

Факултет ТЕХНОЛОШКО-  
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/279

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев  
упућује)

13. 11. 2024.

(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:

Одрживе технологије производње композитних материјала из незасићених полиестарских смола, лигнина и био-силицијум-диоксида” (“Sustainable technologies for composites production based on unsaturated polyester resin, lignin and bio-silica”)

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Hifa (Salah) Embirsh

---

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

Универзитет Сингидунум у  
Београду,

---

**Футура – факултет за примењену екологију, Мастер аналитичар заштите животне средине**

---

3. Година завршетка  
претходног нивоа студија: 2017.

---

4. Година уписа на докторске студије: 2021.

---

5. Назив студијског програма  
докторских студија:

Инжењерство материјала

---

6. Датум подношења пријаве  
теме докторске дисертације:

21. 8. 2024.

---

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 1:

за кандидата Hifa Embirsh

Име и презиме ментора: др Александар Маринковић

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

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1.M.N. Saleh, N.Z. Tomić, **A. Marinković**, S. Teixeira de Freitas, *The effect of modified tannic acid (TA) eco-epoxy adhesives on mode I fracture toughness of bonded joints*, Polymer Testing, Vol 96, 2021, pp 107122, ISSN 0142-9418, (Materials Science, Characterization & Testing 2/32) IF(2021)=4,282,

<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107122>

2.N. Z. Tomić, M. S. Mohamed, N. Saleh, **A. Marinković**, D. Zarouchas, S. Teixeira de Freitas, *Synthesis and characterization of novel eco-epoxy adhesives based on the modified tannic acid for self-healing joints*, Polymer testing, Vol 106, 2022, pp 107444, ISSN 0142-9418, (Materials Science, Characterization & Testing 2/32) IF(2021)=4,931,

<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107444>

3.Nataša Karić, Marija Vukčević, Mirjana Ristić, Aleksandra Perić-Grujić, **Aleksandar Marinković**, Katarina Trivunac, *A green approach to starch modification by solvent-free method with betaine hydrochloride*, International Journal of Biological Macromolecule, Vol 193 (part B), 2021, pp 1962-1971, ISSN 0141-8130, (Chemistry, Applied 8/72, Polymer Science 6/90) IF(2020)=6,953, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.027>

4.A. Jelić, M. Sekulić, M. Travica, J. Gržetić, V. Ugrinović, **A. D. Marinković**, A. Božić, M. Stamenović, S. Putić, *Determination of Mechanical Properties of Epoxy Composite Materials Reinforced with Silicate Nanofillers Using Digital Image Correlation (DIC)*, Polymers, Vol 14 No 6, 2022, pp 1255, ISSN 2073-4360, (Polymer Sciences 16/90) IF(2021)=4,967, <https://doi.org/10.3390/polym14061255>

5.Nataša Z. Tomić, **Aleksandar D. Marinković**, Bojana Balanč, Vera Obradović, Vladimir Pavlović, Vaso Manojlović, Marija M. Vuksanović, *High-performance laminate material based on polyurethane and epoxide reinforced by silica particles from rice husk used for intelligent pedestrian crossings*, Iranian Polymer Journal Vol. 30 No. 3 (2021) 319–330. IF (2021)=2,485, ISSN 1026-1265 (Polymer Science, 51/90), <https://doi.org/10.1007/s13726-020-00894-6>.

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

---

Проф. др Мирјана Кијевчанин

## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2.:

за кандидата Hifa Embirsh

Име и презиме ментора: др Марија Вуксановић

Звање: Научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1.A.A. Algellai, N. Tomić, **M.M. Vuksanović**, M. Dojčinović, T. Volkov Husović, V. Radojević, R. Jančić Heinemann, Adhesion testing of composites based on Bis-GMA/TEGDMA monomers reinforced with alumina based fillers on brass substrate, Composites Part B, Vol.140 (2018) 164–173. IF(2018) = 6.864, ISSN 1359-8368 (Materials Science, Composites 2/26), <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.034>.

2.G. Lazouzi, **M. M. Vuksanović**, N.Z. Tomić, M. Mitrić, M. Petrović, V.Radojević, R. Jančić Hainemann, Optimized preparation of alumina based fillers for tuning composite properties, Ceramics International, Vol.44 No.7 (2018) 7442-7449. IF (2018) = 3.450, ISSN 0272-8842 (Materials Science, Ceramics 2/28), <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.01.083>.

