

Poročilo o raziskovalni dejavnosti Fakultete za tehnologijo polimerov 2015-2020

Poročilo so pripravili: izr. prof. dr. Miroslav Huskić, Prodekan za raziskovalno dejavnost, izr. prof. dr. Irena Pulko, Prodekanica za izobraževanje, pred. Silvester Bolka, Predstojnik Centra za sodelovanje z gospodarstvom in Maja Mešl, Predstojnica Kariernega centra in Mednarodne pisarne

Poročilo je bilo sprejeto na 6. redni seji Senata, dne 16.9.2020.

Kazalo vsebine

1. Predstavitev.....	3
2. Raziskovalna skupina.....	4
3. Publikacije.....	5
4. Raziskovalna oprema.....	14
5. Raziskovalno delo za industrijo	16
6. Raziskovalna dejavnost v obdobju 2015-2020	30
7. Raziskovalni projekti, ki so se zaključili v obdobju 2015-2020	30
8. Neodobreni raziskovalni projekti v obdobju 2015-2020	32
9. Tekoči raziskovalni projekti	34
10. Nove kandidature za projekte	44

1. Predstavitev

Visoka šola za tehnologijo polimerov (VŠTP), ki je bila leta 2017 preoblikovana v Fakulteto za tehnologijo polimerov (FTPO), je bila ustanovljena z namenom pokriti vrzel v slovenskem visokošolskem prostoru na področju polimernih materialov in tako na enem mestu izobraziti in opremiti mlade z znanjem s področja, tako sinteze, kot predelave in karakterizacije polimernih materialov. Visoka šola je dokaj hitro začela s kandidiranjem na različne razpise za raziskovalne in druge projekte. Uspeh na teh razpisih je zagotovil nakup vrhunske raziskovalne opreme, zaposlitev novih visokošolskih učiteljev in raziskovalcev ter tehničnega osebja, in razvoj raziskovalno-razvojne dejavnosti.

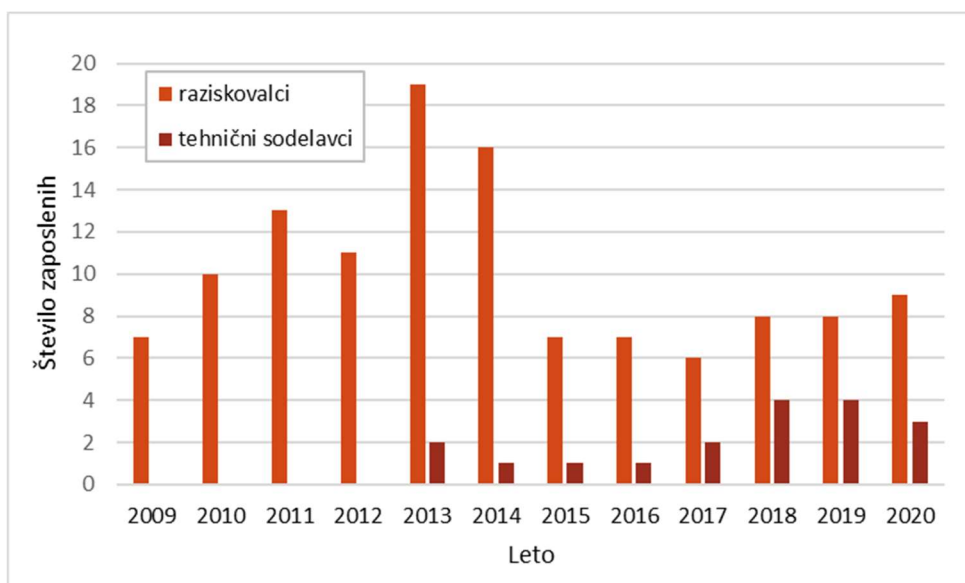
FTPO si prizadeva izvajati predvsem kakovostno aplikativno in razvojno raziskovanje v skladu z najvišjimi mednarodnimi standardi. Spodbujati želimo inovacije, zato stremimo k uporabnosti in prenosu rezultatov raziskav v komercialne namene. Poleg tega skrbimo tudi za povezanost med raziskovanjem in poučevanjem, torej prenašanjem najnovejših znanstvenih izsledkov v pedagoško prakso. Raziskovalna dejavnost se izvaja v tesnem sodelovanju z uporabniki/podjetji ter v sodelovanju z izobraževalnimi in raziskovalnimi institucijami, tako v Sloveniji kot v tujini.

FTPO je od ustanovitve izvedla in še izvaja številne raziskovalne projekte in je bistveno okrepila sodelovanje z gospodarstvom. Mreža partnerjev iz gospodarstva sedaj šteje okoli 120 podjetij, tako iz Slovenije kot tujine. Med najbolj znanimi partnerji so npr. Plastika Skaza, BSH, Akrapovič, Gorenje, Hella, Veplas, Capita, Lehmann&Voss&Co. KG, itd. Od začetnega izvajanja preprostih analiz smo prišli tudi na manjša projektna sodelovanja. Rezultat enega izmed njih je razvoj smole za 3D tisk, ki jo komercialno prodaja podjetje Helios d.d..

V zadnjih letih smo močno razširili tudi sodelovanje z raziskovalnimi in izobraževalnimi institucijami v Sloveniji in tujini. Med slednjimi največ, že dolga leta, sodelujemo z Montanuniversität in Polymer Competence centrom Leoben (PCCL) iz Leobna v Avstriji.

2. Raziskovalna skupina

Za dosedANJI uspešen razvoj fakultete so v prvi vrsti ključno vlogo odigrali njeni zaposleni, od začetnih korakov ob ustanovitvi, ko se je fakulteta (takrat še visoka šola) spopadala z zagotavljanjem osnovnih pogojev za uspešno izvedbo študijskega programa, do pridobitve večjega števila raziskovalnih projektov in s tem tudi raziskovalne opreme. Raziskovalna skupina je bila v evidenci ARRS registrirana leta 2010, število njenih članov pa je vsa leta precej nihalo, v skladu z uspešnostjo prijav na razpise za raziskovalne projekte in običajno fluktuacijo (prezaposlitvijo) zaposlenih. V letu 2015 se je iztekla večina projektov programskega obdobja, novih razpisov pa še ni bilo, tako je prišlo do izrazitega zmanjšanja števila zaposlenih raziskovalcev. Situacija se je nekoliko izboljšala šele z letom 2018, ko smo pridobili več novih projektov. Spreminjanje velikosti raziskovalne skupine prikazuje Graf 1.



Graf 1: Število zaposlenih raziskovalcev v posameznem letu.

V letu 2020 raziskovalna skupina FTPO šteje devet raziskovalcev in tri tehnične sodelavce, katerih izobrazbeno strukturo prikazuje Tabela 1.

Tabela 1: Izobrazbena struktura članov raziskovalne skupine FTPO v maju 2020.

Raziskovalci	
4	Doktorat znanosti
5	Univ.dipl. ali bolonjski magisterij
Tehnični sodelavci	
3	Dipl. ing. tehn. polim.

3. Publikacije

Rezultate raziskovalnega dela smo objavili v obliki znanstvenih, preglednih in strokovnih člankov, v obliki prispevkov (predavanja ali postri) na konferencah ter patentov.

V letih 2015-2020 so raziskovalci objavili 78 prispevkov z afilijacijo FTPO, od tega 22 izvirnih znanstvenih člankov, en pregledni znanstveni članek, eno poglavje v »Encyclopedia of polymer science and technology«, dva strokovna članka in tri patente. Ostalo so različni prispevki iz konferenc. Razmerje med strokovnimi in znanstvenimi publikacijami je približno 1:2. (Graf 2)



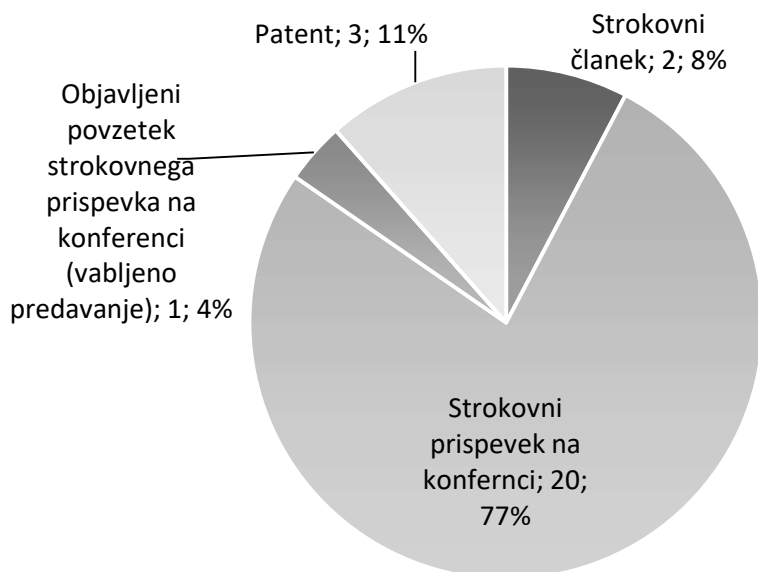
Graf 2: Delež znanstvenih in strokovnih publikacij.

Med znanstvenimi publikacijami predstavljajo članki 42 %, ostalo so različni prispevki na konferencah (vabljeni predavanja, predavanja in postri) ter poglavje v Encyclopedia of polymer science and technology.



Graf 3: Delež znanstvenih publikacij glede na klasifikacijo.

Med strokovnimi objavami pa rezultate največ predstavljamo na konferencah in sicer 77 %, veliko manj pa v obliki člankov, le 8 %. Patenti predstavljajo 11% naših strokovnih rezultatov.



Graf 4: Delež strokovnih publikacij glede na klasifikacijo.

1.01 Izvirni znanstveni članek

OSELI, Alen, VESEL, Alenka, MOZETIČ, Miran, ŽAGAR, Ema, HUSKIĆ, Miroslav, SLEMENIK PERŠE, Lidija. Nano-mesh superstructure in single-walled carbon nanotube/polyethylene nanocomposites, and its impact on rheological, thermal and mechanical properties. Composites. Part A, Applied science and manufacturing, ISSN 1359-835X. [Print ed.], Sep. 2020, vol. 136, str. 1-10.

RUDOLF, Rebeka, POPOVIĆ, Danica, TOMIĆ, Sergej, BOBOVNIK, Rajko, LAZIĆ, Vojkan, MAJERIČ, Peter, ANŽEL, Ivan, ČOLIĆ, Miodrag. Microstructure characterisation and identification of the mechanical and functional properties of a new PMMA-ZnO composite. Materials, ISSN 1996-1944, June 2020, vol. 13, iss. 12 (2717), str. 1-14.

POGORELČNIK, Barbara, PULKO, Irena, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, ŽIGON, Majda. Influence of phosphorous-based flame retardants on the mechanical and thermal properties of recycled PC/ABS copolymer blends. **Journal of applied polymer science**, ISSN 1097-4628. [Online ed.], 2020 št. 48377 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.48377>, doi: 10.1002/app.48377. [COBISS.SI-ID 17445172]

BALAKRISHNAN, Preetha, GEETHAMMA, V. G., GOPI, Sreerag, THOMAS, Martin George, KUNAVAR, Matjaž, HUSKIĆ, Miroslav, KALARIKKAL, Nandakumar, VOLOVA, Tatiana, ROUXEL, Didier, THOMAS, Sabu. Thermal, biodegradation and theoretical perspectives on nanoscale confinement in starch/cellulose nanocomposite modified via green crosslinker. **International journal of biological macromolecules**, ISSN 0141-8130. [Print ed.], 1 Aug. 2019, vol. 134, 781-790. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813019309468>, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.088. [COBISS.SI-ID 6649370]

VASILJEVIĆ, Jelena, ČOLOVIĆ, Marija, JERMAN, Ivan, SIMONČIČ, Barbara, DEMŠAR, Andrej, SAMAKI, Younes, ŠOBAK, Matic, ŠEST, Ervin, GOLJA, Barbara, LESKOVŠEK, Mirjam, BUKOŠEK, Vili, MEDVED, Jože, BARBALINI, Marco, MALUCELLI, Giulio, BOLKA, Silvester. In situ prepared polyamide 6/DOPO-derivative nanocomposite for melt-spinning of flame retardant textile filaments. **Polymer**

degradation and stability, ISSN 0141-3910, 2019, vol. 166, str. 50-59, ilustr. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391019301697, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.011. [COBISS.SI-ID 3602288]
STAMENKOVIĆ, Dejan, OBRADOVIĆ-ĐURIČIĆ, Kosovka, RUDOLF, Rebeka, BOBOVNIK, Rajko, STAMENKOVIĆ, Dragoslav. Selective laser melting and sintering technique of the cobalt-chromium dental alloy = Selektivno lasersko topljenje i sinterovanje dentalne legire kobalt-hrom. Srpski arhiv za celokupno lekarstvo : journal of Serbian Medical Society, ISSN 2406-0895, 2019, str. 1-21. http://srpskiarhiv.rs/global/pdf/onlinefirst/112-19OIF-v1.pdf, doi: 10.2298/SARH190706112S. [COBISS.SI-ID 22715926]
ŠVAB, Iztok, PUSTAK, Anđela, DENAC, Matjaž, SEVER ŠKAPIN, Andrijana, LESKOVAC, Mirela, MUSIL, Vojko, ŠMIT, Ivan. Polypropylene blends with m-EPR copolymers : mechanical and rheological properties. Acta chimica slovenica, ISSN 1580-3155. [Spletna izd.], 2018, vol. 65, no. 2, str. 344-353, ilustr. https://journals.mattheo.si/index.php/ACSi/article/view/4026, doi: 10.17344/acsi.2017.4026. [COBISS.SI-ID 2383719]
RUDOLF, Rebeka, SHARIQ, Mohammed, VESELINOVIĆ, Valentina, ADAMOVIC, Tijana, BOBOVNIK, Rajko, KARGL, Rupert, MAJERIČ, Peter. Synthesis of gold nanoparticles through ultrasonic spray pyrolysis and its application in printed electronics. Contemporary materials, ISSN 1986-8669, 2018, vol. 9, no. 1, str. 106-112, doi: 10.7251/COMEN1801106R. [COBISS.SI-ID 21642006]
HUSKIĆ, Miroslav, BOLKA, Silvester, VESEL, Alenka, MOZETIČ, Miran, ANŽLOVAR, Alojz, VIŽINTIN, Alen, ŽAGAR, Ema. One-step surface modification of graphene oxide and influence of its particle size on the properties of graphene oxide / epoxy resin nanocomposites. European Polymer Journal, ISSN 0014-3057. [Print ed.], Apr. 2018, vol. 101, str. 211-217. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305717322164, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2018.02.036. [COBISS.SI-ID 6342682]
BALABAN, Milica, BOLKA, Silvester, ANTIĆ, Vesna. Sinteza i karakterizacija poli(urea-siloksana) i poli(uretan-urea-siloksana) na bazi izoforon diizocijanata. Glasnik hemičara, tehnologa i ekologa Republike Srpske, ISSN 2232-755X. [Online ed.], 2018, št. 14, str. 9-14, ilustr. https://glasnik.tf.unibl.org/sinteza-i-karakterizacija-poliurea-siloksana-i-poliuretan-urea-siloksana-na-bazi-izoforon-diizocijanata/. [COBISS.SI-ID 17197876]
JENKO, Monika, GORENŠEK, Matevž, GODEC, Matjaž, HODNIK, Maxinne, ŠETINA, Barbara, DONIK, Črtomir, GRANT, John T., DOLINAR, Drago. Surface chemistry and microstructure of metallic biomaterials for hip and knee endoprostheses. Applied Surface Science, ISSN 0169-4332. [Print ed.], Avg. 2017, vol. 427, str. 584-593, ilustr. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433217323206, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.08.007. [COBISS.SI-ID 1331882]
BOLKA, Silvester, SLAPNIK, Janez, RUDOLF, Rebeka, BOBOVNIK, Rajko, MEŠL, M. Thermal and mechanical properties of biocomposites based on green pe-hd and hemp fibers. Contemporary materials, ISSN 1986-8669, 2017, vol. 8, no. 1, str. 89-99. [COBISS.SI-ID 20802838]
POPOVIĆ, Danica, BOBOVNIK, Rajko, BOLKA, Silvester, VUKADINOVIĆ, Miroslav, LAZIĆ, Vojkan, RUDOLF, Rebeka. Synthesis of PMMA/ZnO nanoparticles composite used for resin teeth = Sinteza PMMA/ZnO nanodelcev kompozitov za izdelavo zob iz umetnih smol. Materiali in tehnologije, ISSN 1580-2949. [Tiskana izd.], 2017, vol. 51, no. 5, str. 871-878. http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit175/popovic.pdf, doi: 10.17222/mit.2017.025. [COBISS.SI-ID 20916758]
JAGODIČ, Gregor, DERMOL, Valerij, BREZNIK, Kristijan, RONCELLI-VAUPOT, Silva. Factors of green purchasing behaviour. International journal of innovating and learning, ISSN 1471-8197, 2016, vol. 20, no. 2, str. 138-153. http://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=77844, doi: 10.1504/IJIL.2016.077844. [COBISS.SI-ID 38593285]

