних хидротермалним поступцима. Ово је последица утицаја јонске течности као агенса за формирање карактеристичне морфологије. Угљенични материјали добијени директном карбонизацијом јонских течности имају потпуно другачије морфологије које зависе од структуре карбонизованих јонских течности. N_2 и CO_2 сорпцијом утврђене су разлике у текстури синтетисаних материјала. Показано да на текстуру материјала битно утичу катјон и анјон јонске течности. Материјали

синтетисани карбонизацијом јонских течности са различитим катјонима и истим ањоном, $[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$ и $[\text{bmim}]_2[\text{CoCl}_4]$, потврдили су различит утицај катјона на развој специфичне површине материјала. Фотоелектронском спектроскопијом окарактерисана је површинска хемија свих синтетисаних материјала и одређене су површинске функционалне групе. Показано је да се применом различитих медијума за карбонизацију и глукозе као прекурсора угљеника добија порозни угљенични материјал са различитим садржајем кисеоничних функционалних група. Резултати су показали могућност увођења различитог садржаја кисеоничних функционалних група и то карбоксилних и карбонилних/хинонских група, код материјала синтетисаних применом глукозе као прекурсора јонотермалном карбонизацијом и хидротермалном карбонизацијом потпомогнутом јонском течношћу. Директном карбонизацијом јонских течности добијени су двоструко допирани угљенични материјали: азотом и сумпором или азотом и кобалтом, зависно од примењене јонске течности. Присуство азота повезано је са катјонима јонских течности, док се присуство сумпора или кобалта повезује са ањонима. На тај начин закључено је да код директне карбонизације јонских течности активно учествују и катјон и ањон. У случају директне карбонизације јонских течности $[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$ и $[\text{bmim}]_2[\text{CoCl}_4]$ нађен је супротан однос квартернарног и пиридинског азота. Квартернарни азот је доминантно присутан код материјала синтетисаног карбонизацијом $[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$, док је пиридинска врста доминантна код материјала синтетисаног карбонизацијом $[\text{bmim}]_2[\text{CoCl}_4]$. Тиме је показано да увођење азотних функционалних група зависи од избора катјона. Ови резултати показују да изабране јонске течности у једноставној синтези дају двоструко допиране порозне угљеничне материјале. Раманска спектроскопија указала је да је код синтетисаних материјала присутна угљенична структура са великим бројем дефеката, што је посебно изражено код двоструко допираних синтетисаних материјала.

У даљем раду ове докторске дисертације, приказани су резултати везани за потенцијалну примену синтетисаних материјала као електрокатализатора за реакцију редукције кисеоника у горивним ћелијама. Показано је да су сви материјали електроактивни за редукцију кисеоника, а потенцијал редукције је умерен у позитивнију страну за материјале синтетисане директном карбонизацијом јонских течности. Најпозитивнији потенцијал редукције и потенцијал почетка редукције кисеоника, као и највећа вредност кинетичке густине струје добијени су за метријал синтетисан директном карбонизацијом $[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$. Такође, овај материјал показао је и најмање вредности Тафелових нагиба, чиме је потврђена велика електрокаталитичка активност за редукију кисеоника. Два материјала синтетисана директном карбонизацијом $[\text{bmim}][\text{MeSO}_3]$ и $[\text{holin}]_2[\text{CoCl}_4]$ која су показала директну $4e^-$ редукцију, додатно су тестирана у условима типичним за директне метанол, етанол и борхидридне горивне ћелије и оба материјала показала су велику селективност за реакцију редукције кисеоника.

У следећем делу ове дисертације испитана је примена синтетисаних материјала за скадиштење наелектрисања. Показано је да капацитивно понашање материјала зависи од рН раствора електролита. Није нађена корелација између специфичне површине

материјала и вредности капацитета, што се приписало непоузданости Браунер-Емет-Талерове методе код процене специфичне површине микропорозних материјала N_2 сорпцијом. Нађена је корелација између специфичног капацитета и запремине микропора: специфични капацитет расте са порастом запремине микропора. Разлике у капацитетима у киселом и базном електролиту објашњене су анализом површинске хемије и дискутовањем улоге кисеоничних функционалних група. Трасатијевом анализом израчунати су доприноси капацитета двојног електричног слоја и псеудокапацитета. Анализа је показала да је капацитет свих материјала присутан претежно у облику псеудокапацитета. Такође је закључено да су C=O функционалне групе одговорне за разлику капацитета у базном и киселом електролиту. Највећи капацитет показао је материјал синтетисан директном карбонизацијом јонске течности [bmim][MeSO₃] због додатног доприноса азотних и сумпорних функционалних група псеудокапацитету.

