

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ

На IV редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију, одржаној 16.01.2017. године, именовани смо у Комисију за преглед и оцену докторске дисертације Јелене Сенћански, мастера физикохемичара, под насловом: „Рециклажа литијум јонских батерија са катодним материјалом $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ “. Пошто смо прегледали докторску дисертацију подносимо Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Јелене Сенћански написана је на 132 стране и садржи 6 главних делова: Преглед литературе (41 страна), Циљ рада (1 страна), Експериментални део (9 страна), Резултати и дискусија (60 страна), Закључак (5 страна), Литература (147 референци, 16 страна). Кандидаткиња је уз текст дисертације приложила и списак радова проистеклих из докторске дисертације (1 страна), Биографију (1 страна) и додатке прописане правилима Универзитета о подношењу докторских теза на одобравање (4 стране).

Рад садржи укупно 58 слика (15 слике из постојеће литературе, 4 слике у експерименталном делу, 39 слика представљају властите резултате) и 12 табела (5 табеле из постојеће научне литературе, 1 табела у експерименталном делу и 6 табела у оквиру резултата и дискусије).

У поглављу Увод приказане су основе тематике ове докторске дисертације. Наведене су основне карактеристике батерија, објашњен је принцип рада литијум јонских батерија, приказан њихов састав као и основне особине материјала који се користе у литијум јонским батеријама. Затим су изложене структура и електрохемијске особине катодног материјала $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$. Описан је утицај различитих метода синтезе и ресинтезе материјала на електрохемијске и морфолошке особине катодних материјала који се најчешће користи у комерцијалним литијум јонским батеријама. Потом је изложено зашто је битна рециклажа литијум јонских батерија, процеси и поступци из којих се састоји рециклажа ове врсте батерија.

У поглављу Циљ рада приказани су главни циљеви истраживања у оквиру ове докторске дисертације који се може раздвојити на два дела. Први део укључује утврђивање хемијског састава појединачних компоненти батерија и оптимизацију поступака одвајања катодног материјала у циљу утврђивања најбољег поступка у погледу приноса, цене и ефикасности. Други део се односи на развој метода ресинтезе катодног материјала у циљу његове поновне примене као катодног материјала. Ради утврђивања начина ресинтезе која даје најбоље електрохемијске карактеристике,

ресинтеза катодног материјала је урађена на три начина: сол гел методом, методом копреципитације и реакцијом у чврстом стању.

У поглављу *Експериментални део* су описани начини раздвајања појединачних компоненти батерија, а потом ресинтеза $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ на три начина: сол-гел методом, реакцијом у чврстом стању и копреципитацијом. У овом поглављу су дати и уређаји и методе примењене за карактеризацију синтетисаних материјала, а то су: атомска апсорпциона спектрометрија, рендгенска дифракција на праху, скенирајућа електронска микроскопија са додатком за електронску дисперзиону спектроскопију, трансмисиона електронска микроскопија, циклична волтаметрија и галваностатско пуњење и пражњење.

У поглављу *Резултати и дискусија* резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације су представљени у четири дела. У првом делу је приказан састав комерцијалних литијумских батерија чији катодни материјал је ресинтетисан. У другом делу су приказани поступци који су коришћени за одвајање катодног материјала од Al колектора док је у трећем делу приказана хемијска анализа свих делова потрошених батерија као и катодних материјала који ће бити ресинтетисани. У четвртом делу су дате структурне и морфолошке особине ресинтетисаних катодних материјала као и њихове електрохемијске карактеристике.

У поглављу *Закључак* су сумирани најважнији резултати тезе и изведени закључци. Докторска дисертација се завршава поглављем *Литература*, где су дате референце према редоследу појављивања у тексту.

Б. Опис резултата тезе

У овој докторској дисертацији развијен је поступак рециклаже потрошених Li-јонских батерија у циљу добијања оксида $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ слојевите структуре и његове поновне примене као катодног материјала. Први део резултата се односи на одређивање хемијског састава појединачних компоненти батерија и оптимизацију поступака одвајања катодног материјала у циљу утврђивања најбољег поступка у погледу ефикасности и цене. Други део резултата се односи на развој метода ресинтезе катодног материјала са циљем да се процени који материјал има највише потенцијала да се користи као катодни материјал за литијум-јонске и/или натријум-јонске батерије.

