

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Весне Д. Николић, магист. инж. заштите животне средине и заштите на раду за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/270 од 06.10.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Весне Д. Николић, магист. инж. заштите животне средине и заштите на раду за израду докторске дисертације и научне заснованости теме КАТАЛИТИЧКИ МАТЕРИЈАЛИ НА БАЗИ СИСТЕМА Ni-Pd/Al₂O₃.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Весна Д. Николић, магист. инж. заштите животне средине и заштите на раду, рођена је 23. 06. 1984. године у Ужицу. Основну школу „Слободан Секулић“ завршила је у Ужицу, а „Пету београдску гимназију“ у Београду. Школске 2003/2004 године уписала је студије на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. Студије је завршила 2008. године на смеру Инжењерство заштите животне средине, са просечном оценом 9,06. Дипломски - мастер рад под називом: „Методе управљања отпадом из процеса ливења обојених метала“ одбранила је са оценом 10,00. Школске 2008/09 године уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер Металуршко инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом на докторским студијама са просечном оценом 9,92. Одбранила је Завршни испит под називом „Рециклажа бакра и племенитих метала из отпадних штампаних плоча“ 2010. године, са оценом 10,00. У току основних студија била је стипендиста Фондације за развој научног и уметничког подмлатка, а од 2009. године стипендиста Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, за докторске студије. Запослена је у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета у Београду од 2010. године.

Од 2009. године Весна Д. Николић се бави експерименталним истраживањима у области Металуршког инжењерства, која се односе на добијање бакра и племенитих метала из електронског отпада и на развој процеса и технологије синтезе монолитних Ni/Al₂O₃ катализатора. Ангажована је на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Изабрана је у звање истраживач приправник 2011. године, а у звање истраживач сарадник 2013. године. У оквиру рада на пројектима, усавршавала је методе научно-истраживачког поступка и пријавила тему за израду докторске дисертације под називом „Каталитички материјали на бази система Ni-Pd/Al₂O₃“. Има објављене радове у часописима међународног значаја (категорије M22 и M23), саопштења са скупова

међународног значаја штампана у целини, рад у часопису националног значаја и коаутор је два техничка решења. Истраживања и остварени резултати су у складу са предложеном темом дисертације.

Завршила је Обуку за израду енергетских аудита у индустрији 2011. године, у организацији Иновационог центра Машинског факултета у Београду и Мреже за енергетску ефикасност у индустрији Србије. Стечена знања применила је током учешћа у изради техничког елабората под називом „Утврђивање топлотних губитака инфрацрвеном термографијом при термичкој обради алуминијума“ у оквиру међународног пројекта Е! 6735-ЕСПАЛ. Учествовала је у интерном мапирању иновационог потенцијала за потребе пројекта „Технолошко брокерство и мапирање иновационог потенцијала ТМФ-а и ИЦ ТМФ-а“. Похађала је радионице: "How to Write a World Class Paper" (2013), у организацији компаније ELSEVIER и "Креирање иновација: поглед у будућност ИКТ-а" (2013), у организацији Центра за трансфер технологије Универзитета у Београду и компаније Ериксон.

Обучена је за рад у програмским пакетима „Origin“, „SuperPro Designer“, „HSC Chemistry“, „FLIR Tools“, „Adobe Photoshop“ и „CorelDRAW“. Поседује активно знање енглеског језика и основно знање руског језика.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Весна Д. Николић је школске 2008/09 године уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Металуршко инжењерство. Успешно је положила све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,92 и оценом 10,00 на Завршном испиту са темом „Рециклажа бакра и племенитих метала из отпадних штампаних плоча“. Завршни испит је обухватио преглед литературе из наведене области, експериментална истраживања и приказ и анализу добијених резултата. Резултати ових истраживања представљају полазну основу за истраживања обухваћена у докторској дисертацији, пошто се метали добијени из електронског отпада могу користити као каталитички активне материје.