В. Упоредна анализа резултата дисертације са подацима из литературе

Један од савремених аспекта у синтези угљеничних материјала је примена јонских течности као медијума у јонотермалној карбонизацији биомасе или прекурсора угљеника у директној карбонизацији јонских течности [J. S. Lee, R. T. Mayes, H. Luo, S. Dai, **Ionothermal carbonization of sugars in a protic ionic liquid under ambient conditions**, *Carbon* **48** (2010) 3364–3368; J. P. Paraknowitsch, A. Thomas, M. Antonietti, **A detailed view on the polycondensation of ionic liquid monomers towards nitrogen doped carbon materials**, *J. Mater. Chem.* **20** (2010) 6746–6758]. Међутим, обе методе синтезе порозних угљеничних материјала су у истраживачкој фази развоја. Код обе методе недостаје систематско истраживање у циљу корелисања особина јонских течности са особинама добијених порозних угљеничних материјала. Поред тога нису довољно испитане могућности примене порозних угљеничних материјала синтетисаних методама заснованим на употреби јонских течности.

На основу литературних података [Z.L. Xie, D.S. Su, **Ionic liquid based approaches to carbon materials synthesis**, *Eur. J. Inorg. Chem.* **2015** (2015) 1137–1147; T. P. Fellingner, A. Thomas, J. Yuan, M. Antonietti, **25th Anniversary article: “Cooking carbon with salt”: carbon materials and carbonaceous frameworks from ionic liquids and poly(ionic liquid)s**, *Adv. Mater.* **25** (2013) 5838–5855.] закључено је да јонске течности имају улогу агенса и темплејта за стварање специфичне морфологије и текстуре, било да се ради о јонотермалној карбонизацији биомасе или директној карбонизацији јонских течности. Добијени резултати у овој дисертацији потврдили су могућност добијања материјала различите морфологије применом различитих метода синтезе које се заснивају на јонским течностима. Резултати кандидата су у складу са доступним литературним подацима који указују на утицај катјона и анјона јонских течности на текстуралне карактеристике материјала и њихове потенцијалне улоге темплејта. Уочено је да код јонотермалне карбонизације глукозе на вредност специфичне површине велику улогу има величина анјона јонске течности. Овај резултат је у сагласности са материјалом синтетисаним јонотермалном карбонизацијом глукозе

применом [bmim][FeCl₄] као медијума [Z. L. Xie, R. J. White, J. Weber, A. Taubert, M. M. Titirici, Hierarchical porous carbonaceous materials via ionothermal carbonization of carbohydrates, *J. Mater. Chem.* **21** (2011) 7434–7442]. Код директне карбонизације [bmim][MeSO₃] текстура добијеног материјала последица је присуства ароматичног катјона и малог анјона, што је у корелацији са предходно објављеним резултатима [P.F. Fulvio, P. C. Hillesheim, Y. Oyola, S. M. Mahurin, G. M. Veith, S. Dai, A new family of fluidic precursors for the self-templated synthesis of hierarchical nanoporous carbons, *Chem. Commun.* **49** (2013) 7289–7291; P.F. Fulvio, J.S. Lee, R.T. Mayes, X. Wang, S.M. Mahurin, S. Dai, Boron and nitrogen-rich carbons from ionic liquid precursors with tailorable surface properties, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **13** (2011) 13486–13491.]. Такође, у дисертацији је показан утицај катјона јонске течности и на морфологију и текстуру карбонизацијом [holin]₂[CoCl₄] и [bmim]₂[CoCl₄] јонских течности са истим анјоном, а различитим катјонима. Слични резултати са холинијумским јонским течностима који у свом анјону садрже метал нису пронађени у литератури. Кандидат је у дисертацији упоредио садржај кисеоничних функционалних група код материјала синтетисаних применом глукозе као прекурсора, али добијених различитим методама синтезе заснованим на употреби јонске течности. Овакво поређење није нађено у литератури. У литератури се наводи да се директном карбонизацијом јонских течности могу синтетисати допирани угљенични материјали атомима садржаним у катјону и анјону [B. J. P. Paraknowitsch, J. Zhang, D. Su, A. Thomas, M. Antonietti, Ionic liquids as precursors for nitrogen-doped graphitic carbon, *Adv. Mater.* **22** (2010) 87–92; P. F. Fulvio, J. S. Lee, R. T. Mayes, X. Wang, S. M. Mahurin, S. Dai, Boron and nitrogen-rich carbons from ionic liquid precursors with tailorable surface properties, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **13** (2011) 13486–13491]. Добијени резултати за случај директне карбонизације јонских течности у сагласности су са поменути резултатима и угљенични материјали су двоструко допирани и то азотом и сумпором или азотом и кобалтном, у зависности од употребљене јонске течности. Такође у случају директне карбонизације јонских течности са имидазолијумовим катјоном азот је претежно уграђен у угљеничну структуру у облику пиридинског и квартернарног азота што је опет даље у сагласности са литературом [Z.L. Xie, D.S. Su, Ionic liquid based approaches to carbon materials synthesis, *Eur. J. Inorg. Chem.* **2015** (2015) 1137–1147].

