



OKVIRNI PROGRAM USPOSABLJANJA MLADEGA RAZISKOVALCA (MR)¹

1. OSNOVNI PODATKI

Ime in priimek mentorja:	izr. prof. dr. Julija Volmajer Valh	Evidenčna številka mentorja pri ARIS (SICRIS) :	20238
E-naslov mentorja:	julija.volmajer@um.si	Tel. štev. mentorja:	+386 2 220 7897
Ime in priimek vodje raziskovalnega programa:	red. prof. dr. Lidija Fras Zemljič	Evidenčna številka vodje RP pri ARIS (SICRIS) :	19753
Naziv raziskovalnega programa:	Tekstilna kemija in napredni tekstilni materiali	Evidenčna številka RP pri ARIS (SICRIS) :	P2-0118
Članica Univerze v Mariboru (RO UM), kjer bo potekalo usposabljanje:	Fakulteta za strojništvo	Evidenčna številka RO UM pri ARIS (SICRIS) :	0552-0795
Oznaka raziskovalnega področja po klasifikaciji ARIS :	2.14 Tekstilstvo in usnjarstvo 2.04 Materiali	Raziskovalno področje po EURAXESS klasifikaciji:	Materials engineering

2. OPREDELITEV RAZISKOVALNEGA PROBLEMA IN CILJEV DOKTORSKE RAZISKAVE²

Izhodišče raziskovalne naloge mladega raziskovalca in njena umestitev v raziskovalni program v katerega je vključen mentor, delovna hipoteza, cilji raziskave in predvideni rezultati s poudarkom na izvirnem prispevku k znanosti:

Znastveno ozadje

Poliamid 6,6 (PA6,6), splošno znan kot najlon 66, je eden od najpomembnejših vrst termoplastičnih polimerov v družini poliamidov. Pridobiva se s talilno polikondenzacijo adipinske kisline in heksametildiamina. Zaradi močnih vodikovih vezi med molekulskimi verigami poliamida PA 6,6 izkazuje odlične mehanske lastnosti, visoko toplotno stabilnost ter dobro odpornost proti hidrolizi, kar omogoča njegovo široko uporabo v tekstilni industriji (umetna vlakna, preje, tehnični tekstil), avtomobilski in strojni industriji (zobniki, puše, ohišja komponent), elektroniki in elektrotehniki

¹ Izraz mladi raziskovalec je zapisan v moški slovnični obliki in je uporabljen kot nevtralen za ženske in moške.

² Raziskovalni in študijski program usposabljanja morata biti skladna z vsebino raziskovalnega programa, katerega član je mentor.

(konektorji, izolacijski deli) ter v proizvodnji folij, cevi, filtrov in zaščitnih materialov. Zaradi kombinacije lahкости, trdnosti in odpornosti proti obrabi se PA 6,6 uporablja tako v tkanih, pletenih in netkanih materialih kot tudi v obliki inženirskih plastik, kar omogoča njegovo široko tehnološko in industrijsko uporabnost.

PA 6,6 ima stabilne kemijske lastnosti in je v naravnem okolju slabo razgradljiv, zato pomembno prispeva k onesnaženju s plastiko.

Na svetovni ravni se letno ustvari približno 0,59 milijona ton odpadnega poliamida PA 6,6, medtem ko je letna proizvodnja tega materiala ocenjena na približno 2,1 milijona ton. To ne predstavlja zgolj resnega okoljskega bremena, temveč zaradi zunanjih vplivov vodi tudi v nastanek mikroplastike, ki lahko negativno vpliva na zdravje ljudi.