Положени испити на докторским студијама

Предмет	Оцена	ЕСПБ
Феномени преноса у инжењерству материјала	10	5
Физичка металургија	10	4
Одабрана поглавља математичке анализе	9	5
Структура и својства металних материјала	10	5
Металургија праха	10	4
Савремени процеси и материјали у ливарству	10	4
Инжењерство површина	10	4
Пећи и реактори у металургији	10	4
Материјали за високотемпературске намене	10	4
Очвршћавање метала	10	4
Виши курс металуршких процеса	10	4
Кинетика фазних трансформација	10	4
Завршни испит	10	30

Весна Д. Николић се од 2009. године бави експерименталним истраживањима из области Металуршког инжењерства, која се односе на добијање бакра и племенитих метала из електронског отпада и на развој процеса и технологије синтезе монолитних $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ катализатора.

Учесник је следећих пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

- пројекат технолошког развоја „Добијање наноструктурних прахова у циљу производње нових дисперзно ојачаних синтерованих материјала у систему $\text{Cu}-\text{Al}_2\text{O}_3$ “, ТР 19032, ангажована од 2008. до 2011. године;
- пројекат технолошког развоја „Иновативна синергија нус-продуката, минимизације отпада и чистије производње у металургији“, ТР 34033, ангажована од 2011. године (пројекат је у току);
- иновациони пројекат „Нови технолошки поступак предтретмана алкалне шљаке секундарне металургије олова“, 451-03-2372-ИП, тип 1/142, ангажована од 2012. до 2013. године.

Из досадашњег научно-истраживачког рада Весне Д. Николић, проистекли су следећи резултати, који се односе на област теме докторске дисертације:

1. Радови у истакнутим међународним часописима (M22)

1. **Nikolić V.**, Kamberović Ž., Anđić Z., Korać M., Sokić M., Maksimović V.: *Influences of synthesis methods and modifier addition on the properties of Ni-based catalysts supported on reticulated ceramic foams*, - International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, Vol 21, No 8, 2014, pp. 806-812. ISSN 1674-4799, IF 2012 = 0.483

2. Радови у међународним часописима (M23)

1. **Nikolić V.**, Kamberović Ž., Anđić Z., Korać M., Sokić M.: *Synthesis of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ based foams with improved properties as catalyst carriers*, - Materials and Technology, Vol 48, No 1, 2014, pp. 45-50. ISSN 1580-2949, IF 2012 = 0.571
2. Kamberović Ž., Sokić M., Matković V., Anđić Z., Korać M., **Nikolić V.**: *Effects of additives on nickel (II)-chloride hydrogen reduction for production of nanocomposite catalysts*, - Metallurgia International, Vol 17, No 5, 2012, pp. 37-41. ISSN 1582-2214, IF 2012 = 0.134

3. Саопштења са скупова међународног значаја штампана у целини (M33)

1. **Nikolić V.**, Kamberović Ž., Anđić Z., Korać M., Uljarević J.: *Ni and Ni-Pd catalysts supported on reticulated $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ based foam*, - Proceedings of the 46th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor 2014., pp.128-131. ISBN 978-86-6305-026-6
2. **Nikolić V.**, Kamberović Ž., Anđić Z., Korać M., Sokić M., Stojanović J.: *Synthesis of catalytic materials based on system $\text{Ni}/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ supported on monolith ceramic foams*, - Proceedings of the 1st Metallurgical and Materials Engineering Congress of South-east Europe, Beograd 2013., pp. 414-420. ISBN 987-86-87183-24-7
3. **Nikolić V.**, Kamberović Ž., Anđić Z., Korać M., Vujović A., Sokić M.: *Alumina based catalytically active components carriers with improved properties*, - Proceedings of the 44th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor 2012., pp. 395-400. ISBN 978-86-7827-042-0

4. Kamberović Ž., Korać M., Ivšić D., Nikolić V., Ranitović M.: *Process selection for hydrometallurgical WPCBs recycling*, - Proceedings of the 4th International Conference – Processing and Structure of Materials, Palić 2010., pp. 67-72. ISBN 978-86-87183-17-9

4. Радови у часописима националног значаја (M52)

1. Kamberović Ž., Korać M., Ivšić D., Nikolić V., Ranitović M.: *Hydrometallurgical process for extraction of metals from electronic waste - Part I: Material characterization and process option selection*, - Metalurgija-Journal of Metallurgy, Vol 15, No 4, 2009, pp. 231-245. ISBN 0354-6306

5. Битно побољшан постојећи производ или технологија (M84)