Примена угљеничних материјала синтетисаних методама заснованим на употреби јонских течности за реакцију редукције кисеоника је слабо испитана, тако да има мало литературних података. Иако су сви испитани материјали у овој дисертацији електроактивни за редукцију кисеоника, двоструко допиран угљенични материјал азотом и кобалтом који је синтетисан директном карбонизацијом бис(холинујум) тетраклоридокобалтата(II) показао је најпозитивнију вредности потенцијала редукције кисеоника (0,8 V) и потенцијала почетка редукције кисеоника (0,91 V), највећу вредност кинетичке густине струје (12,9 mA cm⁻²) и најмање вредности Тафелових нагиба (56 и 133 mV dec⁻¹). Добијени резултати за поменути материјал су упоредиви или бољи у поређењу са другим угљеничним материјалима двоструко допираним азотом и кобалтом [Y. Su, Y. Zhu, H. Jiang, J. Shen, X. Yang, W. Zou, J. Chen, C. Li,

Cobalt nanoparticles embedded in N-doped carbon as an efficient bifunctional electrocatalyst for oxygen reduction and evolution reactions, *Nanoscale*. 6 (2014) 15080–15089; S. Fu, C. Zhu, H. Li, D. Du, Y. Lin, One-step synthesis of cobalt and nitrogen co-doped carbon nanotubes and their catalytic activity for the oxygen reduction reaction, *J. Mater. Chem. A*. 3 (2015) 12718–12722]. Такође, угљенични материјали синтетисани карбонизацијом других јонских течности имају слично понашање у погледу потенцијала почетка редукције кисеоника и механизма редукције; међутим ови материјали су синтетисани применом различитих темплејта и знатно компликованијом процедуром [**Z. Cui, S. Wang, Y. Zhang, M. Cao, A simple and green pathway toward nitrogen and sulfur dual doped hierarchically porous carbons from ionic liquids for oxygen reduction, *J. Power Sources*. 259 (2014) 138–144; S. Zhang, H.M. Kwon, Z. Li, A. Ikoma, K. Dokko, M. Watanabe, Nitrogen-doped inverse opal carbons derived from an ionic liquid precursor for the oxygen reduction reaction, *ChemElectroChem*. 2 (2015) 1080–1085].**