SUŠEC, Maja, PALJEVAC, Muzafera, KOTEK, Jiří, KRAJNC, Peter. Microcellular open porous polyester membranes from thiol-ene polymerisations of high internal phase emulsions. Designed monomers and polymers , ISSN 1385-772X. [Print ed.], 2016, vol. 19, iss. 6, str. 577-583, ilustr., doi: 10.1080/15685551.2016.1187446. [COBISS.SI-ID 19589398]
ZULE, Janja, BOLKA, Silvester, SLAPNIK, Janez. Ocena primernosti bukove žagovine kot ojačitvene komponente pri pripravi termoplastičnih biokompozitov = Suitability evaluation of beech sawdust as reinforcement component in the preparation of thermoplastic biocomposites. Acta silvae et ligni , ISSN 2335-3112. [Tiskana izd.], 2016, 110, str. 39-48, ilustr. https://doi.org/10.20315/ASetL.110.2 , doi: 10.20315/ASetL.110.2. [COBISS.SI-ID 4680102]
HUŠ, Sebastjan, KOLAR, Mitja, KRAJNC, Peter. Separation of heavy metals from water by functionalized glycidylmethacrylate poly (high internal phase emulsions). Journal of chromatography. A , ISSN 0021-9673, 2016, vol. 1437, str. 168-175, doi: 10.1016/j.chroma.2016.02.012. [COBISS.SI-ID 19348246]
SLEMENIK PERŠE, Lidija, HUSKIČ, Miroslav. Rheological characterization of multiarm star copolymers. European Polymer Journal , ISSN 0014-3057. [Print ed.], Mar. 2016, vol. 76, str. 188-195. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305716300453/pdf?md5=a6d369cbad988b50a18bb36cc1855544&pid=1-s2.0-S0014305716300453-main.pdf , doi: 10.1016/j.eurpolymj.2016.01.045. [COBISS.SI-ID 5862682]
NARANĐA, Jakob, SUŠEC, Maja, MAVER, Uroš, GRADIŠNIK, Lidija, GORENJAK, Mario, VUKASOVIĆ, Andreja, IVKOVIĆ, Alan, RUPNIK, Marjan, VOGRIN, Matjaž, KRAJNC, Peter. Polyester type polyHIPE scaffolds with an interconnected porous structure for cartilage regeneration. Scientific reports , ISSN 2045-2322, Published online: 24 June 2016, vol. 6, art. no. 28695, str. 1-11, doi: 10.1038/srep28695. [COBISS.SI-ID 19662102]
ŠEBENIK, Gorazd, HUSKIČ, Miroslav, VENGUST, Damjan, ŽIGON, Majda. Properties of epoxy and unsaturated polyester nanocomposites with polycation modified montmorillonites. Applied clay science , ISSN 0169-1317. [Print ed.], Jun. 2015, vol. 109/110, str. 143-150. http://ac.els-cdn.com/S0169131715000976/1-s2.0-S0169131715000976-main.pdf?_tid=ebabab30-d9f9-11e4-ac8d-00000aaccb35e&acdnat=1428062995_d029fb3e1f26d6330c5d8957a90a0c50 , doi: 10.1016/j.clay.2015.03.004. [COBISS.SI-ID 5675034]
HUSKIČ, Miroslav, PULKO, Irena. The synthesis and characterization of multiarm star-shaped graft copolymers of polycaprolactone and hyperbranched polyester. European Polymer Journal , ISSN 0014-3057. [Print ed.], Sep. 2015, vol. 70, str. 384-391. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305715003900# , doi: 10.1016/j.eurpolymj.2015.07.042. [COBISS.SI-ID 5742362]
HUŠ, Sebastjan, KOLAR, Mitja, KRAJNC, Peter. Tailoring morphological features of cross-linked emulsion-templated poly(glycidyl methacrylate). Designed monomers and polymers , ISSN 1385-772X. [Print ed.], Oct. 2015, vol. 18, iss. 7, str. 698-703, doi: 10.1080/15685551.2015.1070503. [COBISS.SI-ID 18854422]

1.04 Strokovni članek

RUDOLF, Rebeka, BOBOVNIK, Rajko, VUČUĆ, Jakov, MILKOTA, Antonija. Suvremena zaštita i restauracija kroz istraživanje materijala od kojih je izrađeno umjetničko djelo. IRT 3000, ISSN 1846-5951, rujan 2019, god. 13, št. 48 (3), str. 20-21. [COBISS.SI-ID 2265254]
RUDOLF, Rebeka, BOBOVNIK, Rajko, VUČIĆ, Jakov, MILKOTA, Antonija. Sodobne metode v konservatorstvu-restavratorstvu umetnin v povezavi z različnimi tehnikami preiskav materialov. IRT 3000 : inovacije, razvoj, tehnologije, ISSN 1854-3669. [Tiskana izd.], jul./avg. 2019, letn. 14, št. 7 (91/92), str. 56-57. [COBISS.SI-ID 22552342]

1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

SLAPNIK, Janez, KRAFT, Gregor, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, LOBNIK, Aleksandra. Purification of recycled terephthalic acid and synthesis of polyethylene terephthalate. V: KARLOVITS, Igor (ur.). Proceedings of the 1st International Conference on Circular Packaging, Ljubljana, 26th and 27th September 2019. Ljubljana: Pulp and Paper Institute; Slovenj Gradec: Faculty of Polymer Technology. 2019, str. 151-159, ilustr., doi: 10.5281/zenodo.3430180. [COBISS.SI-ID 17473588]

SLAPNIK, Janez, BOBOVNIK, Rajko, MEŠL, M., BOLKA, Silvester. Modified polylactide filaments for 3D printing with improved mechanical properties. Contemporary materials, ISSN 1986-8677, 2016, vol. 7, issue 2, p. 142-150, ilustr., doi: 10.7251/COMEN1602142S. [COBISS.SI-ID 16493620]

Thermal and mechanical properties of biocomposites based on green PE-HD and hemp fibers, Banja Luka

VRBNJAK, David, POGORELČNIK, Barbara, ŽIGON, Majda, MUSIL, Vojko. Primerjava mehanskih lastnosti nemodificiranih in SEBS modificiranih mešanic PET/PC = Comparison of mechanical properties of unmodified and by SEBS modified PET/PC blends. V: KAUČIČ, Venčeslav (ur.), BEŠTER-ROGAČ, Marija (ur.), GANTAR, Marjana (ur.). Zbornik referatov in povzetkov, 22. Slovenski kemijski dnevi, Portorož, 28.-30. september 2016 = 22. Slovenian Chemical Days Portorož, September 28-30, 2016. Ljubljana: Slovensko kemijsko društvo. 2016, [1-6] str., tabele. [COBISS.SI-ID 16053556]

HUŠ, Sebastjan, BOLKA, Silvester, PULKO, Irena. Effect of Bio-degradable compatibilizer on mechanical properties of PLA-based composites. V: PULKO, Irena (ur.). Biopolymer materials and engineering, 15-17 April 2015, Slovenj Gradec, Slovenia. Slovenj Gradec: Polymer Technology College. 2015, str. [46-48]. [COBISS.SI-ID 16061748]

HUŠ, Sebastjan, BOLKA, Silvester, KALIN, Mitjan, PULKO, Irena. PLA-based biocomposites with excellent tribological properties. V: PULKO, Irena (ur.). Biopolymer materials and engineering, 15-17 April 2015, Slovenj Gradec, Slovenia. Slovenj Gradec: Polymer Technology College. 2015, str. 83-[86]. [COBISS.SI-ID 16062004]

Bolka, Silvester. Study of cold crystallization behaviour of poly(lactic acid), V: PULKO, Irena (ur.). Biopolymer materials and engineering, 15-17 April 2015, Slovenj Gradec, Slovenia. Slovenj Gradec: Polymer Technology College, 2015, str. 18-22.

HUSKIĆ, Miroslav, PULKO, Irena. Grafting of caprolactone on hyperbranched polyester. V: PULKO, Irena (ur.). Biopolymer materials and engineering, 15-17 April 2015, Slovenj Gradec, Slovenia. Slovenj Gradec: Polymer Technology College, 2015, str. 43-46. [COBISS.SI-ID 5683482]

1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci

WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, BOLKA, Silvester, KRAFT, Gregor, SLAPNIK, Janez. Bioosnovani polimerni materiali - več kot le polimeri : vloga dodatkov, kompatibilizatorjev, polnil in ojačal. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 11. industrijski forum IRT, Portorož, 3. in 4. junij 2019. Škofljica: Profidtp. 2019, str. 93-96, ilustr. [COBISS.SI-ID 17318196]

BERTONCELJ, Luka, KOCBEK, Robert, ČEPON, Gregor, STARC, Blaž, ČESNIK, Martin, BOLKA, Silvester, BOLTEŽAR, Miha. Razvoj polimerne izvedbe avtomobilske komponente oljnega separatorja. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 11. industrijski forum IRT, Portorož, 3. in 4. junij 2019. Škofljica: Profidtp. 2019, str. 101-108, ilustr. [COBISS.SI-ID 16681243]

BOLKA, Silvester, BERTONCELJ, Luka, KOCBEK, Robert, ROZMAN, Tamara, LORBER, Rebeka, PEŠL, Teja, BOBOVNIK, Rajko, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich. Optimizacija brizganja PA 66GF35 s Flash DSC. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 11. industrijski forum IRT, Portorož, 3. in 4. junij 2019. Škofljica: Profidtp. 2019, str. 117-122, ilustr. [COBISS.SI-ID 17317940]

BOLKA, Silvester, PEŠL, Teja, LORBER, Rebeka, ROZMAN, Tamara, BOBOVNIK, Rajko, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich. Recikliranje biokompozitov. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 11. industrijski forum IRT, Portorož, 3. in 4. junij 2019. Škofljica: Profidtp. 2019, str. 237-242, ilustr. [COBISS.SI-ID 17317428]
BOLKA, Silvester. Vpliv časa skladiščenja na lastnosti brizganih izdelkov iz PA 66 GF15. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 11. industrijski forum IRT, Portorož, 3. in 4. junij 2019. Škofljica: Profidtp. 2019, str. 243-246, ilustr. [COBISS.SI-ID 17317684]
SLAPNIK, Janez, STILLER, Tanja, HAUSBERGER, Andreas, HANŽIČ, Franc, CEHNER, Slavko, MURGEC, Damian, PULKO, Irena, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich. Stereolitografija: pripravljena na izdelavo končnih izdelkov?. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, 11. industrijski forum IRT, Portorož, 3. in 4. junij 2019. Škofljica: Profidtp. 2019, str. 247-250, ilustr. [COBISS.SI-ID 17395764]
WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, PEŠL, Teja, BOLKA, Silvester. Spektrofotometrija - vsestransko orodje za analizo degradacije polimerov?. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [10.] Industrijski forum IRT 2018, Portorož, 4. in 5. junij 2018. Škofljica: Profidtp. 2018, str. 185-188, tabele. http://bit.do/zborniki-ifirt . [COBISS.SI-ID 17182260]
PEŠL, Teja, VILTUŽNIK, Branka, BOLKA, Silvester, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich. Vpliv dodajanja PA reciklata svežemu PA na mehanske in toplotne lastnosti brizganih kosov. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [10.] Industrijski forum IRT 2018, Portorož, 4. in 5. junij 2018. Škofljica: Profidtp. 2018, str. 189-191, ilustr. http://bit.do/zborniki-ifirt . [COBISS.SI-ID 17182516]
BOLKA, Silvester, DRMOTA, Ana, ŠPILER, Aleš, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, PEŠL, Teja, SLAPNIK, Janez, BOBOVNIK, Rajko. Biokompozit "Made in Slovenia" iz vlaken miskantusa in pe-hd matrico uporaben za brizganje tehničnih izdelkov. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [10.] Industrijski forum IRT 2018, Portorož, 4. in 5. junij 2018. Škofljica: Profidtp. 2018, str. 197-201, ilustr. http://bit.do/zborniki-ifirt . [COBISS.SI-ID 17182772]
BOLKA, Silvester, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, PEŠL, Teja. Poliuretan kot matrica za kompozite. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [10.] Industrijski forum IRT 2018, Portorož, 4. in 5. junij 2018. Škofljica: Profidtp. 2018, str. 209-212, ilustr. http://bit.do/zborniki-ifirt . [COBISS.SI-ID 17183028]
SLAPNIK, Janez, BOLKA, Silvester, BOBOVNIK, Rajko, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich. Optimiranje lastnosti brizganih izdelkov iz polifenilen sulfida (PPS) s faktorskim dizajnom eksperimenta. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [9.] industrijski forum IRT, Portorož, 5. in 6. junij 2017. Škofljica: Profidtp. 2017, str. 225-230, ilustr. [COBISS.SI-ID 16454708]
BOLKA, Silvester, SLAPNIK, Janez, BOBOVNIK, Rajko. Ugotavljanje vzrokov za napake na plastičnih izdelkih s pomočjo analize materiala oz. izdelka. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [9.] industrijski forum IRT, Portorož, 5. in 6. junij 2017. Škofljica: Profidtp. 2017, str. 287-290, ilustr. [COBISS.SI-ID 16454964]
Thermal behavior of polyamide recycate, Flash DSC
SLAPNIK, Janez, BOLKA, Silvester, BOBOVNIK, Rajko, WILHELM, Thomas. Optimiranje lastnosti brizganih izdelkov iz polifenilen sulfida (PPS) s faktorskim dizajnom eksperimenta. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [9.] industrijski forum IRT, Portorož, 5. in 6. junij 2017. Škofljica: Profidtp. 2017, str. 225-230, ilustr.
BOLKA, Silvester, SLAPNIK, Janez, BOBOVNIK, Rajko. Ugotavljanje vzrokov za napake na plastičnih izdelkih s pomočjo analize materiala oz. izdelka. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [9.] industrijski forum IRT, Portorož, 5. in 6. junij 2017. Škofljica: Profidtp. 2017, str. 287-290, ilustr.

BOLKA, Silvester, MEŠL, M., SLAPNIK, Janez, BOBOVNIK, Rajko, ANTOLOVIĆ, Mario. Biokompozit na osnovi bioosnovanega polietilena in konopljinih vlaken. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [8.] industrijski forum IRT, Portorož, 6. in 7. junij 2016. Škofljica: Profidtp. 2016, str. 275-280, ilustr. [COBISS.SI-ID 16498484]
SLAPNIK, Janez, MEŠL, M., BOLKA, Silvester, BOBOVNIK, Rajko, DERMAN, Simon, ANTOLOVIĆ, Mario. Izboljšanje mehanskih lastnosti filamentov za 3D tisk na osnovi polilaktida. V: ŠVETAK, Darko (ur.). Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma, [8.] industrijski forum IRT, Portorož, 6. in 7. junij 2016. Škofljica: Profidtp. 2016, str. 81-86, ilustr. [COBISS.SI-ID 16498228]
BOLKA, Silvester. Biopolimeri in meritve termičnih in mehanskih lastnosti. V: 25. strokovno srečanje kovinarjev [in] strokovno srečanje plastičarjev, Portorož, 12. - 13. junij 2015. Portorož: Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije. 2015, str. 1-16, ilustr. [COBISS.SI-ID 16106804]
BOLKA, Silvester. Flash DSC - powerful tool for detection of hidden defects of injection moulded parts. V: 2nd Flash DSC Conference, December 7-9, 2015. Zurich: Flash DSC Conference. 2015, [Str. 1-27], ilustr. [COBISS.SI-ID 16107316]
Vpliv pogojev predelave polimerov na mehanske in termične lastnosti, 7. Industrijski forum IRT, Portorož, 8.-9. junij 2015.

1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)

PULKO, Irena, KRAJNC, Peter. Creating microporosity within macroporous polymers : a hypercrosslinking approach. V: Abstracts accepted for presentation, Danube Vltava Sava Polymer Meeting, Vienna, Austria, September 5-8, 2017. Wien: Technische Universität, Institut für Angewandte Synthesechemie. 2017, str. 1. <http://dvspm2017.conf.tuwien.ac.at/fileadmin/DVSPM2017/abstracts/IL-8.pdf>. [COBISS.SI-ID 20785686]

1.11 Objavljeni povzetek strokovnega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)

BOLKA, Silvester, BOBOVNIK, Rajko, HUŠ, Sebastjan. Flash DSC - powerful tool for detection of hidden defects of injection moulded parts. V: ROTARU, Andrei (ur.), CERC KOROŠEC, Romana (ur.). Book of abstracts : CEEC-TAC3, 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry, 25-28 August 2015, Ljubljana, Slovenia. [S. l.]: Central and Eastern European Committee for Thermal Analysis and Calorimetry. cop. 2015, str. 58. [COBISS.SI-ID 16064564]

1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

OSELI, Alen, HUSKIĆ, Miroslav, SLEMENIK PERŠE, Lidija. The influence of polymer matrix and concentration of carbon nanotubes on rheological properties of polymer composites. V: Abstract book, EPF 2019, European Polymer Congress, Crete, 9-14 June 2019, Greece. [S. l.: s. n. 2019], f. 386. [COBISS.SI-ID 16961563]

OSELI, Alen, HUSKIĆ, Miroslav, ŽAGAR, Ema, SLEMENIK PERŠE, Lidija. Effect of morphological structure on physical properties of SWCNT/PE nanocomposites. V: COST action CA15107 MultiComp, Multi-functional Nano-Carbon Composite Materials Network : Aveiro Spring Meeting March 21st - 22nd, 2019 Aveiro, Portugal : book of abstract. Aveiro: Aveiro Institute of Materials University of Aveiro. 2019, str. 62. [COBISS.SI-ID 16558363]

OSELI, Alen, SLEMENIK PERŠE, Lidija, HUSKIĆ, Miroslav. Effect of pre-dispersed and pristine single-walled carbon nanotubes on mechanical properties of low-density polyethylene nanocomposites. V: MultiComp : abstract book, Autumn Prague Meeting 2019, Prague, September 12th-13th 2019. [Prague: s. n. 2019], f. [43]. http://multicomp.vscht.cz/documents/Abstract_book_MultiComp_Autumn_Prague_Meeting_2019.pdf. [COBISS.SI-ID 16981531]

SLAPNIK, Janez, BOLKA, Silvester, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, PULKO, Irena. Preparation of bio-based coupling agent by grafting of itaconic anhydride onto bio-based HDPE using reactive extrusion. V: PINTAR, Albin (ur.), GANTAR ALBREHT, Marjana (ur.). Book of abstracts : plenary lectures, keynote lectures, section lectures, poster session, 24th Annual Meeting of the Slovenian Chemical Society, 19-21 September 2018, Portorož - Portorose, Slovenia. Ljubljana: Slovenian Chemical Society. 2018, str. [1], tabele. [COBISS.SI-ID 17228852]