3.**Marija M. Vuksanović**, Nataša Z. Tomić, Maja Gajić-Kvašček, Veljko R. Djokić, Marina Dojčinović, Tatjana Volkov Husović, Radmila Jančić Heinemann, The influence of alumina crystal structures on the morphology and surface erosion of PMMA composite materials exposed to cavitation testing, Wear, Vol. 436-437 No. 15 (2019) 203033. IF (2019) = **4.108**, ISSN 0043-1648 (Engineering, Mechanical, 19/130), <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203033>.

4.Tomic N.Z., Saleh M.N., **Vuksanovic M.M.**, Egelja A., Obradovic V., Marinkovic A., Heinemann R.J., Tailored adhesion properties of acrylate adhesives on al alloys by the addition of Mn-Al-Ldh, Polymers, Vol. 13, No. 9 (2021) 1525. IF (2021) = **4,967**, ISSN 2073-4360 (Polymer Science 16/90), <https://doi.org/10.3390/polym13091525>.

5.**Marija M. Vuksanović**, Ivana O. Mladenović, Nataša Z. Tomić, Miloš Petrović, Vesna J. Radojević, Aleksandar D. Marinković, Radmila M. Jančić Heinemann, Mechanical properties of biomass-derived silica nanoparticles reinforced PMMA composite material, Science of Sintering, Vol.54 No. 2 (2022) 211 - 221. IF (2021) = **1,725** ISSN 0350-820X (Materials Science, Ceramics 17/29), <https://doi.org/10.2298/SOS2202211V>.

**ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА**

---

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је                      Наставно-научно веће

---

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној    7. 11. 2024. 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 7.11.2024. године, донета је

### О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата  
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Hifa Salah Embirsh**, број индекса 4043/21, под називом: „**Одрживе технологије производње композитних материјала из незасићених полиестарских смола, лигнина и био-силицијум оксида (Sustainable technologies for composites production based on unsaturated polyester resin, lignin and bio-silica)**“.

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

За менторе се одређују др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Марија Вуксановић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Хифе Салах Ембирш (Hifa Salah Embirsh), за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, број одлуке 35/209, на седници одржаној 28.08.2024. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Хифе Салах Ембирш, мастер аналитичара заштите животне средине, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: „Одрживе технологије производње композитних материјала из незасићених полиестарских смола, лигнина и био-силицијум-диоксида” (“Sustainable technologies for composites production based on unsaturated polyester resin, lignin and bio-silica”). На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

## **РЕФЕРАТ**

### **1. Подаци о кандидату**

#### **1.1. Биографски подаци**

Хифа Салах Ембирш (Hifa Salah Embirsh) је рођена 11.06.1986. године у месту Алзавијах (Alzawiyah), држава Либија (Libya). Хифа Салах Ембирш је дипломирала на Природно-математичком факултету Сабрата, 2011. године. Мастер студије завршила је на Универзитету Сингидунум 2017. године, Србија.

Радила је као наставник општих курсева физике за студенте медицине, опште физике за средњошколце и курсева природних наука за ученике средњих школа. Радила је и као професор у средњој школи 2011. године. Радила је као асистент на Катедри за физику 2012. године и као асистент на Факултету инжењерских наука у Либији 2020. године.

Има Сертификат под називом „Будући изгледи за енергију ветра у Либији и будућност соларне енергије у Либији“ од 10.10.2017. године. Завршила је курс „Разумевање нуклеарне енергије“ на Отвореном универзитету 2017. године. Говори енглески језик и користи Internet и програме као што су: Excel, Word, PowerPoint и Access.

Школске 2021/2022. године Хифа Салах Ембирш је уписала докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Инжењерство материјала. У наведеном року положила је све испите, као и завршни испит за докторске студије.