Široka uporaba izpostavlja tudi izzive trajnostnega razvoja z odpadki. Uporaba in odlaganje poliamida PA 6,6 je neposredno povezana z evropsko in slovensko zakonodajo na področju plastike, odpadkov in varstva okolja. V Evropski uniji je ključna Direktiva (EU) 2019/904 o plastičnih proizvodih za enkratno uporabo, ki določa prepoved določenih plastičnih izdelkov za enkratno uporabo in spodbuja uporabo recikliranih materialov. Slovenija je direktivo prenesla v nacionalni pravni red preko zakona o ravnanju z odpadki in povezanih podzakonskih aktov, ki določajo pravilno zbiranje, predelavo in recikliranje plastičnih odpadkov ter omejitve za uporabo določenih plastičnih izdelkov. Ti regulativni okvirji so neposredno pomembni za proizvodne in odpadne verige PA 6,6 ter povečujejo zahteve po trajnostnem upravljanju materialov in zmanjševanju mikroplastike v okolju.

Tradicionalni pristopi k ravnanju z odpadnimi plastikami običajno vključujejo sežig ali odlaganje na odlagališčih, kar povzroča težave, kot so izčrpavanje virov, visoke emisije in onesnaževanje okolja. Ponovna uporaba odpadne plastike predstavlja ključno raziskovalno smer. Trenutno glavne metode recikliranja končnih izdelkov iz PA6,6 zajemajo mehansko in kemijsko recikliranje. Mehansko recikliranje vključuje neposredno predelavo končnih izdelkov iz PA6,6 v reciklirane izdelke. Vendar se pri dolgotrajni uporabi PA6,6 pogosto pojavijo težave, kot so zmanjšana molekulska masa in poslabšane lastnosti, kar otežuje zagotavljanje kakovosti recikliranih izdelkov in omejuje uporabo mehanskih metod recikliranja. Tradicionalno kemijsko recikliranje temelji na depolimerizaciji končnih izdelkov iz PA6,6 v monomere s procesi, kot so hidroliza, amonoliza, alkoholiza in hidrogenoliza. Glavna slabost tega pristopa je predvsem otežena in neučinkovita izolacija čistih monomernih produktov.

Razvoj inovativnih konceptov preoblikovanja odpadkov v visokovrednostne materiale z določenimi funkcionalnostmi in prilagodljivimi lastnostmi preko ciljnih kemijskih reakcij je ključnega pomena za učinkovito reševanje okoljskih izzivov. Za razliko od konvencionalnih metod recikliranja, ki pogosto le zmanjšujejo količino odpadkov, se pristopi za nadgradnjo odpadkov osredotočajo na povečanje vrednosti recikliranih izdelkov. Takšne metode ne le prispevajo k trajnostnemu ravnanju z materiali, ampak tudi podpirajo industrijski razvoj in spodbujajo gospodarsko rast. Odpadni materiali, kot je PA6,6, tako lahko predstavljajo pomembno sekundarno surovino z visokim potencialom za ponovno uporabo v naprednih aplikacijah.

Raziskovalno delo, ki bo opravljeno v okviru doktorske naloge, je s svojo tematiko umeščeno v Raziskovalni program Tekstilna kemija in napredni tekstilni materiali.

Delovna hipoteza

Z razvojem inovativnih kemijskih konceptov preoblikovanja odpadkov v visoko vrednostne materiale je mogoče učinkovito naslavljanje okoljske izzive, povezane z neustreznim ravnanjem z odpadno plastiko. V okviru raziskovalne naloge se bo kandidat za mladega raziskovalca osredotočil na preučevanje naprednih pristopov kemijskega recikliranja in nadgradnje odpadnega poliamida PA6,6 z namenom pridobivanja materialov z dodano vrednostjo.

Prva raziskovalna usmeritev temelji na hipotezi, da je mogoče odpadni PA6,6 kemijsko reciklirati do adipinske kisline in jo brez predhodne izolacije neposredno uporabiti v selektivnih kondenzacijskih reakcijah z ustreznimi dioli. Takšen pristop naj bi omogočil sintezo alifatskih poliestrov z nadzorovano kemijsko strukturo, pri čemer bo poseben poudarek namenjen vplivu razmerja monomerov, izbire diolov in reakcijskih pogojev na molekulsko maso, arhitekturo polimernih verig ter lastnosti nastalih materialov. Predpostavljamo, da je z ustreznim načrtovanjem polimerne strukture mogoče pripraviti materiale, ki izkazujejo lastnosti biološke razgradljivosti in predstavljajo trajnostno alternativo konvencionalnim polimerom.