Као и у случају редукције кисеоника, примена поменутих материјала за електрохемијске суперкондензаторе је такође слабо испитана. Највећу вредност специфичног капацитета у овој дисертацији је показао материјал синтетисан директном карбонизацијом 1-бутил-3-метилимидазолијум метансулфоната. Према доступној литератури материјали синтетисани директном карбонизацијом других јонских течности показали су мање вредности капацитета [**P.F. Fulvio, P.C. Hillesheim, Y. Oyola, S.M. Mahurin, G.M. Veith, S. Dai, A new family of fluidic precursors for the self-templated synthesis of hierarchical nanoporous carbons., *Chem. Commun*. 49 (2013) 7289–7291].** Такође у овој дисертацији је потврђен концепт да је микропорозна текстура погодна за складиштење наелектрисања у воденим електролитима, што је у сагласности са литературом [**S. Zheng, Y. Cui, J. Zhang, Y. Gu, X. Shi, C. Peng, D. Wang, Nitrogen doped microporous carbon nanospheres derived from chitin nanogels as attractive materials for supercapacitors., *RSC Adv*. 9 (2019) 10976–10982; J. Chmiola, G. Yushin, Y. Gogotsi, C. Portet, P. Simon, P.L. Taberna, Anomalous increase in carbon capacitance at pore sizes less than 1 nanometer., *Science*. 313 (2006) 1760–1763; C. Largeot, C. Portet, J. Chmiola, P.L. Taberna, Y. Gogotsi, P. Simon, Relation between the ion size and pore size for an electric double-layer capacitor, *J. Am. Chem. Soc.* 130 (2008) 2730–2731.]. Показано је да је доминантан псеудокапацитет на испитаним материјалима и да разлици капацитета у киселом и базном електролиту доприносе првенствено кисеоничне функционалне групе, сагласно литератури [**Y.J. Oh, J.J. Yoo, Y. I. Kim, J.K. Yoon, H.N. Yoon, J.H. Kim, S. Bin Park, Oxygen functional groups and electrochemical capacitive behavior of incompletely reduced graphene oxides as a thin-film electrode of supercapacitor, *Electrochim. Acta*. 116 (2014) 118–128].** Кандидат је објаснио да разлици капацитета у базном и киселом електролиту доприносе C=O функционалне групе, али да овој разлици могу доприносити и COOH функционалне групе. Као што је поменуто, порозни угљенични материјал допиран сумпором и азотом, синтетисан директном карбонизацијом [bmim][MeSO₃] има највећу вредност специфичног капацитета. Ослањајући се на многобројну литературу, претпоставља се да поред кисеоничних група, азотове и**

сумпорове функционалне групе доприносе псеудокапацитету и самим тим повећању укупног капацитета [O. Ornelas, J.M. Sieben, R. Ruiz-Rosas, E. Morallón, D. Cazorla-Amorós, J. Geng, N. Soin, E. Siores, B.F.G. Johnson, *On the origin of the high capacitance of nitrogen-containing carbon nanotubes in acidic and alkaline electrolytes*, *Chem. Commun.* **50** (2014) 11343–11346.; G. Lota, K. Lota, E. Frackowiak, *Nanotubes based composites rich in nitrogen for supercapacitor application*, *Electrochem. Commun.* **9** (2007) 1828–1832; W. Deng, Y. Zhang, L. Yang, Y. Tan, M. Ma, Q. Xie, *Sulfur-doped porous carbon nanosheets as an advanced electrode material for supercapacitors*, *RSC Adv.* **5** (2015) 13046–13051].

Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Из резултата докторске дисертације кандидата Николе Здолшек објављена су два рада у врхунским међународним часописима (M21):

1. **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, M. Bendova, J. Krstić, R. P. Rocha, J. L. Figueiredo, D. Bajuk-Bogdanović, T. Trtić-Petrović, B. Šljukić, *Electrocatalytic activity of ionic-liquid-derived porous carbon materials for the oxygen reduction reaction*, *ChemElectroChem* **5** (7) (2018): 1037-1046.
2. **N. Zdolšek**, R. P. Rocha, J. Krstić, T. Trtić-Petrović, B. Šljukić, J. L. Figueiredo, M. Vujković, *Electrochemical investigation of ionic liquid-derived porous carbon materials for supercapacitors: pseudocapacitance versus electrical double layer*. *Electrochimica Acta* **298** (2019): 541-551.

