

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/22

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

11. 2. 2026.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**Интензификација процеса ензимске производње пребиотских олигосахарида из
сунцокретовете сачме**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Александра (Александар) Томић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Хемијско инжењерство, Мастер инжењер технологије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2021.

4. Година уписа на докторске студије: 2021.
-

5. Назив студијског програма
докторских студија: Хемијско инжењерство
-

6. Датум подношења пријаве
теме докторске дисертације: 25. 12. 2025.
-

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Александра Томић**

Име и презиме ментора: **др Никола Никачевић**

Звање: редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Pravilović R., Todić B., Simović M., Veljković M., Bezbradica D., **Nikačević N.**: "Continuous synthesis of prebiotics in a helical oscillatory baffled reactor", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 154 (2026) 264–275. ISSN:1876-794X IF(2024)=6,0 DOI: 10.1016/j.jiec.2025.06.046
2. Losada-Garcia, N., Simović M., Ćorović M., Milivojević A., **Nikačević N.** Mateo C., Bezbradica D., Palomo, J.M.: "Developing and improving enzyme-driven technologies to synthesise emerging prebiotics", Green Chemistry, 27(29) (2025), 8777-8803, IF(2024)=9,2 ISSN:1463-9262, DOI: 10.1039/D5GC01723H
3. Todić B., Pravilović R., **Nikačević N.**: "Design and simulations of a helical oscillatory baffled reactor for biochemical reactions", Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 203 (2024), 109895, IF(2022)=4,2 ISSN:0255-2701, DOI: 10.1016/j.cep.2024.109895
4. Tomić, A., Pomeroy, B., Todić, B., Likožar, B., **Nikačević, N.**: „Catalytic hydrogenation reaction micro-kinetic model for dibenzyltoluene as liquid organic hydrogen carrier“, Applied Energy, 365, (2024), 123262, IF(2024)=11,00, ISSN:0306-2619, DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123262
5. Pravilović R., Janković T., Veljković M., Todić B., Simović M., Bezbradica D., **Nikačević N.**: "Micro-kinetic model of fructo-oligosaccharide synthesis for prebiotic products", AIChE Journal, 69(9) (2023), e18122, IF(2023)=3,5 ISSN 0001-1541, DOI: 10.1002/aic.18122

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 5. 2. 2026. године размотрило предложену тему и закључило да је

тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од
значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

- Прилог 1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

**Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и
у једном писаном примерку за архиву Универзитета**

ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 5. 2. 2026. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и одређивању ментора

Прихвата се Извештај Комисије о научној заснованости теме за израду докторске дисертације кандидата **Александра Томић**, број индекса 2021/4030, под називом: **„Интензификација процеса ензимске производње пребиотских олигосахарида из сунцокретовете сачме”**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За ментора се одређује др Никола Никачевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Александре Томић, мастер инжењера технологије.

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/504 од 25. децембра 2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Александре Томић, мастер инжењера технологије за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Интензификација процеса ензимске производње пребиотских олигосахарида из сунцокретовете сачме“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Александра А. Томић, мастер инжењер технологије, рођена је 11. децембра 1997. године у Београду, где је завршила основну и средњу школу (Трећа београдска гимназија, природно-математички смер). Основне академске студије уписала је 2016/2017. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Дипломирала је 2020. године на студијском програму Хемијско инжењерство са просечном оценом 8,73, одбравивши завршни рад на тему „Испитивање утицаја геометријске конфигурације на струјање у реактору са осцилаторним током флуида“ са оценом 10, под менторством проф. др Николе Никачевића. Мастер академске студије уписала је 2020/2021. године на Технолошко-металуршком факултету, а почетком 2021. године добија стипендију у оквиру Erasmus+ КА 131 програма мобилности и проводи четири месеца у Лабораторији за реакционо инжењерство и катализу Националног хемијског института у Љубљани (National Institute of Chemistry). Мастер академске студије завршила је у септембру 2021. године са просечном оценом 9,63, одбравивши завршни мастер рад на тему „Испитивање кинетике катализоване реакције хидрогенизације дибензилтолуена“ са оценом 10, под менторством проф. др Николе Никачевића. Школске 2021/2022. године уписала је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету, на студијском програму Хемијско инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом студијског програма са просечном оценом 10, укључујући и завршни испит. Од маја 2022. године до септембра 2024. године била је стипендиста Министарства науке, иновација и технолошког развоја и као студент докторских академских студија укључена је у рад Технолошко-металуршког факултета. У звање истраживач-приправник изабрана је одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/151 од 29. јуна 2023. године. Од 1. септембра 2024. године запослена је на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, као истраживач-приправник. Током 2023. године, била је у тронедељној истраживачкој посети Националном техничком универзитету у Атини (National Technical University of Athens) кроз Erasmus+ КА 131 програм мобилности. Од 2021. године ангажована је у извођењу рачунских вежби из предмета Моделовање и симулација процеса и Основи аутоматског управљања, а учествовала је у реализацији више завршних и мастер радова. У свом раду користи се основним и напредним софтверским пакетима, као што су Matlab, Python, Star CCM+ и gPROMS. Била је члан организационог одбора међународне конференције „Biobased Future2025“ одржане од 16. до 18. јуна 2025. у Београду, у оквиру пројекта „Twinning for intensified