## 1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Докторске академске студије Хифа Салах Ембирш је уписала школске 2021/2022. године на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Инжењерство материјала, под менторством др Александра Маринковића. У оквиру докторске дисертације Хифа Салах Ембирш је радила на процесу синтезе полиестарских смола из отпадног поли(етилена терефталата) (ПЕТ) и биообновљивих извора и припреми композитних материјала. Као ојачања у композитима користи се силицијум диоксид добијен из љуске пиринча. Под хемијском модификацијом, тј. функционализацијом материјала подразумева се увођење функционалних група као што су: аминок, карбоксилне, фосфатне, сулфатне/сулфонске групе, итд., на површину полазног материјала применом различитих еколошки прихватљивих агенаса. Силицијум-диоксид је модификован са три врсте различитих силана (метакрил, винил и двостепени аминок силан и биодизел добијен из сојиног уља). Такође је урађена и модификација крафт лигнина са акрилоил хлоридом, да би се добио лигнин који је нерастворан у води а растворан у органском растварачу.

У оквиру докторских студија Хифа Салах Ембирш положила је све испите предвиђене планом и програмом. Завршни испит (приступни рад за израду докторске дисертације) под називом: “Одрживи животни циклус композита на биобазу: винил реактивна армија биосилика за отпадну незасићену полиестерску смолу на бази етилентерефталата” (“Sustainable life cycle of biobased composites: vinyl reactive biosilica reinforcement for waste poly(ethylene terephthalate) based unsaturated polyester resin”), одбранила је пред комисијом у саставу: др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Радмила Јанчић Хајнеман, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Предраг Живковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Списак положених испита, остварени бодови и оцене на докторским студијама приказани су у наредној табели:

Табела 1. Списак положених испита, остварени бодови и оцене на докторским студијама

| РБ                  | Предмет                                       | ЕСПБ | Оцена |
|---------------------|-----------------------------------------------|------|-------|
| 1.                  | Термодинамика чврстог стања                   | 5    | 10    |
| 2.                  | Наука о материјалима и инжењерство материјала | 6    | 10    |
| 3.                  | Хемија металорганских једињења                | 5    | 10    |
| 4.                  | Хемијска кинетика                             | 5    | 10    |
| 5.                  | Одабрана поглавља математичке анализе         | 5    | 10    |
| 6.                  | Физика чврстог стања                          | 4    | 10    |
| 7.                  | Квантификација визуелних информација          | 5    | 10    |
| 8.                  | Хемија пестицида                              | 5    | 10    |
| 9.                  | Зелена хемија                                 | 5    | 10    |
| 10.                 | Структурна анализа органских молекула         | 6    | 10    |
| 11.                 | Завршни испит                                 | 30   | 10    |
| Укупно/средња оцена |                                               | 81   | 10    |

Одрађене обавезе:

| Ред. бр | Назив обавезе                                                      | ЕСПБ |
|---------|--------------------------------------------------------------------|------|
| 1.      | Студијски истраживачки рад у вези са израдом докторске дисертације | 10   |

Укупно остварено 91 ЕСПБ, опити успех 10,0 (десет и 00/100).

Научноистраживачки рад Хифа Салах Ембирш припада области Инжењерства материјала. У наставку је списак објављених научноистраживачких радова Хифе Салах Ембирш.

### **Рад у врхунском међународном часопису (M21)**

1. **Hifa Salah Adeen Embirsh**, Ivana Stajčić, Jelena Gržetić, Ivana O. Mladenović, Boban Andelković, Aleksandar Marinković, Marija M. Vuksanović, Synthesis, Characterization and Application of Biobased Unsaturated Polyester Resin Reinforced with Unmodified/Modified Biosilica Nanoparticles, Polymers, Vol.15 No.18 (2023) 3756. IF (2022) = 5,0, ISSN 2073-4360 (Polymer Science, 16/86) <https://doi.org/10.3390/polym15183756>.
2. **Hifa Salah Adeen Embirsh**; Marija M. Vuksanović; Ivana O. Mladenović; Nataša Knežević; Milena Milošević; Slavko Mijatov; Radmila Jančić Heinemann; Aleksandar Marinković, Unsaturated polyester resin based composites: a case study of lignin valorisation, Chemosphere, (2024) 142144. IF (2022) = 8,8 ISSN 0045-6535. (Environmental Sciences 37/275) <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142144>.

