



Fakulteta za
tehnologijo
polimerov

Dejavnosti centra
za sodelovanje z
gospodarstvom FTP0



PREDSTAVITEV CENTRA ZA SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM	6
OPISI PROJEKTOV	11
3D tisk iz termoplastičnega granulata	.12
Adhezija pri brizganju različnih materialov	.13
Biokompozitiz GreenPE-HD in jajčnih lupin	.14
Lasersko graviranje	.15
Modifikacija žilavosti mešanice na osnovi PLA z nanokristalinično celulozo	.16
Vpliv kompatibilizatorjev na toplotne in mehanske lastnosti toplotno prevodnih kompozitov	.17
Biokompozit iz PLA in kokosovih vlaken	.18
Modifikacija matric za izdelavo plastomagnetov	.19
Biokompozitiz reciklata LDPE in kokosovih vlaken	.20
“Up-cycling” reciklata polipropilena z odpadnim papirjem	.21
Termoplastični kompozit ojačen z reciklatom duroplasta	.22
Termomehanski analizator (TMA).	.23
TOPEM DSC	.24
Filament za 3D tisk na osnovi PLA obstojen na pranje v pomivalnem stroju in superiorno žilavostjo	.25
VIVA LA MUSICA	
Projekt: Viva la Musica goes green	.26
CAPITA MFG GMBH	
Poliuretan kot matrica za kompozite	.27
TAB - IPM LOGISTIKA, PLASTIKA IN STORITVE D.O.O.	
Projekt: „Up-cycling“ reciklata PP	.28

UNIOR

Določanje tipa materiala, prisotnosti določenih spojin, optimizacija procesov in reciklaža polikarbonata.	.29
---	-----

VODILNI PARTNER: PODKRIŽNIK D.O.O. | SODELUJOČI PARTNERJI: POLYCOM, FTPO, LECAD, TECOS

Projekt MAPgears.	.30
---------------------------	-----

VODILNI PARTNER: PODKRIŽNIK D.O.O. | SODELUJOČI PARTNERJI: POLYCOM, FTPO, LECAD, TECOS

Projekt MAPgears.	.31
---------------------------	-----

PLASTIKA SKAZA D.O.O.

Vpliv dodajanja PA reciklata svežemu PA na mehanske in toplotne lastnosti brizganih kosov.	.32
--	-----

TEHNOMAT D.O.O.

Uporaba odpadnega papirja, usnja in biomase.	.33
--	-----

FTPO

Zlato priznanje Koroške gospodarske zbornice.	.34
---	-----

FTPO

3D natisnjen orodni vložek 2 ^{FTPO} generacije.	.35
--	-----

LABORATORIJSKA OPREMA. 37

DODAJALNE TEHNOLOGIJE IZDELAVE

3 D Tisk - Makerbot replicator 2 (FFF) in DLP (SLA).	.38
--	-----

DOLOČANJE VSEBNOSTI VLAGE V VZORCU

Analizator vlage - Mettler Toledo, HX204 Moisture Analyzer.	.39
---	-----

BRIZGANJE IZDELKOV

Brizgalni stroj Arburg Allrounder 320 C 500 - 100 golden edition.	40
---	----

BRIZGANJE IZDELKOV

Brizgalni stroj KraussMaffei CX 50-180 Blue Power.	.41
--	-----

DOLOČANJE ŽILAVOSTI MATERIALA

Naprava za merjenje udarne žilavosti - LY - XJJDS.	.42
--	-----

MERJENJE ODZIVA MATERIALA NA DINAMIČNO OBREMENITEV

Dinamična mehanska analiza - PerkinElmer DMA 8000.	.43
--	-----

DOLOČANJE TOPLOTNIH PREHODOV MATERIALA

Diferenčna dinamična kalorimetrija - Mettler Toledo DSC 2.	44
--	----

KOMPAVNDIRANJE MEŠANIC

Ekstruder LabTech LTE20-44.	.45
-------------------------------------	-----

DOLOČANJE TOPLOTNIH PREHODOV MATERIALA

Ultrahitra diferenčna dinamična kalorimetrija - Mettler Toledo Flash DSC 1.	46
---	----

HITER VPOGLED V KEMIJSKO SESTAVO VZORCA	
Infrardeča spektroskopija s Fourierjevo transformacijo - PerkinElmer Spectrum 65 FT-IR	47
GRANULIRANJE MATERIALA	
Granulator - Scheer, SGS 25-E4	48
MERJENJE TOPLOTNE PREVODNOSTI	
Naprava za merjenje toplotne prevodnosti - HOT DISC, TPS 1500	49
SINTEZE IN MODIFIKACIJE POLIMEROV	
Laboratorijski mešalni reaktor	50
MERJENJE INDEKSA TEČENJA TALINE	
Naprava za merjenje indeksa tečenja taline - LIYI MFI LY-RR.	51
SIMULIRANJE VEČKRATNE MEHANSKE RECIKLAŽE	
Mlin za mletje termoplastov - Wanner C 13.20 s	52
PREUČEVANJE POVRŠINE POLIMEROV TER OSTANKOV PO TGA	
Optični mikroskop s kamero - Novex Holland B series	53
MERJENJE STATIČNEGA VEDENJA POVRŠINE IZOLATORJEV	
Naprava za merjenje površinske upornosti - MECO Antistatic Tester MGT-4	54
DOLOČANJE BIORAZGRADLJIVOSTI MATERIALA	
Respirometer.	55
IZDELAVA KOMPOZITNIH KOSOV	
Stiskalnica Baopin BP-8170-B.	56
ŠTUDIJA STARANJA MATERIALA	
Suntest komora - ATLAS XXL	57
DETEKCIJA HLAJNIH KOMONENT MED TGA MERITVAMI	
Vmesnik za povezavo TGA in FTIR - Perkin Elmer, TG-IR Interface TL8000	58
DOLOČANJE SESTAVE IN TOPLOTNE STABILNOSTI	
Termogravimetrična analiza - Perkin Elmer TGA 4000.	59
TERMIČNA ANALIZA MATERIALA	
Termogravimetrična analiza (TGA) z diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) - Mettler Toledo TGA/DSC 3+	60
MEHANSKA KARAKTERIZACIJA MATERIALA	
Univerzalni trgalni stroj - SHIMADZU AG-X PLUS	61
POLIMERIZACIJA FOTOPOLIMEROV Z UV SVETLOBO	
UV komora IntelliRay 600	62
KVALITATIVNA IN KVANTITATIVNA ANALIZA ORGANSKIH IN ANORGANSKIH SPOJIN	
UV-VIS spektroskopija - Perkin Elmer Lambda Bio 20	63



Fakulteta za
tehnologijo
polimerov

PREDSTAVITEV CENTRA ZA SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM

Fakulteta za tehnologijo polimerov že od ustanovitve zelo tesno sodeluje s podjetji in raziskovalnimi organizacijami iz panoge. V prvih letih delovanja je sodelovanje potekalo predvsem na področju izvajanja študijskega procesa ter praktičnega usposabljanja, v zadnjih letih pa vedno bolj intenzivno poteka tudi na področju izvajanja R&R storitev ter krajših usposabljanj predvsem za tehnični kader v podjetjih.

V decembru 2013 je upravni odbor fakultete ustanovil Center za sodelovanje z gospodarstvom, katerega osnovna naloga je izvajanje aplikativnih raziskav, študij in meritev za industrijo ter povezava raziskovalnih projektov, ki se izvajajo na FTPO z industrijo oziroma s končnimi uporabniki. Predstojnik Centra je od ustanovitve dalje viš. pred. Silvester Bolka. Trenutno so v Centru za sodelovanje z gospodarstvom zaposleni še asist. Teja Pešl, asist. Rebeka Lorber, asist. Tamara Rozman in Rajko Bobovnik. Center za sodelovanje z gospodarstvom Fakultete za tehnologijo polimerov izvaja naslednje aktivnosti:

- povezava rezultatov raziskovalnih projektov na FTPO z gospodarstvom,
- pogodbene storitve za podjetja (meritve in razvojni projekti),
- krajša izobraževanja v podjetjih,
- predstavitve in predavanja na mednarodnih znanstvenih konferencah ter dogodkih za industrijo,
- teme seminarskih, diplomskih in magistrskih del predlagane s strani gospodarstva,
- naloge pri praktičnih vajah študijskega programa se izvajajo na primerih iz gospodarstva,
- predstavitev dejavnosti fakultete podjetjem,
- obiski predstavnikov podjetij in raziskovalnih organizacij na FTPO s predstavitvijo dosežkov raziskovalnega dela in laboratorijske opreme in
- tehnološki dnevi za podjetja na FTPO.

V letu 2022 smo pričeli z novo dejavnostjo in sicer organizacijo tehnoloških dni za podjetja na Fakulteti za tehnologijo polimerov. Tako smo v letih 2022 in 2023 organizirali tehnološke dneve za podjetja Veplas d.d., Podkrižnik d.o.o., Polycom d.o.o., Mahle Electric drives Slovenija d.o.o., Fist d.o.o., Adria Mobil d.o.o., AMT projekt d.o.o., Imas Sežana d.o.o., SEP d.o.o., Toasted Furniture, FIST d.o.o., Forvia in Radeče Papir nova d.o.o..

Center vsako leto pridobi nove partnerje iz industrije in raziskovalnih organizacij, tako iz Slovenije kot tujine. Do sedaj smo sodelovanje sklenili z več kot 200 podjetji in raziskovalnimi inštitucijami.

Veliko pozornost Center namenja sedaj že uveljavljene- mu področju in sicer tehničnemu svetovanju v podjetjih pri predelavi termoplastov. Od ustanovitve Centra do sedaj je bilo izvedenih kar 43 tehničnih usposabljanj za podjetja, ki jih je izvedel Silvester Bolka, predstojnik Centra.

Center za sodelovanje z gospodarstvom ob opisanih dejavnostih v raziskovalno in razvojno delo s podjetji vključuje tudi dodiplomske in podiplomske študente FTPO, ki na ta način pridobivajo dragocene delovne izkušnje, tudi z delom pri izvedbi projektov fakultete. Aktualne teme iz industrije poskuša Center vključevati tudi v obvezni del študijskega programa. Dejavnost Centra za sodelovanje z gospodarstvom je vsako leto predstavljena

na IRT forumu v Portorožu, na različnih mednarodnih znanstvenih konferencah, sejnih in delavnicah.

V Centru za sodelovanje z gospodarstvom izdelujejo tudi demonstratorje (polimerni izdelki) iz materialov, ki smo jih razvili na FTPO. Demonstratorje uporabljajo za predstavitev dejavnosti FTPO za industrijske partnerje, implementirajo jih tudi v študijski proces. Demonstratorje predstavijo vsem obiskovalcem FTPO.



Tehnološki dan Mahle Electric drives Slovenija na FTPO



Zaposleni v Centru na IRT forumu v Portorožu 2022, kjer so predstavili svoje prispevke



Utrinek s poletne šole 2022 v predelovalnem laboratoriju FTPO



Šolanje v podjetju Kolektor



Demonstratorji iz biokompozitov izdelani na FTPO in v podjetju OPS Breznik



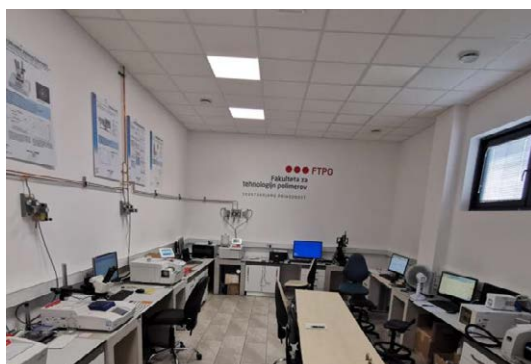
Laboratorij za predelavo polimernih materialov



Laboratorij za predelavo polimernih materialov



Laboratorij za mehansko karakterizacijo polimernih materialov



Laboratorij za termično karakterizacijo polimernih materialov



Slika SLS tiskalnika oktobra 2022, ko smo izvedli šolanje in zagon

Tako zaposleni v Centru rezultate svojega dela vključijo tudi v redne promocijske aktivnosti FTPO za učence in dijake, ki jih izvaja Karierni center FTPO ter tako omogočijo, da so pereče teme iz gospodarstva skupaj z demonstratorji posameznih raziskav oz. opravljenih meritev za gospodarstvo predstavljene mladim iz osnovnih ter srednjih šol.

Za svoje delo imajo zaposleni v Centru za sodelovanje z gospodarstvom na razpolago nove prostore, v katere so se preselili septembra 2019. V novem laboratoriju imajo tako sejni sobi, pisarno, laboratorij za predelavo, laboratorij za mehansko karakterizacijo in laboratorij za termično karakterizacijo, v letu 2022 pa smo z laboratorijsko opremo zapolnili tudi 1. nadstropje stavbe laboratorija. Od leta 2021 do danes smo namreč pridobili nekaj kosov nove opreme in sicer termomehanski analizator (Mettler Toledo TMA/SDTA 2+), digitalni optični mikroskop (Keyence VHX 7000), SLS tiskalnik (3D Systems sPro 60 HD), skener (Artec Eva), 3D tiskalnik z možnostjo tiskanja z granulatom in filamentom z dvema šobama (Tumaker) ter ekstrudersko linijo za izdelavo filamentov za 3D tisk.

Zaposleni v Centru za sodelovanje z gospodarstvom sodelujejo tudi pri projektih, ki se izvajajo na FTPO. Eden takšnih je bil tudi PolyMetal. V okviru projekta Interreg SLO-AT, prednostna os krepitev čezmejne konkurenčnosti, raziskav in inovacij smo razvili stroškovno učinkovite polimerne materiale kovinskega videza in otipa. Pri projektu so pod vodstvom vodilnega partnerja Gorenje poleg FTPO sodelovali še Polymer Competence Center

Leoben, Montan Universität Leoben, Hiebler GmbH in Intra lighting d.o.o.. Tesno sodelovanje vseh projektnih partnerjev, obiski delavnic, sejmov, konferenc in izmenjave znanja so pripomogli k izdelavi ne le prototipov, temveč tudi demonstratorjev za Gorenje in Intra lighting ter celo dveh demonstratorjev za dve podjetji izven projekta PolyMetal, zahvaljujoč odličnemu razširjanju informacij rezultatov projekta PolyMetal.

Kompoziti so bili pripravljani z uporabo različnih termoplastičnih materialov, polnil, kompatibilizatorjev in dodatkov v različnih razmerjih. Na FTPO smo najprej vse pripravljene vzorce kompavndirali, brizgali in testirali, rezultate pa smo ovrednotili na FTPO, PCCL in MUL. Demonstratorji so bili izdelani v podjetjih Intra lighting in Gorenje, po tem, ko smo na FTPO izdelali večje količine polimernih materialov. Razširjanje informacij rezultatov projekta je privedlo do izdelave dveh dodatnih demonstratorjev v podjetjih Tehnoplast Povše in Tehnomat.

Izzivi pri izdelavi prototipov:

- **Tehnologija brizganja:** Zaradi kompozitov z visoko koncentracijo polnil in visoko toplotno prevodnostjo, je žilavost brizganih kosov zelo nizka. Druga ovira pri predelavi je bil visok brizgalni tlak, zato so pri kompozitih z visoko toplotno prevodnostjo omejevali tudi tanke stene ali dolge poti tečenja taline.
- **Tehnologija IML:** Omejen izbor termoplastičnih matric, omejen izbor 3D-oblik.