enzymatic processes for production of prebiotic-containing functional food and bioactive cosmetics“ (TwinPrebioEnz), Horizon Europe 2021-2027. Течно говори енглески језик и служи се немачким језиком.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Александра А. Томић, мастер инжењер технологије је школске 2021/2022. уписала докторске академске студије на Технолошко–металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Хемијско инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских академских студија са просечном оценом 10 и одбранила завршни испит под насловом „Ензимска производња ксило-олигосахарида из сунцокретевог сачме: моделовање и интензификација“. Током докторских студија била је ангажована у својству спољног сарадника на истраживањима у оквиру пројекта „Twinning for intensified enzymatic processes for production of prebiotic-containing functional food and bioactive cosmetics“ (TwinPrebioEnz), Horizon Europe 2021-2027, као и на научном пројекту Технолошко-металуршког факултета у оквиру институционалног финансирања од стране Министарства науке, иновација и технолошког развоја. У оквиру рада на овим пројектима проистекао је предлог теме докторске дисертације. Списак положених испита са оценама и бодовима приказан је у следећој табели:

Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
Одабрана поглавља математичке анализе	10	5
Хемијска кинетика	10	5
Виши курс термодинамике	10	5
Пренос топлоте и енергетска интеграција	10	5
Принципи интензификације процеса	10	5
Зелена хемија	10	5
Пројектовање вишефазних хемијских реактора	10	6
Имобилисани биокатализатори: технике имобилизације, биореактори и примена	10	6
Биохемијска кинетика	10	5
Аналогије феномена преноса	10	5
Завршни испит	10	30
Просечна оцена	10,00	
Збир ЕСПБ	82	

Списак објављених научних радова и саопштења повезаних са предложеном темом:

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

1. Tomić, A., Veljković, M., Banjanac, K., Bezbradica, D., Nikačević, N., „*Integrated extraction and enzymatic hydrolysis for emerging prebiotic production from agro-industrial waste*“, BioBased Future 2025, June 16-18, 2025, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts, 40-41. (ISBN: 978-86-7401-396-0)
2. Tomić, A., Veljković, M., Banjanac, K., Bezbradica, D., Nikačević, N., „*Emerging prebiotics synthesis from food industry by-products in integrated enzymatic extraction-reaction process*“, 9th European Process Intensification Conference (EPIC-9), June 4-6, 2025, Athens, Greece, Book of Abstracts, OP88
3. Tomić, A., Pravilović, R., Đorđević, V., Banjanac, K., Todić, B., Bezbradica, D., Nikačević, N., „*Periodically constricted oscillatory flow reactor design for enzymatic production of emerging prebiotics from sunflower meal*“, 11th International Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists, December 9-11, 2025, Zagreb, Croatia, Book of Abstracts, 80 (ISSN: 2975-710X)

Списак објављених научних радова и саопштења (нису везани за тему доктората):

Рад у међународном часопису од изузетних вредности (M21a):

1. Tomić, A., Pomeroy, B., Todić, B., Likozar, B., Nikačević, N., „Catalytic hydrogenation reaction micro-kinetic model for dibenzyltoluene as liquid organic hydrogen carrier“, Applied Energy, 365, 2024, pp. 123262, IF(2024)=11,00 ; ISSN: 0306-2619; DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123262

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

1. Tomić, A., Pomeroy, B., Todić, B., Likozar, B., Nikačević, N., „Catalytic hydrogenation of DBT-based mixture as a Liquid Organic Hydrogen Carrier“, 14th European Congress of Chemical Engineering and 7th European Congress of Applied Biotechnology (ECCE 14 & ECAB 7), September 17-21, 2023, Berlin, Germany, Book of Abstracts, 601-602.