HUSKIĆ, Miroslav, BOLKA, Silvester, VESEL, Alenka, MOZETIČ, Miran, VESELINOVIĆ, Valentina, ANŽLOVAR, Alojz, ŽAGAR, Ema. The influence of graphene oxide particle size on the properties of epoxy resin nanocomposites. V: Multi-functional nano-carbon composite materials network : programme and abstracts. Vilnius: [s. n.]. 2018, str. [39]. <http://www.lms.ff.vu.lt/wp-content/uploads/2018/03/Cost-CA15107-abstract-book.pdf>. [COBISS.SI-ID 39553285]

BOŽIČ, Mojca, HRIBERNIK, Silvo, KUREČIČ, Manja, KAKER, Barbara, SLAPNIK, Janez, BOLKA, Silvester, STANA-KLEINSCHKEK, Karin. 3D printing of biocomposite of polylactic acid and lignin modified cellulose nanofibrils. V: Proceedings of 3rd edition of International Conference and Exhibition on Polymer Chemistry, March 26-28, 2018, Vienna, Austria, (Polymer sciences, ISSN 2471-9935, Vol. 4). London (United Kingdom): EuroSciCon Ltd. 2018, str. 70, doi: 10.4172/2471-9935-C1-008. [COBISS.SI-ID 21376790]

HUSKIĆ, Miroslav, ŽEPIČ, Vesna, ŽAGAR, Ema. The comparison of SWCNT/polyethylene nanocomposites prepared in micro- and laboratory extruder. V: Programme and abstract book, Bucharest CA 15107 Fall Meeting on Multi-Functional Nano-Carbon Composite Materials, September 6-7, 2018, Bucharest, Romania. [S. l.: s. n.]. 2018, str. 21. [COBISS.SI-ID 6482714]

HUSKIĆ, Miroslav, PULKO, Irena, ANŽLOVAR, Alojz, ŽAGAR, Ema. The influence of graphene oxide particle size and its modification on the properties of polyethylene-graphene oxide nanocomposites. V: Baltic Polymer Symposium 2017, Tallinn, Estonia 20-22 September 2017. Tallinn: [s. n.]. 2017, str. 30. [COBISS.SI-ID 6226202]

JENKO, Monika, GORENŠEK, Matevž, GODEC, Matjaž, HODNIK, Maxinne, ŠETINA, Barbara, DOLINAR, Drago. The microstructure of cobalt-chromium-molybdenum and titanium alloys of retrieved implants. V: GODEC, Matjaž (ur.), et al. Program in knjiga povzetkov = Program and book of abstracts, 25. mednarodna konferenca o materialih in tehnologijah, 16.-19. oktober 2017, Portorož, Slovenija = 25th International Conference on Materials and Technology, 16-19 October 2017, Portorož, Slovenia. Ljubljana: Inštitut za kovinske materiale in tehnologije. 2017, str. 81. http://icmt25.com/e_files/content/Preliminary_BookOfAbstracts_25ICM&T.pdf. [COBISS.SI-ID 1351338]

SLAPNIK, Janez, ZULE, Janja, BOLKA, Silvester, WILHELM, Thomas Jürgen Friedrich, PULKO, Irena. Synthesis of biocompatibilizer by graft polymerization of lactic acid onto a biopolymer and its use in preparation of biocomposites. V: KLJUN, Jakob (ur.), GABER, Aljaž (ur.). Book of abstracts, Scientific Conference for Young Researchers, 19. 9. 2017. Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo. 2017, str. 27, ilustr. [COBISS.SI-ID 431296]

ZULE, Janja, KROPIVŠEK, Jože, GORNIK BUČAR, Dominika, BOLKA, Silvester, SLAPNIK, Janez. Alternativna izraba bukovih ostankov. V: HUMAR, Miha (ur.), KRAIGHER, Hojka (ur.). Gozd in les : 70 let, (Studia Forestalia Slovenica, ISSN 0353-6025, 157). 1. izd. Ljubljana: Založba Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije. 2017, str. 40-41.

BOŽIČ, Mojca, HRIBERNIK, Silvo, KUREČIČ, Manja, KAKER, Barbara, SLAPNIK, Janez, BOLKA, Silvester, STANA-KLEINSCHKEK, Karin. Green reinforcement filler based on lignin modified cellulose nanofibrils for 3D printing of polymer biocomposites. V: NANOAPP 2017, Nanomaterials & Application : 14-18 June 2017, Bled, Slovenia. [S. l.: s. n.]. 2017, str. [93]. http://nanoapp.ios.si/wp-content/uploads/2013/09/0_Draft-Book-of-Abstracts_2017_V2.pdf. [COBISS.SI-ID 20647702]

HODNIK, Maxinne, GODEC, Matjaž, GORENŠEK, Miro, JENKO, Monika. Biomaterials for Hip and Knee Endoprosthesis. V: GODEC, Matjaž (ur.), et al. Program in knjiga povzetkov = Program and book of abstracts, 24. mednarodna konferenca o materialih in tehnologijah, 28.-30. september 2016, Portorož = 24th International Conference on Materials and Technology, 28-30 September 2016, Portorož, Slovenia. Ljubljana: Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, 2016, str. 96. http://icmt24.com/e_files/content/Book%20of%20Abstracts.pdf. [COBISS.SI-ID1271466]

JAGODIČ, Gregor, DERMOL, Valerij, BREZNIK, Kristijan, RONCELLI-VAUPOT, Silva. Factors of green purchasing behaviour. V: DERMOL, Valerij (ur.), et al. Managing intellectual capital and innovation for sustainable and inclusive society : proceedings of the MakeLearn and TIIM Joint International Conference, 27-29 May 2015, Bari, Italy, (MakeLearn, ISSN 2232-3309). Bangkok; Celje; Lublin: ToKnowPress, 2015, str. 2121. <http://www.toknowpress.net/ISBN/978-961-6914-13-0/papers/ML15-445.pdf>. [COBISS.SI-ID 13704097]

1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji

PULKO, Irena, KRAJNC, Peter. Porous polymer monoliths by emulsion templating. V: *Encyclopedia of polymer science and technology*. [S. l.]: John Wiley & Sons. cop. 2017, str. 1-27

2.24 Patent

HUŠ, Sebastjan, BOLKA, Silvester, PULKO, Irena. Postopek kompatibilizacije bio-ojačanih z naravnimi polnili in kompatibilizirani biopolimeri ojačani z naravnimi polnili : patent št. SI 24926. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2016.

HUŠ, Sebastjan, BOLKA, Silvester, PULKO, Irena. Kompozit na osnovi bio-polimerne matrice polimlečne kisline (PLA) z dodatki elastomera na osnovi nafte, in odpadne papirne pulpe in njegova uporaba : patent št. SI 24949. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino

ŠMUC, Boštjan, GANTAR, Gašper, GLOJEK, Andrej, HANČIČ, Aleš. Sistem in postopek za izdelavo večkomponentnih izdelkov iz umetnih mas s kompleksnimi oblikami in mikrostrukturami : patent št. SI 24949. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2015.

3.15 Prispevek na konferenci brez natisa

HUSKIĆ, Miroslav, BOLKA, Silvester, ANŽLOVAR, Alojz, ŽAGAR, Ema. Epoxy resin -amine curing agent modified graphene oxide nanocomposites : lecture at the ICCE-26 Paris, France, July 16, 2018. [COBISS.SI-ID 6432794]

BRUNČKO, Mihael, PULKO, Irena, SLAPNIK, Janez, ANŽEL, Ivan. Production of Nd-Fe-B polymer bonded magnets with additive manufacturing technologies : presentation at the Materials Science and Engineering Congress (MSE), European congress and exhibition on advanced materials and processes, at the Darmstadt University of Technology, Darmstadt , Germany, from September 26th to 28th 2018. [COBISS.SI-ID 21818646]

HUSKIĆ, Miroslav, VIŽINTIN, Alen. Polymer composites prepared by in situ thermal reduction of graphene oxide : lecture at the Scientific Meeting CA15107, Inštitut Rudjer Bošković, Zagreb, March 8th-9th, 2017. [COBISS.SI-ID 6136858]

SLAPNIK, Janez. Sinteza polimernih materialov : predavanje na konferenci NAK, 26. in 27. oktobra 2017 v Kongresnem centru Laško. <https://www.zrss.si/nak2017>. [COBISS.SI-ID 17228596]

RUDOLF, Rebeka, MAJERIČ, Peter, VESELINOVIĆ, Valentina, FRIEDRICH, Bernd, SHARIQ, Mohammed, BOBOVNIK, Rajko. Synthesis of gold nanoparticles through ultrasonic spray pyrolysis and its application in printed electronics : presentation on X International Scientific Conference Contemporary Materials 2017 (Savremeni materijali 2017), Banja Luka, November 9 to 10, 2017. [COBISS.SI-ID 20937494]

4. Raziskovalna oprema

Od samega začetka delovanja fakultete je njena osnovna dejavnost vezana na nenehno izboljševanje pedagoškega procesa in pogojev študija z nudenjem dostopa in dela na najnovejši raziskovalni opremi. Velik preskok na tem področju je fakulteta naredila s selitvijo v nove prostore v letu 2013. Selitev je sovpadala tudi z večjim številom projektov, ki so vključevali nakup raziskovalne opreme. Raziskovalno opremo nenehno nadgrajujemo in tudi v času brez projektov smo, z nakupom nujne namenske raziskovalne opreme, uspeli razširiti njen nabor.

Oprema s katero razpolagamo omogoča vrhunsko znanstveno in aplikativno raziskovalno in razvojno dejavnost ter sočasno odlično pedagoško delovanje. Celoten sistem je edinstven v Sloveniji in širši regiji, saj je delo laboratorijev med seboj horizontalno usklajeno in omogoča celostno obravnavo problemov od sinteze materiala, kompavndiranja in izdelave granulata, predelave na brizgalnem stroju, karakterizacije v vseh fazah razvoja materiala/izdelka ter testiranja okoljskih vplivov, biorazgradnje in LCA analize. To omogoča zelo učinkovito raziskovalno delo in visoko stopnjo odzivnosti.

V letu 2019 smo se, zaradi vse večjega zanimanja za študij in potreb industrije po naših raziskavah in analizah, najeli nove prostore, površine 360 m², v katerih smo uredili Laboratorij za predelavo polimerov ter Laboratorij za termično in mehansko karakterizacijo. Pri selitvi v nove prostore so nam z donacijami, tako s storitvami kot z novo opremo, izdatno pomagala različna slovenska in tuja podjetja. V tem letu smo skonstruirali in naredili kovinski reaktor v katerem lahko, edini v Sloveniji, sintetiziramo 2 kg kateregakoli polimera, kar je dovolj velika količina za nadaljnjo predelavo (kompavndiranje, dodajanje stabilizatorjev, polnil,...) in brizganje testnih vzorcev na industrijskem stroju. Druga velika pridobitev je nov stroj za brizganje Arburg, ki ga imamo v brezplačnem najemu od proizvajalca.

V letu 2020 smo dobili še dva enopolžna ekstruderja, ki ju lahko povežemo na dvopolžnega in tako, na laboratorijskem nivoju, izdelujemo 3-slojne folije za embalažo. Poleg tega smo kupili še stiskalnico, ki jo bomo uporabili za testiranje duromerov in napravo za termoformiranje.

Poleg tega želimo z različnimi promocijskimi aktivnostmi (dnevi odprtih vrat, s predstavitvami področja in raziskovalnega dela v laboratorijih FTPO, predstavitev in enostavnejših eksperimentov na srednjih in osnovnih šolah,...) prispevati k popularizaciji področja ter naravoslovno-tehničnih poklicev ter znanosti na splošno med mladimi in širšo javnostjo.

Raziskovalno opremo, s katero razpolagamo, delimo v štiri skupine:

OPREMA ZA TOPLOTNO, MEHANSKO IN KEMIJSKO KARAKTERIZACIJO MATERIALOV:

- Diferenčni dinamični kalorimeter (Mettler Toledo, DSC 2)
- Simultani termični analizator (Mettler Toledo, TGA/DSC 3+)
- Ultrahitri diferenčni dinamični kalorimeter (Mettler Toledo, Flash DSC 1)
- Dinamični mehanski analizator (Perkin Elmer, DMA 8000)
- Trgalni stroj (Shimadzu, AG-X plus 10 kN)
- UV/VIS spektrometer (Perkin Elmer, Lambda Bio 20)
- FTIR spektrometer (Perkin Elmer, Spectrum 65)
- Termogravimetrični analizator (Perkin Elmer, TGA 4000)
- Vmesnik za povezavo TGA in FTIR (Perkin Elmer, TG-IR-GCMS INTERFACE TL8000)

- Pyris programska oprema, proizvajalca PERKIN ELMER
- Naprava za merjenje toplotne prevodnosti (Hot Disk, TPS 1500)
- Naprava za merjenje indeksa tečenja taline (LILI MFI LY-RP)
- Naprava za merjenje udarne žilavosti (LY-XJDS)
- Naprava za merjenje površinske napetosti (MECO MGT 4)
- Optični mikroskop s kamero (Novex Holland, B series)
- Dewar posoda za dušik (Cryofab, CL-50)
- Analizator vlage (Mettler Toledo, HX204 Moisture Analyzer)

OPREMA ZA ANALIZO VPLIVA NA OKOLJE, BIORAZGRADLJIVOSTI IN LCA ANALIZO:

- UV komora (Intelli-ray 600)
- Komora za ksenon test (Atlas, SUNTEST XXL+)
- Respirometer za analizo biorazgradljivosti (ECHO, RESEP 02)
- Kompostniki (Naturemill)
- Programska oprema za LCA analizo (GaBi)

OPREMA ZA PREDELAVO:

- Stroj za brizganje (Krauss Maffei, CX 50-180, 50 t zapiralne sile)
- Stroj za brizganje (ARBURG, Allrounder 320 C500-100 Golden edition)
- Dvopolžni ekstruder (LABTECH – LTE 20-44)
- Granulator (SCHEER)
- 3D tiskalnik (Makerbot Replicator 2)
- 3D tiskalnik (DLP)
- Mlina za mletje termoplastov (Wanner)
- Sušilni komori (Memmert)
- Peletirka (Pellet Line, PT50)
- Enopolžna ekstruderja (BAOPIN BP-8176-ZB)
- Laboratorijska stiskalnica (BAOPIN BP-8170-B)
- Naprava za termoformiranje (MAYKU FormBox)

OPREMA ZA SINTEZO:

- Laboratorijski mešalni reaktor
- Digestorija (Wesemann, ENAS 1500)
- Rotavapor (Heidolph Laborota 4000 efficient)
- Ultrazvočna kopel (Iskra PIO, SONIS 3 GT)
- Liofilizator (Christ Alpha 1-4)
- Centrifuga (HETTICH Univerzal 320)
- Peščena kopel
- Ultrazvočni sonifikator (HIELSCHER, UP400S)
- Laboratorijski mlin (IKA, A11 BASIC)
- Stekleni reaktorji
- Magnetna, mehanska in grelna mešala
- pH meter

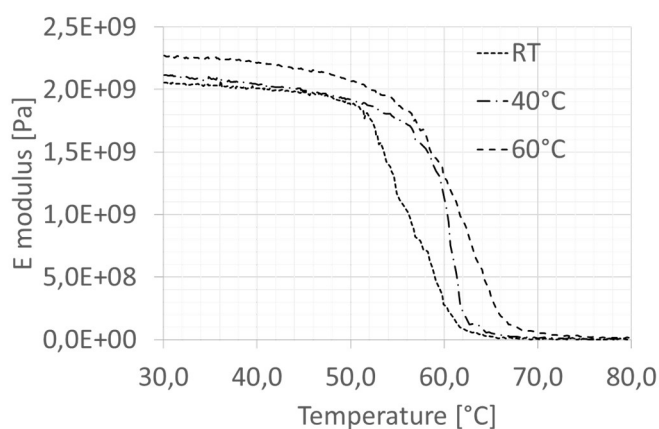
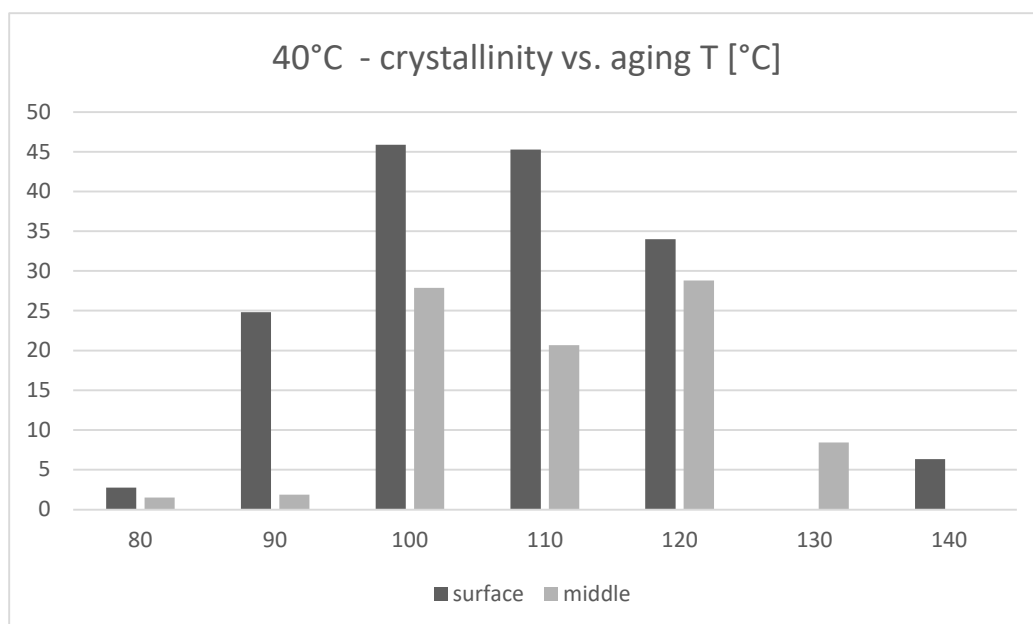
5. Raziskovalno delo za industrijo

FTPO je v zadnjih letih močno povečala sodelovanje z industrijo, tako da je število partnerjev naraslo na okoli 120. Velika večina jih je iz Slovenije, nekaj pa tudi iz Avstrije in Nemčije. Med slednjimi je podjetje Lehmann&Voss&Co AG, ki je vodilni proizvajalec polimernih kompozitov z ogljikovimi vlakni. Testno sodelovanje smo kronali z izvedbo šolanja Predstojnika centra za sodelovanje z gospodarstvom v podjetju Lehmann&Voss&Co AG z naslovom »Termična analiza v praksi«. V obdobju 2015-2020 je Predstojnik centra za sodelovanje z gospodarstvom izvedel 27 šolanj v podjetjih prilagojenih za vsako podjetje posebej.