1. Камберовић Ж., Гавриловски М., Анђић З., Кораћ М., Николић В.: *Битно побољшан технолошки поступак синтезе монолитних пена на бази Al_2O_3 као носача каталитички активних компоненти и филтера за истопљене метале*, 2013, резултат пројекта МПНТР евиденциони бр. ТР 34033

6. Ново лабораторијско постројење (M83)

1. Камберовић Ж., Кораћ М., Анђић З., Николић В., Михајловић А.: *Пројектовање и израда лабораторијског постројења за добијање монолитних Ni/Al_2O_3 катализатора*, 2014, резултат пројекта МПНТР евиденциони бр. ТР 34033

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података и резултата досадашњих истраживања у области Металуршког инжењерства, која се односе на добијање бакра и племенитих метала из електронског отпада и на развој процеса и технологије синтезе монолитних Ni/Al_2O_3 катализатора, као и броја и квалитета објављених радова, Комисија оцењује да је Весна Д. Николић показала изузетну склоност и способност за научно-истраживачки рад и да испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

У данашње време, каталитички материјали на бази система метал/керамика налазе широку примену у индустријским процесима хетерогене катализе и заштитне животне средине. Катализатори на бази никла највише се користе у следећим процесима:

- суво реформирање метана, где се из гасова који доприносе ефекту стаклене баште – (CH_4 и CO_2) добија високоефикасан извор енергије – синтезни гас (мешавина H_2 и CO);
- реформирање угљоводоника воденом паром ради добијања H_2 за потребе хемијске индустрије и као високоефикасног извора енергије;
- синтеза угљеничних наноцеви из метана и др.

У овим процесима су се користили катализатори са племенитим металима као каталитички активним материјама. Научна истраживања новијег датума усмерена су на замену племенитих метала никлом, који због добрих каталитичких својстава, као и повољне цене, представља ефикасну алтернативу за племените метале у индустријским условима. Активност, стабилност и селективност катализатора на бази Ni знатно се могу побољшати додатком мале количине модификатора каталитичке активности, као што је Pd и други

метали. Код постојећих катализатора на бази система метал/керамика, субмикронске или наноструктурне честице метала подржане су на оксидним основама (носачима) високе специфичне површине. Носачи су најчешће прашови, керамичке кугле или керамички монолити у облику саћа. Предмет ове дисертације ће бити развој иновативног поступка синтезе монолитних Ni-Pd/Al₂O₃ катализатора подржаних на пенама на бази α -Al₂O₃, који ће служити за процес сувог реформирања метана.

Конвенционални термохемијски поступци синтезе катализатора су импрегнација, таложење, коталожење и др. Код импрегнације се врши потапање носача у раствор соли метала током 24 часа и на повишеној температури, нпр. на 353 K, уз енергично мешање. Таложење подразумева, потапање носача у раствор соли метала, при чему се уз мешање додаје средство за таложење (неутрализацију), као што је NaOH. Током методе коталожења, и оксидни носач и активна материја се синтетишу из мешаних раствора одговарајућих соли метала, где се уз енергично мешање пажљиво додаје средство за таложење (неутрализацију). За наведене поступке је заједничко да се након истека дефинисаног времена чврста фаза (талог) одваја од течне фазе филтрацијом. Код таложења и коталожења, добијени талог се вишеструко испира водом. Након испирања врши се сушење талоба, обично на 353 до 383 K током 10 до 12 часова. Када постоји потреба за вишеструким испирањем, талог се суши након сваког испирања. Осушени талог се затим жари на око 873 до 923 K, како би се добио прах мешаних оксида метала. Катализатори се преводе у активан облик редукцијом у струји водоника, најчешће на 923 K. У овом кораку, носач остаје у форми оксида, док оксиди активних материја прелазе у метални облик. Синтеза катализатора конвенционалним поступцима је дуготрајан процес. Вишеструко сушење талоба, жарење и високе температуре редукције изискују значајан утросак електричне енергије. У производњи Ni/Al₂O₃ катализатора, током корака жарења долази до формирања NiAl₂O₄ фазе, што је посебно је изражено код методе импрегнације и када се употребљава γ -Al₂O₃ носач. Коришћење α -Al₂O₃ носача минимизује могућност настанка NiAl₂O₄ током синтезе Ni/Al₂O₃ система импрегнацијом. Присуство већих количина NiAl₂O₄ у катализаторима је непожељно. Ова фаза је тешко редуцибилна, због чега је потребна висока температура да би се катализатор активирао. Због недовољне количине расположивих каталитички активних честица, NiAl₂O₄ утиче на снижење каталитичке активности. Субмикронске или наноструктурне честице катализатора или легура метала могу се синтетисати иновативним методама у којима се користе ултразвучно генерисани аеросоли растворених соли метала. На пример, директном редукцијом аеросола хлорида метала добијају се fine сферичне металне честице. Редукција се спроводи у струји водоника, а прашови метала се производе у једном кораку, без потребе за жарењем. У оквиру експерименталног рада обухваћеног овом дисертацијом, катализатори ће бити синтетисани импрегнацијом потпомогнутом ултразвучним распршивањем. Биће извршена анализа кинетике редукције две врсте прекурсора за никл и испитан утицај додатака на степен редукције одабраног прекурсора. Такође ће бити развијен поступак синтезе побољшаног каталитички активног слоја модификованог додацима и испитан утицај додатака на степен редукције активног слоја. Одабир бољег прекурсора за никл и одговарајућег додатка омогућиће изостављање корака жарења, а каталитички активан слој ће бити добијен редукцијом на веома ниским температурама.