1.3. Оцена оспособљености кандидата за рад на предложеној теми

Увидом у досадашњи научноистраживачки рад и постигнуте резултате током докторских студија, Комисија је утврдила да је Александра Томић, мастер инжењер технологије, показала изузетну склоност ка бављењу научноистраживачким радом, која се огледа у следећем: способности опсежне и критичке анализе литературе; способности у планирању и спровођењу експеримената; систематизацији и дискусији добијених резултата; разумевању феномена и математичком моделовању система, презентовању резултата на међународним конференцијама, и писању научних радова. У области истраживања предложене теме до сада има 3 саопштења на међународним конференцијама (M34). На основу наведеног, Комисија сматра да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Експанзија пољопривредне делатности у савременом друштву за последицу доноси настанак значајних количина отпадног лигноцелулозног материјала, који се сматра сировином ниске вредности [1,2]. Истраживачки напори усмерени су ка проналажењу еколошки одрживих метода за валоризацију лигноцелулозног отпада, а са циљем генерисања производа високог квалитета, попут биогорива, биоматеријала и прехранбених адитива [3-5]. Пребиотици представљају значајну врсту прехранбених адитива, чија се улога огледа у промовисању раста корисних микроорганизама присутних у цревном тракту, што позитивно утиче на одржавање здравља домаћина [5]. Као нова класа несварљивих олигосахарида са израженим пребиотским својствима издвајају се ксило-олигосахариди (енг. xylooligosaccharides - XOS) који се могу добити хидролизом ксилана присутног у отпадном лигноцелулозном материјалу, а што представља предмет бројних истраживања [6-12].

Основни изазов валоризације отпадне лигноцелулозе огледа се у њеној комплексној структури отпорној на разградњу, услед чега је често неопходно извршити предtretман материјала, зарад побољшања доступности ксилана [1,13]. Традиционални приступ добијања ксило-олигосахарида представљају поступци киселинске хидролизе и аутохидролизе (хидролиза помоћу воде на повишеним температурама). Међутим, неки од недостатака ових поступака огледају се у употреби хемикалија штетних за животну средину, екстремним процесним условима и настанку токсичних нуспроизвода [1,7,13-15]. Актуелна истраживања усмерена су на испитивање потенцијала ензимске хидролизе, којом је могуће постићи производ високог квалитета у поступку који не штети животној средини. Ипак, ефикасност ензимске хидролизе често зависи од спроведених поступака предtretмана, док постигнути приноси могу бити релативно ниски, а сами процеси временски захтевни [16,17].

Упркос уоченом потенцијалу, процеси производње пребиотика из лигноцелулозног материјала још увек су недовољно развијени. Услед сложеног понашања суспензија лигноцелулозних материјала, њихово прерађивање најчешће се изводи у неефикасним шаржним реакторима са механичким мешањем. Поред тога, приликом третирања оваквих суспензија јавља се проблем ефикасне сепарације заосталог чврстог материјала и течне фазе богате производима хидролизе [18-20]. Наведени проблеми отварају могућност унапређења процеса производње пребиотика употребом иновативних реакторских решења којима би се обезбедила већа ефикасност фазне сепарације, као и (полу)континуални режим рада. Овакав приступ интензификацији процеса ензимске синтезе пребиотика могуће је остварити употребом 3Д штампе, за лако и ефикасно дизајнирање реакторских прототипа [21,22].

Циљ планираног истраживања у оквиру ове тезе обухвата развој и интензификацију поступка производње пребиотика на бази ксило-олигосахарида из отпадне сачме сунцокрета помоћу иновативних реакторских решења, уз моделовање и оптимизацију процесних услова. Полазни корак

представљаће лабораторијска студија са циљем одабира адекватног ензимског поступка за ефикасну валоризацију сунцокрете сачме, уз избор повољних услова за одвијање ензимске реакције. Затим ће бити предложена конструкцијска решења за реакторе који би обезбедили могућност (полу)континуалног процесуирања отпадног материјала, са посебним акцентом на ефикасно раздвајање фаза у циљу накнадног пречишћавања производа ензимске хидролизе. Предложени специјализовани реактори биће наменски дизајнирани и реализовани уз помоћ 3Д штампе, чиме ће бити остварено даље унапређење иновативног приступа интензификације процеса производње пребиотика постављене за синтезу галакто-олигосахарида [21,22]. Потом ће на основу експерименталног поређења бити одабран реакторски систем најбољих перформанси, за који ће бити постављен математички модел.