Raziskovalno delo FTPO smo predstavili na dogodkih za industrijo, največkrat na IRT forumu v Portorožu, na konferencah in na sejmih. Predstavljene so bile teme, ki so zanimive za podjetja in s katerimi se raziskovalno ukvarjamo na FTPO.

Študija hladne kristalizacije PLA s Flash DSC

PLA kot predstavnik bioosnovanih in biorazgradljivih termoplastov predstavlja še vedno velik izziv tudi za raziskovalno sfero. Največji poudarek je namenjen zvišanju toplotne stabilnosti in modificiranju kinetike kristalizacije pri ohlajanju. Slednjega izziva smo se lotili tudi na FTPO in s pomočjo Flash DSC študirali hladno kristalizacijo PLA. Dobljene rezultate smo s pridom uporabili pri nadaljevanju raziskav v smer modifikacije kinetike kristalizacije pri ohlajanju.



Slika 1: Vpliv temperature temperiranja na stopnjo kristaliničnosti (zgoraj), dinamični E modul (sredina) in dimenzije PLA brizganega kosa (spodaj)

Biorazgradljivost kompozitov na osnovi termoplastičnega škroba

Na FTO smo pripravili lastno izvedbo termoplastičnega škroba iz škroba, glicerola, vode in lubrikanta. Za industrijsko uporabo je največji problem razgradnje tako pripravljenega materiala, saj material za željeno aplikacijo prehitro razpade. Za podaljšanje časa razgradnje smo materialu dodali lesno moko.

Tako smo uspeli podaljšati čas pričetka razpada materiala iz 3 dni na 5 tednov, kar pa še vedno ne izpolni vseh zahtev za izdelke. Da bi dosegli zahtevanih 8 tednov do pričetka razpada materiala, smo spremenili mešanico škroba, glicerola in vode, tako da smo pripravili bolj fleksibilno mešanico.



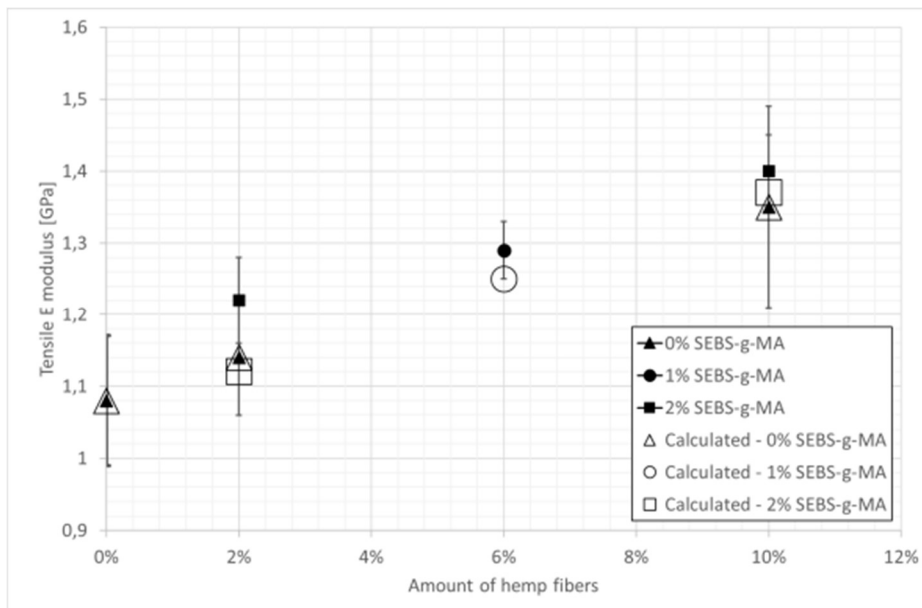
Slika 2: Testiranje različnih izvedb termoplastičnega škroba s simulacijo realnih pogojev uporabe

Biokompozit na osnovi bioosnovanega polietilena in konopljinih vlaken

Z uporabo DoE smo na FTPO pripravili bioosnovani kompozitni material z izboljšanimi mehanskimi in termičnimi lastnostmi na osnovi bio PE-HD, ki je ojačan s konopljinimi vlakni. Kot kompatibilizator med hidrofilnimi konopljinimi vlakni in hidrofobnim polimerom smo uporabili kopolimer SEBS-g-MA, ki biokompozitu dodatno izboljša lastnosti. Razviti biokompozit ima izboljšane mehanske lastnosti: večjo togost, natežno in upogibno trdnost, odpornost na upogib pri povišani temperaturi in bolj elastično vedenje od bio PE-HD brez dodatkov. Višja temperaturna obstojnost oblike omogoča pranje lončkov iz biokompozita v pomivalnem stroju, kar pri ločkih iz čiste PE-HD matrice ni možno.



Slika 3: Lončki iz biokompozita na osnovi bioosnovanega PE-HD in konopljinih vlaken



Slika 4: Togost biokompozita v odvisnosti od vsebnosti konopljinih vlaken in kompatibilizatorja

Reciklat poliamida s steklenimi vlakni

Za testiranje reciklata poliamida s steklenimi vlakni smo izbrali reciklat Durethan BKV 30 (PA 6 + 30% steklenih vlaken), ki je bil v obliki mlevine (zmleti hladni dolivki). Testirali smo tako različne odstotke dodane mlevine v svež granulato, kot tudi predhodno kompavndiranje mešanic mlevine in svežega granulata pred brizganjem. Predhodno kompavndiranje mlevine in svežega granulata je nujno pri visokem deležu dodane mlevine, da zagotovimo enakomerno in neprekinjeno doziranje materiala v polž.

Pri reciklatu poliamida s steklenimi vlakni smo pokazali, da vsaka predelava močno poškoduje steklena vlakna, kar vpliva na drastično znižanje tako togosti, trdnosti in steklastega prehoda. Pri več kot 25% dodane mlevine lahko že pride do skritih napak v brizganih izdelkih.

Tabela 2: Recepture vzorcev in povzetek laboratorijskih meritev

Vzorec	Svež granulat [%]	Mlevina [%]	Predelava	Natezni E modul [GPa]	Natezna trdnost [MPa]	Raztezek pri pretrgu [%]	T _g – vrh faktor izgub DMA [°C]	E' pri 90 °C DMA [GPa]	TGA T _d [°C]
1	100	0	Brizganje	8,34	196	6,6	71	3,24	474
2	70	30		8,30	188	6,4	69	2,93	476
3	50	50		8,29	184	6,1	68	2,93	475
4	0	100		7,47	171	6,3	67	2,60	479
5	70	30	Kompavndiranje + brizganje	6,31	141	8,0	55	2,16	476
6	50	50		6,41	137	7,9	52	2,12	477
7	0	100		6,00	132	7,1	51	1,92	474

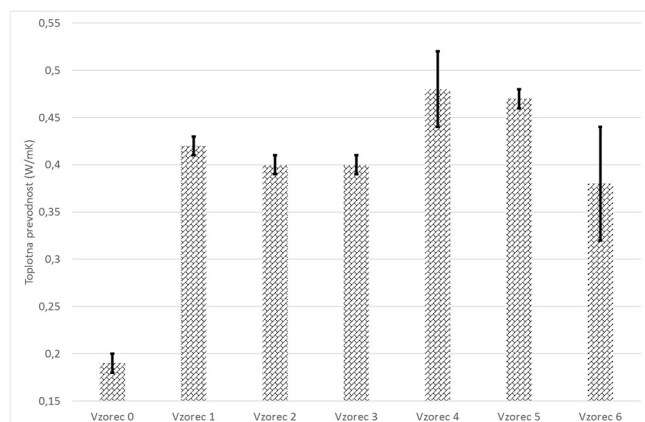
Biokompozit "Made in Slovenia" iz vlaken miskantusa in PE-HD matrico uporaben za brizganje tehničnih izdelkov

Naravna vlakna se v zadnjem času vedno bolj zanimiva tako za raziskovalno sfero kot industrijsko uporabo. Na področju termoplastičnih kompozitov se uveljavljajo kot alternativa za steklena vlakna npr. za notranjo opremo v avtomobilski industriji. Najpomembnejše lastnosti naravnih vlaken so relativno nizka cena, visoka specifična togost, trdnost, niso abrazivna pri predelavi, so iz obnovljivih virov, torej okolju prijazna. Najpomembnejša lastnost za uporabo v avtomobilski industriji je nižja gostota naravnih vlaken, ki vpliva na zniževanje teže izdelkov in s tem zmanjševanje porabe pogonske energije. Za izdelavo industrijsko uporabnih biokompozitov z naravnimi vlakni je potrebno uporabiti dodatke, ki omogočajo dobre interakcije naravnih vlaken in termoplastične matrice, dispergirnih sredstev in raznih stabilizatorjev. S pravo kombinacijo vseh dodatkov in pravilnimi parametri pri kompavndiranju in brizganju dosežemo optimalne lastnosti, ki so vedno pogojene v prvi vrsti z deležem dodanih naravnih vlaken. Vzorca 1 in 2 smo kompavndirali s kompatibilizatorjem PP-*g*-MA, vzorce od 3 do 6 s kompatibilizatorjem PE-*g*-MA. Vzorca 3 in 4 sta vsebovala 2 m.% PE-*g*-MA, vzorec 5 je vseboval 4 m.% in vzorec 6 je vseboval 6 m.% kompatibilizatorja. Vzorci od 1 do 3 so vsebovali v peletih 10 m.% škroba, vzorci od 4 do 6 so bili iz čistih vlaken miskantusa.

Rezultati testiranj so pokazali, da smo uspešno formulirali biokompozit "MADE IN SLOVENIA" iz vlaken miskantusa in PE-HD matrice, ki je uporaben za brizganje tehničnih izdelkov. Dvignili smo togost in trdnost, temperaturo uporabe, stopnjo kristaliničnosti in tališče. Znižala pa se je žilavost, kar je tudi slabost komercialno dostopnih kompozitov s kratkimi steklenimi vlakni. SEM in CT posnetki so

pokazali, da smo tudi uspešno izvedli kompatibilizacijo med vlakni miskantusa in PE-HD matrico, kar potrjujejo tudi testi navzemanja vlage.

S tem smo pokazali, da obstaja v Sloveniji zadosti znanja za izdelavo biokompozitov iz odpadne biomase. Izsledki bodo v pomoč pri naporih, za zmanjšanje CO₂ emisij pri predelavi plastike.



Slika 5: Zbrani rezultati meritev toplotne prevodnosti

Vpliv dodajanja pa reciklata svežemu PA na mehanske in toplotne lastnosti brizganih kosov

Zaradi vse večje ozaveščenosti o vplivu plastike na okolje, so trendi, predvsem na področju termoplastov, usmerjeni v smer uporabe recikliranih termoplastov. Podjetja se tako vedno pogosteje srečujejo z izzivi, da ob predelavi termoplastov uporabijo tako lasten reciklat iz proizvodnje (industrijski reciklat) kot tudi tržni reciklat. S tem pomembno vplivajo na zniževanje deleža predvsem industrijskih odpadkov ter na zviševanje dodane vrednosti izdelkom, hkrati pa jim izziv postavlja vprašanje, s kakšnimi tehnološkimi parametri in kolikšen delež recikliranega termoplasta smejo dodati svežemu termoplastu, da dosežejo končni izdelki zahtevane lastnosti. V sodelovanju z industrijo, smo na Fakulteti za tehnologijo polimerov testirali, kako različni deleži dodanega recikliranega termoplasta v svež termoplast vplivajo na končne lastnosti brizganih izdelkov. Določili smo, kakšen delež recikliranega termoplasta je še sprejemljiv. V prispevku bomo omenjen problem predstavili na primeru PA 6, kjer smo svežemu PA materialu dodajali PA industrijski reciklat. Pomembno je poudariti tudi, da se z vsako dodatno reciklažo lastnosti materiala drastično poslabšajo, zato je pomembno tudi, kolikokrat je termoplast že bil recikliran, prav tako pa na končne lastnosti vplivajo parametri med brizganjem izdelka. Vse predstavljene analize smo opravili na lastni opremi v laboratoriju Fakultete za tehnologijo polimerov, medtem ko smo izdelke nabrizgali v podjetju Plastika Skaza.

Rezultati laboratorijskih testov so pokazali, da se z dodatkom 20 m.% ali 25 m.% reciklata lastnosti materiala bistveno ne spremenijo oziroma poslabšajo in so tako rezultati primerljivi z rezultati svežega materiala. Ugotovili pa smo, da so se v primerjavi s svežim granulatom občutno poslabšali rezultati 100 % reciklata.

Iz rezultatov sklepamo, da lahko z dodajanjem 25 m.% reciklata svežemu granulatu ohranimo mehanske in toplotne lastnosti materiala, hkrati pa vplivamo na ceno končnega izdelka ter na porabo odpadnega materiala, ki bi ga drugače zavrgli, medtem ko bi 100 % reciklat lahko uporabljali za druge, tehnično manj zahtevne izdelke, katerim zadoščajo tudi poslabšane lastnosti, s čimer bi lahko reševali

okoljski problem, ki nastaja zaradi odpadne plastike, ki vse prevečkrat pristane na napačnih odlagališčih.

Tabela 3: Recepture vzorcev

Vzorec	Sveži granulati (m. %)	Reciklat (m. %)
1	100	0
2	80	20
3	75	25
4	0	100

Tabela 4: Povzetek laboratorijskih meritev

	Sveži granulati	Sveži granulati (80 m.%) + reciklat (20 m.%)	Sveži granulati (75 m.%) + reciklat (25 m.%)	Reciklat
Natezni E modul (GPa)	2,74	2,84	2,98	3,22
Natezna trdnost (MPa)	79,06	77,62	77,23	76,30
Raztezek pri pretrgu (%)	22,64	11,85	35,91	40,37
Upogibni E modul (GPa)	2,58	2,55	2,56	2,39
Upogibna trdnost (MPa)	100,5	99,7	100,5	94,4
Raztezek pri upogibni trdnosti (%)	6,05	6,10	6,09	6,11
Dinamični E modul (GPa)	2,28	2,31	2,39	1,97
Maksimum $\tan \delta$	0,1919	0,1905	0,1911	0,1760
T_g pri $\tan \delta$	64,8	64,7	63,5	60,5
Udarne žilavost (kJ/m^2)	116,62	121,11	117,92	115,59
Zarezna udarna žilavost (kJ/m^2)	8,86	8,80	8,44	8,73

Spektrofotometrija – vsestransko orodje za analizo degradacije polimerov?

Degradacija polimernih materialov ima velik vpliv na lastnosti in življenjsko dobo plastičnih izdelkov in je pogosto povezana s spremembo barve. Spektrofotometrija je dosti bolj občutljiva na spremembo barve kot človeško oko in nam tako omogoča kvantitativno analizo degradacije.

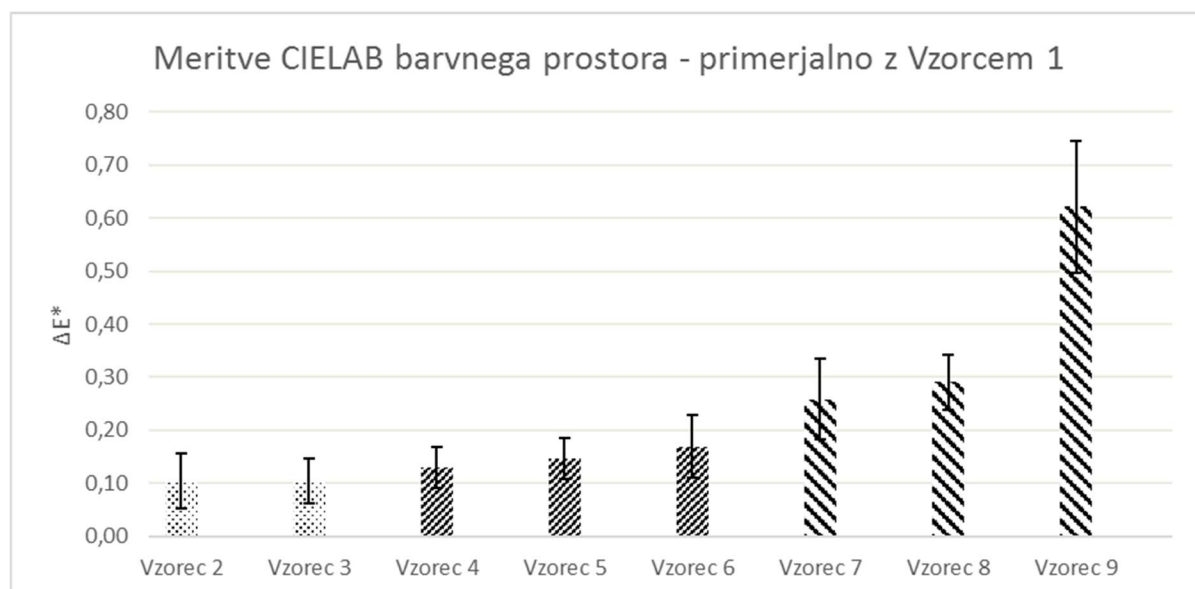
Rezultati testiranja so pokazali, da lahko zaznamo degradacijo ABS kot posledico sušenja le s spektrofotometrom. Razlika v barvnih tonih (ΔE) narašča s temperaturo in s časom sušenja. Čeprav s prostim očesom razlik v barvnih tonih še ni mogoče zaznati, meritve ΔE pokažejo lep trend naraščanja.