Fakulteta za
tehnologijo
polimerov



DEJAVNOSTI CENTRA ZA
SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM FTPO

OPISI PROJEKTOV

3D tisk iz termoplastičnega granulata

NAMEN / CILJ

Skladno z vrednotami FTPO, da poslušamo okolje in deležnike in se odzivamo na zaznane potrebe, smo po dobavi 3D tiskalnika Tumaer BIGFOOT PRO DUAL raziskave usmerili tudi v uporabo reciklatov. Tiskalnik omogoča tudi 3D tisk direktno iz granulata, tako da smo pripravili več različnih izvedb granulata, s katerimi smo izvedli 3D tisk.



Prvi 3D natisnjen kos iz PLA matrice in dodanim hmeljem, ki ima najslabšo površino – kos je bil 3D natisnjen še brez optimizacije parametrov tiskanja

TEHNOLOGIJA / METODE

Kot matrico smo uporabili reciklat PA 6 GF30, reciklat ABS in dodan reciklat duroplastičnega kompozita 5 % in PLA z dodanim odpadnim hmeljem.

- Pri 3D tisku smo variirali parametre tiska in za vsak material določili optimalne parametre za najboljši optični izgled 3D natisnjenih kosov.
- Optimiziramo velikost in obliko granulata, da smo dobili čim bolj enakomeren volumski pretok taline preko šobe 3D tiskalnika.
- Dodatno smo sušili granulat pred 3D tiskom za lepši izgled površine 3D natisnjenih kosov.



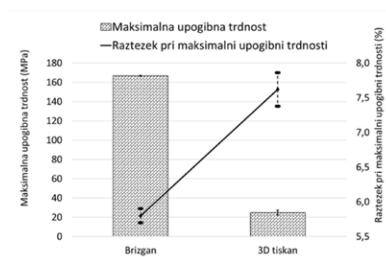
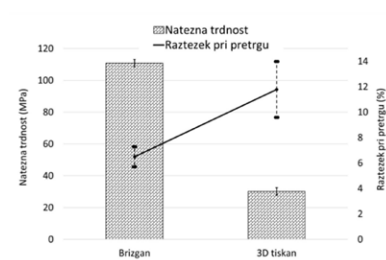
Tiskani kosi z rPA6 GF30; levi kos po optimizaciji, na sredini vmesna izvedba in desni prvi 3D natisnjen kos – najslabša kvaliteta površine

REZULTATI

Prvi demonstratorji z uporabo recikliranih kompozitov kažejo na to, da je možno z optimizacijo parametrov tiskanja močno izboljšati končni izgled 3D natisnjenih kosov. Izvedli smo tudi že primerjavo mehanskih lastnosti brizganih in 3D natisnjenih recikliranih kompozitov na osnovi PA 6 matrice in dodanih 30 % steklenih vlaken. Primerjava je pokazala, da sta tako togost kot trdnost 3D natisnjenih kosov veliko nižja od brizganih, žilavost pa je višja pri 3D natisnjenih kosih. Optični izgled površine pri reciklirani ABS matrici z dodanim odpadnim duroplastom je brez optičnih napak, na površini recikliranega kompozita PA6 GF30 pa so vidni posamezni sloji 3D tiska, ki so najbolj izraziti pri PLA matrici z dodanim hmeljem. Modifikacijo materialov bomo usmerili v lepši optični izgled površine izdelkov po 3D tisk.



3D natisnjen kos iz rABSrGF5, ki ima najlepšo površino



Primerjava nateznih in upogibnih trdnosti in raztezkov brizganih in 3D tiskanih kosov

Adhezija pri brizganju različnih materialov

NAMEN / CILJ

Zabrizgavanje je pri brizganju kosov že kar ustaljena praksa. Pri tem je izbor materialov raznovrsten, od kovin, drugih termoplastov, duroplastov do elastomerov.

Na FTPO smo se izziva lotili z uporabo ustreznega modifikatorja, ki omogoči dobre medfazne interakcije med obema materialoma. Običajno je to enostopenjski proces modifikacije enega od materialov, v primeru kovin gre lahko tudi za dvofazno modifikacijo – tako površine kovine kot modifikacijo termoplasta. Pri tem uporabljamo izključno polimere in s tem skrbimo za čim nižji ogljični odtis, kar je lahko problem pri jedkanju kovinskih površin. V primeru nujno potrebne modifikacije površine kovinskih delov uporabimo laser za graviranje, za hkratno čiščenje in modifikacijo hrapavosti kovinskih površin.

TEHNOLOGIJA / METODE

- Uporaba ustreznih modifikatorjev
- uporaba različnih termoplastičnih matric: PPS, PA, PE-HD, PP, PS, ABS, TPU, PBT
- Uporaba različnih termoplastičnih elastomerov
- Uporaba različnih zabrizanih materialov: kovinski inserti, Al-u folije, tiskane tkanine, drugi termoplasti, duroplasti, NFC čipi, tiskana vezja, ...
- Uporaba 3D natisnjenih vložkov: PLA, PLA+PC, ABS



REZULTATI

Doseženi rezultati:

- duroplast + termoplast: dosegli smo plino-tesnost pri zabrizgavanju duroplasta s termoplastom z modifikacijo termoplasta (PPS)
- Termoplast + kovinski insert: dosegli smo dobro adhezijo pri zabrizgavanju kovinskega inserta z modificiranim termoplastičnim kompozitom tako na osnovi PE-HD, kot PLA
- Al-u folija + termoplast: dosegli smo dobro adhezijo Al-u folije, s predhodno modifikacijo površine s TPU talilnim lepilom, z IML tehnologijo pri zabrizgavanju z modificiranim termoplastom (PE-HD, TPU, PA)
- NFC čipi + termoplast: dosegli smo dobro adhezijo NFC čipov pri zabrizgavanju z modificiranimi termoplastičnimi kompoziti (PE-HD, PLA)
- Termoplastični elastomeri + termoplasti: dosegli smo adhezijo z modificiranimi termoplastičnimi elastomeri (negorljive izvedbe) in različnimi termoplasti (ABS, PA, PS, PP, PE-HD, ...)
- 3D natisnjeni inserti + termoplasti: dosegli smo dobro adhezijo z modificiranim filamentom za 3D tisk (PLA, PLA+PC, ABS) in termoplastičnim kompozitom (PLA)



Biokompozitiz GreenPE-HD in jajčnih lupin

NAMEN / CILJ

Skladno z EU direktivo o plastiki in z vizijo in vrednotami FTPO, izvajamo teste v smeri možnosti ponovne uporabe plastičnih izdelkov oz. uporabe odpadnih materialov. Pri odpadnih jajčnih lupinah smo se odločili za uporabo termoplastične matrice iz obnovljivih virov, tako da smo zasnovali termoplastični biokompozit, ki je v celoti izdelan iz obnovljivih virov in je primeren za recikliranje. Ponovno uporabo termoplastičnih biokompozitov omogočimo s pravilno recepturo pri pripravi materiala in s pravilno predelavo, tako pri kompavndiranju kot pri brizganju. Uporaba višjih odstotkov jajčnih lupin v biokompozitu je možna pri pravilni predpripravi jajčnih lupin in z uporabo kompatibilizatorja, da se izognemo površinski modifikaciji jajčnih lupin.

TEHNOLOGIJA / METODE

- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih projektov za izdelavo kompozitov iz in ustrezno modifikacijo.
- Kot matrico smo uporabili Green PE-HD; polietilen visoke gostote sintetiziran iz sladkornega trsa
- Jajčne lupine so bile predhodno fino zmlete, da smo zagotovili dobro disperzijo v termoplastični matrici
- Uporabili smo kompatibilizator na osnovi PE-HD, da smo zagotovili dobre interakcije med zmletimi jajčnimi lupinami in termoplastično matrico
- Dodali smo antioksidant, da smo preprečili termično degradacijo matrice in kompatibilizatorja pri kompavndiranju
- Izdelava biokompozita pri minimalnih možnih temperaturah kompavndiranja in brizganja, da smo preprečili termično degradacijo

Vzorec	Green PE-HD (%)	Jajčne lupine (%)	Kompati bilizator (%)	Antioksidant (%)
PE-HD	100	0	0	0
PE-HD15JL	80,62	15	4	0,38

REZULTATI

Ko dodamo 15 % jajčnih lupin v GreenPE-HD, dobimo biokompozit, ki se mu glede na čisti GreenPE-HD poveča togost na 1,2 GPa, trdnost ostane nespremenjena pri 22 MPa, pade pa pričakovano raztezek pri pretrgu na le 176 %. Upogibne lastnosti se drastično ne spremenijo, le togost se rahlo zniža na 0,8 GPa.

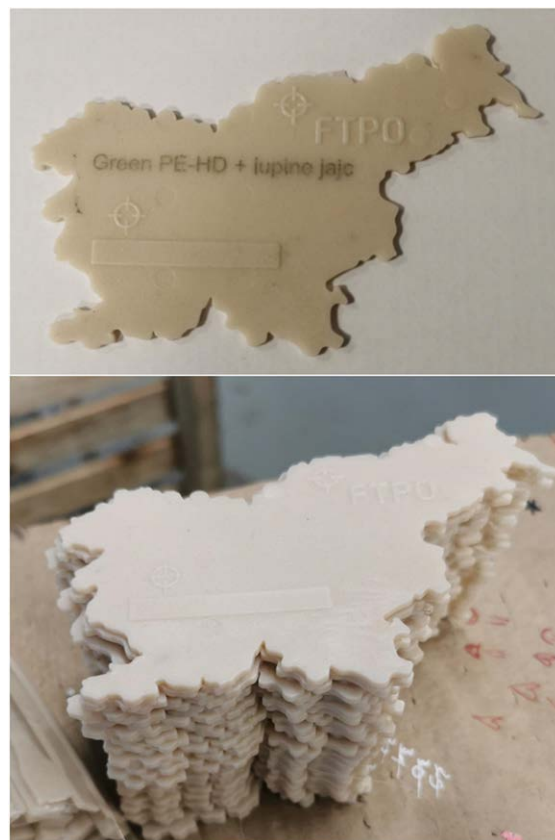
Biokompozitima še vedno odlično žilavost, saj pri testu udarne žilavosti vzorci ne počijo.

Biokompozit doseže 62 % stopnje kristaliničnosti, kar pomeni, da jajčne lupine ne zavirajo kristalizacije GreenPE-HD. Pri ohlajanju biokompozit kristalizira pri 117 °C.

Temperatura degradacije ostane zelo visoka in znaša 479 °C, po žarjenju dobimo 12,4 % anorganskega ostanka.

HDT temperatura znaša 64 °C. Dinamični E modul je višji pri povešani temperaturi glede na čisti GreenPE-HD. MFI biokompozita pri 190 °C in 2,16 kg znaša 3,6 g/10 min.

Iztakopripravljenega biokompozita smo nabrizgali demonstratorje, ki so prikazani na spodnji sliki.



Lasersko graviranje

NAMEN / CILJ

Lasersko graviranje je trajnostna rešitev pri označevanju polimerov. Graviramo lahko napise, slike, Za graviranje imamo na FTPO na razpolago Automatornapravo za lasersko graviranje, ki je sestavljena iz Superior označevalne naprave z vgrajeno lasersko enoto VIS 10W Nd:YVO₄.



TEHNOLOGIJA / METODE

Goriščna razdalja pri graviranju je 193 mm. To razdaljo je potrebno za različne tipe polimerov rahlo spremeniti, da bodimo optimalno kvaliteto graviranja. Pri graviranju lahko spreminjamo še hitrost graviranja, dolžino laserskega pulza in jakost laserja. Pri velikih hitrostih in majhnih jakostih laserja dobimo običajno oznake, kjer gravirana površina polimera ekspandira, kjer uporabimo nižje hitrosti in velike jakosti dobimo vbočeno gravuro, kjer material dejansko izpari in je napis poglobljen.



REZULTATI

Lasersko graviranje smo uporabili tudi pri poletni šoli, ki smo jo izvedli konec avgusta na FTPO. Udeleženci so imeli priložnost, da so povsem sami gravirali svoje ime in si tako lastnoročno izdelali spomin na udeležbo na poletni šoli na FTPO v Slovenj Gradcu. Po graviranju smo si tudi skupaj pogledali rezultate graviranja s pomočjo Keyence mikroskopa. Tako so spoznali, da je vidna gravura laserskega graviranja dejansko eksanadirana nad površino kosa.

S tem so spoznali možnost trajnostnega označevanja polimernih izdelkov, ki je primerno tudi za označevanje npr. kovinskih izdelkov.



Modifikacija žilavosti mešanice na osnovi PLA z nanokristalinično celulozo

NAMEN / CILJ

Potrošniki so zaradi velike količine plastičnih odpadkov v okolju zahtevali razvoj okolju prijaznih embalažnih materialov. Polimlečnakislina (PLA) je ena od biološko razgradljivih alternativ. Poleg dobrih lastnosti obdelave ima PLA tudi nekaj pomanjkljivosti. Najbolj izrazita za uporabo v sektorju embalaže je krhkost. Da bi se izognili tej pomanjkljivosti, lahko v matriko PLA vključimo nanokristalinično celulozo (NCC). Površinska sprememba NCC je dodaten korak obdelave, ki vključuje tudi kemikalije in ni vedno okolju prijazen. Alternativa površinski modifikaciji NCC je uporaba ustreznega kompatibilizata izboljšanje površinskih interakcij med NCC in termoplastično matrico ter omogočanje enakomerne disperzije in porazdelitve NCC v termoplastični matriki.