Валидација модела биће извршена на основу експеримената изведених у 3Д штампаном реакторском прототипу, након чега ће бити извршена оптимизација процесних услова, употребом модела. Последњи корак је мембранска сепарација фракција добијеног хидролизата у циљу издвајања производа велике пребиотске активности и чистоће. При том размотриће се могућност интеграција полуконтинуалног процеса хидролизе (у реактору) и мембранске сепарације. Предложена методологија омогућава испитивање и продукцију реакторских прототипа сложене геометрије на ефикасан и приступачан начин, што представља значајну предност при интензификацији процеса у којима се користе комплексне суспензије природних лигноцелулозних материјала.

Списак литературе:

- [1] Z. Gao, K. Alshehri, Y. Li, H. Qian, D. Sapsford, P. Cleall, M. Harbottle, *Advances in biological techniques for sustainable lignocellulosic waste utilization in biogas production*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 170 (2022) 112995. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112995>.
- [2] N. Dahmen, I. Lewandowski, S. Zibek, A. Weidtmann, *Integrated lignocellulosic value chains in a growing bioeconomy: Status quo and perspectives*, *GCB Bioenergy*. 11 (2019) 107–117. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12586>.
- [3] B. Koul, M. Yakoob, M.P. Shah, *Agricultural waste management strategies for environmental sustainability*, *Environmental Research*. 206 (2022) 112285. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285>.
- [4] M. Mujtaba, L. Fernandes Fraceto, M. Fazeli, S. Mukherjee, S.M. Savassa, G. Araujo de Medeiros, A. do Espírito Santo Pereira, S.D. Mancini, J. Lipponen, F. Vilaplana, *Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics*, *Journal of Cleaner Production*. 402 (2023) 136815. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>.
- [5] D.A. Gonçalves, A. González, D. Roupas, J.A. Teixeira, C. Nobre, *How prebiotics have been produced from agro-industrial waste: An overview of the enzymatic technologies applied and the models used to validate their health claims*, *Trends in Food Science & Technology*. 135 (2023) 74–92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.016>.
- [6] V. Kumar, A. Bahuguna, S. Ramalingam, M. Kim, *Developing a sustainable bioprocess for the cleaner production of xylooligosaccharides: An approach towards lignocellulosic waste management*, *Journal of Cleaner Production*. 316 (2021) 128332. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128332>.
- [7] C. Amorim, S.C. Silvério, K.L.J. Prather, L.R. Rodrigues, *From lignocellulosic residues to market: Production and commercial potential of xylooligosaccharides*, *Biotechnology Advances*. 37 (2019) 107397. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.05.003>.
- [8] C. de Freitas, E. Carmona, M. Brienzo, *Xylooligosaccharides production process from lignocellulosic biomass and bioactive effects*, *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 18 (2019) 100184. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100184>.
- [9] P. Poletto, G.N. Pereira, C.R.M. Monteiro, M.A.F. Pereira, S.E. Bordignon, D. de Oliveira, *Xylooligosaccharides: Transforming the lignocellulosic biomasses into valuable 5-carbon sugar prebiotics*, *Process Biochemistry*. 91 (2020) 352–363. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.01.005>.
- [10] Y. Lin, Y. Dong, X. Li, J. Cai, L. Cai, G. Zhang, *Enzymatic production of xylooligosaccharide from lignocellulosic and marine biomass: A review of current progress, challenges, and its applications in food sectors*, *International Journal of Biological Macromolecules* 277 (2024) 134014. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134014>.
- [11] K. Ali, N. Niaz, M. Waseem, W. Ashraf, M. Hussain, M.U. Khalid, A.B. Tahir, A. Raza, I.M. Khan, *Xylooligosaccharides: A comprehensive review of production, purification, characterization, and quantification*, *Food Research International* 201 (2025) 115631. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115631>.