Растављањем батерија на саставне делове и одређивањем маса појединачних компоненти батерија добијено је да 62 % батерије, чине кошуљица, Al, Cu колектори и катодни материјал, па самим тим ове компоненте има смисла рециклирати. Урађене је хемијска анализа свих делова батерије као и ресинтетисаних материјала.

Одвајање катодног материјала од Al колектора је урађено на три начина: жарењем на 600 °C, растварањем органског везива у N-метил пиролидону (НМП) и алкалним растварањем у NaOH. Показано је да је процес алкалног растварања најефикаснији, са ефикасношћу око 100 %. Мања ефикасност је добијена коришћењем НМП (~ 68%) и технички најједноставнијим поступком одвајања, жарењем на 600 °C (око 43%).

Наком одвајања катодног материјала од Al колектора, урађена је његова ресинтеза на три начина: сол-гел методом (подешавање рН упаравањем до влажних

соли и додатком амонијака), методом копреципитације (са NaOH при строго контролисаним условима) и реакцијом у чврстом стању. Састав ресинтетисаног катодног материјала зависи од типа произвођача батерије док је морфологија рециклираних узорака контролисана примењеним начином ресинтезе. Хемијска анализа је показала да су катодни материјали потрошених Ли-јонских батерија следећег састава: $\text{LiNi}_{0,14}\text{Mn}_{0,26}\text{Co}_{0,59}\text{O}_2$ (батерије различитог произвођача: Nokia БЛ-5СТ 1050 mAh, Li-ion charge 1100 mAh, Samsung 1650 mAh, 3G BL-5C- 900 mAh, Nokia BL-4В, 700 mAh), $\text{LiNi}_{0,15}\text{Mn}_{0,435}\text{Co}_{0,415}\text{O}_2$ (за батерије истог произвођача 3G Company BL-5C, 900 mAh) и $\text{LiNi}_{0,15}\text{Mn}_{0,77}\text{Co}_{0,08}\text{O}_2$ (за појединачну батерију 3G Company BL-5C, 1050 mAh). Рендгеноструктурна анализа и Раманска спектроскопија ресинтетисаних прахова су показали да је слојевита структура $\text{Li}(\text{Co-Mn-Ni})\text{O}_2$ доминантна фаза код узорака $\text{LiNi}_{0,14}\text{Mn}_{0,26}\text{Co}_{0,59}\text{O}_2$ (re-NMC136_{ур}) и $\text{LiNi}_{0,15}\text{Mn}_{0,435}\text{Co}_{0,415}\text{O}_2$ (re-NMC244_{ур}, re-NMC244_{НН3} и re-NMC244_{кор}), при чему се неизбалансираност наелектрисања (претпостављајући да су Ni, Mn и Co у +2, +4 и +3 оксидационом стању, редом) сматра да је последица присуства металних ваканција. Структурна испитивања узорка $\text{LiNi}_{0,15}\text{Mn}_{0,77}\text{Co}_{0,08}\text{O}_2$ (re-NMC281_{ес}) су показала да ресинтетисани $\text{LiNi}_{0,15}\text{Mn}_{0,77}\text{Co}_{0,08}\text{O}_2$ оксид поред $\text{Li}(\text{Co-Mn-Ni})\text{O}_2$ структуре ромбоедарске симетрије садржи и фазу LiMn_2O_3 моноклиничне симетрије. Сол-гел методом и методом копреципитације се добијају честице нанометарских димензија, док се реакцијом у чврстом стању добијају микрометарске честице. Висок степен уређености хексагоналне структуре није постигнут датим поступцима ресинтезе. Замена кристалографских позиција никла и литијума позната у литератури као "катјонско мешање" је добијена у структурама свих рециклираних прахова.