Монолитне керамичке пене поседују низ предности у односу на друге форме носача активних материја. Оне поседују комбинацију високе специфичне површине, доброг преноса масе и температуре, као и умањеног пада притиска при протоку флуида. Последице, њихова употреба у катализи спречава прегревање катализатора на појединим местима и доприноси ефикасности индустријских каталитичких процеса. Пене на бази α -Al₂O₃ посебно су погодне као носачи активних материја, услед високе хемијске отпорности и добрих механичких особина. Једна од најзаступљенијих метода синтезе керамичких пена је техника репликације полимера. Она подразумева потапање полимерних пена у водену суспензију керамике, сушење и синтеровање. Након синтеровања се добија позитивна керамичка реплика

полимерне пене. Истраживања у оквиру ове дисертације обухватиће и оптимизацију поступка синтезе пена на бази $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ техником репликације полимера, а добијене пене ће служити као носачи каталитички активног слоја.

У завршној фази рада, биће извршено додатно испитивање експлоатационих својстава $\text{Ni-Pd/Al}_2\text{O}_3$ катализатора у процесу сувог реформирања метана.

2.2. Циљеви истраживања

Научни циљеви истраживања су:

- избор прекурсора за добијање Ni на основу анализе кинетике редукције NiO и NiCl_2 у струји водоника;
- испитивање утицаја додатака Pd , Cu и Fe на степен редукције NiCl_2 , у циљу избора додатка који најповољније утиче на повећање степена редукције NiCl_2 на ниским температурама;
- оптимизација процеса синтезе монолитних пена на бази $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, где је циљ скраћење технолошког поступка производње ових пена техником репликације полимера, уз уштеде енергије и побољшање механичких особина производа;
- развој поступка синтезе катализатора импрегнацијом потпомогнутом ултразвучним распршивањем, при чему ће бити синтетисани $\text{Ni/Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Ni-M/Al}_2\text{O}_3$ катализатори ($\text{M} = \text{Pd}$, Cu или Fe), а активне материје ће бити добијене из оксидних и хлоридних прекурсора;
- оптимизација поступка синтезе катализатора: избор прекурсора за активне материје, изостављање корака жарења, избор додатка (модификатора) који најповољније утиче на степен нискотемпературне редукције прекурсора и додатне уштеде енергије коришћењем ниже температуре редукције;
- испитивање експлоатационих особина $\text{Ni-Pd/Al}_2\text{O}_3$ катализатора у процесу сувог реформирања метана.

2.3. Релевантни библиографски извори

1. Akande A. J., Idem R. O., Dalai A. K.: *Synthesis, characterization and performance evaluation of $\text{Ni/Al}_2\text{O}_3$ catalysts for reforming of crude ethanol for hydrogen production*, - Applied Catalysis A: General, Vol 287, No 2, 2005, pp. 159-175.
2. Watanabe M., Yamashita H., Chen X., Yamanaka J., Kotobuki M., Suzuki H., Uchida H.: *Nano-sized Ni particles on hollow alumina ball: Catalysts for hydrogen production*, - Applied Catalysis B: Environmental, Vol 71, No 3-4, 2007, pp. 237-245.
3. Profeti L. P. R., Dias J. A. C., Assaf J. M., Assaf E. M.: *Hydrogen production by steam reforming of ethanol over Ni-based catalysts promoted with noble metals*, - Journal of Power Sources, Vol 190, No 2, 2009, pp. 525-533.
4. Yoshida K., Okumura K., Miyao T., Naito S., Ito S., Kunimori K., Tomishige K.: *Oxidative steam reforming of methane over $\text{Ni}/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ modified with trace Pd*, - Applied Catalysis A: General, Vol 351, No 2, 2008, pp. 217-225.