### **1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми**

На основу досадашњег рада током докторских студија, Хифа Салах Ембирш, постигла је значајне резултате, чиме је показала склоност, самосталност и способност за бављење научноистраживачким радом. Хифа Салах Ембирш је први аутор два рада у врхунском међународном часопису категорије M21 (IF 5 и IF 8,8).

На основу биографских података и на основу претходног приказа резултата током докторских студија и у оквиру научноистраживачког рада, као и објављених радова Комисија оцењује да кандидат испуњава све неопходне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

## **2. Предмет и циљ истраживања**

Полимери синтетисани из природних ресурса привукли су пажњу и научне заједнице и индустрије због забринутости за животну средину у вези са експлоатацијом нафте и акумулацијом неразградивог полимерног отпада. Како би се позабавили овим проблемима, истраживачи су се фокусирали на производњу биоматеријала, као и на проналажење најефикаснијег пута за рециклажу различитих комерцијалних полимера [1]. Поли(етилен терефталат) (ПЕТ) је међу најчешће коришћеним неразградивим полимерима који се могу рециклирати, а примена се шири од производа за свакодневну потрошњу, као што су пластичне боце, до финих електронских сензора [2]. Хемијска рециклажа укључује реактанте или раствараче који индукују процес деполимеризације путем раскидања хемијских веза [3]. Хемијска рециклажа нуди могућност деполимеризације и модификације са исходом мономера и нових материјала [4]. Деполимеризовани ПЕТ даје различите производе (олигоестре) који се могу користити као прекурсори за стварање нових полимера са додатом вредношћу као што су засићени и незасићени полиестри, полиизоцијанурати и полиуретани [5]. Полиуретани (из рециклираног ПЕТ-а) су такође пријављени у литератури као нова везива у еколошки прихватљивим ракетним горивима. Пошто имају упоредиве карактеристике перформанси као што су термичка стабилност и механичка својства, ова нова везива могу успешно заменити традиционална везива у постојећим ракетним горивима [6]. Незасићене полиестарске смоле

(НПС) добијене ПЕТ гликолизом уз коришћење пропилен гликола и малеинског анхидрида показале су потенцијал за поновну употребу као свестраних реактаната у синтези нових полимера, смањујући потрошњу мономера на бази нафте. Штавише, пропилен гликол и анхидрид малеинске киселине су успешно синтетизовани из обновљивих извора, чинећи цео процес деполимеризације ПЕТ биобазираним [7].

Развој нанотехнологије повећава производњу нанокомпозита са контролисаним функционалним својствима. Наночестице силицијум-диоксида се обично користе као ојачање у полимерним нанокомпозитима због њихове повећане ударне и затезне чврстоће, као и њихове термичке стабилности [8]. Међутим, због њихове неорганске/органске површинске некомпатибилности, честице силицијум-диоксида захтевају хемијску функционализацију површине са органским модификаторима, како би се побољшала дисперзија честица у полимерној матрици [8]. Показало се да су различите врсте силана веома ефикасне за смањење садржаја површинских хидроксилних група у честицама силицијум-диоксида [9]. Постоје различити типови синтезе нано силицијум-диоксида, који повољно утиче на механичка својства полиестерских смола. Површинска модификација честица силицијум-диоксида је често примењивана да би се побољшала међуфазна компатибилност и диспергованост у матрици, што је важан фактор у јачању матрице композитних материјала [9].

Природни полимерни материјали се користе годинама, а лигнин се истиче као један од најзаступљенијих, природних, обновљивих полимера. Највише се користи за производњу енергије, али има својства која су погодна за модификацију и примену у технологији полимера [10]. Два индустријски добијена лигнина, а то су Крафт лигнин (КфЛ) и сулфитни лигнин, комерцијално су доступна.

Поред тога, модификовање лигнина нуди бројне предности у овом контексту. У складу са тим, лигнин модификован акрилатном групом обезбеђује и растворљивост у НПС смоли и реактивност умрежавања у току производње композита. Додатак реактивног КфЛ-А омогућава подешавање својстава композита, док се истовремено постиже побољшање еколошке прихватљивости производа. На крају свог животног века, композит се може или одложити на депонију ради разградње или рециклирати уградњом у нови производ како би се продужио животни век кроз додатни циклус [10].