Способност материјала да реверзибилно угради литијумове јоне зависи од састава материјала и начина ресинтезе. Испитивана је интеркалација/деинтеркалација јона литијума и из органског и из воденог раствора соли литијума у ресинтетисане материјале. У случају $\text{LiNi}_{0,14}\text{Mn}_{0,26}\text{Co}_{0,59}\text{O}_2$ (re-NMC136_{ур}) добијеног цитратним сол-гел процесом са подешавањем рН упаравањем до влажних соли, редокс пикови који одговарају деинтеркалацији и интеркалацији литијума нису јасно дефинисани у воденом електролиту услед електролитичког разлагања воде које се дешава на сличним потенцијалима. Међутим, јасно дефинисани галваностатски платои првог циклуса пуњења и пражњења који одговарају деинтеркалацији и интеркалацији литијума снимљени за re-NMC136_{ур} у органском електролиту литијумове соли (1M LiClO₄/PC) су присутни. Почетни капацитети пуњења и пражњења re-NMC136_{ур} у 1M LiClO₄/PC, при густини струје од 100 mA g⁻¹, износе ~ 94 и ~ 60 mA h g⁻¹, редом. Узорци састав $\text{LiNi}_{0,15}\text{Mn}_{0,435}\text{Co}_{0,415}\text{O}_2$ (re-LiNMC244) показују мало ниже потенцијале анодног пика од узорка re-NMC136_{ур} због различитог састава, па су редокс пикови овога материјала јасно дефинисани и у воденом раствору LiNO₃. Дефинисаност редокс пикова, па самим тим и искоришћење интеркалатног капацитета литијума зависи од начина синтезе. Поредице понашање узорака re-NMC244 који су добијени 1) сол-гел методом при чему је рН подешавана упаравањем до влажних соли (re-NMC244_{ур}), 2) сол-гел методом при чему је рН подешавана са додатком амонијака (re-NMC244_{НН3}) и 3) методом копреципитације са додатком NaOH (re-NMC244_{кор}), показано је да re-NMC244_{кор} узорак омогућава најбржу кинетику интеркалације/деинтеркалације литијумових јона. Оксид

ресинтетисан методом копреципитације показује највећи почетни капацитет у LiNO_3 (око 64 mAh g^{-1} при врло високој брзини поларизације од $\sim 40 \text{ C}$), као и најмањи пад капацитета који после 10 циклуса пуњења и пражњења износи око 37,5% што се може објаснити најмањим честицама сферног облика просечног пречника око 150 nm које омогућавају кратак пут дифузији литијумових јона. Иако је по питању једноставности цене и ефикасности, реакција у чврстом стању најпогоднија, узорак $\text{re-NMC281}_{\text{es}}$ је показао најмање капацитете у воденом раствору LiNO_3 . Разлог за то су микронске димензије честица које успоравају дифузију литијумових јона кроз структуру али и немогућност потпуног одвијања редокс реакција у воденом електролитичком раствору.

Ресинтетисани узорци $\text{Li}(\text{Co-Mn-Ni})\text{O}_2$ су, електрохемијском изменом Li са Na у воденом раствору NaNO_3 , успешно преведени у натријумску форму. Потенцијали редокс реакција натријума су нижи у односу на потенцијале редокс реакција литијума па електролитичко разлагање воде не представља проблем приликом реверзибилне уградње натријума у материјал. Капацитети складиштења натријумових јона у слојевитој структури су знатно мањи од одговарајућих капацитета складиштења литијума. Међутим, добијена је знатно боља стабилност интеркалатног капацитета натријума. Полазни капацитети натријумска форме $\text{re-NMC244}_{\text{кор}}$ узорка износе око 30 mAhg^{-1} при брзини поларизације од 20 mVs^{-1} ($\sim 32\text{C}$), без пада капацитета током 50 циклуса пуњења /пражњења. Разлог за знатно стабилнији интеркалатни капацитет натријума од литијума је немогућност да се јони никла и натријума мешају. Иако узорак $\text{re-NMC244}_{\text{кор}}$ показује мале интеркалатне капацитете натријума, они су добијени на високим брзинама струје од 32C. Галваностатском методом је показано да $\text{re-NMC244}_{\text{кор}}$ материјал може да складишти и веће количине натријума ($\sim 93 \text{ mAhg}^{-1}$), али при мањим густинама струје од $0,8 \text{ C mA g}^{-1}$ ($1\text{C}=120 \text{ mA g}^{-1}$). Имајући у виду да су капацитети врло блиски теоријском капацитету $\text{NaCo}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ који износи 120 mAhg^{-1} , а да је капацитет стабилан током вишеструког пуњења и пражњења, ресинтетисани материјал има потенцијала да се користи као катодни материјал водених натријум-јонских батерија.