Druga raziskovalna usmeritev se osredotoča na neposredno funkcionalizacijo odpadnega PA6,6 z vpeljavo izbranih monomerov ali reaktivnih spojin v polimerno matriko. Delovna hipoteza je, da je mogoče s takšnim pristopom ohraniti osnovne mehanske in termične lastnosti poliamida, hkrati pa materialu podeliti dodatne funkcionalnosti, kot so antibakterijska aktivnost ali druge napredne lastnosti, ki bistveno povečajo njegovo uporabno in tržno vrednost. S kombinacijo obeh pristopov raziskava prispeva k razvoju celostnih strategij za trajnostno nadgradnjo odpadnih polimernih materialov.

Cilji raziskave

Cilji raziskav za prvo raziskovalno usmeritev

- Glavni cilj raziskave je razviti in ovrednotiti inovativne kemijske pristope za preoblikovanje odpadnega poliamida PA6,6 v visoko vrednostne in funkcionalne polimerne materiale ter s tem prispevati k trajnostnemu ravnanju z odpadno plastiko.
- Razviti in optimizirati postopek kemijskega recikliranja odpadnega PA6,6, ki omogoča pridobivanje adipinske kisline ter njeno neposredno uporabo v nadaljnjih sinteznih korakih brez predhodne izolacije ali obsežnega čiščenja.
- Preučiti selektivne kondenzacijske reakcije med reciklirano adipinsko kislino in različnimi dioli z namenom sinteze alifatskih poliestrov ter določiti vpliv razmerja monomerov, vrste diolov in reakcijskih pogojev na molekulsko maso, kemijsko strukturo in termomehanske lastnosti nastalih materialov.
- Ovrednotiti potencial biološke razgradljivosti sintetiziranih alifatskih poliestrov v odvisnosti od njihove kemijske sestave in polimerne arhitekture ter identificirati ključne strukturne parametre, ki vplivajo na razgradnjo materiala.

Cilji raziskav za drugo raziskovalno usmeritev:

- Razviti postopke neposredne funkcionalizacije odpadnega PA6,6 z vpeljavo izbranih monomerov ali reaktivnih spojin, ki omogočajo nastanek materialov z dodatnimi funkcionalnimi lastnostmi.
- Preučiti vpliv funkcionalizacije na strukturne, mehanske in termične lastnosti PA6,6, ter ugotoviti ravnotežje med ohranjanjem osnovnih lastnosti polimera in uvedbo nove funkcionalnosti.
- Ovrednotiti dodano vrednost funkcionaliziranih materialov, zlasti z vidika antibakterijske aktivnosti in potencialne uporabnosti v naprednih aplikacijah.
- Vzpostaviti celostno strategijo nadgradnje odpadnega PA6,6, ki združuje kemijsko recikliranje, sintezo novih polimernih materialov in funkcionalizacijo, ter oceniti njen prispevek k trajnostnemu razvoju in krožnemu gospodarstvu.

Predvideni rezultati s poudarkom na izvirnem prispevku k znanosti

Raziskava bo prispevala nova znanstvena spoznanja na področju trajnostnega kemijskega recikliranja in nadgradnje polimernih materialov. Pričakovani rezultat je razvoj inovativnega postopka kemijskega recikliranja odpadnega PA6,6, ki omogoča pridobivanje adipinske kisline in

njeno neposredno uporabo v kondenzacijskih reakcijah brez predhodne izolacije, kar predstavlja izviren prispevek k razvoju energetske in procesno učinkovitejših postopkov recikliranja. Raziskava bo omogočila sintezo alifatskih poliestrov iz recikliranih surovin ter vzpostavitev povezav med kemijsko strukturo, razmerjem monomerov in lastnostmi materialov, vključno s potencialno biološko razgradljivostjo. Nadalje se pričakuje razvoj postopkov neposredne funkcionalizacije odpadnega PA6,6, ki bodo omogočili pripravo materialov z dodano vrednostjo, kot so antibakterijske lastnosti, ob hkratnem ohranjanju ključnih lastnosti osnovnega polimera. Izvirni prispevek raziskave je v celostnem združevanju selektivnega kemijskega recikliranja in neposredne funkcionalizacije odpadnih polimerov v trajnosten pristop, ki odpira nove možnosti za razvoj visoko vrednostnih materialov v okviru krožnega gospodarstva.