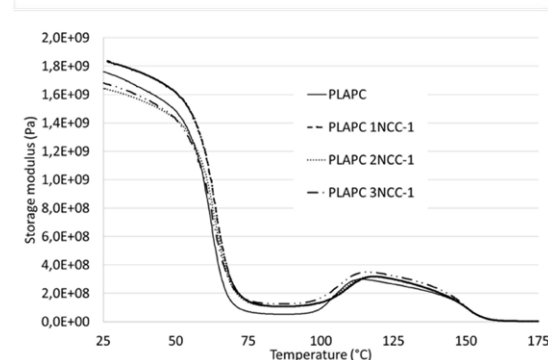
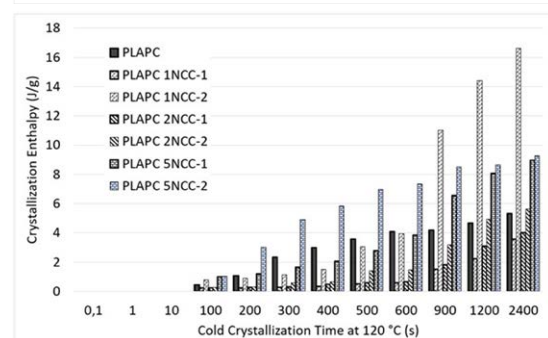
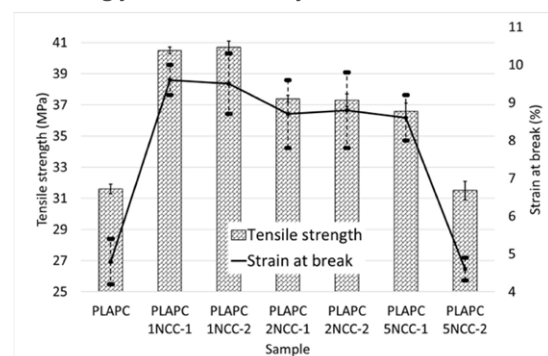
TEHNOLOGIJA / METODE

- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih projektov za izdelavo kompozitov iz in ustrezno modifikacijo.
- Uporabili smo tako imenovan pristop mehanokemije—reakcijsko kompavndiranje visokim strigom za kovalentne reakcije
- Izdelava biokompozitaz nemodificirano NCC s pomočjo kompatibilizatorja

Sample	PLA (%)	PC (%)	SEBS (%)	TPU (%)	CaCO ₃ (%)	NCC (%)	Št. ciklov
PLAPC	42	40	10	5	3	0	1
PLAPC 1NCC-1	41	40	10	5	3	1	1
PLAPC 1NCC-2	41	40	10	5	3	1	2
PLAPC 2NCC-1	40	40	10	5	3	2	1
PLAPC 2NCC-2	40	40	10	5	3	2	2
PLAPC 5NCC-1	37	40	10	5	3	5	1
PLAPC 5NCC-2	37	40	10	5	3	5	2

REZULTATI

Preučevali smo učinek dodajanja NCC v treh različnih koncentracijah v mešanice na osnovi PLA in v dveh ciklih kompavndiranja žilavost nanokompozitov mešanic na osnovi NCC/PLA. Dodatek NCC poveča togost, trdnost in raztezek pri pretrgu. NCC preprečuje kristalizacijo PLA pri ohlajanju in zavira hladno kristalizacijo PLA pri segrevanju. Žilavost se je izboljšala v nanokompozitih NCC. Rezultati kažejo, da se je žilavost mešanice PLA izboljšala z dodatkom NCC, čeprav je bil NCC uporabljen brez površinske modifikacije. Modifikacija z ustreznim kompatibilizatorjem med kompavndiranjem je okolju prijazna alternativa za proizvodnjo nanokompozitov tehnologijo mehanokemije.



Vpliv kompatibilizatorjev na toplotne in mehanske lastnosti toplotno prevodnih kompozitov

NAMEN / CILJ

Termoplastični kompozit z visoko toplotno prevodnostjo so zelo iskani predvsem na področju razsvetljave in elektro mobilnosti. Na FTPO smo šli v smer razvoja termoplastičnih kompozitov z amorfno matrico z namenom, zagotoviti čim višjo žilavost tudi pri visokih odstotkih dodanih polnil za zvišanje toplotne prevodnosti. Da bi zagotovili dobre medfazne interakcije med termoplastično matrico in dodanimi polnili moramo uporabiti ali površinsko modificirana polnila ali kompatibilizatorje. Pri našem razvoju smo se odločili za dodajanje kompatibilizatorjev, da bi tako manj vplivali na okolje, saj se pri površinski modifikaciji najpogosteje uporabljajo tudi kemikalije. Različni kompatibilizatorji svojim delovanjem ne vplivajo le na medfazne interakcije, ampak tudi na toplotne in mehanske lastnosti termoplastičnih kompozitov.

TEHNOLOGIJA / METODE

- Testi vpliva velikosti in oblike polnil
- Testi deleža in vrste polnila
- PC in PC z dodanim borovim nitridom (BN) brez kompatibilizatorjasta nam služila kot referenci
- V vzorce smo dodali 50 % BN
- Dodali smo 5 % kompatibilizatorjev

Vzorec	PC (%)	BN (%)	TPU kopolimer (%)	Etilen elastomer (%)	SEBS-g-MA (%)
0 - PC	100				
1 - PC 50BN	50	50			
2 - PC 50BN 5TPU	45	50	5		
3 - PC 50BN 5PE	45	50		5	
4 - PC 50BN 5SEBS	45	50			5

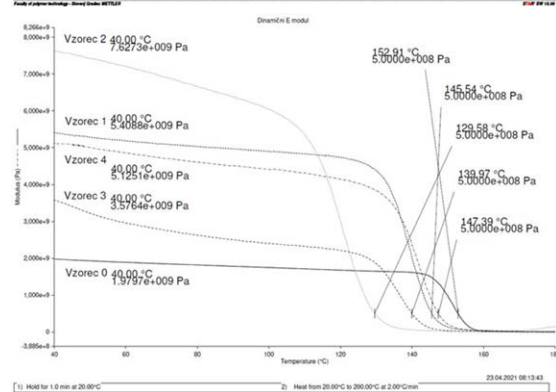
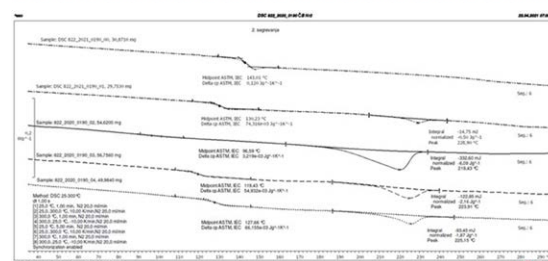
- Vzorce smo kompandirali na dvopolžnem ekstruderju (250-260 °C) LabtechLTE 20-44
- Brizgali smo na brizgalnem stroju (255-265 °C). Karakterizacijo smo izvedli v laboratoriju FTPO
- Najvažnejši zasledovani parameter je bila toplotna prevodnost
- Zanimiva je bila povezava mehanskih lastnosti z uporabljenim kompatibilizatorjem

REZULTATI

Preučevali smo učinek dodajanja BN in kompatibilizatorjev na toplotno prevodnost, mehanske in termične lastnosti kompozitov s PC matrico. Dodatek BN zviša toplotno prevodnost, ki jo dodatno še zvišamo z dodanim kompatibilizatorjem. Z dodatkom BN v PC matrico togost drastično naraste, močno se zniža trdnost in žilavost. Pri uporabi TPU kompatibilizatorjasma uspeli togost in trdnost zvišati, znižala se je temperatura uporabe. Pri uporabi SEBS se zvišajo trdnost, raztezek in temperatura uporabe, pri PE pa so se togost, trdnost in temperatura uporabe znižali, raztezek se je zvišal. Rezultati kažejo, da lahko z dodatkom ustreznega kompatibilizatorja primerljivo toplotno prevodnost dobimo tog, trden a krhek kompozit (TPU), lahko pa dobimo bolj žilav kompozit z nizko togostjo in trdnostjo (PE), ali pa z visoko trdnostjo in žilavostjo in dokaj visoko togostjo (SEBS).

Vzorec	λ (W/m ²)
0 - PC	0,26±0,01
1 - PC 50BN	1,44±0,02
2 - PC 50BN 5TPU	1,79±0,02
3 - PC 50BN 5PE	1,73±0,01
4 - PC 50BN 5SEBS	1,54±0,01

Vzorec	E_r (GPa)	σ_{max} (MPa)	ϵ_{max} (%)
0 - PC	1,97±0,15	101,4±2,42	8,12±0,07
1 - PC 50BN	7,53±0,62	49,5±7,2	0,78±0,09
2 - PC 50BN 5TPU	9,77±0,04	64,2±2,9	0,77±0,05
3 - PC 50BN 5PE	3,77±0,06	38,8±1,9	1,43±0,10
4 - PC 50BN 5SEBS	7,10±0,24	63,0±1,6	1,38±0,08



Biokompozit iz PLA in kokosovih vlaken

NAMEN / CILJ

Dejavnosti Fakultete za tehnologijo polimerov so usmerjene tudi v pomoč podjetjem na področju polimerov. Tako smo našli tudi skupno točko s podjetjem KO-SI, ki majo veliko odpadnega prahu vlaken kokosa. Skupaj smo zasnovali projekt, kjer smo odpadna kokosova vlakna dodali termoplastu PLA, ki je tako bioosnovan kot tudi biorazgradljiv in tako dobili biokompozit. Kokosova vlakna delujejo tudi kot ojačevalo, tako da je dobljeni biokompozit uporaben v številnih aplikacijah. Prve demonstratorje smo izdelali v podjetju Uteksol, kjer smo ekstrudirali cevi, druge demonstratorje v podjetju MAAR, kjer smo ekstrudirali mrežice.



TEHNOLOGIJA / METODE

- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih projektov za izdelavo kompozitov iz in ustrezno modifikacijo.
- Kot matrico smo uporabili bioosnovanin biorazgradljiv PLA
- Odpadna kokosova vlakna smo predhodno peletirali
- Izdelali smo biokompozit pri minimalnih možnih temperaturah kompavndiranjain brizganja, da smo preprečili termično degradacijo
- Izvelismo karakterizacijo dobljenega biokompozitain izdelali tehnični list



REZULTATI

Technical Data sheet

PLA20Coconut fibers

KO-SI d.o.o.
Pod Gradom 2a
2380 Slovenj Gradec
Slovenia

Product description

PLA20Coconut fibers is biobased and biodegradable (industrial composting) biocomposite. It contains PLA matrix and 20 % coconut fibers. It is designed for injection moulding and profile extrusion. Prior processing the pellets must contain less than 0,025 % moisture.

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt flow index (210°C, 2,16kg)	11,2	g/10 min	ISO 1133
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Flexural modulus	2,9	GPa	ISO 178
Flexural strength	64	MPa	ISO 178
Flexural strain at flexural strength	3,7	%	ISO 178
Tensile modulus	2,4	GPa	ISO 527, 18A
Tensile strength	43	MPa	ISO 527, 18A
Strain at tensile strength	2,7	%	ISO 527, 18A
Nominal strain at break	3,2	%	ISO 527, 18A
Impact strength at 25 °C (Charpy)	11,6	kJ/m ²	ISO 179
Notched impact strength at 25 °C (Charpy)	3,6	kJ/m ²	ISO 179
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Glass transition temperature	60	°C	ISO 11357-3
Melting temperature	160	°C	ISO 11357-3
Degradation temperature	348/455	°C	ISO 6964
Ash content	1,3	%	ISO 6964

* - all measurements were performed at the Faculty of Polymer Technology (www.ftpo.eu)

Orate 20a, SI-2380 Slovenj Gradec • T: +386 2 620 47 61 • M: +386 31 339 985 • E: info@ftpo.eu • W: www.ftpo.eu

FTPO
Faculty of
Polymer
Technology

Recommendations for processing

Screw speed	low
Back pressure	high
Injection speed	moderate
Hold pressure	low to moderate
Mould temperature	40 °C – 50 °C
Melt temperature*	max. 180 °C
Moisture content	max. 0,025 %
Drying	4 hours at 80 °C

* - higher melt temperature causes degradation of coconut fibers

DISCLAIMER OF LIABILITY

The data presented in this sheet reflect typical values obtained in the FTPO laboratories, but should not be considered as absolute or guaranteed values. The information, data and recommendations in this document have been obtained in good faith from reliable sources. VI NOVA d.o.o. is not responsible for problems that appear on the finished products, packaging or their components. We believe that the information provided in this document is correct and accurate, but any recommendations, statements or suggestions in this document are without any guarantee or warranty and do not establish any legal basis, duty or responsibility on the part of the author or his employer.

The user is responsible for the use, storage, handling and disposal of the material described above.



Modifikacija matric za izdelavo plastomagnetov

NAMEN / CILJ

Plastomagneti se običajno uporabljajo s tehnologijo brizganja, razvoj poteka tudi v smeri, da bi se lahko uporabljali za hitro izdelavo prototipov. V okviru projekta s podjetjem Magneti Ljubljana kot zunanji izvajalci izvajamo aktivnosti za izbor in karakterizacijo termoplastov kot matrice za plastomagnete, optimizacijo ekstrudiranja in brizganja, kar karakterizacijo izdelkov iz plastomagnetov. Razvoj gre v dveh smereh in sicer dvig temperature uporabe za brizgane plastomagnete in fleksibilna matrica za izdelavo filamenta za 3D tisk. Pri brizganih plastomagnetih smo se fokusirali na PA 12 matrico, pri filamentih za 3D tisk na biorazgradljivo matrico in na fleksibilno matrico. Pri obeh izvedbah gremo v smer modifikacije matrice, da dosežemo dobre medfazne interakcije s kovinskim prahom za plastomagnete.

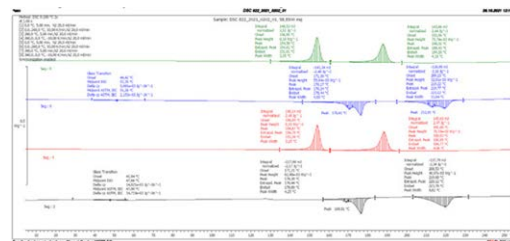
TEHNOLOGIJA / METODE

- Uporaba ustreznih kompatibilizatorjev
- Uporaba termoplastov s čim višjo gostoto
- Uporaba termoplastov s čim nižjo viskoznostjo
- Kompavndiranje mešanic termoplastov in njihova karakterizacija
- Izdelava mikrogranulatamešanic termoplastov
- Kompavndiranje mešanic s kovinskim prahom
- Izdelava granulata plastomagnetovoz. filamentov
- Brizganje plastomagnetovoz. 3D tisk
- Karakterizacija toplotnih in mehanskih lastnosti, ter magnetnih lastnosti
- Optimizacija parametrov kompavndiranja
- Optimizacija parametrov brizganja
- Optimizacija parametrov 3D tiskanja

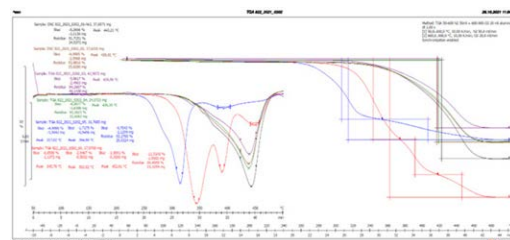


REZULTATI

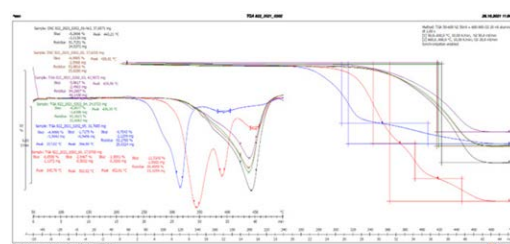
Pri PPS matricah je problem degradacije materiala med predelavo. Modifikacija PA 12 je pokazala dobre rezultate: nizko viskoznost, dvig temperature uporabe, nižja temperatura predelave. Prednost uporabe poliamidov je razlika med tališčem in temperaturo kristalizacije. Z uporabo kombinacije poliamidov smo dosegli temperaturo uporabe preko 180 °C, kar presega temperaturo tališča PA 12 matrice. Pri biorazgradljivi izvedbi za 3D tisk smo dosegli nižjo temperaturno obstojnost.



Toplotne lastnosti plastomagnetovz mešanico poliamidov



TGA termogrami plastomagnetov



DMA termogrami plastomagnetov

Plastomagneti za brizganje: potrebna je dodatna modifikacija mešanice poliamidov za lažje kompavndiranje in brizganje.

Plastomagneti za 3D tisk: potrebno je dvigniti temperaturo uporabe z modifikacijo biorazgradljive matrice.

Biokompozitiz reciklata LDPE in kokosovih vlaken

NAMEN / CILJ

Dejavnosti Fakultete za tehnologijo polimerov so usmerjene tudi v pomoč podjetjem na področju polimerov. Tako smo našli tudi skupno točko s podjetjem KO-SI, ki imajo veliko odpadnega prahu vlaken kokosa. Skupaj smo zasnovali projekt, kjer smo odpadna kokosova vlakna dodali reciklatu LDPE in tako dobili biokompozit, ki ima še vedno dokaj visoko žilavost, kljub visokemu odstotku dodanih odpadnih kokosovih vlaken. Ker je uporabljena matrica reciklat LDPE tako sledimo iniciativam plastične industrije za zmanjševanje plastičnega odpada in njegove ponovne uporabe – v našem primeru za inženirsko aplikacijo.