Циљ предметног истраживања ће се односити на развој нанокомпозита, који укључују принципе зелене хемије. Извршена је синтеза б-НПС из биобазираних реактаната, односно пропилен гликола (ПГ) и анхидрида малеинске киселине (МА) и сировина на бази рециклираног поли(етилена терефталата) (ПЕТ-а). У смоле је додата различита концентрација немодификованог као и модификованог био-силицијум-диоксида (метакрил, винил и двостепени аминоксилан и биодизел добијен из сојеиног уља). Употреба хемијски модификованог ПЕТ-а, акрилоил модификованог КфЛ, односно КфЛ-А и КфЛ обезбедила је значајну количину обновљивих и рециклираних сировина у композитима на бази б-НПС на лабораторијском нивоу (64 мас.% у б-НПС/КфЛ-А). Рециклирана сировина у комбинацији са природним материјалима уместо синтетичких полимера доводи до имплементације еколошки прихватљивог концепта у пракси.

Релевантни библиографски извори повезани са предметом истраживања ове докторске дисертације, који уједно представљају основу за даљи ток истраживања су:

[1] Arif, Z.U.; Khalid, M.Y.; Noroozi, R.; Hossain, M.; Shi, H.H.; Tariq, A.; Ramakrishna, S.; Umer, R. Additive Manufacturing of Sustainable Biomaterials for Biomedical Applications. Asian J. Pharm. Sci. 2023, 18, 100812.

- [2] Nayak, S.; Khuntia, S.K. Development and Study of Properties of Moringa Oleifera Fruit Fibers/Polyethylene Terephthalate Composites for Packaging Applications. *Compos. Commun.* 2019, 15, 113–119.
- [3] Khalid, M.Y.; Arif, Z.U.; Ahmed, W.; Arshad, H. Recent Trends in Recycling and Reusing Techniques of Different Plastic Polymers and Their Composite Materials. *Sustain. Mater. Technol.* 2022, 31, e00382.
- [4] Padhan, R.K.; Sreeram, A. Chemical Depolymerization of PET Bottles via Combined Chemolysis Methods. In *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 135–147.
- [5] Viante, M.F.; Zanela, T.M.P.; Stoski, A.; Muniz, E.C.; Almeida, C.A.P. Magnetic Microspheres Composite from Poly(Ethylene Terephthalate) (PET) Waste: Synthesis and Characterization. *J. Clean. Prod.* 2018, 198, 979–986.
- [6] Dîrloman, F.M.; Toader, G.; Rotariu, T.; Tigănescu, T.V.; Ginghină, R.E.; Petre, R.; Alexe, F.; Ungureanu, M.I.; Rusen, E.; Diacon, A.; et al. Novel Polyurethanes Based on Recycled Polyethylene Terephthalate: Synthesis, Characterization, and Formulation of Binders for Environmentally Responsible Rocket Propellants. *Polymers* 2021, 13, 3828.
- [7] Goyat, M.S.; Hooda, A.; Gupta, T.K.; Kumar, K.; Halder, S.; Ghosh, P.K.; Dehiya, B.S. Role of Non-Functionalized Oxide Nanoparticles on Mechanical Properties and Toughening Mechanisms of Epoxy Nanocomposites. *Ceram. Int.* 2021, 47, 22316–22344.
- [8] Rusmirovic, J.D.; Trifkovic, K.T.; Bugarski, B.; Pavlovic, V.B.; Dzunuzovic, J.; Tomic, M.; Marinkovic, A.D. High Performances Unsaturated Polyester Based Nanocomposites: Effect of Vinyl Modified Nanosilica on Mechanical Properties. *Express Polym. Lett.* 2016, 10, 139–159.
- [9] Hayichelaeh, C.; Reuvekamp, L.A.E.M.; Dierkes, W.K.; Blume, A.; Noordermeer, J.W.M.; Sahakaro, K. Enhancing the Silanization Reaction of the Silica-Silane System by Different Amines in Model and Practical Silica-Filled Natural Rubber Compounds. *Polymers* 2018, 10, 584.
- [10] Machado, M.; Hofmann, M.; Garrido, M.; Correia, J.R.; Bordado, J.C.; Rosa, I.C., Incorporation of Lignin in Bio-Based Resins for Potential Application in Fiber–Polymer Composites. *Appl. Sci.* 2023, 13, 8342.