Pri zasledovanju degradacije kot posledice temperature brizganja smo uspešno simulirali močnejšo degradacijo kot s sušenjem granulata. Tako pri PC kot pri PS smo dobili rezultate skladne z navedbami v literaturi za degradacijo pri nateznih testih in testih zrezne udarne žilavosti. Spet pa so meritve s spektrofotometrom pokazale zelo očitno razliko v barvnih tonih (ΔE), kjer je le občutno narasla pri višji temperaturi brizganja. Tako smo pri PC dobili vrednost $\Delta E = 5,84$, pri PS je bila $\Delta E = 2,95$. Ti dve vrednosti pa kažeta na že vidno spremembo barvnega tona, ki jo lahko občutljivo oko že zazna.

Na podlagi rezultatov vseh testov lahko zaključimo, da je spektrofotometrija izredno občutljiva metoda za analizo degradacije tako ABS, PC in PS. Velika prednost te metode je tudi v njeni enostavnosti, hitrosti izvedbe, hkrati pa ne poškoduje kosov, ki jih merimo.

Tabela 5: Popis vzorcev

Material, T sušenja, čas sušenja	Vzorec
ABS, 60 °C, 1 h	1
ABS, 60 °C, 4 h	2
ABS, 60 °C, 24 h	3
ABS, 80 °C, 1 h	4
ABS, 80 °C, 4 h	5
ABS, 80 °C, 24 h	6
ABS, 100 °C, 1 h	7
ABS, 100 °C, 4 h	8
ABS, 100 °C, 24 h	9



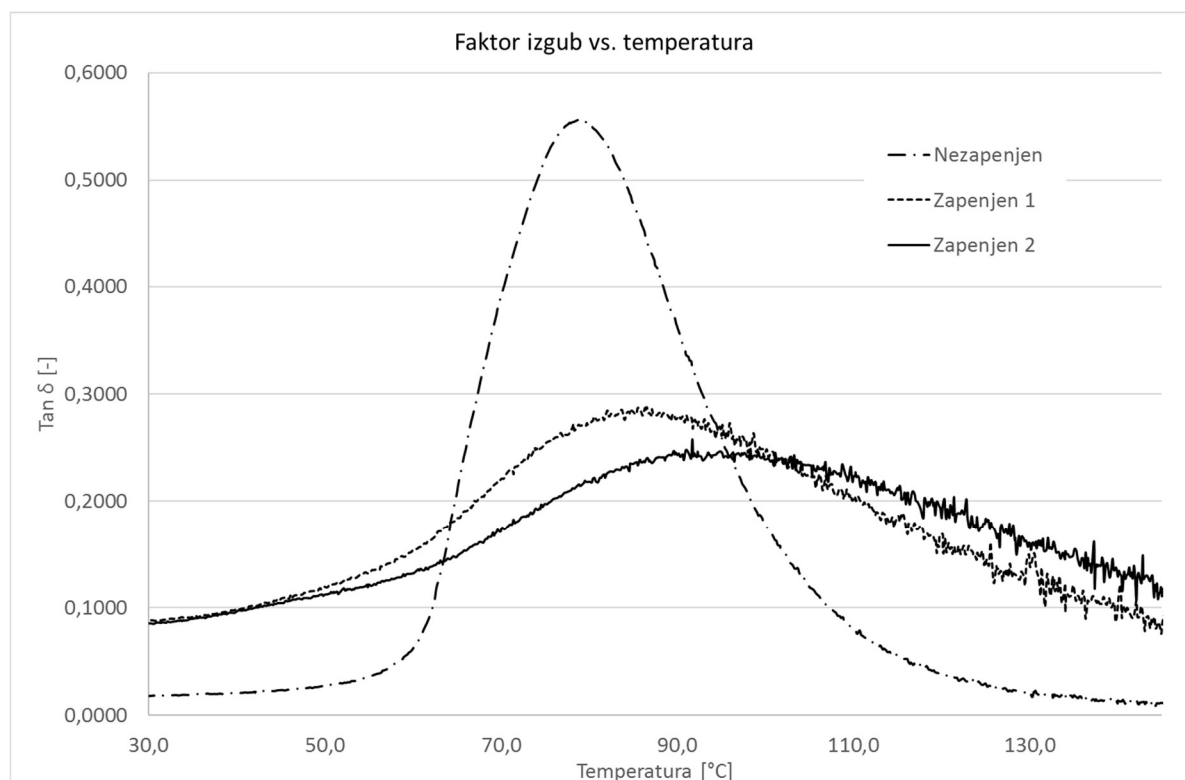
Slika 6: Vpliv temperature in časa sušenja na spremembo barvnega tona

Poliuretan kot matrica za kompozite

Kompoziti, najpogosteje s steklenimi vlakni, imajo pogosto ali epoksi ali poliestrsko matrico. Če bi radi zagotovili uporaben kompozit za dinamične obremenitve z višjimi dovoljenimi raztezki, potem sta omenjeni matrici omejeno uporabni. Naslednja omejitev je pogosto tudi nekompatibilnost epoksi ali poliestrske matrice z raznimi dodatnimi elementi. Te omenjene omejitve v dobršni meri lahko odpravimo, če uporabimo poliuretanski sistem kot matrico za kompozit. Prednost poliuretanske matrice je poleg višjega raztezka pred porušitvijo tudi zelo enostavno "krmiljenje" časa zamreževanja, saj lahko z dodatkom pospeševalca kot tretje komponente čase ciklov drastično skrajšamo, brez da bi s tem bistveno vplivali na ceno in mehanske lastnosti kompozita. Seveda ima poliuretanski sistem tudi svojo šibko točko - to je izredna občutljivost tako na zračno vlago kot na vlago vseh uporabljenih

materialov. Vlaga, v kakršni koli obliki (zračna ali v materialu), povzroči penjenje poliuretanske matrice in s tem se drastično poslabšajo mehanske lastnosti - laminat ni več uporaben.

Rezultati testiranja so pokazali, da je poliuretanska matrica uporabna za izdelavo konstrukcijskih kompozitnih izdelkov. Njene prednosti (dobra adhezija na različne materiale, enostavno krmiljenje časov utrjevanja, široko temperaturno območje utrjevanja) so dobrodošle predvsem pri izdelavi maloserijskih izdelkov in velikoserijskih izdelkov večjih debelin. Vedno pa je potrebno posebno pozornost pri izdelavi kompozitov s poliuretansko matrico nameniti vlagi – tako vlagi vseh uporabljenih materialov kot zračni vlagi pri proizvodnji.



Slika 7: Odvisnost sposobnosti dušenja poliuretanskih kompozitov od temperature in vsebnosti vlage

Razvoj polimerne izvedbe avtomobilske komponente oljnega separatorja

Tema dela je bila metodologija razvoja avtomobilske komponente oljnega separatorja, ki se uporablja pri 13l dizelskih motorjih tovornih vozil in je tekom obratovanja podvržena termo-mehanskim in kemičnim obremenitvam. Cilj razvoja je usmerjen v zamenjavo obstoječe aluminijaste izvedbe kolena oljnega separatorja s polimerno izvedbo, narejeno iz PA66 GF35. V namen pretvorbe je bil razvit digitalni dvojček, ki omogoča napoved dinamske karakteristike nove polimerne izvedbe v celotnem temperaturnem območju znotraj 10% odstopanja. Digitalni dvojček je eksperimentalno validiran s postopkom modalne analize in z izvedbo vibracijskega profila vzbujaanja na razvitem preizkuševališču. Obenem je analiziran tudi polimer z vidika lezenja in utrujanja. S Flash DSC-jem lahko dosežemo velike hitrosti segrevanja (2.400.000 °C/min) in ohlajanja (240.000 °C/min), kar omogoča simulacijo predelave termoplastov. Lahko določimo temperature steklastega prehoda, tališča, kristalizacije in hladne kristalizacije, entalpije tališča, kristalizacije in hladne kristalizacije. Temperaturno območje izvedbe meritev je od -35 °C do 300 °C. Velikost vzorca je od 10 ng – 1000 ng. Pri brizganju delnokristaliničnih termoplastov je še posebej pomembna hitrost ohlajanja v orodju in temperatura

orodja. S tem lahko uravnavamo velikost kristaliničnih področij in njihovo število. Od teh dveh parametrov so močno odvisne tudi končne lastnosti brizganih kosov.

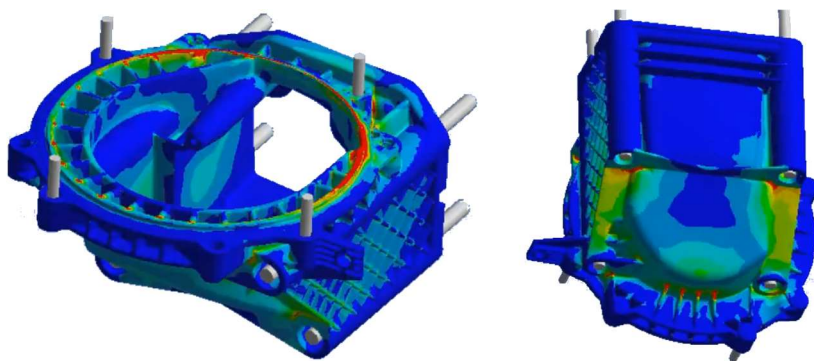
Zasledovali smo vpliv temperature orodja in časa ohlajanja na stopnjo kristaliničnosti PA 66 GF35. Karakterizacijo lastnosti smo izvedli v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu. Ovrednotili smo mehanske in toplotne lastnosti pred in po optimizaciji skladno z rezultati Flash DSC meritev.

Izkazalo se je, da je pri razvoju polimernih izdelkov, ki so izpostavljeni termo-mehanskim (dinamskim) obremenitvam, ključnega pomena natančno razumevanje obnašanja materiala z vidika lezenja in utrujanja, v nekaterih primerih pa tudi staranja. Temperaturni vpliv je na termoplaste znaten, saj se od temperature steklastega prehoda dalje prične material obnašati popolnoma drugače, kar je tudi razvidno iz izrazitega padca mehanskih lastnosti in posledično tudi dinamske karakteristike.

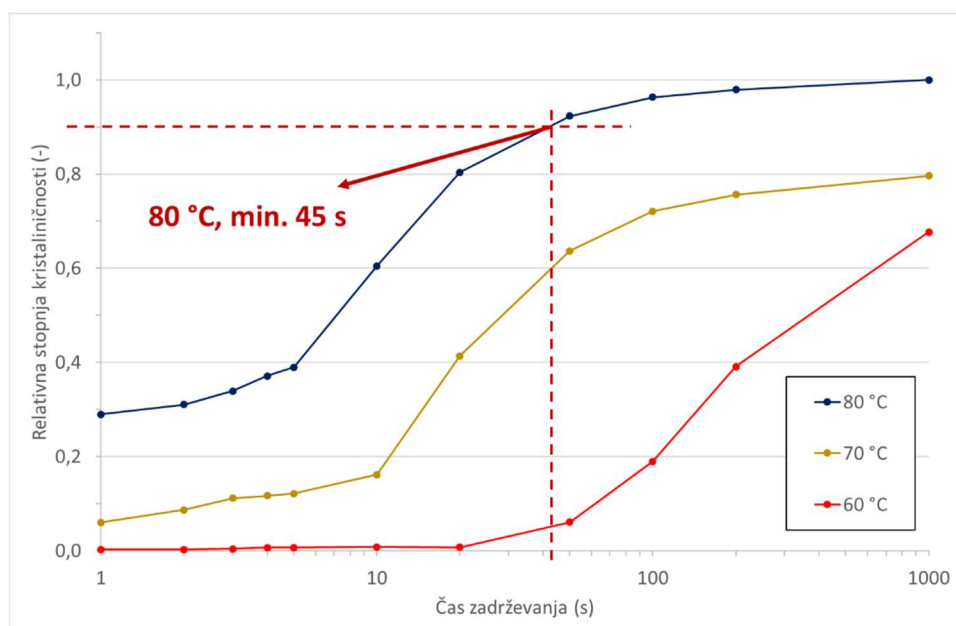
V ta namen je potrebno izvesti materialne analize ter se zavedati njihovih omejitev. To še posebej velja za dolgotrajne teste, kot so testi lezenja in utrujanja, kjer se znaten delež karakteristik ekstrapolira.

V zadnji fazi se je izkazala tudi pomembnost optimizacije procesnih parametrov in njihov vpliv na končni rezultat. Na podlagi opravljenih DSC analiz smo ugotovili, da lahko z optimizacijo procesnih parametrov (predvsem s temperaturo temperiranja orodja in časom hlajenja) povišamo elastični modul in natezno trdnost, izboljša se temperaturna obstojnost matrice, predvsem pa se zmanjšajo notranje napetosti in hladna kristalizacija, kar vodi do boljše dimenzijske stabilnosti.

Končni rezultat razvojnega projekta, ki temelji na uporabi predstavljene razvojne metodologije, je nova, polimerna izvedba povezovalnega kolena oljnega separatorja. Z njo smo, ob primerljivi dinamski karakteristiki z Al kolenom, dosegli $\approx 15\%$ prihranek na masi celotnega kolena, izdelek pa ima z vidika proizvodne cene popolno ekonomično upravičenost. V primerjavi z Al izvedbo, omogoča novo koleno z vidika potencialnih optimizacij v prihodnosti tudi nove, cenejše oblike spajanja, kar vodi do finančnega prihranka na celotnem oljnem separatorju.



Slika 8: Kritična mesta pod vplivom lezenja



Slika 9: Relativna kristaliničnost v odvisnosti od temperature temperiranja in časa hlajenja – definicija optimalne temperature orodja za brizganje in časa hlajenja brizganega kosa v orodju

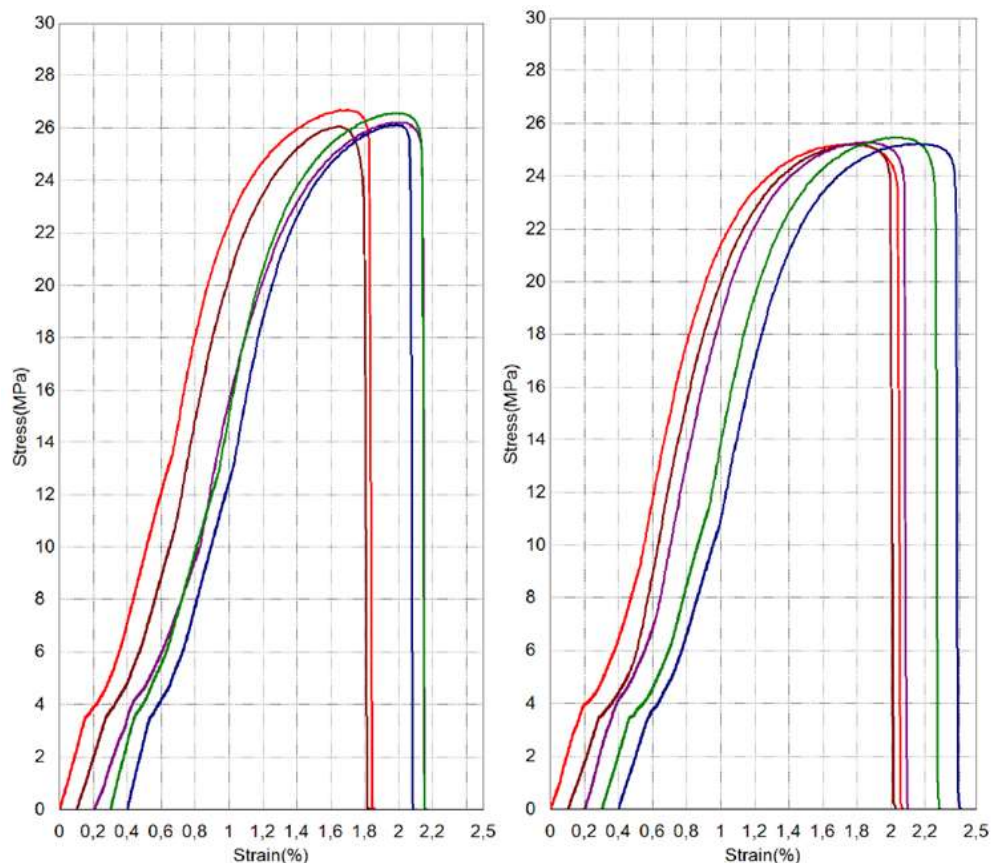
Recikliranje biokompozitov

Vse več aktivnosti je v polimerni industriji usmerjenih na zamenjavo steklenih vlaken z naravnimi, v uporabo vsaj bioosnovanih polimerov in reciklaži. Pri naravnih vlaknih so še posebej zanimiva odpadna naravna vlakna, saj s tem močno zmanjšamo količino odpadkov, ki jih uporabimo kot sekundarno surovino za kompozite. Če pri tem uporabimo še bioosnovano termoplastično matrico pomeni, da smo izdelali biokompozit, ki je v dobršni meri izdelan iz obnovljivih virov. Da sledimo trendu krožnega gospodarstva, da ob koncu življenjske dobe izdelka iz bioosnovanega kompozita le tega recikliramo, smo pri razvoju biokompozitov zasledovali tudi vpliv večkratnega recikliranja na lastnosti biokompozita. Da dobimo biokompozit, ki ima zadovoljive lastnosti za uporabo za tehnične izdelke mu moramo dodati dodatke, ki omogočajo večkratno recikliranje brez zaznavnih sprememb lastnosti.