5. Faure R., Rossignol F., Chartier T., Bonhomme C., Maître A., Etchegoyen G., Del Gallo P., Gary D.: *Alumina foam catalyst supports for industrial steam reforming processes*, - Journal of the European Ceramic Society, Vol 31, No 3, 2011, pp. 303-312.
6. Grosse J., Dietrich B., Incera Garrido G., Habisreuther P., Zarzalis N., Martin H., Kind M., Kraushaar-Czarnetzki B.: *Morphological Characterization of Ceramic Sponges for Applications in Chemical Engineering*, - Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol 48, No 23, 2009, pp. 10395-10401.
7. Twigg M. V., Richardson J. T.: *Theory and Applications of Ceramic Foam Catalysts*, - Chemical Engineering Research and Design, Vol 80, No 2, 2002, pp. 183-189.
8. Ribeiro F., Silva J. M., Silva E., Fatima Vaz M., Oliveira F. A. C.: *Catalytic combustion of toluene on Pt zeolite coated cordierite foams*, - Catalysis Today, Vol 176, No 1, 2011, pp. 93-96.
9. Barroso-Quiroga M. M., Castro-Luna A. E.: *Catalytic activity and effect of modifiers on Ni-based catalysts for the dry reforming of methane*, - International Journal of Hydrogen Energy, Vol 35, No 11, 2010, pp. 6052-6056.
10. An L., Dong C., Yang Y., Zhang J., He L.: *The influence of Ni loading on coke formation in steam reforming of acetic acid*, - Renewable Energy, Vol. 36, No 3, 2011, pp. 930-935.
11. Pompeo F., Gazzoli D., Nichio N. N.: *Stability improvements of Ni/ α -Al₂O₃ catalysts to obtain hydrogen from methane reforming*, - International Journal of Hydrogen Energy, Vol 34, No 5, 2009, pp. 2260-2268.
12. Juan-Juan J., Roman-Martinez M. C., Illan-Gomez M. J.: *Nickel catalyst activation in the carbon dioxide reforming of methane: Effect of pretreatments*, - Applied Catalysis A: General, Vol 355, No 1-2, 2009, pp. 27-32.
13. Gayan P., de Diego L. F., Garcia-Labiano F., Adanez J., Abad A., Dueso C.: *Effect of support on reactivity and selectivity of Ni-based oxygen carriers for chemical-looping combustion*, - Fuel, Vol 87, No 12, 2008, pp. 2641-2650.
14. Gómez-Cuaspud J. A., Schmal M.: *Effect of metal oxides concentration over supported cordierite monoliths on the partial oxidation of ethanol*, - Applied Catalysis B: Environmental, Vol 148-149, 2014, pp. 1-10.
15. Ciambelli P., Palma V., Palo E.: *Comparison of ceramic honeycomb monolith and foam as Ni catalyst carrier for methane autothermal reforming*, - Catalysis Today, Vol 155, No 1-2, 2010, pp. 92-100.
16. Banús E. D., Milt V. G., Miró E. E., Ulla M. A.: *Structured catalyst for the catalytic combustion of soot: Co,Ba,K/ZrO₂ supported on Al₂O₃ foam*, - Applied Catalysis A: General, Vol 362, No 1-2, 2009, pp. 129-138.
17. Wei X., Hug P., Figi R., Trottman M., Weidenkaff A., Ferri D.: *Catalytic combustion of methane on nano-structured perovskite-type oxides fabricated by ultrasonic spray combustion*, - Applied Catalysis B: Environmental, Vol 94, No 1-2, 2010, pp. 27-37.
18. Gurmen S., Ebin B., Stopić S., *Nanocrystalline spherical iron-nickel (Fe-Ni) alloy particles prepared by ultrasonic spray pyrolysis and hydrogen reduction (USP-HR)*, - Journal of Alloys and Compounds, Vol 480, No 2, 2009, pp. 529-533.
19. Bogović J., Stopić S., Friedrich B.: *Synthesis of Nanosized Oxide Particles by Ultrasonic Spray Pyrolysis*, Proceedings of the 4th International Conference – Processing and Structure of Materials, Palić 2010., pp. 111-116.