TEHNOLOGIJA / METODE

- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih projektov za izdelavo kompozitov iz in ustrezno modifikacijo.
- Kot matrico smo uporabili reciklat LDPE
- Odpadna kokosova vlakna smo predhodno peletirali
- Izdelali smo biokompozit pri minimalnih možnih temperaturah kompavndiranja in brizganja, da smo preprečili termično degradacijo
- Izvedli smo karakterizacijo dobljenega biokompozita in izdelali tehnični list



REZULTATI

Prve demonstratorje smo izdelali v podjetju OPS Breznik in sicer so bili demonstratorji „klini“ za pritrdjevanje v zemljo. Kljub 50 % dodanih kokosovih vlaken so „klini“ še vedno delno fleksibilni in tako zadovoljivo žilavi.

●●● FTPO
Fakulteta za
tehnologijo
polimerov

Technical Data sheet

rLDPE50Coconut fibers

KO-SI d.o.o.
Pod Gradom 2a
2380 Slovenj Gradec
Slovenia

Product description

rLDPE50Coconut fibers is biocomposite made of Coconut fibers and recycled matrix. It contains recycled LLD-PE&LD-PE matrix and 50 % coconut fibers. It is designed for injection moulding and profile extrusion. Prior processing the pellets must contain less than 0,1 % moisture.

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt flow index (190°C, 2,16kg)	0,3	g/10 min	ISO 1133
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Flexural modulus	0,5	GPa	ISO 178
Flexural strength	13,6	MPa	ISO 178
Flexural strain at flexural strength	7,2	%	ISO 178
Tensile modulus	0,7	GPa	ISO 527, 1BA
Tensile strength	12	MPa	ISO 527, 1BA
Strain at tensile strength	6,2	%	ISO 527, 1BA
Nominal strain at break	8,9	%	ISO 527, 1BA
Impact strength at 25 °C (Charpy)	No break	kJ/m ²	ISO 179
Notched impact strength at 25 °C (Charpy)	13,1	kJ/m ²	ISO 179
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Glass transition temperature	-	°C	ISO 11357-3
Melting temperature	110/123/159	°C	ISO 11357-3
Degradation temperature	283/336/476	°C	ISO 6964
Ash content	12,4	%	ISO 6964

Ozare 20a, SI-2380 Slovenj Gradec • T: +386 2 620 47 61 • M: +386 31 339 985 • E: info@ftpo.eu • W: www.ftpo.eu



“Up-cycling” reciklatapolipropilena z odpadnim papirjem

NAMEN / CILJ

Problema odpadne plastike se dobro zavedamo tudi na FTPO. Da bi omogočili ponovno uporabo odpadne plastike za brizganje, smo se odločili, da odpadni plastiki s pomočjo dodajanja ojačitvenega materiala (ki je v našem primeru tudi reciklat) izboljšamo tako predelovalne lastnosti kot lastnosti končnih plastičnih izdelkov.

CILJ: Razvoj kompozita iz reciklirane termoplastične matrice z dodatkom odpadnega papirja za izboljšanje togosti in trdnosti do te mere, da bi lahko nadomestili inženirski termoplast. Hkrati izkoristiti manj abrazivne lastnosti papirja glede na ostala anorganska polnila za daljšo življenjsko dobo uporabljene opreme za predelavo plastike.

TEHNOLOGIJA / METODE

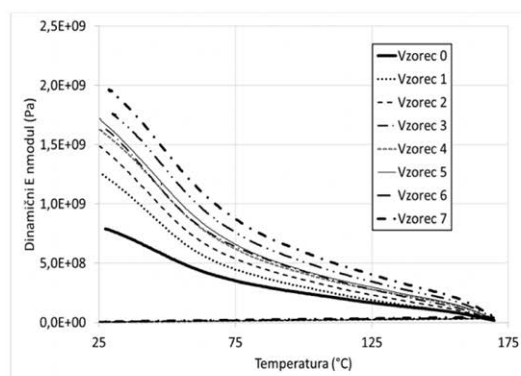
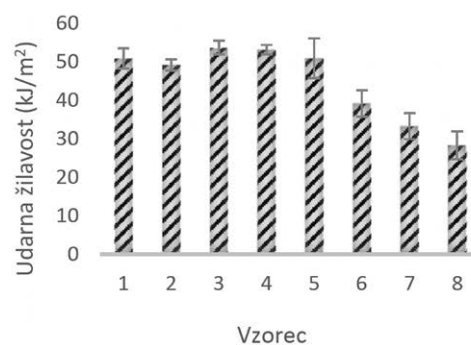
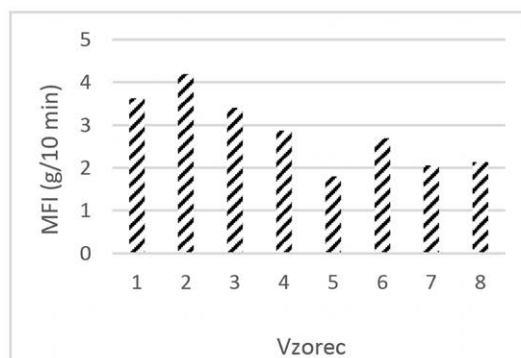
- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih projektov za izdelavo kompozitov iz odpadne biomase.
- Karakterizacija lastnosti recikliranega polipropilena
- KompavndiranjerPPz variiranim deležem odpadnega papirja in brizganje testnih preizkušancev
- Testiranje in karakterizacija lastnosti

Vzorec	rPP (%)	PP-g-MA (%)	Lubrikant (%)	Antioksidant (%)	Odpadni papir (%)
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

REZULTATI

Pri 30 % dodanega odpadnega papirja se je zvišal natezni modul za 89 %, natezna trdnost za 25 %, upogibni modul za 85 % in upogibna trdnost za 42 %. Žilavost je močno padla, zvišal se je dinamični E modul, tališče in temperatura kristalizacije se nista spremenila, rahlo se je povišala stopnja kristaliničnosti (iz 32 % na 34 %). HDT temperatura se je dvignila za dobrih 50 °C.

Raziskava je pokazala, da lahko iz dveh odpadnih materialov pripravimo uporaben termoplastičen kompozit, ki ima primerljive lastnosti kot inženirski termoplast.



Termoplastični kompozit ojačen z reciklatom duroplasta

NAMEN / CILJ

Krožno gospodarstvo, ki ima lokalno zaprte krožne zanke je primer dobre prakse, ki mu poskušamo slediti tudi na FTPO, skupaj s slovenskimi predelovalci plastike. Ko se za takšen korak odloči Koroško podjetje, smo še posebej veseli. Podjetje OPS Breznik iz Mute se je odločilo, da bo svoj industrijski reciklat, v obliki hladnih dolivkov, ponovno uporabilo. Ker so ti hladni dolivki brizgani iz termoplastičnega kompozita, kateremu je dodanih 15 % steklenih vlaken, je bil glavni problem upad togosti pri ponovni uporabi po mehanski reciklaži. Rešitev smo našli skupaj v obliki dodajanja reciklata duroplastičnih kompozitov, ki poskrbijo za dvig togosti. Reciklat duroplastičnega kompozita je dobavilo podjetje Technol iz Izole.

TEHNOLOGIJA / METODE

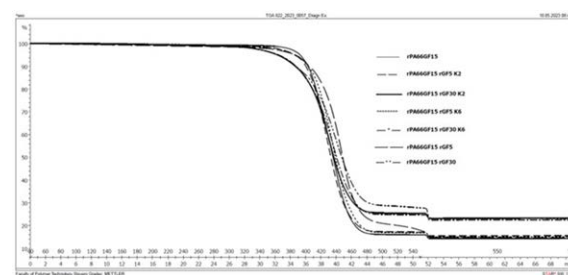
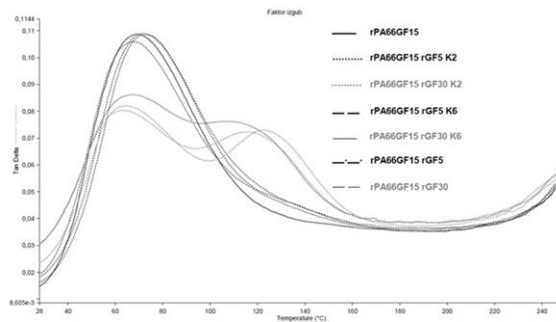
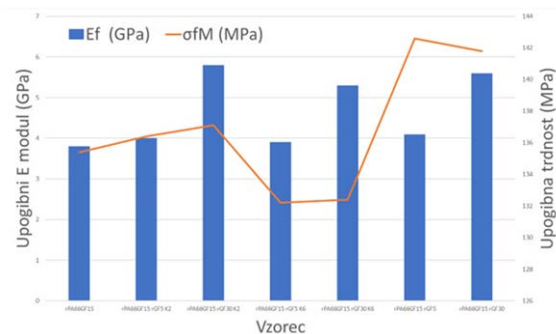
- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih projektov za izdelavo kompozitov in ustrezno modifikacijo.
- Kot matrico smo uporabili industrijski reciklat PA 66 GF15
- Reciklat duroplastičnega kompozita smo predhodno zmleli
- Izdelali smo kompozit pri minimalnih možnih obratih in temperaturah kompandiranja in brizganja, da smo preprečili termično degradacijo
- Izvedli smo karakterizacijo dobljenega kompozita



REZULTATI

Kot referenca nam je služil vzorec reciklata termoplastičnega kompozita (rPA66GF15), kateremu smo pri ostalih vzorcih dodajali zmleti reciklat duroplastičnega kompozita (rGF) in sicer 5 % in 30 %, ter kompatibilizator na osnovi termoplastičnega poliuretana (K) in sicer 2 % in 6 %.

Rezultati analiz so pokazali, da je v zmetem odpadu duroplastičnega kompozita le tretjina steklenih vlaken, ki deluje kot ojačevalo za reciklat termoplastičnega kompozita, ostalo je zmleta duroplastična matrica, ki deluje kot polnilo. Izbran kompatibilizator je izboljšal medfazne interakcije med zmetim reciklatom duroplastičnega kompozita in reciklatom termoplastičnega kompozita. Višji odstotek dodanega zmetega odpada duroplastičnega kompozita v reciklat termoplastičnega kompozita dvigne togost in tudi upogibno trdnost ter izboljša elastični odziv kompozita.



Termomehanski analizator (TMA)

NAMEN / CILJ

Termomehanski analizator (TMA/SDTA 2+) Mettler Toledo je nov vrhunski kos raziskovalne opreme v laboratoriju za termično karakterizacijo na FTPO. S termomehansko analizo merimo dimenzijske spremembe vzorca med segrevanjem ali ohlajanjem v definirani atmosferi. Tipična TMA krivulja prikazuje raztezanje pod steklastim prehodom, steklasti prehod (viden kot sprememba naklona krivulje), raztezanje nad steklastim prehodom in plastično deformacijo.

TEHNOLOGIJA / METODE

Meritve se lahko izvajajo s statično (med -0,1 N in 1,0 N) ali dinamično (pravokotno ali sinusno od 0,01 Hz do 1,0 Hz) obremenitvijo. Rezolucija inštrumenta je 0,001 N in < 1 nm. Maksimalna višina vzorca je 20 mm.

Dilatometrija:

Vzorec med silikatnima diskoma, uporabljena nizka sila, nizke hitrosti segrevanja, karakterizacija drugega segrevanja

Penetracija:

Direktni kontakt z vzorcem, nizka sila, hitrosti segrevanja odvisne od debeline vzorca

DLTMA (dynamic load TMA):

Meritve s silikatnim diskom na vzorcu, dinamično obremenjevanje (običajno od 0,1 N do 1,0 N), hitrost segrevanja odvisna od debeline vzorca, nizke frekvence (0,01 Hz do 1,0 Hz)

Lezenje:

Izotermne meritve, vzorec med silikatnima diskoma, uporabljena nizka sila, potem velika sila, na koncu nizka sila,

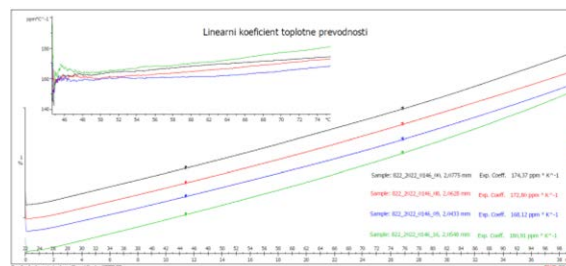
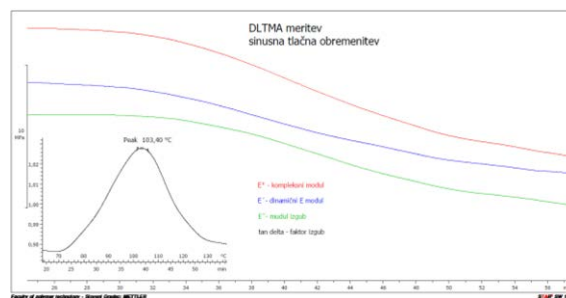
REZULTATI

Rezultati TMA meritev:

- Linearni koeficient toplotnega raztezka (coefficient of thermal expansion = CTE)
- Temperatura steklastega prehoda
- Območje tališča
- Območje kristalizacije
- Območje hladne kristalizacije
- Območje zamreževanja
- Elastični modul, modul izgub, faktor izgub
- Temperatura zmehčanja
- Lezenje



Slika prikazuje dilatometrično meritev vzorca, ki je med dvema silikatnima diskoma. Spodnja grafa prikazujeta rezultate dinamične meritve s sinusno obremenitvijo in rezultat dilatometrične meritve.



TOPEM DSC

NAMEN / CILJ

TOPEM metoda DSC karakterizacije se uporablja predvsem v primerih, kjer se reverzibilni toplotni efekti (steklasti prehod, taljenje) prekrivajo z ireverzibilnimi efekti (izhlapevanje npr. vlage, sproščanje notranjih napetosti kot posledica predelave). Naslednja prednost TOPEM DSC meritve je karakterizacija C_p (specifične toplote pri konstantnem tlaku) v temperaturnem območju meritev, kar je pomemben podatek za izvedbo simulacij pri predelavi polimerov. Ločeni reverzibilni signal ima dobro vidnost toplotnih efektov, zato je običajno možno določiti tudi steklasti prehod za polimere, katerih vsebnost je nizka. Spodnji sliki predstavljata nanokompozit, kjer je 20 % dodanega PBAT v PLA matrico in 1 % NCC (nanokristalinične celuloze).

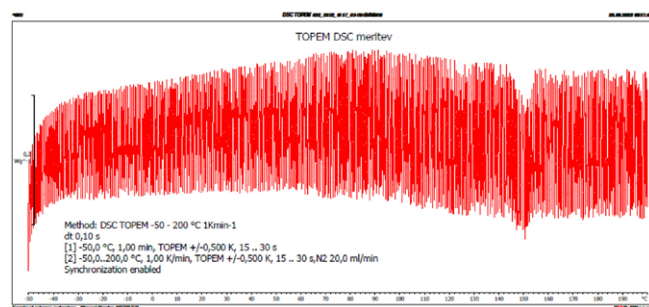
Namen: karakterizacija steklastega prehoda, taljenja, vsebnosti vlage in določevanje zaostalih napetosti kot posledica predelave.