Raziskava je bila opravljena z biokompozitom, ki ima termoplastično matrico, ki je sintetizirana iz sladkornega trsa, kot ojačevalo ima miskantusova vlakna. Zasledovali smo vpliv večkratnega recikliranja biokompozita s postopkom brizganja in mletja brizganih kosov. Karakterizacijo lastnosti smo izvedli v laboratorijih FTPO. Ovrednotili smo mehanske, toplotne lastnosti, dinamične mehanske lastnosti in žilavost. V dobršni meri smo uspeli ohraniti lastnosti biokompozita in s tem pokazali, da lahko biokompozite iz pretežno obnovljivih virov recikliramo in uporabimo za izdelavo enakovrednih izdelkov.

Rezultati vseh testov so pokazali, da je recikliranje biokompozitov izvedljivo v enaki meri kot kompozitov iz neobnovljivih virov. Rezultati nam pokažejo, da pri peti predelavi še ne pride do degradacije PE-HD matrice kljub temu, da je sintetizirana iz obnovljivih virov (sladkornega trsa). Rezultati mehanskih analiz (DMA, natezni in upogibni testi) na nakazujejo, da so mehanske lastnosti do četrte predelave skoraj konstantne, kar je glede na kompozite s steklenimi vlakni nepričakovano. Pri kompozitih s steklenimi vlakni se pri vsakem mletju brizganih izdelkov steklena vlakna močno skrajšajo, kar vodi k opaznem znižanju togosti in trdnosti kompozitov. To za biokompozite iz miskantusovih vlaken ne velja, saj so mehanske lastnosti vsaj do četrte predelave praktično nespremenjene. Toplotne lastnosti so z izjemo temperature degradacije miskantusovih vlaken, ki pri

peti predelave razpade 3 °C prej kot pri predhodnih predelavah, praktično nespremenjene. To velja tako za tališče PE-HD kot tudi za stopnjo kristaliničnosti PE-HD. To pa hkrati kaže tudi na to, da med reciklažo biokompozitov ne prihaja do degradacije PE-HD matrice in da so spremembe lastnosti biokompozitov po vsej verjetnosti povezane le s krajšanjem miskantusovih vlaken in z delno degradacijo miskantusovih vlaken.



Slika 10: Natezni testi biokompozita po prvi (levo) in peti (desno) predelavi

Biokompozit iz odpadnega papirja in recikliranega polipropilena

Izvedli smo razvoj biokompozita iz matrice iz recikliranega polipropilena (rPP) in ojačevala odpadnega papirja, ki sta bila kompatibilizirana s polipropilenom graftiranim z malein anhidridom (PP-g-MA).

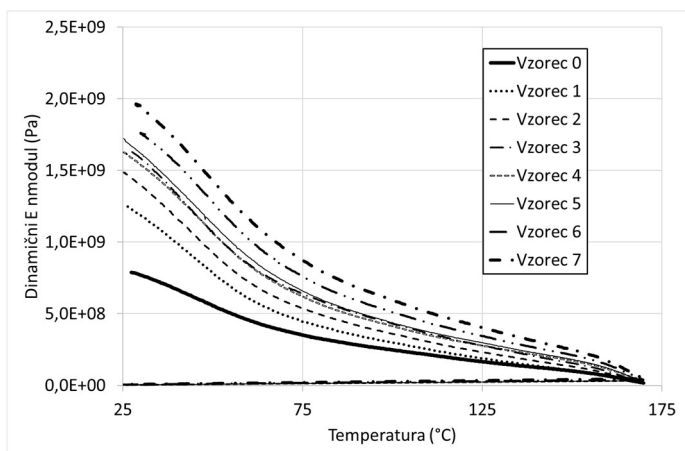
Kompavndiranje smo izvedli na dvopolžnem ekstruderju. V rPP matrico smo dodali 5 % in 10 % odpadnega papirja in 4 % PP-g-MA. Za izvedbo karakterizacije smo preizkušance pripravili s postopkom brizganja skladne z oblikama ISO 527 tip 1BA in ISO 178 oz. ISO 179. Upogibni E modul se je z višanjem dodatka odpadnega papirja višal (za 15 % in 23 % pri 5 % in 10 % dodanega odpadnega papirja), prav tako tudi maksimalna upogibna trdnost (za 7 % in 10 % pri 5 % in 10 % dodanega odpadnega papirja). Rezultati nateznih in DMA testov kažejo enak trend. Višja togost in hkrati tudi višja trdnost kažeta na dobro kompatibilizacijo biokompozitov. Pri dodatku 10 % odpadnega papirja so se zvišale toplotna prevodnost, udarna žilavost in temperatura degradacije, medtem ko sta tališče in temperatura kristalizacije ostali enaki.

Tabela 6: Recepture za pripravljene vzorce

Vzorec	rPP (m.%)	PP-g-MA (m.%)	Lubrikant (m.%)	Antioksidant (m.%)	Odpadni papir (m.%)
0	100	0	0	0,00	0
1	94,6	4	1	0,38	0
2	89,6	4	1	0,38	5
3	84,6	4	1	0,38	10
4	79,6	4	1	0,38	15
5	74,6	4	1	0,38	20
6	69,6	4	1	0,38	25
7	64,6	4	1	0,38	30

Tabela 7: Zbrani rezultati nateznega testa

Rezultati nateznega testa				
Vzorec	E_t (GPa)	σ_m (MPa)	ε_m (%)	ε_{tb} (%)
0	1,15±0,07	26,4±0,1	6,55±0,10	59,68±2,51
1	1,36±0,15	25,3±0,1	6,81±0,12	79,03±10,29
2	1,38±0,07	25,7±0,2	6,51±0,14	30,80±10,29
3	1,45±0,12	26,8±0,2	5,90±0,17	15,50±2,43
4	1,53±0,05	28,1±1,2	6,19±0,17	10,38±1,28
5	2,03±0,14	29,8±0,2	5,83±0,08	8,97±0,75
6	1,92±0,13	31,0±0,2	5,99±0,10	8,94±0,87
7	2,17±0,31	33,1±0,2	5,86±0,06	7,43±0,55



Slika 11: Primerjava dinamičnega E modula

Odpadna biomasa kot ojačevalo za termoplastični elastomer

Cilj razvoja biokompozita z matrico iz termoplastičnega elastomera je bil trgu ponuditi fleksibilen kompozit s čim višjim deležem bioosnovanih komponent. To smo dosegli z uporabo polietilena visoke gostote, ki je sintetiziran iz sladkornega trsa in odpadno biomaso kot ojačevalom.

Biokompozit iz odpadne biomase in matrice iz termoplastičnega elastomera je bil zasnovan za zunanjo uporabo in smo ga uporabili za izdelavo prototipov ročajev za pohodne oz. smučarske palice. Testirali smo vpliv različnih deležev odpadne biomase v biokompozitu in vpliv različnih odstotkov dodane PE-HD komponente. Pri izdelavi prototipov smo testirali tudi vpliv dodatkov barvil na spremembo barvnega tona posameznih izvedb. Prototipe smo brizgali v podjetju Tehnomat d.o.o, ki je svetovno

poznan proizvajalec ročajev za pohodne oz. smučarske palice. Karakterizacijo lastnosti smo izvedli v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov. Vrednotili smo mehanske in toplotne lastnosti in dinamične mehanske lastnosti.

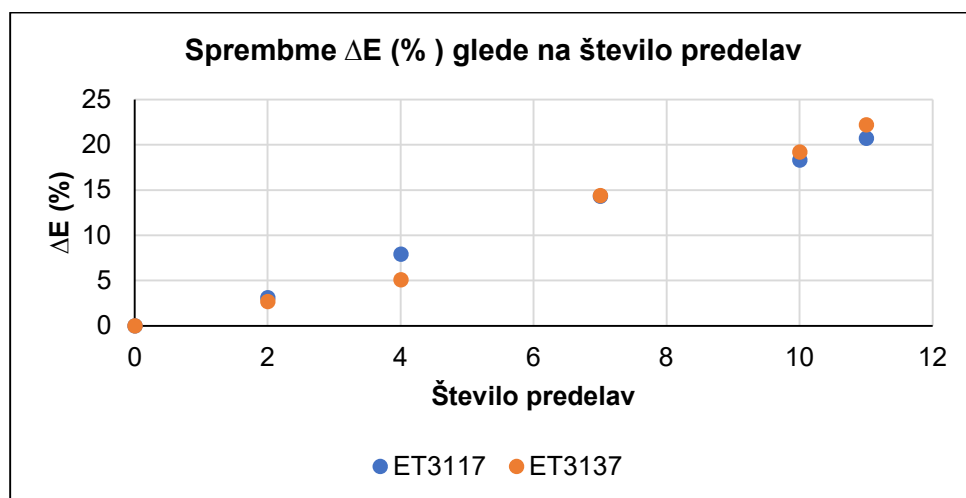


Slika 12: Ročaji za pohodne oz. smučarske palice izdelani iz biokompozitov

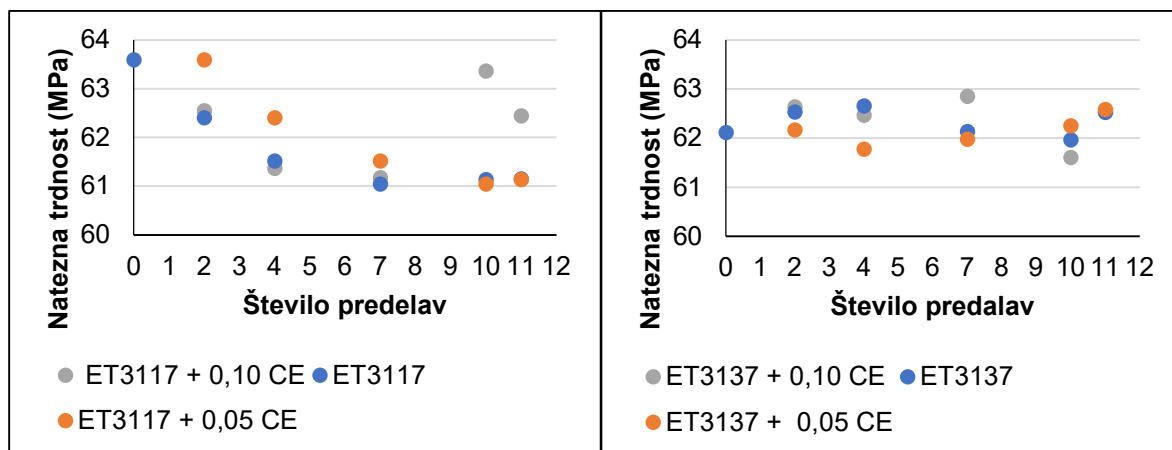
Recikliranje polikarbonata

Izvedli smo recikliranje inženirskega termoplasta, ki se uporablja za izdelke s kratko življenjsko dobo in za katerega je zaželena možnost večkratnega mehanskega recikliranja. Tržno dostpne kvalitete so ali v linearni ali razvejani obliki, zato smo testirali obe izvedbi in jih medsebojno primerjali.

Cilj raziskave je bil karakterizirati toplotne, mehanske in optične lastnosti termoplasta polikarbonata (PC) v linearni in razvejani obliki v odvisnosti od števila predelav. Degradacija se lahko v dobršni meri prepreči tudi s pravimi dodatki, zato smo hkrati dodali tudi dve različni koncentraciji podaljševalcev verig. Predelave smo simulirali z večkratnim ekstrudiranjem. Testne epruvete smo pripravili s postopkom brizganja po vsakokratnem večkratnem ekstrudiranju. Opazili smo, da so posamezne lastnosti linearno odvisne od števila predelav (npr. barvni ton), posamezne lastnosti pa linearne odvisnosti ne kažejo (natezna trdnost pri razvejanem PC). Lastnosti so v dobršni meri odvisne od količine dodanega podaljševalca verig pri linearni obliki PC, pri razvejani obliki PC je ta odvisnost težje zaznavna. Določene lastnosti so za linearni in razvejani PC ravno recipročne glede na število predelav, tako da je pri recikliranem PC zelo pomembno, v kakšnem razmerju je linearni in razvejani PC. S pravilnim »up-cyclingom« je možno izdelati reciklat PC, ki bo imel ravno prave lastnosti za določen izdelek, če predhodno poznamo lastnosti recikliranega PC.



Slika 13: Sprememba barvnega tona linearnega (ET3117) in razvejanega (ET3137) PC v odvisnosti od števila predelav



Slika 14: Vpliv števila predelav na natezno trdnost pri linearnem (ET3117) (levo) in razvejanem (ET3137) (desno) PC

6. Raziskovalna dejavnost v obdobju 2015-2020

Vse od ustanovitve VŠTP, leta 2006, je bil velik poudarek na razvoju raziskovalnega okolja, ki bo nudilo možnosti za vrhunske, predvsem aplikativne raziskave. V ta namen se je fakulteta stalno povezovala z raziskovalci v drugih izobraževalnih in raziskovalnih institucijah ter v industriji, tako v Sloveniji kot tujini. Uspešno kandidiranje na razpisih za projekte je omogočilo nakup raziskovalne opreme, le-ta pa tudi kvalitetno raziskovalno delo.

Iz pregleda uspešnih in neuspešnih kandidatur, v letih 2015-2020, za raziskovalne projekte je razvidno, da je naša uspešnost pri prijavih skoraj 38 %. Na mednarodnih razpisih je naša uspešnost 27 %, pri domačih pa okoli 47 %.

V raziskovalno delo na FTPO so vpeti tudi študenti in sicer na več načinov. Študenti se lahko vključijo, z diplomskimi in magistrskimi deli, v projektne raziskave, lahko sami predlagajo zanimivo temo za diplomsko oziroma magistrsko delo, preko sodelovanja v PKP projektih ter, zadnji dve leti, s povezavo študijskega procesa z industrijskim partnerjem (Kolektor, Plastika Skaza). Nekaj člankov, ki smo jih objavili in en komercialni izdelek, temeljijo na rezultatih diplomskih in magistrskih nalog ter PKP projektih.

7. Raziskovalni projekti, ki so se zaključili v obdobju 2015-2020

PolyRegion

Projekt PolyRegion (SI-AT projekt), pri katerem gre za razvoj Poliregije z združitvijo R&R in gospodarskih kapacitet s poudarkom na MSP-jih na področju polimernih tehnologij, s ciljem nadgradnje zaloge znanja, infrastrukture in konkurenčnosti. Projekt se je zaključil 31.3.2015. PolyRegion je bil skupni projekt petih partnerjev, poleg VŠTP še Montanuniversität Leoben, TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije, Materials Cluster Styria GmbH in GIZ Grozd Plasttehnika. V okviru omenjenega projekta se je izvajal R&R projekt z naslovom »New materials for injection moulding«. VŠTP je bil v projektu

PolyRegion vodilni partner. Ključni cilj projekta je bil spodbujati obstoječ velik potencial na področju polimerov in predelovalnih tehnologij v slovenskih (Koroška, Savinjska) in avstrijskih (Štajerska, Koroška) regijah ter z usmerjenimi ukrepi povezovati obstoječe kompetence in infrastrukturo udeleženih znanstvenih in raziskovalnih institucij.

PolyRegion ProAct

Projekt PolyRegion ProAct predstavlja razširitev aktivnosti projekta PolyRegion, pri čemer njegove aktivnosti temeljijo na rezultatih projekta PolyRegion. Nov projekt, ki se je končal 31.3.2015, se je osredotočal na R&R aktivnosti in izobraževalne naloge ter je okrepil konkurenčnost in mednarodno prepoznavnost Poliregije. Pomembna naloga projekta je bila vzpostaviti in vzdrževati slovensko-avstrijsko čezmejno sodelovanje med podjetji in razvojno raziskovalnimi in izobraževalnimi ustanovami. V letu 2015 se je do konca marca zaključilo pet raziskovalnih in razvojnih aktivnosti, ki so potekale v sodelovanju s podjetji, in sicer:

- Bioosnovan in biorazgradljiv material za embalažo s podjetjem Ecopack v okviru katerega smo s pomočjo strokovnjaka iz podjetja Resniex uspeli pripraviti PLA folijo v debelini 0,3 do 0,4 mm v podjetju Folex proizvodnja, storitve in trgovina d.o.o. in nato v podjetju Ecopack uspešno termoformirali prototip PLA embalaže za pecivo.
- Bioosnovan in biorazgradljiv kompozit v okviru katerega smo v sodelovanju s podjetjem Qhar Plast pripravili dva demonstratorje iz konopljeve mase in TPS biokompozita.
- Iskanje vzroka za problem »prebijanja« izmetačev v okviru katerega smo podjetju Saxonia Franke s pomočjo karakterizacije termičnih in mehanskih lastnosti granulata in končnega izdelka pomagali pri odpravljanju problema izbijanja izmetačev pri injekcijskem brizganju.
- Termična analiza triboloških mešanic v okviru katerega smo v sodelovanju z Univerzo v Leobnu podjetju Advanced Polymer Compounds iz Avstrije svetovali pri razvoju novih triboloških mešanic, ki se odlikujejo po nizkem trenju in nizki obrabi. V okviru tega dela je bilo potrebno določiti homogenost sestave mešanic z uporabo Flash DSC in sestavo s pomočjo FTIR.
- Rdeč »MasterBatch« s temperaturno obstojnostjo nad 300°C. Problem v podjetju ETI Proplast je bil, da so morali zelene kose tiskati s tamponskim tiskom vsaj trikrat, da so dobili dobro pokrivnost in pravi barvni ton – svetlo rdeča barva, ki mora biti dobro vidna tudi pri slabi svetlobi. Naša naloga je bila, najti ustrezno barvilo za granulato, da bi ga namesto tako kot sedaj z zeleno, obarvali s svetlo rdečo barvo.