- [12] M. Simović, K. Banjanac, M. Veljković, V. Nikolić, P. López-Revenge, A. Montilla, F.J. Moreno, D. Bezbradica, Sunflower Meal Valorization through Enzyme-Aided Fractionation and the Production of Emerging Prebiotics, *Foods* 13 (2024) 2506. <https://doi.org/10.3390/foods13162506>.
- [13] A. Palaniappan, U. Antony, M.N. Emmambux, Current status of xylooligosaccharides: Production, characterization, health benefits and food application, *Trends in Food Science & Technology*. 111 (2021) 506–519. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.047>.
- [14] A. Moure, P. Gullón, H. Domínguez, J.C. Parajó, Advances in the manufacture, purification and applications of xylo-oligosaccharides as food additives and nutraceuticals, *Process Biochemistry*. 41 (2006) 1913–1923. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.05.011>.
- [15] A.A. Achary, S.G. Prapulla, Xylooligosaccharides (XOS) as an Emerging Prebiotic: Microbial Synthesis, Utilization, Structural Characterization, Bioactive Properties, and Applications, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 10 (2011) 2–16. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00135.x>.
- [16] M.J. Vázquez, J.L. Alonso, H. Domínguez, J.C. Parajó, Xylooligosaccharides: manufacture and applications, *Trends in Food Science & Technology*. 11 (2000) 387–393. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00031-0).
- [17] A.F.A. Carvalho, P. de O. Neto, D.F. da Silva, G.M. Pastore, Xylo-oligosaccharides from lignocellulosic materials: Chemical structure, health benefits and production by chemical and enzymatic hydrolysis, *Food Research International*. 51 (2013) 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.021>.
- [18] M.S. Pino, R.M. Rodríguez-Jasso, M. Michelin, A.C. Flores-Gallegos, R. Morales-Rodriguez, J.A. Teixeira, H.A. Ruiz, Bioreactor design for enzymatic hydrolysis of biomass under the biorefinery concept, *Chemical Engineering Journal* 347 (2018) 119–136. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.057>.
- [19] P. Wongsirichot, Development and future potential of Computation Fluid Dynamics for improved biomass hydrolysis, *Chemical Engineering Journal* 482 (2024) 149032. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.149032>.
- [20] A.E.K. Afedzi, K. Rattanaporn, P. Parakulsuksatid, Impeller selection for mixing high-solids lignocellulosic biomass in stirred tank bioreactor for ethanol production, *Bioresource Technology Reports* 17 (2022) 100935. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100935>.
- [21] R. Pravilović, B. Todić, M. Simović, M. Veljković, D. Bezbradica, N. Nikačević, Continuous synthesis of prebiotics in a helical oscillatory baffled reactor, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 154 (2026) 264–275. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2025.06.046>.
- [22] B. Todić, R. Pravilović, N. Nikačević, Design and simulations of a helical oscillatory baffled reactor for biochemical reactions, *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* 203 (2024) 109895. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109895>.

3. Полазне хипотезе

Значајно интересовање за нове врсте пребиотика са побољшаним благотворним ефектима на људско здравље резултовало је бројним истраживањима у области њихове производње из агроиндустријског отпада. Међутим, еколошки прихватљиви поступци који се изводе при умереним процесним условима уз употребу комерцијалних ензима и даље нису у довољној мери испитани и заступљени у литератури. Прва хипотеза овог овог истраживања је да је могуће добити пребиотике на бази ксило-олигосахарида из агроиндустријског отпада сунцокрета помоћу комерцијалних ензимских препарата при умереним условима.

Традиционално се прерада отпадног лигноцелулозног материјала врши у шаржним реакторима са механичким мешањем. Друга хипотеза јесте да се интензификација ензимског процеса добијања пребиотика из сунцокрете сачме може постићи у иновативним реакторским конфигурацијама, које би могле обезбедити адекватно мешање при ниским смицајним напонима као и једноставније раздвајање чврсте и течне фазе. Конкретно, претпоставља се да се интензификација ензимског процеса производње пребиотика може постићи применом иновативног реактора са периодичним сужењима и осцилаторним током, као и применом специјално дизајнираног реактора са механичким мешањем и механичким сепаратором за раздвајање фаза. Наведени реактори пружили би могућност (полу)континуалног рада уз побољшано раздвајање фаза, што представља значајан напредак са становишта даље сепарације добијених пребиотика. Претпоставља се да би иновативни реакторски системи могли бити примењени за процесуирање сложених суспензија природних материјала различитих реолошких карактеристика, а чије се честице одликују широком расподелом облика и

величина, као и варијабилношћу састава. Ово би омогућило да се исти реакторски систем примени за цео процес фракционисања отпадног лигноцелулозног материјала (концепт биорафинерије).