3. ŠTUDIJSKI PROGRAM

Predvideni študijski program podiplomskega študija v katerega se bo mladi raziskovalec vpisal v študijskem letu 2026/2027:

Doktorska šola UM FS

4. OPIS DEL IN NALOG

Izvaja projekte znanstvenega in raziskovalnega dela.
Sodeluje pri oblikovanju raziskovalnih programov.
Strokovno sodeluje z naročniki raziskovalnih nalog.
Pripravlja poročila in elaborate o raziskavah.
Spremlja in usklajuje raziskovalno delo skladno s pogodbami o financiranju.
Skrbi za varno in zdravo delo.
Organizira in poučuje zaposlene in študente o uporabi osebne varovalne opreme in drugih varnostnih ukrepov.
Opravlja druge sorodne naloge po navodilu predpostavljenega delavca.
Sodeluje v delovnih in stalnih komisijah organov UM in članice oz. druge članice.
Nadomešča sodelavce in nadrejenega v njegovi odsotnosti (po pooblastilu).
Sodeluje pri letni in drugih inventurah.
Opravlja druga sorodna dela po nalogu nadrejenih

5. ZAHTEVANA STOPNJA IZOBRAZBE

VII/2. tarifna skupina

6. ZAHTEVANA SMER IZOBRAZBE

tehniška, naravoslovna

7. KLASIUS SRV

sedma raven: visokošolsko izobraževanje druge stopnje in podobno izobraževanje/ visokošolska izobrazba druge stopnje in podobna izobrazba

8. KLASIUS P

01 – Izobraževalne znanosti in izobraževanje učiteljev
05 – Naravoslovje, matematika in statistika
07 – Tehnika, proizvodne tehnologije in gradbeništvo

9. ZAHTEVANA ZNANJA

Računalniška znanja: MS Windows, Word, Excel, Internet, e-pošta, el. poslovanje

10. ZAHTEVANI POSEBNI POGOJI

/

11. ZAHTEVANI JEZIKI

Aktivno znanje enega svetovnega jezika.

12. ZAHTEVANE DELOVNE IZKUŠNJE

/

13. PREDVIDENO PODOKTORSKO USPOSABLJANJE

/

Podpis mentorja:

**Julija
Volmajer
Valh**

Digitally signed by Julija Volmajer Valh
DN: C=SI, S=Slovenija, OU=individuals,
G=Julija + SN=Volmajer Valh +
SERIALNUMBER=2482270212032 + CN
=Julija Volmajer Valh
Reason: I am the author of this document
Location:
Date: 2025.01.23 10:00:45+01'00'
Foxit PDF Editor Version: 12.1.0

Podpis vodje raziskovalnega programa:

**Lidija Fras
Zemljič**

Digitally signed by Lidija Fras Zemljič
DN: C=SI, S=Slovenija, OU=individuals,
G=Lidija + SN=Fras Zemljič +
SERIALNUMBER=2482270212032 + CN
=Lidija Fras Zemljič
Reason: I am the author of this document
Location:
Date: 2025.01.23 12:14:50+01'00'
Foxit PDF Editor Version: 12.1.0

Ime in priimek dekana oz.
pooblaščenec osebe³:

prof. dr. Matej Vesenjak

Podpis dekana oz. pooblaščenec osebe:



Digitally signed by Matej Vesenjak
Date: 2026.01.25 16:14:36 +01'00'

Kraj in datum:

Maribor,

23. 01.
2026

Žig:

³ Program usposabljanja podpiše dekan članice, na kateri bo potekalo usposabljanje MR.