20. Stopić S., Friedrich B., Gurmen S.: *Synthesis of particles of Ni- and Co- powders by ultrasonic spray of NiCl₂ and Co(NO₃)₂ and hydrogen reduction pyrolysis*, Proceedings of the European Metallurgical Conference, Dresden 2005., Vol 2, pp. 889-902.

3. Полазне хипотезе

Предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе од хипотезе да је током синтезе монолитних катализатора могуће постићи значајне уштеде енергије и поједностављења у технолошком поступку. При томе се полази од следећих претпоставки:

- керамички материјали, а посебно α -Al₂O₃, синтерују се на високим температурама; температура синтеровања монолитних пена на бази α -Al₂O₃ се може знатно снизити, уз скраћење поступка синтезе и побољшање механичких својстава ових пена;
- никл, као основна каталитички активна материја, може бити синтетисан коришћењем хлоридног уместо оксидног прекурсора;
- додатком мале количине племенитих или других метала (модификатора) може се повећати степен редукције прекурсора за Ni у струји водоника на ниским температурама;
- каталитички активан слој са релативно равномерно распоређеним честицама може се нанети на површину пена на бази α -Al₂O₃ импрегнацијом потпомогнутом ултразвучним распршивањем;
- у поступку синтезе катализатора, поред значајног снижења температуре редукције прекурсора за активан слој, могуће је елиминисати корак жарења.

4. Научне методе истраживања

Степени редукције NiO и NiCl₂ водоником, као и утицај додатака на степен редукције NiCl₂ биће одређени на основу промене масе узорака пре и после редукције. За анализу кинетике редукције NiO и NiCl₂, експериментални резултати редукције биће обрађени применом кинетичких модела који се најчешће користе за реакције у чврстом стању.

У фази оптимизације поступка производње пена на бази α -Al₂O₃, најпре ће бити испитана микроструктура полазних прахова за припрему водених суспензија керамике скенирајућом електронском микроскопијом (СЕМ). Затим ће се испитивати вискозност водених суспензија керамике Оствалдовим вискозиметром. За карактеризацију полимерних пена (димензије пора и грана) и зелених тела (димензије пора и грана, удео видљиве порозности) користиће се стерео микроскопија и квантификација визуелних информација. Карактеризација синтерованих пена ће обухватити: степен линеарног скупљања, удео запреминске порозности, механичка својства и морфологију пресека грана пена. Испитивање механичких својстава обухватиће одређивање вредности притисне чврстоће на основу вредности оптерећења (силе) у тренутку пуцања цилиндричних узорака и површине базе узорака. За утврђивање промена морфологије на пресецима грана синтерованих пена, користиће се СЕМ анализа.

Катализатори ће бити синтетисани коришћењем оксидних и хлоридних прекурсора за каталитички активан слој. У фази синтезе катализатора, микроструктура међупроизвода и редуктованих узорака ће бити испитана СЕМ методом. Утврђивање фазног састава катализатора после редукције вршиће се методом рендгенско-дифрактометријске анализе

(XRD). Степени редукције прекурсора за каталитички активан слој, без додатака и са додацима, биће утврђени на основу промене масе узорка пре и после редукције.

Употребна својства Ni-Pd/Al₂O₃ катализатора биће испитана у процесу сувог реформирања метана, анализом концентрације CO и H₂ у струји излазних гасова.

5. Очекивани научни допринос

По завршетку предложених истраживања може се очекивати следећи научни допринос:

- скраћење поступка синтезе монолитних пена на бази α -Al₂O₃ методом репликације полимера, уз значајно снижење температуре синтеровања и побољшање механичких особина ових пена;
- развој иновативног поступка синтезе катализатора у коме се елиминише корак жарења;
- развој унапређеног каталитички активног Ni-Pd слоја, који се може редуковати водоником на веома ниским температурама;
- могућност значајних уштеда енергије током целог поступка синтезе катализатора.