Трећа хипотеза је да се хидролизат добијен у новим реакторским системима могу ефикасно раздвојити у фракције ксило-олигосахарида различитог степена полимеризације, употребом ултра- и нано-филтрационих модула, а у циљу добијања финалног производа високе чистоће и пребиотске активности.

Четврта хипотеза је да се наведени процес може математички описати адекватним макроскопским моделом, чијом ће поставком бити могуће извршити предвиђање понашања система под различитим радним условима, као и оптимизацију процесних параметара. Пета хипотеза сматра да се употребом математичког моделовања, оптимизације и 3Д штампе може значајно убрзати процес развоја и пројектовања специјализованог реакторског система за интензификовану производњу пребиотских једињења из отпадног лигноцелулозног материјала.

4. Научне методе истраживања

У раду ће се користити експерименталне (аналитичке), математичке и нумеричке методе за постизање научних резултата. Праћење одвијања реакције ензимске хидролизе прелиминарно ће бити вршено уз помоћ методе са 3,5-динитросалицијалном киселином (ДНС методе), док ће се детаљна анализа састава хидролизата и квантификација присутних пребиотских олигосахарида вршити применом течне хроматографије високих перформанси (HPLC). Добијени пребиотски олигосахариди биће дериватизовани помоћу 1-фенил-3-метил-5-пиразолона, а за њихову анализу користиће се реверзно-фазна колона (ZORBAX Eclipse Plus C18, 4.6 x 150 mm, 5 μ m). Као мобилна фаза биће коришћена смеша амонијум-ацетатног пуфера (pH 5.5) и ацетонитрила, а производи ће бити идентификовани помоћу ултраљубичасте (UV) детекције.

Дизајн реакторских конфигурација биће изведен употребом софтвера Fusion360, док ће сами прототипи бити израђени помоћу 3Д штампе (Anycubic Photo Ultra 3D Printer) употребом дигиталног пројектовања светлости (енг. digital light processing – DLP) за фотополимеризацију течних смола. Развој дизајна такође ће обухватити испитивање карактеристика фотосензитивних полимера који ће се користити за израду прототипа. Ови одштампани прототипи биће коришћени за извођење експеримената ензимске производње пребиотских једињења, чиме ће бити потврђен концепт и демонстриран њихов потенцијал за интензификацију валоризације сунцокретовете сачме. Сепарација производа добијених хидролизом биће изведена помоћу нанофилтрације (РА TFC мембране, 300-500 Da) и ултрафилтрације (РА TFC мембране, 1000 Da), са циљем издвајања фракције олигосахарида са ниским степеном полимеризације и израженим пребиотским својствима.

Математичко моделовање и оптимизација интензификованог процеса у предложеном реакторском систему ослањаће се на употребу специјализованих софтверских пакета (Matlab, gPROMS, и др.), као и програмског језика Python, са бројним интегрисаним нумеричким методама, попут оних за решавање обичних диференцијалних једначина (Runge-Kutta), нумеричку оптимизацију (GA, SQP, simplex и др.) и других.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће резултати до којих се буде дошло у оквиру ове дисертације дати значајан научни допринос унапређењу постојећих и развоју нових процеса и реактора за прерађивање отпадних лигноцелулозних материјала, са циљем добијања пребиотских производа. У оквиру истраживања може се очекивати више научних доприноса:

- биће развијен еколошки прихватљив процес валоризације агроиндустријског отпада сунцокрета употребом комерцијалних ензимских препарата, а са крајњим циљем добијања пребиотика на бази ксило-олигосахарида;
- биће дизајнирани наменски реактори различитих конфигурација специјализовани за третирање сложених суспензија лигноцелулозног материјала; њихови прототипи биће израђени употребом 3Д штампе а на основу експерименталних резултата биће изабрана повољнија конфигурација;

- биће постављан математички модел којим ће бити описан процес ензимске трансформације сунцокрете сачме у пребиотике, који ће бити искоришћен за нумеричку оптимизацију процесних услова;
- биће експериментално доказан концепт интензификације производње пребиотика из сунцокрете сачме у иновативном реакторском систему и комерцијалном мембранском модулу, за добијање производа жељеног степена чистоће и пребиотске активности.