Kreativno jedro VŠTP

Projekt »Kreativno jedro VŠTP«, ki je bil odobren v okviru "Operativnega programa krepitve regionalnih razvojnih potencialov za obdobje 2007-2013." Projekt se je zaključil 30. junija 2015. V okviru projekta Kreativno jedro VŠTP so se izvajale temeljne in aplikativne raziskave na področju polimernih materialov, s poudarkom na biopolimernih materialih in pripadajočih tehnologijah. Glavni namen projekta je bil pridobiti kritično maso znanja na področju biopolimerov, tako na osnovi lastnih raziskav, kot v sodelovanju s tujimi inštitucijami ter znanje implementirati v pedagoški proces in v končni fazi prenesti v industrijo

Spodbujanje zaposlovanja mladih doktorjev znanosti

V okviru razpisa ARRS **Spodbujanje zaposlovanja mladih doktorjev znanosti**, katerega namen je bil omogočiti zaposlovanje mladih doktorjev znanosti, ki so po končanem doktorskem usposabljanju

zaradi dolgotrajne ekonomske in finančne krize ostali brez možnosti zaposlitve. Cilj javnega razpisa je uporaba pridobljenih znanj na področju raziskovalno razvojnega dela in prenos znanja v prakso ter dvig raziskovalno razvojnih potencialov. V okviru tega razpisa smo v letu 2015 zaposlili novo raziskovalko z doktoratom za raziskovalno delo na področju recikliranja polimernih materialov. Dr. Barbara Pogorelčnik se je pri raziskavah osredotočila predvsem na reciklat polikarbonata. Študirala je vpliv dodatkov zaviralcev gorenja na mehanske in termične lastnosti recikliranega polikarbonata. Na omenjeno tematiko je pripravila prispevek na konferenci in članek.

Po kreativni poti do praktičnega znanja (več razpisov)

Projekti **Po kreativni poti do praktičnega znanja** (PKP) se izvajajo na konkretnem problemu iz gospodarstva ob sodelovanju pedagoških in delovnih mentorjev in tako z uporabo inovativnega, problemskega in skupinskega pristopa k reševanju praktičnih problemov podpirajo razvoj kompetenc, pridobivanja praktičnega znanja ter izkušenj študentov. S pomočjo mentorjev iz izobraževalne in gospodarske sfere študentje v okviru projektnih aktivnosti, ki so potekale kot dopolnitev rednega učnega procesa, razvijajo inovativnost, kreativno razmišljanje ter druge kompetence, ki jim bodo omogočile lažji prehod iz izobraževanja v zaposlitev.

Tekom dosedanjih projektov Po kreativni poti do znanja smo v sodelovanju s študenti in mentorji s Fakultete za tehnologijo polimerov in Fakultete za strojništvo, Univerze v Mariboru ter podjetjem:

- Elektro VIP s.p. razvili dozirnik za tablete,
- Gorenje d.o.o. smo s pomočjo umetne inteligence optimizirali enakomerno porazdeljenost temperaturnih razmer v pečici s pomočjo umetne inteligence,
- Magneti Ljubljana d.d. pripravili magnetni filament, primeren za uporabo na konvencionalnih 3D printerjih.

8. Neodobreni raziskovalni projekti v obdobju 2015-2020

V letu 2015 smo bili kot partner povabljeni v konzorcije, ki so neuspešno kandidirali s projekti:

- Evropski projekt z akronimom VERDEE: Vegetation and Renewables for Districts Energy Efficiency, H2020, EE-02-2015.
- Evropski projekt z akronimom AdRec: Innovative Collecting And Recycling Scheme for Plastic and Advanced Materials (EU programme LIFE).
- Evropski projekt CEEPUS z naslovom »Energy Efficient Manufacturing«.

V letu 2016 smo bili kot partner povabljeni v konzorcije, ki so neuspešno kandidirali s projekti:

- Evropski projekt HORIZON 2020 z akronimom FIREcompos.
- Interreg SI-AT: PolyGremo, vodilni partner: TU Graz.

V letu 2017 smo bili kot partner povabljeni v en konzorcij, ki je neuspešno kandidiral s projektom:

- Evropski projekt HORIZON 2020 z akronimom I-SWEEP.

V letu 2018 smo bili kot partner povabljeni v konzorcije, ki so neuspešno kandidirali s projekti:

- CORDAL - Kompozitne raziskave za aplikacije v letalstvu, JR RRP2 (TRL3-6): Javni razpis Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih projektov, Prijavitelj: Pipistrel d.o.o..

- ACIPROPIN, Napredni krožni procesi za perutninsko industrijo, JR RRP2 (TRL3-6): Javni razpis Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih projektov. Prijavitelj: Perutnina Ptuj d.d..
- Evropski projekt: Mouldable 3D Wood-Sandwich based on residuals of the woodworking industry EU program: ForestValue – Innovating the forest-based bioeconomy. Prijavitelj: Fraunhofer Institute for Wood Research (Nemčija).
- Polimerni materiali s kontrolirano dielektrično konstanto za uporabo v komunikacijskih tehnologijah. Javni razpis za sofinanciranje znanstvenoraziskovalnega sodelovanja med Republiko Slovenijo in Italijo v letih 2018 – 2020.
- Biolathe – Biodegradable or biocompatible composite materials for additive manufacturing using selective laser sintering or thermoplastic extrusion M-ERA.NET Call 2018. Prijavitelj: Univerza v Mariboru – Laboratory for Electro Optics and Sensor Systems

V letu 2019 smo kot prijavitelj neuspešno kandidirali s projektom:

- Reinforcing the scientific excellence and innovation capacity in polymer processing technologies of the faculty for polymer technology and the broader Balkan region. Partnerji so bile priznane inštitucije s področja predelave polimerov: Budapest University of Technology and Economics, Department of Polymer Engineering (BMEPT), Madžarska; Polymer Competence Center Leoben GmbH (PCCL) in Montanuniversitaet Leoben, Institute for Polymer Processing (MUL), Avstrija; IWK Institute of Material Science and Plastics Processing at HSR University of Applied Science Rapperswil (IWK), Švica. Twinning ID: WIDESPREAD-05-2020

Po kreativni poti do praktičnega znanja, Razvoj okolju prijazne embalaže za milo in šampon - od ideje do izdelka, predvideno sodelovanje s podjetjem ISTOST d.o.o..V letu 2019 smo bili povabljeni v velik mednarodni konzorcij za kandidiranje na razpisu Innovation TEST BEDS. Projekt COMPETE je bil v prvi fazi odobren, v drugi fazi je sicer dobil dovolj točk, a premalo, da bi dobil tudi financiranje.

V letu 2020 smo, na razpisu ARRS, neuspešno kandidirali s projektom:

- Razvoj fotopolimernih smol in premazov za aplikacije v dentalni medicini.
- Povabljeni smo bili še v 5 neuspešnih projektov, ki so jih prijavile druge raziskovalne organizacije.
- Na razpisu Advanced light materials and their production processes for automotive applications ID: LC-GV-06-2020 smo s podjetjem Podkrižnik d.o.o. in več partnerji iz tujine kandidirali s projektom: Development of advanced light materials and production processes of mechanical loaded components for light electric vehicles (APeV)
- V letu 2020 smo skupaj s partnerji iz Severne Makedonije in Črne gore, neuspešno kandidirali na razpisu NATO Science for Peace and Security Programme, s projektom Innovative Biomechanical Technology for Smart Composite Hand (IB TEC HAND)

9. Tekoči raziskovalni projekti

Strategija pametne specializacije

VŠTP je bila leta 2015 zelo aktivna pri pripravi pobud za Strateška inovacijska partnerstva v okviru Strategije pametne specializacije Slovenija, kjer je bil vključena v 8 pobud, eno pa je koordinirala sama. FTPO je od leta 2019 aktivni član SRIP MATPRO in SRIP Krožno gospodarstvo.

Bilateralni projekt Slo-BiH

Leta 2018 smo uspešno kandidirali na razpisu za bilateralne projekte z Bosno in Hercegovino v letih 2019-20, s projektom Razvoj novih polimernih aditivov za različne aplikacije. Partner v projektu je Univerza v Banja Luki, Prirodno-matematiški fakultet.



Infrastrukturni program

Infrastrukturni program nudi podporo projektom FTPO ter projektom in programom drugih raziskovalnih organizacij ter zainteresiranim posameznikom, podjetjem in ostalim tako v Sloveniji kot širše. Infrastrukturna podpora v obsegu 1,5 FTE je bila fakulteti prvič odobrena v letih 2013-2014, nadalje je bilo fakulteti odobreno sofinanciranje tudi za obdobje 2015-2020, oziroma, zaradi korona virusa podaljšano do 2021.

Infrastrukturni program omogoča raziskovalne in razvojne aktivnosti na številnih strateško pomembnih področjih, ki so kakorkoli vezana na polimerne materiale in podpira oziroma pripomore k hitrejšemu razvoju podjetij na obravnavanih področjih ter s tem k zvišanju konkurenčnih prednosti Slovenije v globalnem svetu.



Izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio-osnovanih produktov

S konzorcijskimi partnerji uspešno kandidirala na javnem razpisu MIZŠ »Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih programov (TRL3-6)« s projektom »Izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio-osnovanih produktov«, ki ga vodi Inštitut za celulozo in papir. Gre za 4 letni raziskovalni projekt, ki se je začel izvajati septembra 2016. V okviru projekta raziskovalci FTPO izvajajo R&R aktivnosti na področju razvoja biokompozitnih materialov ter materialov za 3D tisk.

Partnerji projekta: <http://celkrog.si/partnerji/>

Trajanje projekta: 4 leta (začetek - september 2016)

Spletna stran projekta: <http://celkrog.si/>

Strateška usmeritev programa je izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio osnovanih produktov, z vzpostavljanjem novih verig vrednosti za kaskadno in trajnostno rabo obnovljivega surovinskega vira. Program tako sledi ciljem evropske strategije za Prehod v krožno gospodarstvo (<http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>), kjer je raba biomase in materialov na osnovi obnovljivih virov (les, pridelki, vlakna) prepoznana kot eno od petih prioritetenih področij krožnega gospodarstva, ki lahko doprinesejo k razvoju številnih novih proizvodov (gradbeništvo, pohištvena industrija, papir, hrana, tekstil, kemikalije) in energijski izrabi teh materialov (biogoriva).

Rezultat razvojnega dela FTPO projekta Cel.Krog je D3.2.4.1, ki se umešča v sklop RRP3 »Razvoj produktov z večjim deležem bio-osnovanih komponent in izboljšanimi funkcionalnostmi – gradbeništvo, avtomobilska, tekstilna in elektro industrija« in delovni sklop WP3.2 »Razvoj lahkih polimernih kompozitov za uporabo v avtomobilski industriji«, z naslovom »Prototip dela ohišja za vzglavnik v avtomobilu«. Cilj prototipa je bil, da smo v industrijskem okolju izdelali prototipe biokompozitnih plastičnih komponent za avtomobilsko industrijo, ki so bili ojačani z vključevanjem ligno-celuloznih vlaken. Oblikovane prototipne izdelke smo testirali in primerjali z izdelki iz klasičnih kompozitov, ter popisali mehanske, termične, kemijske in reološke lastnosti bio-kompozitnega granulatnega materiala za izdelavo tehničnega lista.

Izdelavo prototipov dela ohišja za vzglavnik v avtomobilu je bila končna eksperimentalna faza projekta Cel.Krog, kjer smo najprej pregledali razpoložljivo literaturo, testirali odpadno biomaso kot ojačevalo v termoplastično matrico, izvajali optimizacije kompavndiranja in brizganja bio-kompozitov v povezavi s kemijsko, mehansko, toplotno in fizikalno karakterizacijo, navzemanjem vode, kar smo nadgradili s SEM in CT posnetki. Rezultate smo diseminirali na konferencah, dogodkih za industrijo in v raznih glasilih. Hkrati smo razvijali filament za 3D tisk, kjer smo rezultat uspešne izvedbe kronali z izdelavo adapterja za potapljaško masko za zračni filter med Corona pandemijo. V času Corona pandemije smo razvili bio-kompozitni granulat, ki je služil za filter za obrazno masko. Material smo modificirali tako, da ga je možno tudi lasersko gravirati, kar bi služilo za personalizacijo ohišja filtrov z namenom sterilizacije in večkratne uporabe.



Slika 15: Adapter za potapljaško masko (levo) in filter (desno) za obrazno masko (sredina)

Uspešno smo izvedli in-situ karbonizacijo celuloznih vlaken (iz odpadnega papirja iz Papirnice Vevče), ki smo jih dodali polikarbonatni matrici.

Vse rezultate bio-kompozitov iz odpadne biomase in termoplastične matrice smo karakterizirali in rezultate vnašali v bazo podatkov, iz katere bomo kreirali v zaključni fazi tehnične liste za izdelane izvedbe. Z izdelavo bio-kompozitov smo pokazali, da smo z dodatkom odpadne ligno-celulozne mase v termoplaste uspešno izdelali tehnične kompozitne materiale, ki so zmanjšali odvisnost od sintetičnih polimerov in zmanjšali ogljični odtis (tabela 1). Recikliranje bio-kompozitov z dodatkom odpadne ligno-celulozne mase v termoplastično matrico je možno, tudi po petem recikliranju se mehanske in toplotne lastnosti ohranijo na vrednostih prve predelave, kar je velika prednost v primerjavi s kompoziti ojačenimi s steklenimi vlakni, kjer z vsako predelavo mehanske lastnosti padejo tudi do 30 % (togost in trdnost).

Za izdelavo prototipa dela ohišja za vzglavnik v avtomobilu smo uporabili tri izvedbe materialov. Dva sta bila s Green PE-HD matrico in dodatkom 15 % talka, prva z dodatkom 30 % miskantusovih vlaken, druga z dodatkom 30 % odpadnega papirja. Tretjo izvedbo smo izdelali z ABS matrico in dodatkom 30 % odpadnega papirja. Pri izvedbi z ABS matrico je prišlo do rahle degradacije odpadnega papirja med kompavndiranjem in brizganjem. Vse tri izvedbe smo kompavndirali in brizgali brez problema, po izdelavi je sledila karakterizacija prototipov v podjetju Kolektor.

LCA primerjava za bio-kompozit razvit v okviru projekta in PE-HD (sintetiziran iz nafte) in dodatkom 30 m.% steklenih vlaken, ki je primerljiv glede uporabe. Potencial globalnega segrevanja za bio-kompozit je zmanjšan za 70 % glede na kompozit iz PE-HD (sintetiziran iz nafte) in dodatkom 30 m.% steklenih vlaken – to pomeni, da je za 70 % manj CO₂ emisij, ki se sprostijo pri izdelavi bio-kompozita. Potencial izčrpavanja abiotičnih virov (voda, zrak, toplota, svetloba, mineralne snovi, ...) je zmanjšan celo za 96 %. Skupna raba primarne neobnovljive energije je nižja za 48%. Za izdelavo materiala pa se porabi tudi 36 % manj sveže pitne vode.

Na delu vzglavnika avtomobilskega sedeža so zatiči, ki omogočajo sidranje po sestavljanju celotnega vzglavnika. Za izvedbo nateznega testa smo izdelali posebno pripravo, ki je omogočala, da so bili zatiči med testiranjem fiksirani.

Skladno z zahtevami za prototip dela ohišja za vzglavnik v avtomobilu so bili izvedeni tudi testi navzemanja vode za izdelane bio-kompozite. Rezultati so predstavljeni na slikah 4 (pri 80 °C) in 5 (pri sobni temperaturi). Za bio-kompozita, ki sta dosegla najboljše rezultate pri testiranju prototipov, smo že izdelali tehnična lista.

Najboljše rezultate smo dosegli z bio-kompozitom z matrico iz polietilena, ki je sintetiziran iz sladkornega trsa, kateri je dodan 30 % odpadnega papirja iz Papirnice Vevče in 15 % talka. Pri brizganju ni posebnih omejitev, le tlak brizganja je nekoliko višji, je pa še vedno v območju zmogljivosti brizgalnih strojev.

Z uporabo bio-kompozitnega materiala iz obnovljivih virov (polietilena sintetiziranega iz sladkornega trsa, odpadnega papirja in talka) zmanjšujemo CO₂ emisije, močno zmanjšamo izčrpavanje abiotičnih virov in primarne neobnovljive energije ter pri tem porabimo manj sveže pitne vode.

Če primerjamo maksimalno silo pri porušitvi v primeru PE-HD vidimo, da sta bio-kompozita bolj krhka kot čisti P-HDE. Če primerjamo odpadni papir in miskantus lahko zaključimo, da je bio-kompozit z miskantusom bolj krhek. Enako se kaže v primeru ABS, le da je v tem primeru padec maksimalne sile

še večji. Pri PE-HD je padec za 31 % v primeru papirja in 40 % v primeru miskantusa, pri ABS s papirjem za 45%. Kompozitom v primerjavi s čistimi matricami naraste trdnost in togost, zmanjša se žilavost.

Primerjava za navzemanje vlage med vsemi tremi prototipnimi serijami pokaže, da se vzorci z dodanimi miskantusovimi vlakni navzamejo več vode kot z odpadnim papirjem. Pri vzorcih, ki vsebujejo odpadni papir Vevče pa se manj vode navzamejo tisti, ki so narejeni iz PE-HD matrice.



Slika 16: Izdelani prototipi (levo: ABS+ 30 % odpadnega papirja; sredina: Green PE-HD+30 % miskantusa + 15 % talka; desno: Green PE-HD+30 % odpadnega papirja + 15 % talka)

Da smo dosegli pričakovane rezultate projekta, smo izvedli kompavndiranje na več kot 200 različnih recepturah bio-kompozitov, vključno z recikliranjem, ki je možno do petih ponovitev brez občutnega upada mehanskih in toplotnih lastnosti, testirali smo več kot 20 različnih odpadnih biomas, izdelali številne demonstratorje za projekt, izdelanih je bilo 10 diplomskih nalog, dve inovaciji (v podjetjih Kolektor in Troia), novo sodelujoče podjetje (Troia), nova veriga vrednosti in predstavitve na dogodkih za industrijo, sejnih, konferencah in predstavitev rezultatov projekta v medijih.