TEHNOLOGIJA / METODE

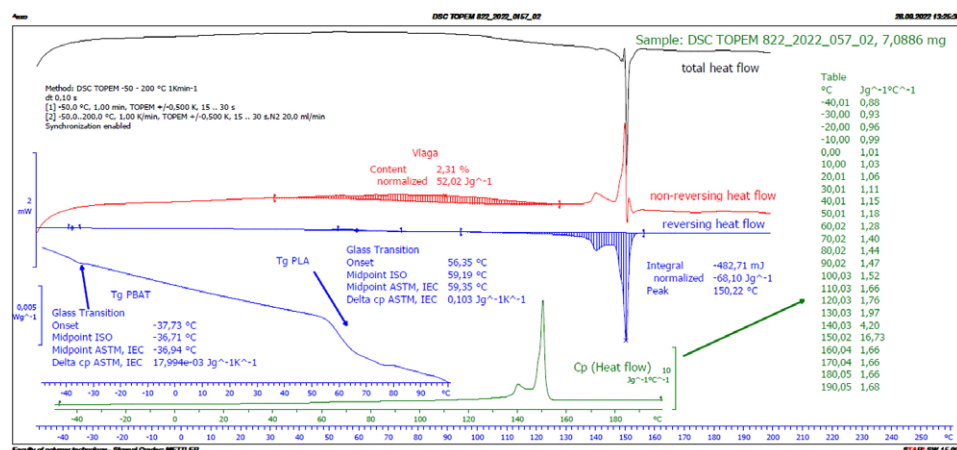
TOPEM je DSC tehnika z modulacijo temperature, pri kateri se stohastične temperaturne modulacije nalagajo na osnovno hitrost običajnega skeniranja DSC. Te modulacije so sestavljene iz temperaturnih pulzov s fiksno velikostjo in izmeničnim predznakom z naključnim trajanjem v mejah, ki jih določi uporabnik. Nastali toplotni tok se analizira z metodo ocenjevanja parametrov, ki daje tako imenovano »kvazistatično« specifično toplotno kapaciteto in »dinamično« specifično toplotno kapaciteto. Z eno samo meritvijo je tako mogoče razlikovati pojave, ki so odvisni od frekvenca od frekvenčno neodvisnih pojavov. Za TOPEM DSC metode je značilna nizka hitrost segrevanja, običajno 1 °C/min.

REZULTATI

Predstavljen je primer TOPEM DSC meritve za nanokompozit PLA/PBAT/NCC.



TOPEM DSC meritve



Ovrednotena TOPEM DSC meritve

Filament za 3D tisk na osnovi PLA obstojen na pranje v pomivalnem stroju in superiorno žilavostjo

NAMEN / CILJ

Glavna problema PLA filamentov sta visoka krhkost in nizka temperaturna obstojnost. Cilj projekta je bila modifikacija PLA filamenta, ki bi odpravila ti dve glavni pomanjkljivosti, hkrati pa bi izboljšana izvedba še vedno ohranila lastnosti 3D tiskanja – brez gretja mize pri FDM3D tisku.

CILJ: Razvoj filamenta za 3D tisk na osnovi PLA, ki bo imel temperaturno obstojnost nad 80 °C in hkrati visoko žilavost.



PLASTIKATRČEK d.o.o.
Proizvodnja profilov in cevi ter trgovina

TEHNOLOGIJA / METODE

- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih projektov za izdelavo visoko temperaturno obstojnih kompozitov, izdelavo mešanic in dvig žilavosti termoplastičnih mešanic in kompozitov.
- Kompavndiranje, izdelava filamenta za 3D tisk, optimizacija parametrov 3D tiska, karakterizacija mehanskih in toplotnih lastnosti in 3D natisnjenih kosov
- 3D tiskane izdelke smo testirali tudi v domačem pomivalnem stroju, kjer se izdelek iz PLA skrči in posledično spremeni obliko (tretji kos z leve). Naša modificirana izvedba je ohranila velikost in obliko (drugi kos z leve). Skrajno levi kos (naša modificirana izvedba) in skrajno desni kos (PLA) sta kot referenčna kosa takoj po tisku.



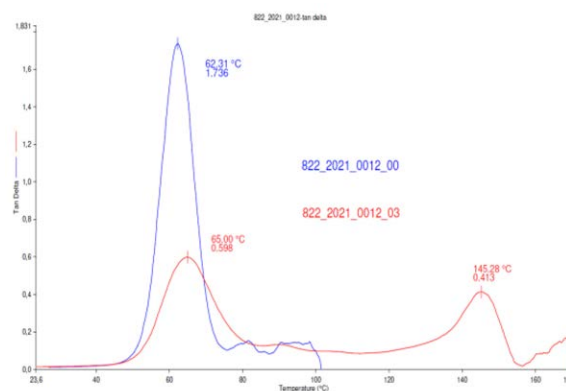
REZULTATI

Skupaj s podjetjem Plastika Trček smo najprej izdelali štiri izvedbe, katere še niso izpolnile vseh pričakovanj, nakar smo tri izvedbe združili v eno in rešitev je bila tu.

Dosegli smo za vsaj 40 °C višjo temperaturno obstojnost, več kot 120 % izboljšan raztezek pri natezni trdnosti in več kot 450 % višji raztezek pri pretrgu.

Lastnosti v primerjavi s PLA filamentom:

- Nižja togost in trdnost do 50 °C
- Veliko višja žilavost
- Višji dinamični E modul od 50 °C do 140°C
- Višji prvi steklasti prehod, drugi steklasti prehod pri 145 °C
- Vsebnost anorganskih dodatkov maks. 3 %
- Višja temperaturna obstojnost oblike
- omogoča pranje izdelkov v pomivalnem stroju.



Projekt: Viva la Musica goes green

CILJI PROJEKTA

Cilj projekta je zasnovati bioosnovane (in biorazgradljive) kompozite, ki bi nadomestili sedanjo plastiko na osnovi nafte.

Paralelno je projektno delo potekalo tudi pri optimizaciji laminatov z ogljikovimi vlakni – optimizaciji razmerja vlakna/matrica in vpliv tega razmerja na sposobnost dušenja.

PREDLOGI ZA REŠITEV

- Uporaba bioosnovane matrice, ki ni biorazgradljiva v kombinaciji z odpadno biomaso.
- Uporaba bioosnovane in biorazgradljive matrice v kombinaciji z odpadno biomaso.
- Uporaba termoplastičnega elastomera z visokim deležem bioosnovanih komponent v kombinaciji z odpadno biomaso.
- Laminati z ogljikovimi vlakni:
 - » DSC, TGA in DMA karakterizacija obstoječega stanja → optimizacija → ponovna karakterizacija
 - » Matrica: DSC karakterizacija → optimizacija → ponovna karakterizacija



Podbradnika iz plastike na osnovi nafte

REZULTATI

Podbradnika iz bioosnovane matrice in odpadne biomase:



Podbradnik iz bioosnovane in biorazgradljive matrice:



Dno violine po optimizaciji:



POVZETEK

Z optimizacijo pogojev pri izdelavi kompozitov smo optimirali razmerje vlakna/matrica in čas in temperaturo utrjevanja.

Biokompozitne izvedbe smo po optimizaciji recepture, izgleda in otipa brizgali in s pomočjo podjetja OPS Breznik izdelali tudi prve prototipe. V nadaljevanju projekta sledijo še različne barve izvedbe bioosnovanih in biorazgradljivih kompozitov.

Skupaj s podjetjem delamo tudi na razvoju bioosnovanega in biorazgradljivega filameta za 3D tisk z dodatkom odpadne biomase.

Poliuretan kot matrica za kompozite

CILJI PROJEKTA

Z optimizacijo procesa in materiala:

- zmanjšati težo izdelkov,
- znižati proizvodne stroške,
- zmanjšati porabo energije,
- skrajšati čase utrjevanja,
- doseči dobro adhezijo na druge materiale in
- višjo fleksibilnost kompozita.



PREDLOGI ZA REŠITEV

Z optimizacijo procesa poliuretanskega sistema doseči, da bo mogoče z njim zamenjati epoksidni sistem utrjevanja.

Predlagana izvedba na FTPO:

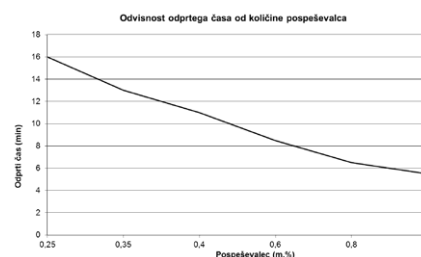
- DoE analiza potrebne količine pospeševalca (0,25 m.% do 1 m.%)
DoE analiza temperature in časa utrjevanja (utrjevanje pri izdelavi izdelka in določanje življenjske dobe surovine v primeru skladiščenja)
- DoE analiza vpliva vsebnosti vlage v ojačitvah na lastnosti kompozita



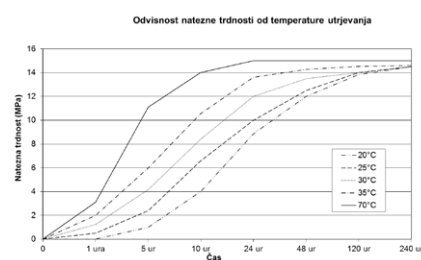
Študenti na ekskurziji v podjetju CAPITA MFG GmbH

REZULTATI

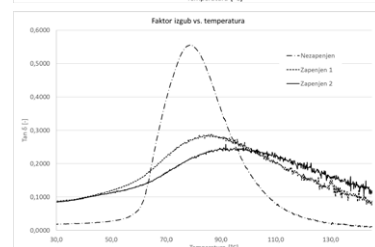
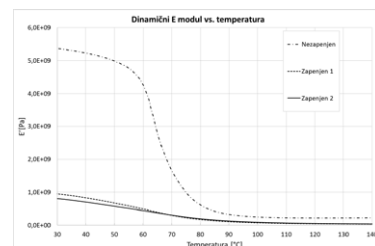
Optimizacija količine pospeševalca:



Mehanske lastnosti v odvisnosti od temperature in časa utrjevanja (optimizacija časa in temperature utrjevanja):



Dinamični E modul (zgoraj) in faktor izgub (spodaj) v odvisnosti od temperature in različne vsebnosti vlage v ojačitvi (steklena mata):



POVZETEK

- Poliuretanska matrica je uporabna tudi za konstrukcijske izdelke
- Dosežena je dobra adhezija na druge materiale
- Enostavno krmiljenje časa utrjevanja
- Široko temperaturno območje utrjevanja omogoča energijske prihranke
- Lažji izdelki
- Višja fleksibilnost končnega izdelka
- Nižja cena surovin
- Vpliv vsebnosti vlage v surovinah je pomemben faktor

Projekt: „Up-cycling“ reciklata PP

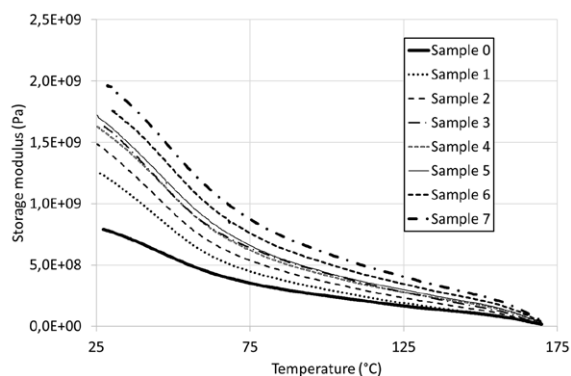
PRIPRAVA VZORCEV

Pri pripravi biokompozitov smo uporabili reciklat polipropilena, kompatibilizator, lubrikant in antioksidant. Kot polnilo smo uporabili odpadni papir papirnice Vevče. Biokompozite smo pripravili na dvopolžnem ekstruderju LabTech LTE 20-44, iz teh pa smo nato nabrizgali testne epruvete za nadaljnjo karakterizacijo materiala pa smo nato nabrizgali na KraussMaffei CX 50-180. Eksperimentalno delo je bilo v celoti izvedeni v laboratorijih FTPO. Uspeli smo dvigniti togost in trdnost rPP – cilj projekta.

Vzorec	rPP (%)	PP-g-MA (%)	Lubrikant (%)	Antioksidant (%)	Opadni papir (%)
0	100,00	0	0	0,00	0
1	94,62	4	1	0,38	0
2	89,62	4	1	0,38	5
3	84,62	4	1	0,38	10
4	79,62	4	1	0,38	15
5	74,62	4	1	0,38	20
6	69,42	4	1	0,38	25
7	64,62	4	1	0,38	30

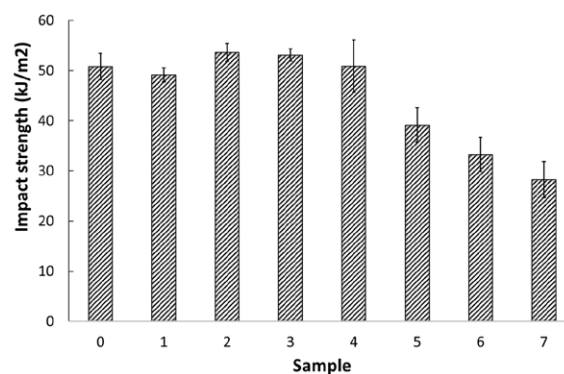
REZULTATI

Vzorec	Rezultati nateznih testov			
	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



REZULTATI

Vzorec	Rezultati upogibnih testov		
	E_f (GPa)	σ_{fM} (MPa)	ϵ_{fM} (%)
0	1,02±0,01	28,4±0,1	6,67±0,13
1	1,07±0,01	29,2±0,1	6,57±0,12
2	1,17±0,01	30,3±0,2	6,45±0,07
3	1,25±0,01	31,3±0,2	6,28±0,11
4	1,39±0,01	34,0±0,1	6,41±0,08
5	1,50±0,01	34,9±0,1	6,34±0,08
6	1,67±0,01	37,5±0,2	6,23±0,05
7	1,89±0,04	40,3±0,2	6,09±0,04



SKLEP

- Togost in trdnost biokompozitov je bila višja v primerjavi z rPP.
- Dodatek 30 % odpadnega papirja skupaj s PP-g-MA v matrico rPP poveča upogibno in natezno trdno in togost.

POVZETEK

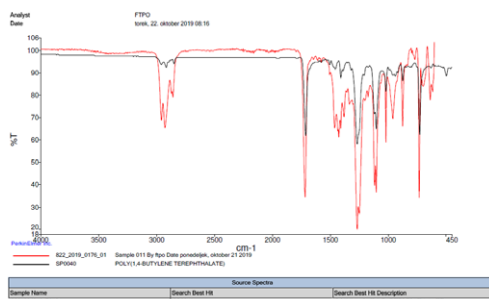
Novi biokompoziti so primerni za aplikacije, kot so tehnični deli, ki zahtevajo višjo togost, trdnost in dimenzijsko stabilnost v primerjavi z rPP.