В. Упоредна анализа резултата тезе са подацима из литературе

Бројне студије се баве рециклирањем истрошених литијум-јонских батерија, са циљем да се добије што је могуће већа количина метала високе тржишне вредности: Co , Li , Cu , Mn , Ni [J. Xu, H.R. Thomas, R.W. Francis, K.R. Lum, J. Wang, B. Liang, J Power Sources, 177 (2008) 512-527]. Постоји неколико компанија у свету као што су AEA Technology (УК), SNAM (Француска), Тохсо (Канада), Umicore (Белгија) које су развиле процес рециклаже метала из катоде истрошених литијум јонских батерије, [C. G.P. Nayaka, K.V. Pai, G. Santhosh, J. Manjanna, Hydrometallurgy, 161 (2016) 54–57.]. Због тога су и разне методе рециклирања развијане [J. Xu, H.R. Thomas, R.W. Francis, K.R. Lum, J. Wang, B. Liang, J Power Sources, 177 (2008) 512-527, A.M. Bernandes, D.C.R. Espinosa, J.A.S. Tenório, J. Power Sources 130 (2004) 291-298, D. C. R. Espinosa, A.M. Bernandes, J. A.S. Tenório, J. Power Sources 135 (2004) 311-319]. Након сортирања батерија, следећи корак у рециклажи је растављање батерије на појединачне компоненте. У оквиру тог процеса је неопходно одвојити катодни

материјал од алуминијумског колектора. Најчешће се то постиже коришћењем Н-метил пирилодона [S. Castillo, F. Ansart, C. Laberty-Robert, J. Portal, J. Power Sources 112 (2002) 247–254]. Међутим, такав начин одвајања катодног материјала је скуп, па је било потребно развити јефтинији начин а да ефикасност буде блиска вредности од 100%. У овој дисертацији је показао да се ефикасно раздвајање може постићи коришћењем 5M NaOH, а сам поступак је далеко економичнији.

Рециклирање батерија најчешће за циљ има рециклирање метала [T. G. Maschler, B. Friedrich, R. Weyh, H. Heegn, M. Rutz, J. Power Sources 207 (2012) 173-182, G.Dorella, M B.Mansur, Journal of Power Sources 170 (2007) 210-215, A.M. Bernandes, D.C.R. Espinosa, J.A.S. Tenório, J. Power Sources 130 (2004) 291-298], али су све актуелнија и истраживања која се баве ресинтезом катодног материјала из катоде истрошених литијум јонских батерија и његовог поновног коришћења у новим батеријама. Према податцима из литературе до сада су најчешће ресинтетисани LiCoO_2 [C. K. Lee, K.-I. Rhee, Journal of Power Sources, 109 (2002) 17-21, J. Nan, D. Han, X. Zuo, , J. Power Sources 152 (2005) 278–284, H. Nie, L. Xu, D. Song, J. Song, X. Shi, X. Wang, L. Zhang, Z. Yuan, , Green. Chem., 17 (2015) 1275-1280], $\text{LiCo}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ [Xihua Zhang, Yongbing Xie, Hongbin Cao, Faheem Nawaz, Yi Zhang , Waste Manage., 34 (2014) 1715–1724, D. Song, X. Wang, E. Zhou, P. Hou, F. Guo, L. Zhang, J Power Sources 232 (2013) 348-352, D.-S. Kim, J.-S. Sohn, C.-K. Lee, J.-H. Lee, L.-S. Han, Y.Lee, J. Power Sources 132 (2004) 145-149, Y. Weng, S. Xu, G. Huang, C. Jiang, J. Hazard. Mater. 246-247 (2013) 163-172] и LiFePO_4 [M. J. Ganter, B. J. Landi, C.W. Babbitt, A.Ancil, G. Gaustad, J. Power Sources 256 (2014) 274-280] реакцијом у чврстом стању, сол-гел поступком и копреципитацијом које су као методе ресинтезе коришћене и у овој докторској дисертацији. Према подацима из литературе ресинтетисани катодни материјал је најчешће испитиван у органском електролиту [L. Yao, H. Ya, G. Xi, Y. Feng, Royal Socielty of Chemistry 6 (2016) 17947-17954, L. Li, R. J. Chen, X-X Zhang, F. WU, J. Ge, M. Xie, Chinese science bulletin 57 (2012) 4188–4194. M. Lu , H. Zhang, B. Wang, X. Zheng, C. Dai, Int. J. Electrochem. Sci. 8 (2013) 8201– 8209, D. S. Kim, J. S. Sohn, C.K. Lee, J.H. Lee, K.S. Han, Y. I. Lee, J. Power Sources 132 (2004) 145–149]. Ресинтетисан $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ реакцијом у чврстом стању је показао изузетно велике вредности капацитета пуњења (201 mAhg^{-1}) и пражњења (155.4 mAh g^{-1}), при релативно малој густини струје од 30 mA g^{-1} [Y. Weng, S. Xu, G. Huang, C. Jiang, J. Hazard. Mater. 246-247 (2013) 163-172]. Међутим, након 30 капацитета пуњења и пражњења капацитет задржава вредност 129 mAh g^{-1} . Почетни капацитети пуњења и пражњења узорка ресинтетсаног копреципитацијом са NaOH ($\text{re-NMC244}_{\text{кор}}$), који износе око 79 mAhg^{-1} и 66 mAh g^{-1} , су мањи од ресинтетисаног $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ [Y. Weng, S. Xu, G. Huang, C. Jiang, J. Hazard. Mater. 246-247 (2013) 163-172], али при три пута већој струји пуњења и пражњења.