S tem smo dosegli tudi ključne cilje prednostnega področja S4: kaskadna raba biomase in povečanje reciklabilnosti in izkoriščanje odpadne lignocelulozne biomase; vzpostavili smo tudi novo verigo vrednosti. »State-of-the-art« smo presegli z in-situ karbonizacijo odpadnega papirja v polikarbonatni matrici, s čimer smo pokazali ambicioznost projekta pri izdelavi bio-kompozitov za izboljšanje mehanskih lastnosti polimernih matric.

Mednarodni inovativni potencial smo izpolnili z bazo podatkov razpoložljivih virov biomase, ki jo dopolnjujemo z lastnostmi bio-kompozitov s termoplastičnimi matricami.

Z izdelavo demonstratorjev pri različnih podjetjih smo razširili inovacijske zmogljivosti teh podjetij, saj smo skupaj pokazali, da nova znanja vodijo do tržno zanimivih produktov, ki sledijo trendom in zahtevam trgov.





Slika 17: Izdelani demonstratorji v okviru projekta



Polymetal

Projekt PolyMetal spada med odobrene projekte v okviru »Programa sodelovanja Interreg V-A Slovenja-Avstrija«.

Spletna stran projekta: <http://www.si-at.eu/si2/polymetal/>

Trajanje projekta: 1. maj 2018 - 30. april 2021

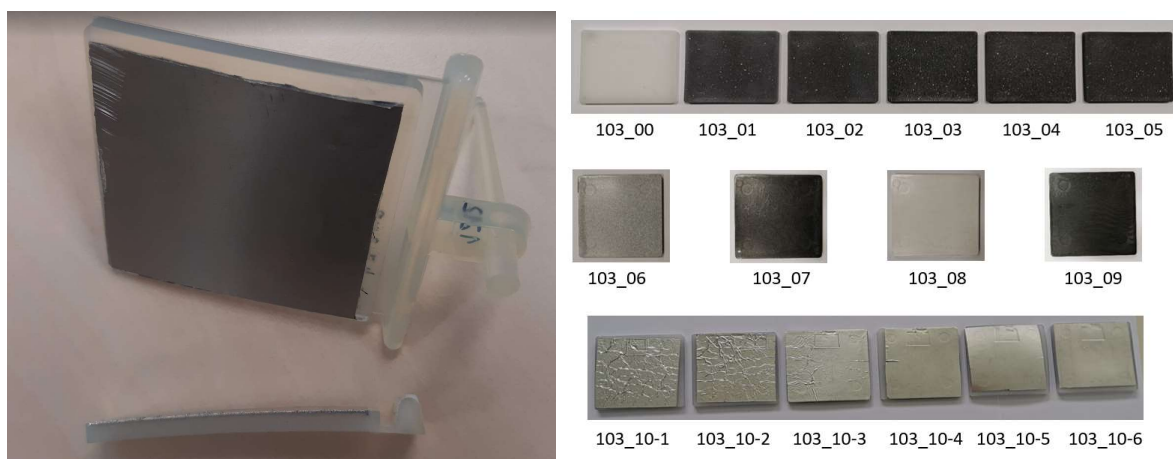
Vrednost celotnega projekta (vseh sodelujočih partnerjev): 528.141,99 €

Partnerji projekta:

- Gorenje gospodinski aparati, d.d. (vodilni partner)
- Fakulteta za tehnologijo polimerov
- Richard Hiebler GmbH
- Polymer Competence Center Leoben GmbH
- Intra lighting d.o.o.
- Montanuniversität Leoben

Glavni cilj projekta je čezmejno sodelovanje, povezovanje in skupne raziskovalne in razvojne aktivnosti MSP in raziskovalnih organizacij iz manj razvitih, nemestnih območjih (Miren, Stainz, Leoben, Slovenj Gradec) z enim izmed vodilnih evropskih proizvajalcev gospodinskih aparatov na razvoju novih polimernih kompozitov, ki bi lahko nadomestil uporabo nerjavečega jekla ali aluminija pri izdelavi oblikovalsko zahtevnejših izdelkov v različnih panogah.

V okviru projekta smo razvili metodo za vrednotenje hladnega dotika. Razvita je bila z namenom vrednotenja večslojnih izvedb, ki jih z obstoječimi merilnimi metodami ni možno karakterizirati. Pri razvoju metode smo sodelovali vsi projektni partnerji. Vzorce smo pripravili v laboratoriju FTPO z dvema različnima metodama: kompavndiranje termoplastov in polnil z visoko toplotno prevodnostjo in IML kovinskih folij. Končno razvita metoda je bila validirana z dvema serijama meritev pri vseh projektnih partnerjih.



Slika 18: Brizan vzorec izdelan z IML tehnologijo s kovinsko folijo (levo) in vzorci za izdelavo metode za vrednotenje hladnega dotika (desno)

Pri pripravi kovinske folije za IML tehnologijo smo diseminirali znanje, pridobljeno v okviru projekta v podjetju Capita, kjer smo izvedli nanos TPU na kovinsko folijo. To tehnologijo smo predstavili tudi

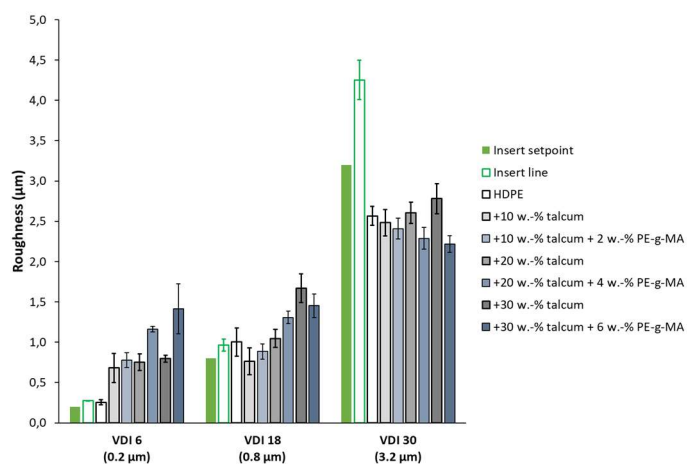
Inštitutu za celulozo in papir. Tehnologijo smo uspešno uporabili tudi skupaj s podjetjem Hirsch, kjer smo pripravili brizgane kose z IML tehnologijo.

Eden od ciljev projekta je bil definicija pravega izgleda brizganih kosov. V ta namen smo v okviru projekta izdelali 3 gravurne vložke za orodje za brizganje z različnimi hrapavostmi.



Slika 19: Gravurni vložki za brizganje z različnimi hrapavostmi

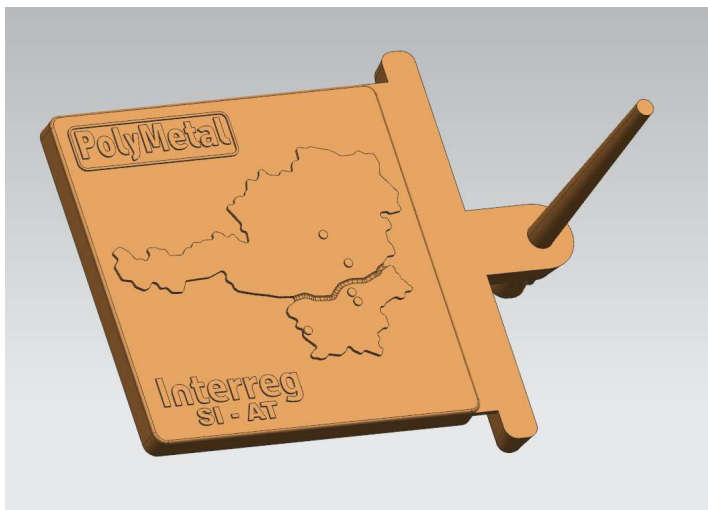
Rezultati meritev hrapavosti brizganih kosov so pokazali, da bo potrebno dodatno znanje in sicer vpliv velikosti delcev polnil v kompozitih na hrapavost brizganih kosov. Teste smo izvedli v laboratorijih FTPO, kjer smo najprej pripravili kompozite s povprečno velikostjo polnil 5,4 μm in tremi različnimi koncentracijami polnila (10 %, 20 % in 30 %) v PE-HD matrico. Karakterizacija rezultatov meritve hrapavosti je pokazala, da lahko povprečno velikost delcev polnil povežemo s profilom površine. Skladno z ugotovitvami smo izvedli drugi test z manjšo in večjo povprečno velikostjo delcev polnila. Pri tem smo razširili znanje na novo podjetje, ki nam je dobavilo polnilo – Calcit.



Slika 20: Rezultati meritev hrapavosti

Izvedba projekta temelji na tesnem sodelovanju med vsemi projektnimi partnerji in krepitev čezmejnega sodelovanja. Skladno s temi cilji smo izvedli medlaboratorijsko primerjavo meritev hrapavosti v podjetjih in raziskovalnih inštitucijah ter medlaboratorijsko primerjavo med FTPO in PCCL. Pri tej medlaboratorijski primerjavi smo poenotili tudi priprave vzorcev, metode in izvedbe testov. Tako

je bilo izvedena tudi izmenjava znanja in izkušenj raziskovalnih institucij. Delo bomo nadaljevali s pripravo kompozitov z visoko toplotno prevodnostjo. V ta namen bomo na FTPO kompavndirali in brizgali vzorce, karakterizacija bo potekala na FTPO, PCCL in MUL. Partner Hiebler bo pripravil nove gravurne vložke za orodje, ki bodo služili kot demonstrator za projekt.



Slika 21: 3D model za demonstrator za projekt PolyMetal



Start Circles

Projekt Start Circles spada pod projekte v okviru »Programa sodelovanja Interreg V-A Slovenija-Avstrija«.

Spletna stran projekta: <http://www.si-at.eu/si2/start-circles/>

Trajanje projekta: 1. september 2018 – 31. avgust 2021

Vrednost celotnega projekta (vseh sodelujočih partnerjev): 686.039,24 €

Projektni partnerji:

- Gospodarska zbornica Slovenije (vodilni partner)
- Wood Carinthian Competence Center
- LIMNOS doo, Podjetje za aplikativno ekologijo
- Asteenergy – Ingenieurbüro für erneuerbare Energie, Forst- und Holzwirtschaft
- Fakulteta za tehnologijo polimerov
- Karl-Franzens-Universität Graz
- Forschung Burgenland GmbH

Krožno gospodarstvo (s številnimi novimi direktivami) pred podjetja postavlja nove izzive. Več pozornosti kot doslej bo potrebno posvetiti uporabi recikliranih oziroma predelanih materialov. Potrebne bodo inovacije in nove tehnologije za izboljšanje postopkov reciklaže in predelave materialov s povečanjem snovnega izplena teh postopkov.

Glavni cilj projekta je povečanje inovativnosti MSPjev na področju trajnostnega razvoja in učinkovite rabe virov na programskem območju. START CIRCLES bo izboljšal dostop MSP do informacij, aktivnosti in podpornih inovacijskih partnerjev ter krepil in spremljal sodelovanje med MSP in R&R partnerji.

Glavni rezultat projekta je trajnostno vključevanje MSP v čezmejne inovacijske mreže in verige vrednosti, ki nudijo podporo krožnemu gospodarstvu, in s tem povečanje inovativnosti podjetij ter oblikovanje novih izdelkov/materialov.

START CIRCLES je bil oblikovan z vidika MSP in R&R organizacij in njihovih potreb, da bi lahko spremljali MSP od začetka inovacijskega sodelovanja do uvedbe novega izdelka na trg ter za posamezne faze ponudili nove in trajnostno naravnane podporne storitve.



CoSiMa - Povezovanje simulacij, strojev in orodij za optimizacijo procesa proizvodnje polimernih izdelkov.

Projekt CoSiMa je bil izbran na razpisu »Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih projektov (TRL 3-6)« in se umešča na prednostno področje Tovarn prihodnosti (INDUSTRIJA 4.0) in podpodročje Pametna mehatronska orodja.

Trajanje projekta: 1. september 2018 - 31. december 2021

Vrednost sofinanciranja projekta: 1.883.117,19 €.

Partnerji projekta:

- TECOS Razvojni center orodjarstva Slovenije
- Kolektor Orodjarna d.o.o., Podružnica Postojna
- Gorenje Orodjarna d.o.o.
- Fakulteta za tehnologijo polimerov
- L-TEK Elektronika d.o.o.
- TEHNOPLAST, proizvodnja embalaže iz plastičnih mas Krebelj Anton, s.p.

V projektu CoSiMa bomo definirali in razvili komunikacijski vmesnik, ki bo omogočal povezavo simulacijskega programa z realnim proizvodnim svetom oz. procesom brizganja ter omogočal prenos različnih podatkov iz proizvodnega nivoja, procesnih parametrov ter značilk signalov senzorskih meritev v MES sistem in obratno. Napredni komunikacijski vmesnik predstavlja vmesni člen med programom za simulacijo procesa brizganja izdelkov ter brizgalno enoto (brizgalni stroj in orodje).



MAPGears - Napredni materiali, metodologije in tehnologije za razvoj lahkih komponent za prenos moči v pogonski tehnik

MAPgears je projekt, ki ga skupno sofinancirata Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Republike Slovenije ter Evropski sklad za regionalni razvoj, Evropska unija (eu-skladi.si).

Področje, ki ga projekt pokriva je: Mobilnost - Uvajanje naprednih materialov in tehnologij z avtomatizacijo proizvodnih procesov (Prednostno področje S4).

Trajanje projekta: 1. september 2018 - 28. februar 2021

Vrednost sofinanciranja projekta: 1.870.051,47 €

Partnerji projekta:

- Podkrižnik d.o.o.
- Polycom Škofja Loka d.o.o. , Podružnica Črnomelj
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- Fakulteta za tehnologijo polimerov
- TECOS, Razvojni center orodjarstva Slovenije d.o.o.

Glavni cilj projekta je razvoj izboljšanih polimernih komponent za prenos moči (zobniki, gonila, itd.) z visoko dodano vrednostjo in velikim tržnim potencialom na globalnih trgih.

Cilji in aktivnosti projekta so osredotočeni na izbiro in razvoj inovativnih rešitev na naslednjih področjih:

- Optimizacija in razvoj materialov
- Metode za razvoj izdelkov iz naprednih materialov
- Simulacijsko načrtovanje in izdelava orodij
- Inovativne proizvodne tehnologije
- Testiranje in validacija prototipov



Tribological characterization of modified gear wheel compounds

V letu 2020 smo kot partnerji uspešno kandidirali na avstrijskem razpisu COMET 2021, katerega tematika je tribološka karakterizacija materialov za zobnike. Projekt se še ni začel izvajati.

Razvoj procesov valorizacije lignina kot vira aromatskih gradnikov za proizvodnjo bio-osnovanih polimerov

Na razpisu ARRS smo bili, kot partner, povabljeni v projekt, ki ga je pripravil Kemijski inštitut iz Ljubljane. Projekt je bil sprejet, na njem pa sodelujemo z 211 urami letno, izvajanje se je začelo septembra 2020.

10. Nove kandidature za projekte

ARRS razpisi

- Neformalno sodelovanje s prof. Sabu Thomasom iz Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala v Indiji nameravamo formalizirati s prijavo na razpis za bilateralne projekte Slovenija – Indija 2021-2023.

Mednarodni razpisi

- Skupaj z Department of Polymer Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Budapest University of Technology and Economics, smo, v letu 2020, kandidirali za raziskovalni bilateralni projekt »Razvoj in teoretično modeliranje načinov lepljenja pri brizganju«.
- Z izr. prof. dr. Milico Balaban iz Banja Luke kandidiramo na razpisu Marie Curie Sklodowska Action za individualno štipendijo.

Raziskovalno sodelovanje z izobraževalnimi in raziskovalnimi inštitucijami v Sloveniji in tujini

FTPO tesno sodeluje s številnimi visokošolskimi in raziskovalnimi zavodi v Sloveniji. Na raziskovalnem področju sodeluje z različnimi javnimi visokošolskimi zavodi v okviru Univerze v Ljubljani ter Univerze v Mariboru ter najpomembnejšimi javnimi in zasebnimi raziskovalnimi zavodi v Republiki Sloveniji (Kemijski inštitut, Inštitut za celulozo in papir, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Zavod za gradbeništvo, Institut Jožef Stefan,...).

Sodelovanje poteka na različne načine, v obliki sodelovanja na odobrenih raziskovalnih projektih, kot izvajanje meritev s ciljem objaviti rezultate v znanstvenih revijah, izvedba skupnega raziskovalnega dela v obliki diplomskih in magistrskih nalog in kot podizvajalci za izvajanje dela njihovih projektov.

Med tujimi izobraževalnimi in raziskovalnimi inštitucijami največ sodelujemo z Montanuniversität in Polymer Competence centrom Leoben (PCCL) iz Leobna v Avstriji, od koder prihajajo tudi nekateri naši predavatelji. Poleg njih sodelujemo še z Budapest University of Technology and Economics, Department of Polymer Engineering (BMEPT), Madžarska, , IWK Institute of Material Science and Plastics Processing at HSR University of Applied Science Rapperswil (IWK), Švica, ter Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala v Indiji. Nove stike z željo po sodelovanju smo vzpostavili še z Université de Montpellier - Institut des Matériaux Charles Gerhardt in Iran Polymer and Petrochemical Institute (IPPI).

Imamo odlično sodelovanje z vodilnim evropskim podjetjem za pripravo polimernih kompozitov z ogljikovimi vlakni Lehmann&Voss&Co KG, iz Nemčije. Z njihovim razvojnim oddelkom kandidiramo na dveh projektih.

Raziskovalci FTPO so aktivno vključeni v dve COST akciji, in sicer CA15107 - Multi-Functional Nano-Carbon Composite Materials Network (MultiComp) ter CA18112 - Mechanochemistry for sustainable industry, ki združujeta raziskovalce iz več kot 30 držav.