Določanje tipa materiala, prisotnosti določenih spojin, optimizacija procesov in reciklaža polikarbonata

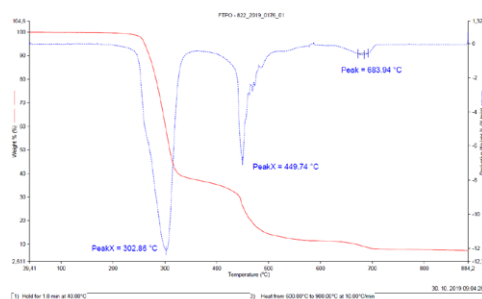
Določanje tipa materiala in vsebnosti polnila



Vhodni vzorci



FTIR spekter materiala

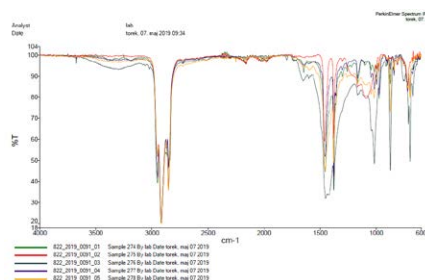


Termogravimetrična analiza

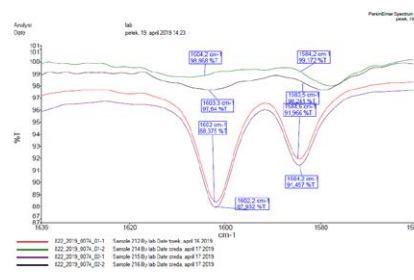
Določanje vsebnosti spojin na zahtevo kupcev z določenih trgov



Vhodni vzorci

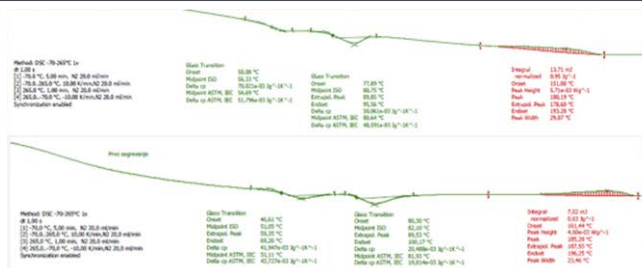


FTIR spektri vzorcev

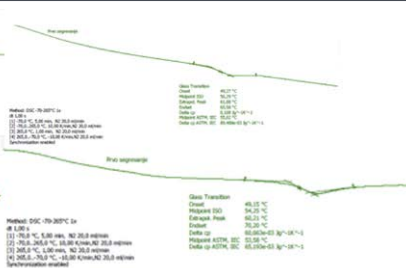


Karakteristični vrhovi na spektru

Optimizacija procesa zamreževanja in merjenje pripadajoče površinske upornosti



DSC termogrami vzorcev



DSC termogrami po optimizaciji



Naprava za merjenje površinske upornosti

Študija vpliva reciklaže na polikarbonat



Primarni granulat (levo) in granulat po 11. predelavi (desno)



Nabrizgane testne epruvete iz linearnega (zgoraj) in razvejanega (spodaj) polikarbonata

Projekt MAPgears



CILJI PROJEKTA

Razvoj naprednih sestavnih delov pogonskega sklopa (zobniških dvojic) iz polimernih materialov, ki bodo bistveno presegali obstoječe stanje.

Povečanje stopnje sodelovanja med podjetji in raziskovalnimi organizacijami. Povečanje stopnje interdisciplinarnosti.

Optimizacija obstoječih materialov in tehnologij v proizvodnji ter razvoj in vpeljava novih, z naslednjimi prednostmi:

- zmanjšanje teže komponent,
- boljše mehanske, morfološke, tribološke in akustične lastnosti,
- daljša življenjska doba,
- višja energijska učinkovitost in
- nižji stroški.

STANJE TEHNIKE



Zobniška kombinacija Tecaform AH – Tecamid 66 po testu življenjske dobe z 1,4 Nm navora



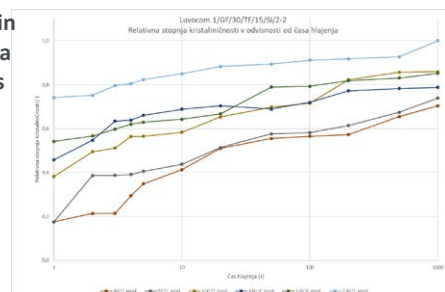
Zobniška kombinacija Tecaform AH – C45R po testu življenjske dobe z 1,1 Nm navora



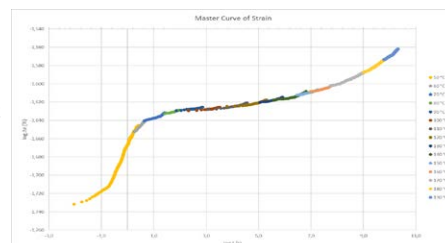
Test materiala Victrex PEEK 650G na končni aplikaciji – planetarni zobnik za električno kolo

DOSEDANJI REZULTATI

Simulacija in optimizacija predelave s Flash DSC:



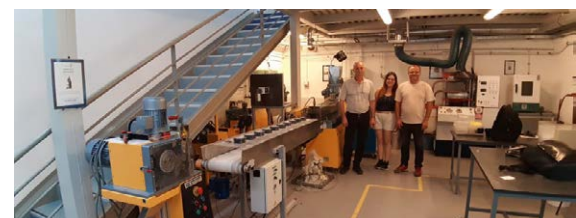
Določanje življenjske dobe materiala z dinamično mehansko analizo (DMA):



Testiranje zobnikov iz biokompozitov:



Priprava novih polimernih materialov na Department of Polymer Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Univerze v Budimpešti v okviru Erasmus+ mobilnosti zaposlenih:

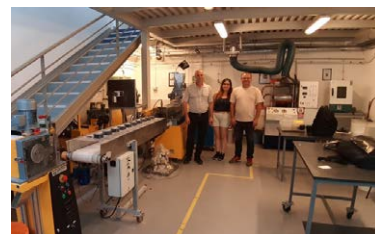


Projekt MAPgears



KOMPAVNDIRANJE KOMPOZITOV ZA ZOBNIKE

Razvoj naprednih sestavnih delov pogonskega sklopa (zobniških dvojic) iz polimernih materialov, ki bodo bistveno presežali obstoječe stanje gre z roko v roki z izboljšanjem in optimizacijo obstoječih materialov in tehnologij. S tem namenom smo si zastavili recepture kompozitov na osnovi POM in PA6 matric z ojačitvami in polnili s katerimi bi material optimizirali in dosegli zmanjšanje teže komponent, boljše mehanske, morfološke, tribološke in akustične lastnosti, daljšo življenjsko dobo, višjo energijsko in ekonomsko učinkovitost.



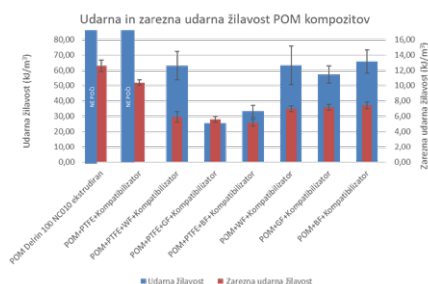
PRIPRAVA VZORCEV

Pripravili smo več kompozitov s POM matrico in s PA6 matrico. Uporabili smo 4 različne ojačitve in sicer steklena in bazaltna vlakna, wollastonite in Silatherm, ločeno v 30 % deležu. Kompozite z ojačitvami smo dodatno pripravili tudi s 15 % PTFE. Kompavndiranje smo izvedli na ekstruderju LabTech LTE 26-44 na Department of Polymer Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Univerze v Budimpešti v okviru Erasmus+ mobilnosti zaposlenih (zgoraj). Testne epruvete (desno) za natezni, upogibni in test zarezne udarne žilavosti po Charpyu tipa smo nabrizgali na brizgalnem stroju Krauss Maffei CX 50-180.



REZULTATI

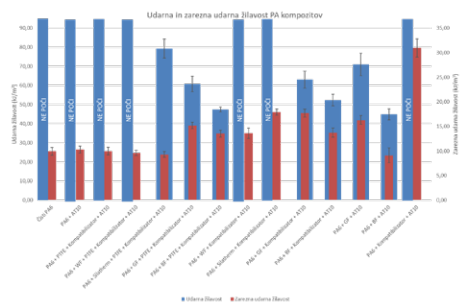
Graf zbranih rezultatov udarne in zrezne udarne žilavosti POM kompozitov, pod grafom tabela z rezultati dinamične mehanske analize (DMA) in nateznih testov.



Vzorec	E' pri 30 °C (GPa)	E' pri 120 °C (GPa)	E _t (GPa)	STD	σ _{BM} (MPa)	STD	ε _{BM} (%)	STD
POM Delrin 100 NC010	2.23	0.69	3.29	0.26	68.41	0.40	20.89	0.72
POM Delrin 100 NC010 ekstrudiran	2.92	0.75	2.28	0.20	70.66	0.42	18.95	2.70
POM+PTFE+Kompatibilizator	1.98	0.65	2.08	0.05	55.19	0.34	18.81	2.19
POM+PTFE+WF+Kompatibilizator	2.60	0.79	2.77	0.16	46.29	0.58	12.79	1.12
POM+PTFE+GF+Kompatibilizator	4.28	1.55	5.17	0.13	45.40	0.91	2.57	0.09
POM+PTFE+BF+Kompatibilizator	3.90	1.34	3.02	0.11	40.72	0.28	4.24	0.50
POM+WF+Kompatibilizator	3.02	0.90	2.71	0.14	51.06	0.25	12.46	0.44
POM+GF+Kompatibilizator	3.96	1.51	5.27	0.21	54.05	0.33	4.80	0.30
POM+BF+Kompatibilizator	3.86	1.34	4.21	0.29	50.55	0.58	8.26	0.36

Tabela z zbranimi rezultati DMA in nateznih testov ter pod tabelo grafičen prikaz rezultatov meritev udarne in zrezne udarne žilavosti po Charpyu PA6 kompozitov.

Vzorec	E' pri 30 °C (GPa)	E' pri 120 °C (GPa)	E _t (GPa)	STD	σ _{BM} (MPa)	STD	ε _{BM} (%)	STD
PA6 + PTFE + Kompatibilizator + AT10	0.95	0.26	1.44	0.08	44.35	0.37	10.84	0.78
PA6 + WF + PTFE + Kompatibilizator + AT10	2.45	0.52	2.32	0.19	38.85	0.52	4.29	0.13
PA6 + Silatherm + PTFE + Kompatibilizator + AT10	1.40	0.36	1.53	0.07	38.81	0.48	9.87	0.99
PA6 + GF + PTFE + Kompatibilizator + AT10	4.31	2.13	6.26	0.22	114.33	0.76	5.01	0.29
PA6 + BF + PTFE + Kompatibilizator + AT10	4.04	1.85	4.35	0.29	74.91	1.07	4.18	0.05
PA6 + WF + Kompatibilizator + AT10	2.50	0.50	1.67	0.05	32.59	0.40	12.45	0.89
PA6 + Silatherm + Kompatibilizator + AT10	1.50	0.36	1.40	0.32	39.32	0.17	18.03	0.09
PA6 + GF + Kompatibilizator + AT10	3.56	1.91	5.99	0.36	92.60	0.51	5.28	0.11
PA6 + BF + Kompatibilizator + AT10	3.43	1.59	3.44	0.14	71.28	0.74	4.51	0.17
PA6 + GF + AT10	3.65	1.65	5.89	0.82	103.73	0.45	6.49	0.67
PA6 + BF + AT10	3.23	1.92	3.54	0.31	79.36	0.97	5.17	0.12
PA6 + Kompatibilizator + AT10	1.14	0.28	0.82	0.15	29.42	0.17	18.10	0.91



POVZETEK

Pripravljene kompozite smo nabrizgali in jim okarakterizirali lastnosti. S tem smo določili najbolj potencialne, ki se bodo v naslednji fazi nabrizgali v zobnike, ki jim bomo pomerili dimenzije ter tako določili tolerančni razred in trajnostno testirali na testnih poligonih za zobnike. Glede na pridobljene povratne informacije bomo izboljšali obstoječe recepture in na enak način preizkusili še kompozite z drugimi potencialnimi komponentami.

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

PRIPRAVA VZORCEV

Uporabili smo sveži granulat in reciklat PA6 Durethan B30S 000000 proizvajalca Lanxess.

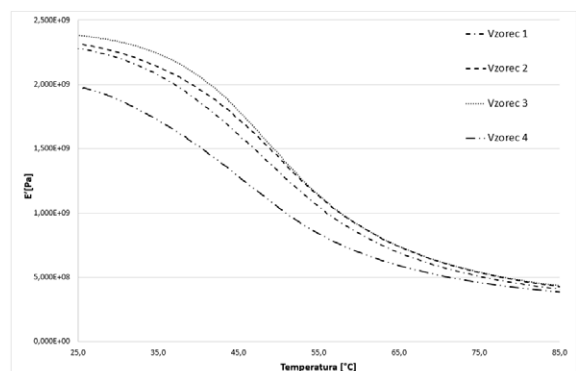
Vzorci smo nabrizgali v podjetju Plastika Skaza na brizgalnem stroju BATTENFELD TM 1600/750 B4.

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

REZULTATI

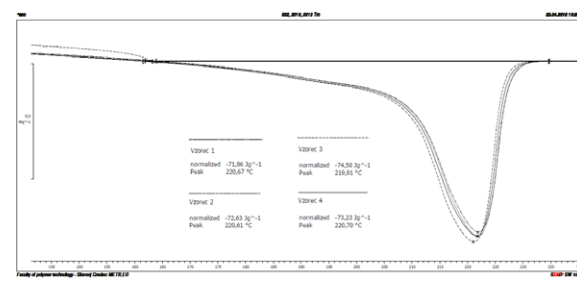
	1	2	3	4
Natezni E modul (GPa)	2,74	2,84	2,98	3,22
Natezna trdnost (MPa)	79,06	77,62	77,23	76,30
Raztezek pri pretrgu (%)	22,64	11,85	35,91	40,37
Upogibni E modul (GPa)	2,58	2,55	2,56	2,39
Upogibna trdnost (MPa)	100,5	99,7	100,5	94,4
Raztezek pri upogibni trdnosti (%)	6,05	6,10	6,09	6,11
Udarna žilavost (kJ/m ²)	116,6	121,1	117,9	115,6
Zarezna udarna žilavost (kJ/m ²)	8,9	8,8	8,4	8,7

Graf dinamičnega E modula



REZULTATI

Sprememba temperature tališča



SKLEP

- Dodatek 20 m.% oziroma 25 m.% bistveno ne spremeni lastnosti materiala
- Rezultati meritev 100 % reciklata – občutno slabši od svežega granulata
- Z dodatkom 25 m.% reciklata:
 - » Ohranimo mehanske lastnosti
 - » Ohranimo toplotne lastnosti
 - » Znižamo ceno končnega izdelka
 - » Porabljamo odpadni material

POVZETEK

Z dodajanjem 25 m.% reciklata svežemu PA6 smo ohranili lastnosti materiala, znižali ceno izdelka in porabili odpaden material, ki bi sicer šel na deponijo. Podjetje Plastika Skaza lahko tako dolivke in slabe kose, ki bi jih sicer zavrglo, uporabi kot dodatek svežemu materialu in s tem zmanjša porabo svežega materiala ter deluje trajnostno.