### 3. Полазне хипотезе

У односу на до сада литературно позната решења, предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе са основног становишта да ће се синтетисати незасићене полиестарске смоле из отпадног ПЕТ-а и биообновљивих извора. Развој одрживих композита који се хемијски синтетишу из обновљивих извора важан је са аспекта очувања животне средине и постојећих ресурса, као и продужења њиховог животног циклуса. У добијене полестарске смоле додаваће се, као ојачања, честице силицијум-диоксида добијене из отпадне љуске пиринча. Био-силицијум-диоксид ће се добити поступком уклањања целулозног материјала киселом хидролизом љуске пиринча и термичким третманом у циљу добијања задовољавајуће чистоће и нано-димензија производа. Честице силицијум-диоксида модификоваће се са три врсте силана (метакрил, винил и двостепени аминоксилан и биодизел добијен из сојиног уља) и додаваће се у композит у различитим масеним уделима (1, 2,5 и 5 мас.%).

Производња композита на бази биообновљивих сировина и њихово коришћење у решавању питања отпадних материјала су битна питања за које се мора наћи решење у циљу испуњавања

захтева одрживог развоја као концепта који постаје нераскидиви део праваца будућег развоја човечанства.

Поред тога, модификовање лигнина нуди бројне предности у овом контексту. У складу са тим, лигнин модификован акрилатном групом обезбеђује и растворљивост у б-НПС смоли и реактивност умрежавања у току производње композита. Додатак реактивног КфЛ-А омогућава подешавање својстава композита, док се истовремено постиже побољшање еколошке прихватљивости производа. На крају свог животног века, композит се може или одложити на депонију ради деградације или рециклирати уградњом у нови производ како би се продужио животни век кроз додатни циклус. Употреба хемијски рециклираног ПЕТ-а и КфЛ-А у композиту б-НПС/КфЛ-А дала је 64 мас.% садржаја обновљивих и рециклираних сировина, а овај приступ је, према нашим сазнањима, први пут представљен овде. Рециклирана сировина у комбинацији са природним материјалима уместо синтетичких полимера доводи до имплементације еколошки прихватљивог концепта примењеног у овој студији.

Полазне хипотезе, које су кључне за започињање и успешно извођење експерименталног дела дисертације, пратиће предвиђена истраживања:

- Синтеза б-НПС из реактанта из биообновљивих извора, односно пропилен гликола (ПГ) и анхидрида малеинске киселине (МА) и сировина на бази рециклираног полиетилена терефталата (ПЕТ-а);
- Синтеза био-силицијум-диоксида из отпадних љуски пиринча;
- Модификација честица био-силицијум-диоксида различитим винил силанима пре него што се употребе као појачање у композитима на бази б-НПС;
- Испитивање структурних, морфолошких и механичких својстава б-НПС-а и добијених композита;
- Коришћење самлевог б-НПС/SiO<sub>2</sub>-V композита као пунила за производњу материјала за столове и подове на бази комерцијалне смоле.
- Развој наведених технологија допринеће имплементацији технологија у оквиру целовитог процеса од минимизирања стварања отпада коришћењем обновљивих сировина, зеленији дизајн производа и минимизацију употребе растварача.
- Синтеза биоразградивог б-НПС-а, коришћењем винил реактивног лигнина у циљу побољшања ватроотпорности. Својства без додавања комерцијалних адитива који успоравају пламен.
- Развој наведених технологија за ефикасну КфЛ деполимеризацију да би се добили фрагменти ниже молекуларне тежине, али модификовани високим степеном реактивних незасићених делова и, на тај начин, да би се произвели б-НПС композити високих перформанси.
- Рециклирана сировина у комбинацији са природним материјалима уместо синтетичких полимера доводи до имплементације еколошки прихватљивог концепта примењеног у овој студији.