И три саопштења на међународним скуповима штампана у изводу (M34):

1. **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, J. Krstić, M. Vujković, B. Šljukić, T. Trtić-Petrović, *Charge storage and electrocatalysis of oxygen reduction reaction on ionic-liquid-derived carbon materials*, mESC-IS 2018, 3rd Int. Symposium on Materials for Energy Storage and Conversion, 10-12. September 2018., Belgrade, Serbia, Book of abstract, pp. 80
2. **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, T. Trtić-Petrović, *Ionic liquids - from separation to new carbon materials*, 2nd Workshop of French, Croatian and Serbian Researchers on Hydrogen Storage and Energy Related Materials, Belgrade, October 3-4, 2017, Program and the book of abstracts, p. 15, ISBN 978-86-7306-142-9.
3. **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, T. Trtić-Petrović, J. Krstić, D. Bajuk-Bogdanović, B. Šljukić, *From green solvent to carbon materials: application of ionic liquid derived carbon for oxygen reduction*, 2nd International meeting on material science for energy related application, Beograd 29-30.9.2016, Book of abstracts. p. 74

Д. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидата Николе Здолшек представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије материјала и електрохемије. Из резултата дисертације кандидата проистекла су два научна рада у врхунским међународним часописима (M21) и три саопштења са међународног скупа штампани у изводу (M34). У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидат испуњава услове за прихватање завршене докторске дисертације прописане од стране Универзитета у Београду и услове дефинисане Правилником о изради и оцени докторске дисертације на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду (Правилник о изради и оцени докторске дисертације, члан 9.). На основу изложеног Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да рад Николе Здолшек под насловом „**Јонске течности као медијуми и прекурсори за синтезу порозних угљеничних материјала за примену у горивним ћелијама и складиштењу енергије**“ прихвати као дисертацију за стицање научног степена доктора физичкохемијских наука и одобри њену јавну одбрану.

Комисија:

др Биљана Шљукић Паунковић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Татјана Тртић-Петровић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“

др Никола Цвјетићанин, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Милица Вујковић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

др Слободан Гацурић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду – Природно-математички факултет

Прилог 1. – Комплетна библиографија кандидата

1) Радови у међународним часописима (M21):

- 1.1 **N. Zdolšek**, R. P. Rocha, J. Krstić, T. Trtić-Petrović, B. Šljukić, J. L. Figueiredo, M. Vujković, *Electrochemical investigation of ionic liquid-derived porous carbon materials for supercapacitors: pseudocapacitance versus electrical double layer*. *Electrochimica Acta* 298 (2019): 541-551
- 1.2 **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, M. Bendova, J. Krstić, R. P. Rocha, J. L. Figueiredo, D. Bajuk-Bogdanović, T. Trtić-Petrović, B. Šljukic, *Electrocatalytic activity of ionic-liquid-derived porous carbon materials for the oxygen reduction reaction*. *ChemElectroChem* 5 (7) (2018): 1037-1046
- 1.3 T. Trtić-Petrović, A. Dimitrijević, **N. Zdolšek**, A. Tot, M. Vraneš, S. Gadžurić. *New sample preparation method based on task-specific ionic liquids for extraction and determination of copper in urine and wastewater*. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 410 (1) (2018): 155-166
- 1.4 **N. Zdolšek**, A. Kalijadis, K. Kumrić, T. Trtić-Petrović. "Solid-phase extraction disk based on multi-walled carbon nanotubes for the enrichment of targeted pesticides from aqueous samples." *Journal of Separation Science* 40 (7) (2017): 1564-1571.
- 1.5 A. Dimitrijević, N. Zec, **N. Zdolšek**, S. Dožić, A. Tot, S. Gadžurić, M. Vraneš, T. Trtić-Petrović, *Aqueous biphasic system formation using 1-alkyl-3-ethylimidazolium bromide ionic liquids as new extractants*. *J. Ind. Eng. Chem.* 40 (2016): 152-160.

2) Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33):

- 2.1. A. Dimitrijević, A. Jocić, **N. Zdolšek**, T. Trtić-Petrović, *Tuning the properties of aqueous biphasic system based on block copolymer for the extraction of selected alkaloids*, 14th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, 24–28 September 2018, Belgrade, Proceedings 859-862
- 2.2 J. Milićević, A. Dimitrijević, **N. Zdolšek**, T. Trtić Petrović, *Tečno-čvrsta ekstrakcija izabраних pesticida na bazi jonskih tečnosti za direktnu analizu zemljišta i sedimenata*, 55rd Meeting of the Serbian Chemical Society, 8-9. јун 2018., Novi Sad, Proceedings, 24-28
- 2.3 **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, A. Jocić, S. Jovanović, B. Šljukić, S. Gadžurić, T. Trtić-Petrović, *Novi ugljeni materijali na bazi jonskih tečnosti za održive procesi u zaštiti životne sredine*, 4th International symposium on corrosion and material protection, environmental protection and protection against fire, 18-21. September 2018., Bar, Crna Gora, Proceedings: p.255-264.

3) Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34):

- 3.1 **N. Zdolšek**, J. Milikić, S. Mentus, M. Bendova, T. Trtić-Petrović, B. Šljukić, *Metal containing ionic liquid – new precursor for nickel/carbon composite catalyst for borohydride oxydation and oxygen reduction reaction*, 3rd International meeting on materials science for energy related applications, 25-26 September, 2018., Belgrade, Serbia, Book of abstract, pp.45-46
- 3.2 **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, J. Krstić, M. Vujković, B. Šljukić, T. Trtić-Petrović, *Charge storage and electrocatalysis of oxygen reduction reaction on ionic-liquid-derived carbon materilas*, mESC-IS 2018, 3rd Int. Symposium on Materials for Energy Storage and Conversion, 10-12. September 2018., Belgrade, Serbia, Book of abstract, pp. 80
- 3.3 **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, T. Trtić-Petrović, *Ionic liquids - from separation to new carbon materials*, 2nd Workshop of French, Croatian and Serbian Researchers on Hydrogen Storage and Energy Related Materials, Belgrade, October 3-4, 2017, Program and the book of abstracts, p. 15, ISBN 978-86-7306-142-9.
- 3.4 B. Magdalena, **N. Zdolšek**, F. Quirion, Z. Wagner, P. Vrbka, T. Trtić-Petrović. *Phase behaviour of 1-butyl-3-methylimidazolium methanesulfonate as new thermal energy material*, Ionic Liquids: From Fundamental Properties to Practical Applications, Cambridge (GB), 20170911. PP.35
- 3.5 **N. Zdolšek**, B. Šljukić, T. Trtić-Petrović, *New porous carbon electrocatalysts derived from ionic liquid for oxygen reduction reaction*, Bažant postgraduate conference 2017, Prague, Proceedings of Abstracts, p. 11, ISBN 978-80-86186-91-7
- 3.6 **N. Zdolšek**, A. Dimitrijević, T. Trtić-Petrović, J. Krstić, D. Bajuk-Bogdanović, B. Šljukić, *From green solvent to carbo materials: application of ionic liquid derived carbon for oxygen reduction*, 2nd International meeting on material science for energy related application, Beograd 29-30.9.2016, Book of abstracts. p. 74
- 3.7 **N. Zdolšek**, K. Kumrić, T. Trtić-Petrović, *Preconcentration of selected pesticides using multiwalled carbon nanotubes as adsorbent in solid phase extraction*, Fourteenth Young Researcher' Conference - Materials Science and Engineering, Beograd 11.12.2015, Book of Abstracts. p. 47.

4) Радови саопштени на скупу од националног значаја штампани у целини (M63):

- 4.1 S.B. Gadžurić, M.B. Vraneš, S. Dožić, T.M. Trtić-Petrović, A. Dimitrijević, **N. Zdolšek**, P. Jovanov, *Zeleni rastvarači u tretmanu otpadnih voda, Konferencija Otpadne vode, komunalni i čvrsti otpad i opasan otpad*, 13-15. April 2016, Vršac, Zbornik radova: 14-19, (2016).
- 4.2 A. Dimitrijević, N. Zec, **N. Zdolšek**, A. Tot, M.B. Vraneš, T.M. Trtić-Petrović, S.B. Gadžurić, *Ekstrakcije odabranih polutanata iz vode primenom jonskih tečnosti*, Konferencija Otpadne vode, komunalni i čvrsti otpad i opasan otpad, 5-7. April 2017, Vršac, Zbornik radova: 36-41 (2017).

- 4.3 T.M. Trtić-Petrović, A. Dimitrijević, J. Đorđević, **N. Zdošek**, A. Petković, J. Čolić, M. Frontasyeva, O.Culicov, Tehnološki kritični elementi - nove zagađujuće materije životne sredine?, Konferencija Otpadne vode, komunalni i čvrsti otpad i opasan otpad, 5-7. April 2017, Piroć, Zbornik radova: 42-47 (2017).