Uporaba odpadnega papirja, usnja in biomase

PRIPRAVA VZORCEV

Na FTPO smo z dvopolžnim ekstruderjem LABTECH – LTE 20-44 pripravili mešanice materialov. Kot matrica je bil uporabljen TPE material, ki smo mu dodali 30 m.% polnila. Kot polnilo smo uporabili mleto odpadno usnje, odpadni papir Papirnice Vevče d.o.o. in odpadna rastlinska vlakna. Iz pripravljenih materialov smo v podjetju Tehnomat d.o.o. nabrizgali ročaje za pohodniške palice.

REZULTATI



Ročaji s 30 m. % odpadnega usnja



Ročaji s 30 m.% odpadne biomase



Ročaji s 30 m% odpadnega papirja

POVZETEK

Z dodajanjem 30 m.% odpadne biomase smo:

- ojačali material,
- mu izboljšali lastnosti,
- zmanjšali porabo svežega materiala,
- porabili odpadno biomaso
- dobili zelene haptične lastnosti in
- optične lastnosti.

Zlato priznanje Koroške gospodarske zbornice

NAMEN / CILJ

Skupaj s partnerjema OPS Breznik in Ekstera smo na FTPO razvili material za inovativni MATTERRA lonček, ki je izdelan iz 100 odstotno biosnovanih materialov. Za MATTERRA lonček smo prejeli zlato priznanje Koroške gospodarske zbornice za leto 2023.



TEHNOLOGIJA / METODE

- Projektno delo smo si razdelili tako, da so v Eksteri razvili obliko lončka, pri OPS Breznik so izdelali orodje, na FTPO smo razvili material, ga testirali in skupaj z OPS Breznik optimirali procesne parametre za brizganje.
- Kot termoplastično matrico smo uporabili polimlečno kislino
- Odpadni hmelj smo dobili od lokalnih koroških pridelovalcev hmelja
- Uporabili smo kompatibilizator, da smo zagotovili dobre interakcije med odpadnim hmeljem in termoplastično matrico
- Dodali smo penilo, da smo zagotovili penjenje materiala v orodju za brizganje
- Lončke smo brizgali pri minimalnih možnih temperaturah
- Dodatek hmelja smo variirali tako, da smo dobili naravni izgled lončka in še vedno zadovoljive mehanske in toplotne lastnosti
- Uporabili smo tehnologijo brizganja termoplastičnega biokompozita z minimalno možno porabo energije, krajšimi ciklus časi in hkratnim penjenjem

REZULTATI

Z inovativno konstrukcijo lončka in inovativnim postopkom brizganja, kjer hkrati tudi penimo material, dobimo tako zadostno trdnost kot odlične izolacijske lastnosti. Dodatek hmelja omogoča tako odlične mehanske lastnosti, izboljša temperaturno obstojnost skodelice in hkrati zagotavlja nespremenjene lastnosti pri ponovni uporabi materiala oz. recikliranju. Obenem zviša hmelj tudi stopnjo kristaliničnosti materiala, kar omogoča krajše cikel čase pri brizganju in s tem nižjo porabo energije. S projektom smo projektni partnerji dokazali, da lahko z uporabo bioloških odpadov lokalnih pridelovalcev razvijemo inovativne izdelke, ki v primerjavi z obstoječimi izdelki močno zmanjšajo vpliv na okolje.



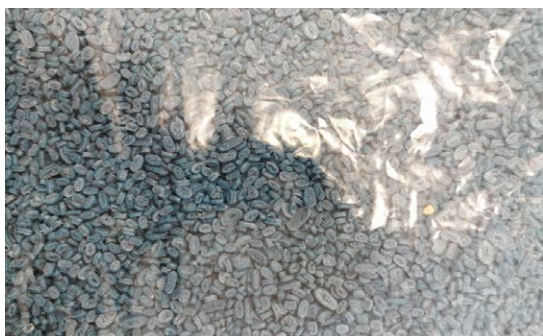
3D natisnjen orodni vložek 2^{FTPO} generacije

NAMEN / CILJ

Hitra izdelava orodnih vložkov je želja vsakega podjetja, ki se ukvarja z brizganjem. Na FTPO smo, odkar smo dobili 3D SLS tiskalnik, izvedli že kar nekaj testov s 3D natisnjenimi orodnimi vložki. Pri prvih testih smo ugotovili, da je čas hlajenja drastično podaljšan, ker je uporabljen PA12 material za 3D SLS tisk odličen toplotni izolator. Tako smo se odločili, da bomo postopoma izboljševali orodne vložke in tako poskušali skrajšati potrebne čase hlajenja. Prva možnost bi bila, da bi v orodni vložek natisnili tudi temperirne kanale. Pri takšni izvedbi nastane več problemov in sicer porozne stene po 3D tisku in tudi pritrditev priključkov na 3D SLS natisnjen orodni vložek. Odločili smo se za naslednjo možnost in sicer izpraznitev orodnega vložka pod gravuro, kamor smo vstavili kovinski insert.

TEHNOLOGIJA / METODE

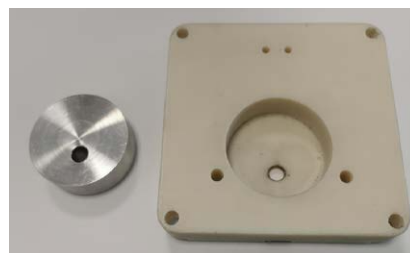
- Uporabili smo znanje in izkušnje iz predhodnih testov s 3D SLS natisnjenimi orodnimi vložki.
- Uporabili smo novo pridobljeno znanje IPPT-TWINN delavnice za 3D tisk.
- V sodelovanju s podjetjem Alba smo konstruirali izpraznitev za kovinski insert s spodnje strani orodnega vložka pod gravuro
- Skupaj z dijaki Gimnazije Slovenj Gradec smo razvili material, ki smo ga kompavndirali in brizgali
- Uporabili smo odpadne zamaške iz polietilena visoke gostote, katerim smo primešali odpaden papir kot ojačevalo
- Dodali smo potrebne dodatke, da smo dobili homogen termoplastični kompozit
- Brizgane izdelke smo gravirali



REZULTATI

S kovinskim vložkom pod gravuro smo drastično skrajšali čas hlajenja.

Gravurni vložek je „preživel“ prvih 300 brizgov. Opazili smo, da bi lahko še nadalje skrajšali čas hlajenja, če bi uspeli ohladiti material okoli dolivka. Izdelek je bil obesek za ključke, ki so ga oblikovali dijaki Gimnazije Slovenj Gradec.





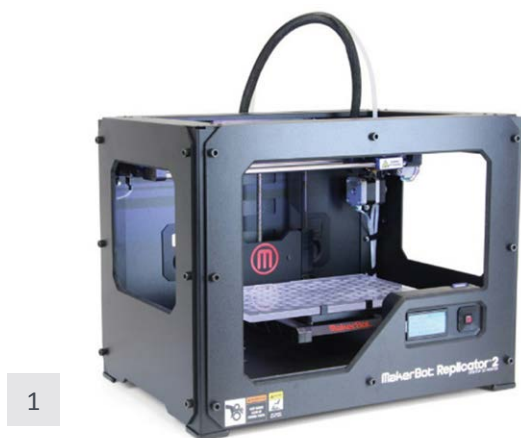
Fakulteta za
tehnologijo
polimerov



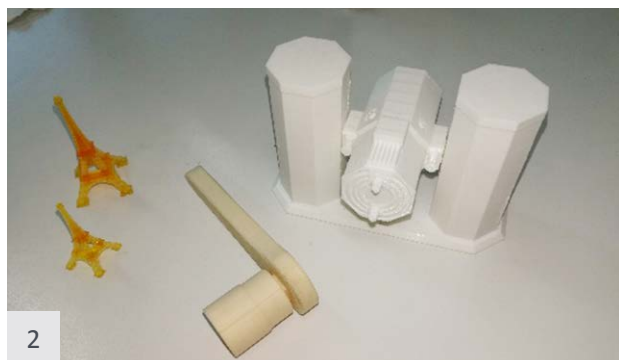
DEJAVNOSTI CENTRA ZA
SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM FTPO

LABORATORIJSKA OPREMA

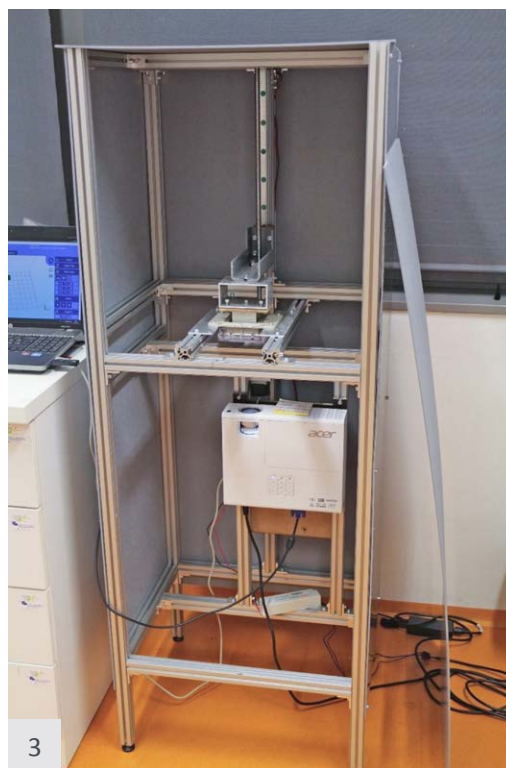
3 D Tisk - Makerbot replicator 2 (FFF) in DLP (SLA)



1



2



3

Opis metod

V želji, da bi lahko izdelovali izdelke kompleksnih struktur zelo hitro, pri tem imeli svobodo dizajna, zmanjšali količino odpada in porabljene mase materiala ter energije, se vztrajno razvijajo dodajalne tehnologije (ang. Additive manufacturing – AM). To so tehnologije, ki so v splošnem znane pod različnimi imeni, kot so tridimenzionalno (3D) tiskanje, tehnologije za hitro izdelavo prototipov (ang. Rapid Prototyping – RP) in slojevite tehnologije (ang. Layer Manufacturing LM). Koncept dodajalnih tehnologij izdelkov je izdelava polproduktov in produktov direktno iz 3D modela brez uporabe orodij. Izdelek se gradi tako, da se material nanaša po slojih v X–Y smeri ter na tak način ustvarja Z smer oziroma tretjo dimenzijo.

Opis naprav

3D tiskalnik Makerbot Replicator 2 (slika 1) deluje na principu taljenja materiala v obliki filameta in nanosa le-tega na podlago, plast za plastjo. Osnova izdelka je računalniški 3D model. Šoba je premera 0,4 mm, primeren filament pa okoli 1,75 mm. Resolucijo med plastmi lahko doseže do 100 mikronov. Natisnemo lahko izdelke do velikosti 28 cm x 15 cm x 15 cm.

3D tiskalnik (slika 3), ki deluje na principu SLA tehnologije z uporabo šablon, je izdelalo podjetje Doorson (Slovenija).

3D tiskalnik kot svetlobno napravo uporablja DMD projektor znamke Acer. Osnova izdelka je prav tako 3D model, izdelek pa se gradi z zamreževanjem ali polimerizacijo tekoče smole občutljive na svetlobo, prav tako plast za plastjo. Z uporabo SLA tehnologije lahko tiskamo izdelke z veliko boljšo površino. Primeri izdelkov so na sliki 2, kjer sta na levi dva izdelka natisnjena po metodi SLA (DLP), na desni pa z uporabo metode FFF (Makerbot Replicator 2).

Primeri uporabe

3D tisk se uporablja predvsem za izdelavo prototipnih modelov, zadnje čase z razvojem tehnologij 3D tiskanja pa tudi vse več tudi za direktno izdelavo funkcionalnih izdelkov. Primeren je predvsem za uporabo kjer konvencionalne metode izdelave ne dopuščajo dovolj svobode pri dizajnu izdelka.

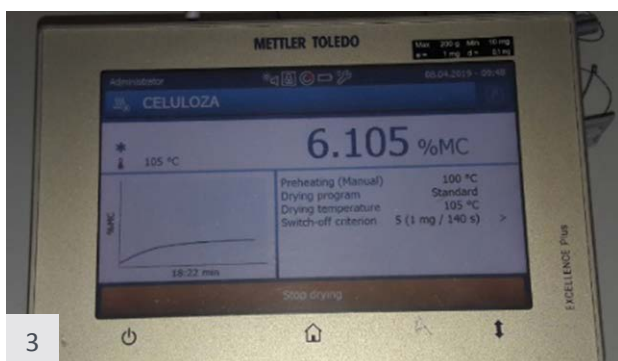
Uporaba v industriji

Natisnemo lahko izdelke, ki služijo kot prototipi za vizualizacijo. Tiskalnika se uporabljata tudi za tiskanje epruvet za karakterizacijo v standardnih velikosti, ki se nato uporabijo za karakterizacijo in optimizacijo termoplastičnih filamentov ali fotoobčutljivih polimerov.

Analizator vlage - Mettler Toledo, HX204 Moisture Analyzer



1



3



2

Opis metode

Različni materiali vsebujejo večje ali manjše količine vlage. Količina vlage je odvisna od strukture materiala od temperature, kateri je material izpostavljen in pa od vlažnosti zraka ter od drugih vplivov okolja. Materiali se lahko navlažijo zaradi neposrednega stika z vodo (konstrukcijski materiali v vlažnem ozračju ali ob izpostavljenosti padavinam). Voda se v materialih prenaša zaradi kapilarnega vleka, vsrkanja, difuzije, osmoze in drugih mehanizmov. Računalniško podprta analizna naprava za merjenje vlage je aparatura v kateri lahko s pomočjo konstante temperature iz materialov odstranimo vlogo oz. jih posušimo do konstantne mase ter tako ugotovimo kakšna je vlažnost materiala.

Opis naprave

Halogenski analizator vlage je znamke Mettler Toledo, model HX204 (Slika 1). Naprava ima kapaciteto analize do 200 g vzorca. Izbiramo lahko med različno intenzivnimi programi sušenja oziroma si jih prilagajamo. Z 2 g vzorcem doseže ponovljivost vrednosti vsebnosti vlage 0,05 %, z 10 g pa 0,01 %. Rezultat podaja na tri

decimalke. Ima pomnilnik, ki shrani do 300 programov in 3000 rezultatov. Možnost imamo tudi izbire različnih kriterijev za končanje meritve. Naprava nam poda rezultat, odvisno od nastavljenega, v gramih, odstotkih ali gramih na kilogram vlage ali suhe komponente. Ob meritvi izriše pripadajoč graf, ki ga lahko skupaj z rezultati izvozimo (Slika 3).

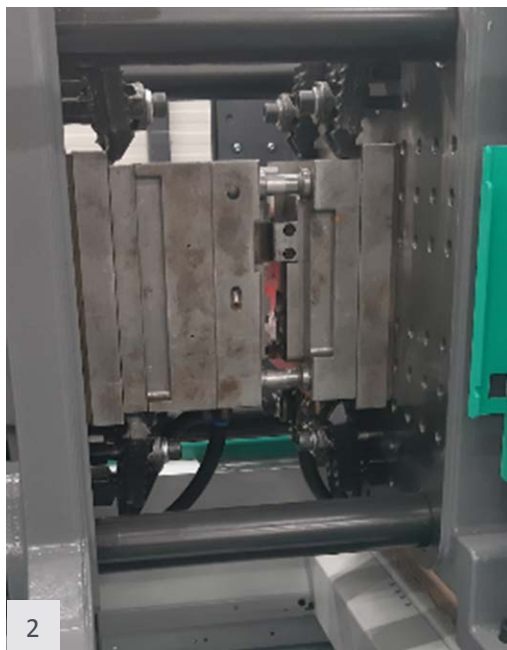
Primeri uporabe

Meritve se uporabljajo predvsem za določanje sestave materialov in predvidevanje njihove toplotne stabilnosti. Tehnika lahko karakterizira materiale, ki kažejo izgubo mase ali pridobitev zaradi absorpcije/desorpcije hlapnih snovi, razgradnje, oksidacije in redukcije.