6. План истраживања и структура рада

Предвиђа се да ће предложена докторска дисертација бити организована по следећим поглављима: *Увод, Теоријски део, Преглед литературних резултата, Експериментали део, Анализа резултата и дискусија, Закључак, Литература.*

У поглављу *Увод* биће приказан кратак осврт на подручје испитивања, дефинисани главни циљеви дисертације и предмет истраживања.

У *Теоријском делу* биће обухваћени принципи на којима се базира катализа.

Поглавље *Преглед литературних резултата* обухватиће анализу досадашњих праваца и резултата истраживања, при чему ће бити представљени:

- катализатори који се користе у области хетерогене катализе;
- примена катализатора на бази Ni, са нагласком на систему Ni/Al₂O₃;
- механизми деактивације катализатора на бази Ni;
- стање истраживања у области синтезе катализатора на бази Ni конвенционалним и неконвенционалним поступцима, као и осврт на експлоатациона својства ових катализатора;
- монолитне керамичке пене синтетисане техником репликације полимера.

У *Експерименталном делу* биће наведене методе коришћене у експерименталном раду:

- материјали и хемикалије коришћене у раду;
- опис апаратуре коришћене у свакој фази истраживања;

- испитивање кинетике редукције NiO и NiCl₂ водоником;
- испитивање утицаја додатака Pd, Cu и Fe на степен редукције NiCl₂ на ниским температурама процеса;
- испитивање утицаја параметара процеса синтезе на својства пена на бази α -Al₂O₃, које ће представљати монолитне носаче каталитички активних материја;
- развој иновативног поступка синтезе катализатора импрегнацијом потпомогнутом ултразвучним распршивањем, синтезу монолитних Ni/Al₂O₃ и Ni-M/Al₂O₃ катализатора (M = Pd, Cu или Fe) уз добијање активних материја из оксидних и хлоридних прекурсора;
- избор врсте прекурсора за активне материје која омогућава елиминацију корака жарења, избор додатка (M) који најповољније утиче на повећање степена нискотемпературне редукције прекурсора и додатно снижење температуре редукције;
- испитивање могућности примене Ni-Pd/Al₂O₃ катализатора у процесу сувог реформирања метана;
- методе карактеризације.

У поглављу *Анализа резултата и дискусија* биће приказани и дискутовани следећи резултати:

- експериментални резултати одређивања кинетике редукције NiO и NiCl₂ водоником и примена различитих кинетичких модела доступних у литератури;
- испитивање утицаја додатка Pd, Cu и Fe на степен нискотемпературне редукције NiCl₂;
- испитивање утицаја додатка топитеља, порозности полимерне пене и температуре синтеровања на својства монолитних пена на бази α -Al₂O₃, уз одређивање оптималних параметара процеса;
- испитивање својстава Ni/Al₂O₃ и Ni-M/Al₂O₃ катализатора (M = Pd, Cu или Fe), који ће бити добијени коришћењем оксидних и хлоридних прекурсора за активне материје;
- избор оптималног прекурсора за активне материје и додатка (M) који има најповољнији утицај на степен редукције прекурсора, уз одређивање оптималних параметара процеса синтезе катализатора;
- испитивање експлоатационих особина Ni-Pd/Al₂O₃ катализатора у процесу сувог реформирања метана.

У поглављу *Закључак* биће приказани најважнији закључци до којих је кандидат дошао у току израде ове докторске дисертације.

У делу *Литература* биће дати литературни наводи цитирани у дисертацији.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације „Каталитички материјали на бази система Ni-Pd/Al₂O₃“ научно заснована и да кандидат Весна Д. Николић, маг. инж. заштите животне средине и заштите на раду испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати наведену тему и одобри израду ове дисертације.

Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Металуршко инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Стога се за ментора предлаже др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду (научна област Металуршко инжењерство).

У Београду, 06.11.2014.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Жељко Камберовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Мирјана Филиповић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Мирослав Сокић,
Виши научни сарадник, Институт за технологију нуклеарних
и других минералних сировина у Београду

.....
др Зоран Анђић,
Виши научни сарадник Универзитета у Београду,
Иновациони центар Хемијског факултета

.....
др Марија Кораћ,
Виши научни сарадник Универзитета у Београду,
Технолошко-металуршки факултет