#### 4. Научне методе истраживања

- Карактеризација добијених честица силицијум-диоксида и полиестарских смола биће извршена применом инструменталних техника:
  - Скенирајућа електронска микроскопија (енгл. *Scanning Electron Microscopy, SEM*),

- Трансмисиона електронска микроскопија (енгл. *Transmission electron microscopy, TEM*),
- Рендгенска дифракциона анализа (енгл. *X-Ray Diffraction, XRD*),
- Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (енгл. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR*),
- Спектроскопија нуклеарне магнетне резонанце (енгл. *Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR*);
- Термичка својства биће испитана употребом TG/DTG-DSC технике
- Анализа слике - расподела величина честица (*Software Image-Pro Plus 6.0*).
- Механичка својства композита биће извршена применом следећих метода:
  - Испитивање затезних својстава композита,
  - Испитивање микротврдоће по Викерсу,
  - Испитивање жилавости по Шарпију,
  - Испитивање динамичко-механичких својстава.
- Композитни материјали ће бити тестирани и методом испитивања запаљивости пластичних материјала (UL-94).

Експерименти ће бити усмерени ка проучавању утицаја био-силицијум-диоксида на механичка својства композитних материјала где је као матрица коришћена незасићена полиестарска смола. Испитивање се утицај различитог масеног удела немодификованих честица био силицијум-диоксида као и честица модификованих са три врсте силана (метакрил, винил и двостепени аминоксилан и биодизел добијен из сојеиног уља). Такође, лигнин модификован акрилатном групом обезбеђује и растворљивост у б-НПС смоли и реактивност умрежавања у току производње композита. Додатак реактивног КфЛ-А омогућава подешавање својстава композита, док се истовремено постиже побољшање еколошке прихватљивости производа.

Добијени резултати ће бити обрађени у циљу разумевања својстава композитних материјала:

- Биће испитан састав честица био-силицијум-диоксида и незасићених полиестарских смола. За ова испитивања користиће се ФТИР И НМР анализа.
- За испитивање морфологије честица силицијум-диоксида и композита, као и расподеле величина честица користиће се XRD, SEM, TEM и анализа слике;
- Вршиће се испитивање динамичко-механичких својстава композитних материјала. Од механичких својстава испитивање се затезна чврстоћа, микротврдоћа по Викерсовој методи и жилавост материјала по Шарпију;
- Вршиће се испитивање ватроотпорности синтисане биоразградиве НПС-е и коришћењем винил реактивног лигнина.

## 5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације дати вишеструки научни допринос који се огледа у следећем:

- Синтези честица био-силицијум-диоксида из отадних љуски пиринча у циљу добијања ојачања за полимерне композитне материјале;
- Синтези б-НПС из реактаната из биообновљивих извора, односно пропилен гликола (ПГ) и анхидрида малеинске киселине (МА) и сировина на бази рециклираног поли(етилена терефталата) (ПЕТ-а);

- Функционализацији био-силицијум-диоксида са силанима у циљу добијања честица која ће дати побољшана механичка својства добијених композитних материјала;
- Карактеризацији немодификованих и модификованих честица која су коришћена као ојачања у композитним материјалима;
- Испитивању механичких својстава добијених композитних материјала;
- Синтези модификованог лигнина са акрилоил хлоридом у циљу добијања лигнина нерастворног у води а растворног у органском растварачу;
- Испитивању ватроотпорности незасићених полиестарских смола са модификованим лигнином у циљу смањења ватроотпорности добијених композитним материјала;
- Потврди еколошке прихватљивости примењеног процеса са становишта рециклаже искоришћених композита;

Развојем одрживих технологија ће се значајно смањити негативан ефекат на животну средину.

## 6. План истраживања и структура рада

Предмет рада ове докторске дисертације се односи на синтезу незасићених полиестарских смола из реактаната из биообновљивих извора, односно пропилен гликола (ПГ) и анхидрида малеинске киселине (МА) и сировина на бази рециклираног поли(етилена терефталата) (ПЕТ-а), честица био-силицијум диоксида из отпадне љуске пиринча, карактеризацију добијених материјала и примену честица био-силицијум-диоксида као ојачања у композитним материјалима. Развијаће се технологије рециклаже материјала на бази б-НПС након истека времена коришћења процесима млевења и добијањем пунилаца који ће се користити као ојачање за поризводњу плоча за столове и подове. Развој наведених технологија допринеће имплементацији технологија у оквиру целовитог процеса од минимизирања стварања отпада, коришћењем обновљивих сировина, зеленији дизајн производа и минимизацију употребе растварача.