6. План истраживања и структура рада

Докторска дисертације ће бити реализована у неколико фаза:

- развој процеса ензимске производње пребиотика на бази ксило-олигосахарида из отпадне сунцокрете сачме експериментима у шаржним лабораторијским условима
- дизајн иновативних реактора, израда њихових прототипа путем 3Д штампе и избор повољније конфигурације
- развој математичког модела за процес ензимске производње пребиотика из сунцокрете сачме и нумеричка оптимизација процесних услова
- пречишћавање добијених хидролизата у мембранским модулима, експериментална оптимизација услова сепарације и повезивање у јединствен процес (реакција и сепарација)

ПРЕЛИМИНАРНО се планира да ће се докторска дисертација састојати од следећих поглавља: *Увод, Теоријски преглед досадашњих истраживања, Дизајн, израда и експериментална верификација реакторских прототипа, Моделовање реактора за производњу пребиотика, Оптимизација интензификоване производње пребиотика новом реактору уз мембранску сепарацију, Закључак и Литература.*

У поглављу *Увод* биће изнет предмет истраживања и основни циљеви, као и допринос дисертације.

У оквиру *Теоријског прегледа досадашњих истраживања* докторске дисертације биће систематизована и анализирана доступна литература која обухвата дефиницију и својства ксило-олигосахарида и других релевантних пребиотских једињења, поступке њихове производње из отпадног лигноцелулозног материјала, као и реакторска решења која се примењују за потребе валоризације отпадног материјала биљног порекла.

У делу *Дизајн, израда и експериментална верификација реакторских прототипа*, биће описана процедура дизајнирања сложених геометријских конфигурација реакторских система за интензификацију процеса производње пребиотских једињења из сунцокрете сачме. Овај део обухватиће детаљан опис коришћених софтвера, техника 3Д штампе, као и процедуру избора адекватног фотополимера и тестове карактеристика материјала. Затим ће бити приказано експериментално поређење перформанси реактора, на основу којих је одабран адекватан реактор за интензификацију процеса производње пребиотика.

У делу *Моделовање реактора за производњу пребиотика* биће представљен макроскопски математички модел којим се описује процес добијања пребиотика из сунцокрете сачме у одабраном реакторском систему. Затим ће бити приказани резултати симулације производње пребиотика при различитим релевантним процесним условима. На крају ће бити представљено поређење резултата експеримената производње пребиотика у са резултатима изведених симулација, а са циљем валидације модела.

У делу *Оптимизација интензификоване производње пребиотика новом реактору уз мембранску сепарацију* прво ће бити приказани резултати пречишћавања у мембранским модулима и могућности за интеграцију реакционог и сепарационог процеса. Затим ће бити представљени резултати оптимизације процесних услова. На крају ће бити приказани експериментални резултати у оптимизованом систему, као доказ концепта интензификације процеса производње пребиотика високих перформанси.

У *Закључку* ће резултати добијени у току истраживања бити сумирани, уз нагласак њиховог научног доприноса, иновативности и потенцијала за будућу примену.

Литература ће садржати литературне наводе цитиране у дисертацији и публикације проистекле из истраживачког рада у оквиру ове дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног, Комисија сматра да кандидат Александра А. Томић, мастер инж. технологије, испуњава све услове за израду предложене докторске дисертације са темом **„Интензификација процеса ензимске производње пребиотских олигосахарида из сунцокрето́ве сачме“**. Такође, Комисија на основу изнетих података сматра да је израда докторске дисертације са предложеном темом научно утемељена, те да ће резултати истраживања у оквиру предложене теме дати значајан допринос научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је Технолошко–металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Комисија предлаже Наставно–научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Александри А. Томић, мастер инж. технологије одобри израду докторске дисертације под насловом **„Интензификација процеса ензимске производње пребиотских олигосахарида из сунцокрето́ве сачме“**, а за ментора докторске дисертације предлаже др Николу Никачевића, редовног професора Универзитета у Београду, Технолошко-металуршког факултета.

У Београду, 23. јануар 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Никола Никачевић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Бранислав Тодић, доцент
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Дејан Безбрадица, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Дарко Јаћимовски, научни сарадник
Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију,
институт од националног значаја