Последњих година постоје интезивна истраживања у пољу литијум јонских батерија са воденим електролитом [M. Vujković, Ivana Stojković, Biljana Sljukić, M. Mitrić, S.A.C. Sequeira, S. Mentus, Electrochimica Acta, 147 (2014) 167-175,] са циљем да се запаљиви и токсични органски електролити комерцијалних батерија замене са воденим електролитима ниске цене и еколошке подобности. Растојање

између редокс пикова $\text{re-NMC}_{244_{\text{кор}}}$ добијених цикловолтаметријом у воденом раствору литријум-нитрата указује на одличну почетну реверзибилност литијумских редокс реакција у воденом електролитиичком раствору, али ипак нису достигнути високи почетни капацитети директно синтетисног $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}$ [Zheng, J.-J. Chen, X. Jia, J. Song, C. Wang, M.-S. Zheng, Q.-F. Dong, *J. Electrochem. Soc.* **157** (2010) A702-A706], као и нанокмпозита $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}/\text{C}$ [F. Wang, S. Xiao, Z. Change, Y. Yang, Y. Wu, *Chem. Commun.*, **49** (2013) 9209-9211]. алу су упоредиви са $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}$ синтетисаним такође методом копреципитације [L. Liu, F. Tian, X. Wang, Z. Yang, Q. Chen, X. Wang, *J Solid State Electrochem* (2012) **16**:491–497].

Поред водених батерија, последњих година светска истраживања су усмерена ка развоју натријум-јонских батерија [S. Tepavčević, H. Xiong, V.R. Stamenković, X. Zuo, M. Balasubramanian, V.B. Prakapenka, C.S. Johnson, T. Rajh *ACS Nano*, **6** (2012) 530–238, C. Dong, S. Zhang, Z. Dong, Y. Shang, *Nano Energy*, **4** (2014), pp. 49–55] због знатно ниже цене и веће природне заступљености натријума у односу на литијум. Према нашим сазнањима, нема литературних података о примени рециклираних материјала у воденом електролитичком раствору нити у електролитичком раствору натријумске соли. Интеркалација натријумових јона у слојевиту структуру $\text{Na}(\text{Co-Mn-Ni})\text{O}_2$ из водених раствора натријумове соли је по први пут испитана у овој тези. Капацитет складиштења натријумске форме ресинтетисаног узорка $\text{re-NaNMC}_{244_{\text{кор}}}$ је упоредив са литијум интеркалатним капацитетима који су публиковани за различите оксиде $\text{Li}(\text{Ni-Co-Mn})\text{O}_2$ [L. Liu, F. Tian, X. Wang, Z. Yang, Q. Chen, X. Wang, *J. Solid State Electrochem*, **16** (2012), pp. 491–497, Y.-G. Wang, J.-Y. Luo, C.-X. Wang, Y.-Y. Xao, *J. Electrochem. Soc.*, **153** (2006), A1425–A1431, F. Wang, Y. Liu, X. Wang, Z. Chang, Y. Wu, R. Holze, *ChemElectroChem*, <http://dx.doi.org/10.1002/celec.201500033>]. Већи капацитет складиштења натријума од литијума је добијен када се $\text{re-NaNMC}_{244_{\text{кор}}}$ пореди са $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}$ добијеним ултраспреј пиролизом [G.J. Wang, L.J. Fu, B. Wang, N.H. Zhao, Y.P. Wu, R. Holze, *J. Appl. Electrochem.*, **38** (2008), 579–581] и реакцијом под аутогеним притиском на повишеним температурама [R.B. Shivashankaraiah, H. Manjunatha, K.C. Mahesh, G.S. Suresh, T.V. Venkatesha, *J. Solid State Electrochem.*, **16** (2012), 1279–1290], а мањи капацитет натријума у односу на литијум се добије када се $\text{re-NaNMC}_{244_{\text{кор}}}$ пореди са $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}$ [J. Zheng, J.-J. Chen, X. Jia, J. Song, C. Wang, M.-S. Zheng, Q.-F. Dong, *J. Electrochem. Soc.*, **157** (2010), A702–A706] и NP- $\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3} / \text{C}$ композитом [F. Wang, S. Xiao, Z. Change, Y. Yang, Y. Wu, *Chem. Commun.*, **49** (2013), 9209–9211], добијени сол-гел методом.