Предвиђа се да ће у докторској дисертацији бити приказана следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература*.

У поглављу *Увод* биће речи о проблематици везаној за композитне материјале. Говориће се о подели композита према типу матрице и врсти ојачања као и начину њихових модификација. Приказаће се синтезу полиестарских смола из биообновљивих сировина и отпадног ПЕТ-а. Осим тога дискутоваће се о значају и примени одрживог развоја у примењеним процесима.

*Теоријски део* дисертације обухватиће преглед, литературно приказаних релевантних података и садржаће следеће:

- Опис проблематике везане за врсте композитних материјала;
- Опис врсте ојачања у композитним материјалима;
- Приказ природних материјала који су се користили за производњу полимерних композитних материјала;
- Преглед литературних података који се односе на поступке модификације честица силицијум-диоксида као ојачања у композитима;

- Преглед литературних података који се односе на поступке добијања и модификације полестарских смола и њихове примене;
- Преглед литературних података који се односе на коришћење лигнина у полиестарским смолама.

У *Експерименталном делу* дисертације биће наведени материјали и хемикалије коришћени током синтеза и производње смола и ојачања, приказани поступци модификације, као и поступци производње композитних материјала.

Експериментални део ће обухватити:

- Условe и поступак добијања полиестарских смола из биообновљивих извора и отпадног ПЕТ-а;
- Условe и поступак добијања био-силицијум-диоксида из отпадне љуске пиринча;
- Условe модификације био-силицијум-диоксида и крафт лигнина;
- Карактеризацију добијених ојачања и композитних материјала;
- Методологију коришћену за статистичку обраду експерименталних података,
- Технологије рециклирања добојених композита за производњу столова и подова;
- Методе које ће се користити за карактеризацију ватроотпорности добијених композита.

У поглављу *Резултати и дискусија* биће приказани и дискутовани експериментални резултати. Ово поглавље ће садржати:

- Приказ и дискусију резултата карактеризације добијених честица био-силицијум-диоксида и поступака њихове модификације која ће се пратити применом ATR-FTIR, и морфолошке и површине анализе на основу резултата скенирајуће (SEM) и трансмисионе електронске микроскопије (TEM);
- Приказ и дискусију резултата који се односе на морфологију добијених композитних материјала;
- Приказ и дискусију резултата који се односе на испитивање динамичко-механичких својстава добијених композитних материјала;
- Приказ и дискусију резултата који се односе на испитивање ватроотпорности добијених композита;
- Приказ и дискусију резултата који се односе на статистичку анализу успешности обраде експерименталних резултата;
- Приказ технологија и резултата који се односе на процесе рециклаже добијених композита који ће се дефинисаним технологијама преводити у корисне материјале за производњу завршних површина столова и подова.

У *Закључку* ће бити сумирани добијени резултати, уз осврт на најважније резултате добијене у истраживањима.

*Литература* ће садржати наводе цитиране у дисертацији, као и радове проистекле истраживањем у оквиру ове докторске дисертације.

## 7. Закључак и предлог

Комисија сматра да је тема докторске дисертације „Одрживе технологије производње композитних материјала из незасићених полиестарских смола, лигнина и био-силицијум-диоксида” (Sustainable technologies for composites production based on unsaturated polyester resin, lignin and bio-silica)“ коју је предложила Хифа Салах Ембирш (Hifa Salah Embirsh) научно заснована, те предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати израду предметне дисертације. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство материјала, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Докторска дисертација ће бити писана на енглеском језику. За менторе се предлажу др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Марија Вуксановић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке "Винча" – Институт од националног значаја за Републику Србију.

У Београду, 27.09.2024. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
др Александар Маринковић, редовни професор  
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки  
факултет

.....  
др Марија Вуксановић, научни саветник  
Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне  
науке "Винча", Институт од националног значаја за  
Републику Србију

.....  
др Радмила Јанчић Хајнеман, редовни  
професор Универзитета у Београду, Технолошко-  
металуршки факултет

.....  
др Предраг Живковић, вандредни професор  
Универзитета у Београду, Технолошко-  
металуршки факултет

.....  
др Ивана Младеновић, научни сарадник  
Универзитета у Београду, Институт за хемију,  
технологију и металургију