Г. Научни радови и саопштења из области тезе

Из области тезе Јелена Сенћански су публикована два рада у научним часописима међународног значаја и три саопштења са међународних научних скупова:

Радови у врхунским међународним часописима (M21a=10)

1. **J. Senćanski**, D. Bajuk-Bogdanović, Divna Majstorović, Elena Tchernychova, Jelena Papan, Milica Vujković, *The synthesis of Li(Co-Mn-Ni)O₂ cathode material from spent-Li ion batteries and the proof of its functionality in aqueous lithium and sodium electrolytic solutions*, Journal of Power Sources 342 (2017) 690-703.

Радови у међународним часописима (M23=3)

2. **J. Senćanski**, M. Vujković, I. Stojković, D. Majstorović, D. Bajuk-Bogdanović, F. T. Pastor, S. Mentus, *Recycling of LiCo_{0.59}Mn_{0.26}Ni_{0.15}O₂ cathodic material from spent Li-ion batteries by the method of the citrate gel combustion*, Hemijska industrija, 31-31, (2016) DOI:10.2298/HEMIND160418031S.

Саопштења са међународног скупа штампано у целини M₃₃

1. **J. Senćanski**, M. Vujković, I. Stojković-Simatović, D. Majstorović, S. Mentus, *The recycling of LiCo_{0.415}Mn_{0.435}Ni_{0.15}O₂ cathode material from spent Li-ion batteries*, 13th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, 26-30 September 2016, Belgrade, Proceedings Volume II, p.565-568

Саопштења са међународног скупа штампано у изводу M₃₄

1. **J. Senćanski**, S. Gajinov, M. Kuzmanović, *The examination of recycling of cathodic materials of Li-ion batteries by dissolving in acids*, 7. Simpozijum Hemija i zaštita životne sredine, sa međunarodnim učešćem, Serbian Chemical Society, 9-12 jun 2015 Palić, Srbija, Book of Abstracts p. 362-363

2. **J. V. Senćanski**, I. S. Stojković-Simatović, S. V. Mentus, M. J. Vujković, *The proof of functionality of the recycled Li(Co-Mn-Ni)O₂ cathode material in aqueous lithium and sodium electrolytic solutions*, Fourth Conference of Young Chemists of Serbia, 5 novembar 2016, p. 89

Д. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидаткиње Јелене Сенћански представљају оригиналан и значајан научни допринос проучавању литијум јонских батерија, у области поновног коришћења материјала истрошених батерија, и добијању из њих материјала за нове типове алкално јонских батерија са воденим електролитичким ратсворима. У том циљу пређен је пут од детаљне анализе хемијског састава батерија до примене истраживачких метода испитивања њихових енергетских карактеристика. Ова проблематика је данас врло актуелна с еколошког аспекта, условљеног експанзијом употребе литијум јонских батерија у свакодневном животу. Делови тезе су публиковани у виду два рада објављена у научним часописима

међународног значаја (један је из категорије M21a, а други из категорије M23) и три саопштења са међународних научних скупова.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију Јелене Сенћански, мастера физикохемичара, под насловом „**Рециклажа литијум јонских батерија са катодним материјалом $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$** “ и предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да прихвати и одобри њену јавну одбрану, чиме би били испуњени сви услови да кандидат стекне звање *доктор физичкохемијских наука*.

Комисија:

др Милица Вујковић, научни сарадник
Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду

др Ивана Стојковић Симатовић, доцент,
Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду.

др Славко Ментус, редовни професор у пензији,
Факултет за физичку хемију Универзитета у Београду
и редовни члан САНУ.

др Дивна Мајсторовић, научни сарадник,
Институт за општу и физичку хемију