Uporaba v industriji

V industriji se predvsem uporablja za vhodno kontrolo materiala in primernost polimernega materiala za predelavo. Prav tako se lahko preverja, optimizira in glede na to načrtuje sušenje materiala pred predelavo.

Brizgalni stroj Arburg Allrounder 320 C 500 - 100 golden edition



Opis naprave

Brizgalni stroj Arburg Allrounder 320 C 500 – 100 (slika 1):

- Premier polža: 20 mm
- Zapiralna sila: 500 kN
- Odprta šoba
- Razdalja med vodili: 320 mm
- Masa brizga: 29 g (PS)
- Maksimalni brizgalni tlak: 2500 barov
- Temperatura grelcev: do 450 °C
- Hidravlična zapiralna enota
- Krmilje: SELOGICA
- Geometrija polža: univerzalna

Polž omogoča uporabo granulata običajne velikosti.

Primeri uporabe

Brizgalni stroj se lahko uporablja tako za testiranje lastnosti termoplastov, kot za optimizacijo parametrov brizganja in optimizacijo termoplastičnih mešanic oz. kompozitov s termoplastično matrico. Na stroj se lahko vpne orodje, ki ima dimenzije manjše kot 320 mm x 320 mm (slika 2).

Uporaba v industriji

Za industrijske namene ga uporabljamo (slika 3) pri izdelavi testnih epruvet za karakterizacijo fizikalnih, mehanskih in toplotnih lastnosti, za teste dolžine tečenja taline, za optimizacijo receptur pri termoplastičnih mešanicah in termoplastičnih kompozitih, za optimizacijo parametrov brizganja za različne materiale. Uporabljamo ga tudi za izdelavo demonstratorjev za projekte, kjer razvijamo nove termoplastične mešanice, kompozite s termoplastično matrico in optimiramo pogoje predelave z brizganjem. Testiramo tudi IML tehnologije in 2-K brizganje s predhodno modifikacijo materialov, ki je rezultat lastnega razvoja. Uporabljamo ga tudi za testiranje reciklatov. Za industrijske aplikacije izvajamo tudi testiranja s termoplastičnimi elastomeri, kjer s pomočjo designa eksperimentov določimo optimalno tehnološko okno brizgalnih parametrov.

Brizgalni stroj KraussMaffei CX 50-180 Blue Power



Opis metode

Brizganje je najbolj pogosta tehnologija predelave termoplastov. Izdelujejo se izdelki različnih oblik in mas. Brizganje je namenjeno velikoserijski proizvodnji, ki se običajno povsem avtomatizira.

Opis naprave

Brizgalni stroj KraussMaffei CX 50-180 Blue Power (slika 1):

- Premier polža: 30 mm
- Zapiralna sila: 500 kN
- Odprta šoba
- Razdalja med vodili: 350 mm
- Masa brizga: 77 g (PS)
- Maksimalni brizgalni tlak: 2025 barov
- Temperatura grelcev: do 375 °C
- Hidravlična zapiralna enota
- Krmilje: MC6
- Geometrija polža: univerzalna

Polž omogoča uporabo granulata običajne velikosti. Brizgalni stroj je opremljen z APC sistemom, ki omogoča avtomatsko optimizacijo in nadzor parametrov brizganja. Opremljen je tudi s Quick mold change sistemom podjetja Ilirik (slika 2), ki omogoča magnetno vpenjaje

orodja. Temperirna enota Single omogoča temperiranje orodja od sobne temperature do 150 °C (slika 3).

Primeri uporabe

Brizgalni stroj se lahko uporablja tako za testiranje lastnosti termoplastov, kot za optimizacijo parametrov brizganja in optimizacijo termoplastičnih mešanic oz. kompozitov s termoplastično matrico. Na stroj se lahko vpne orodje, ki ima dimenzije manjše kot 350 mm x 350 mm (slika 2).

Uporaba v industriji

Za industrijske namene ga uporabljamo pri izdelavi testnih epruvet za karakterizacijo fizikalnih, mehanskih in toplotnih lastnosti, za teste dolžine tečenja taline, za optimizacijo receptur pri termoplastičnih mešanicah in termoplastičnih kompozitih, za optimizacijo parametrov brizganja za različne materiale. Uporabljamo ga tudi za izdelavo demonstratorjev za projekte, kjer razvijamo nove termoplastične mešanice, kompozite s termoplastično matrico in optimiramo pogoje predelave z brizganjem. Testiramo tudi IML tehnologije in 2-K brizganje s predhodno modifikacijo materialov, ki je rezultat lastnega razvoja. Uporabljamo ga tudi za testiranje reciklatov. Za industrijske aplikacije izvajamo tudi testiranja s termoplastičnimi elastomeri, kjer s pomočjo designa eksperimentov določimo optimalno tehnološko okno brizgalnih parametrov.

Kontakt: Silvester Bolka | T: +386 31 339 985 | E: lab@ftpo.eu | www.ftpo.eu

Naprava za merjenje udarne žilavosti - LY - XJJDS



Opis metode

Udarni preizkus je preizkus, ki nam pokaže odpornost materiala proti udarcem. Pri udarnih obremenitvah se materialu zmanjša žilavost, kar pa se odraža predvsem v krhkem lomu, ki nastane brez opazne plastične deformacije na mestu preloma. H krhkemu lomu pripomore predvsem nizka temperatura, večosno napetostno stanje ter koncentracija napetosti v materialu, ki ima tudi največji vpliv na pojav krhkega loma. Takšne napetosti se pojavljajo predvsem ob zarezah, zato izvajamo preizkus zarezne udarne žilavosti na vzorcih, narejenih v skladu s standardom ISO 179, kjer imajo vzorci zarezo v obliki črke V ali U. Prav tako lahko merimo udarno žilavost na vzorcih, ki so prav tako izdelani v skladu s standardom ISO 179, vendar so le-ti brez zareze. Kot merilo za žilavost materiala navedemo delo, ki je potrebno za prelom preizkušanca (kJ/m^2).

Sam preizkus poteka tako, da kladivo dvignemo do začetne lege in ga spustimo da zaniha. Pri tem kladivo udari ob preizkušane in doseže končno lego, ki je nižja od začetne lege. Do te razlike med začetno in končno lego pride zaradi energije, ki jo kladivo potrebuje za prelom preizkušanca.

Opis naprave

Z napravo za merjenje udarne žilavosti LY-XJJDS (na sliki 1) lahko merimo udarno žilavost z različnimi kladivi in sicer 1J, 2J, 4J in 5J. Začetni kot kladiva je 150° , razdalje



med podporami pa so lahko med 60 in 95 mm. Na zaslonu izberemo možnost CONFIG ter vpišemo dimenzije vzorca, naprava pa nam izpiše, koliko dela potrebuje za prelom vzorca.

Primeri uporabe

Z meritvami udarne in zarezne udarne žilavosti lahko določimo krhkost oziroma žilavost materiala. Večja kot je vrednost, bolj je material žilav.

Uporaba v industriji

Ob dodajanju reciklata k virgin materialu ali ob večkratni reciklaži posameznega polimernega materiala, se udarna in zarezna udarna žilavost izdelkov slabša.

Dinamična mehanska analiza - PerkinElmer DMA 8000

Opis metode

Dinamična mehanska analiza (DMA) je tehnika, ki se uporablja za karakterizacijo lastnosti materialov v odvisnosti od temperature, časa, frekvence, napetosti, atmosfere ali kombinacije vseh petih parametrov. DMA (Slika 1) deluje s sinusoidno deformacijo na vzorec, ki ima znano geometrijo in ima primerno aspektno razmerje (Slika 2). Vzorec je lahko karakteriziran s kontrolirano napetostjo ali kontroliranim raztežkom. Do kakšne mere se bo vzorec deformiral, je odvisno od njegove togosti. Z DMA metodo lahko merimo togost in dušenje materiala, ki se v analitičnem poročilu označujeta kot dinamični E modul (E'), modul izgub (E'') in faktor izgub ($\tan \delta$). Dušenje je odvajanje energije v materialu pod ciklično obremenitvijo. To je merilo, kako dobro material absorbira energijo in se karakterizira kot tangens faznega kota δ ($\tan \delta$). Z DMA metodo analiziramo odziv materiala v enem sinusnem valu. S tem pridobimo E' in E'' . E' je soracionalen reverzibilni oz. elastično shranjeni energiji (Slika 3), E'' pa je soracionalen energiji, ki se pretvori v toplotno energijo oz. ireverzibilno izgubljeno energijo. Vrednosti modulov se spreminjajo z naraščanjem temperature, hkrati pa nastanejo različni prehodi na krivuljah E' , E'' ali $\tan \delta$.

Opis naprave

Perkin Elmer DMA 8000 dinamični mehanski analizator je visoko fleksibilen in stroškovno učinkovit analizator s prefinjeno zasnovo, ki omogoča prilagodljivo delovanje in visoko funkcionalnost.

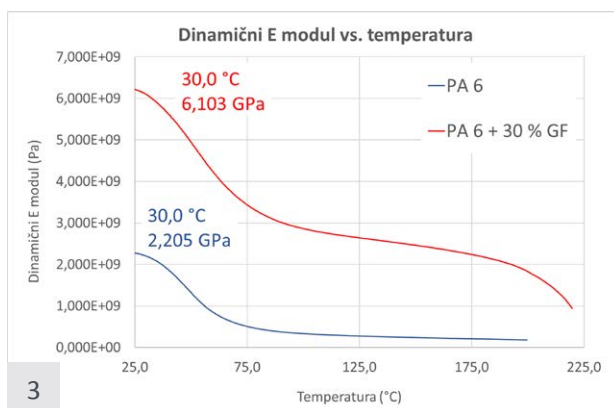
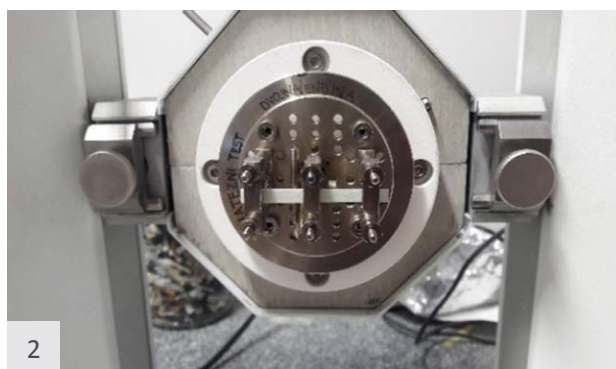
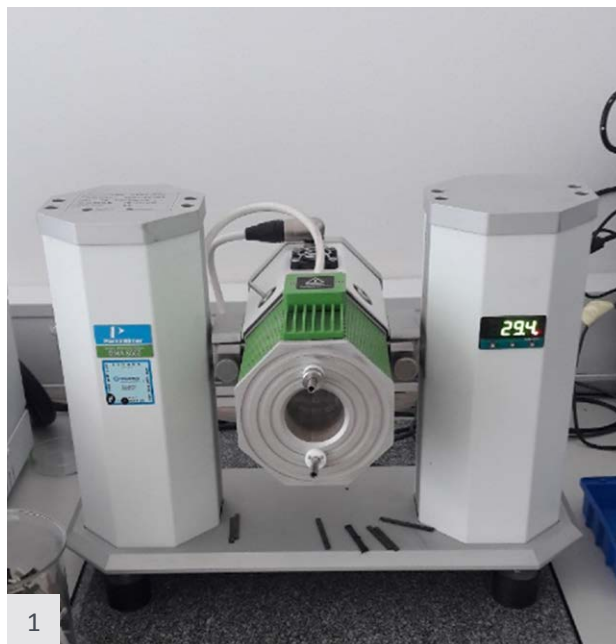
Poleg delovanja v dinamičnem načinu, DMA 8000 omogoča delovanje v načinu »konstantne sile (TMA)« v odvisnosti od časa ali temperature. DMA 8000 uporablja ultraučinkovit hladilni sistem. Instrument se lahko ohladi do -190 °C v 15 minutah z uporabo manj kot 1 litra tekočega dušika, kar zagotavlja vrhunsko zmogljivost.

Primeri uporabe

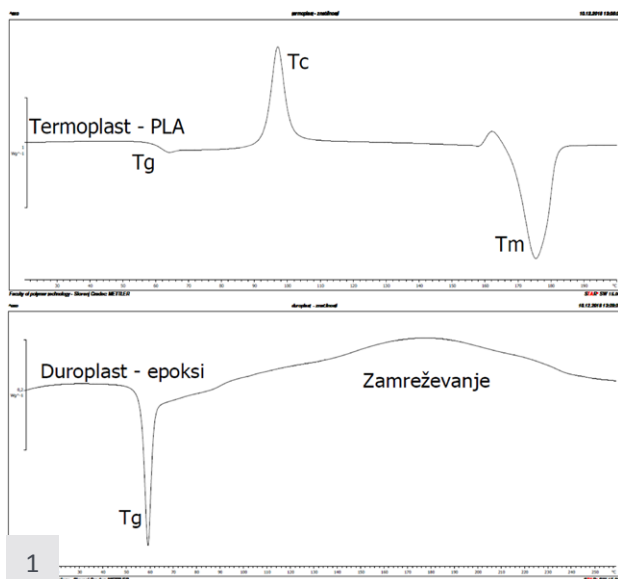
S pomočjo DMA metode lahko določimo temperaturo steklastega prehoda (T_g) in sekundarne prehode, vpliv frekvence na module in T_g , vpliv polnil, dodatkov in adhezivov, vpliv tehnoloških procesov, stabilnost dimenzij, lezenje ter relaksacije napetosti.

Uporaba v industriji

Z DMA metodo lahko s pomočjo ciklične obremenitve predvidimo koliko časa bo neki izdelek zdržal pri določeni obremenitvi, do katere temperature bo izdelek uporaben, koliko reciklata lahko dodamo materiala, ter vpliv dodatkov ali barvil na mehanske lastnosti.



Diferenčna dinamična kalorimetrija - Mettler Toledo DSC 2



Opis metode

Z diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) zaznamo spremembo entalpije vzorca pri izotermnih pogojih ali pri programiranem segrevanju. Vzorec lahko toploto absorbira (endotermna reakcija) ali pa sprosti (ekso-termna reakcija). Z DSC se lahko zazna in izmeri vsak toplotni prehod v materialu, ki vključuje spremembo

toplotne kapacitete materiala (slika 1). Skladno s tem lahko določimo naslednje lastnosti:

- Tg (temperatura steklastega prehoda) temperatura, pri kateri amorfni ali amorfni del delnokristaliničnega polimera preide iz steklastega stanja v viskoelastično ali mehko gumeno stanje,
- Tm (temperatura tališča) - temperatura, pri kateri kristalinični del delnokristaliničnega polimera preide iz trdnega stanja v tekoče stanje,
- Tc (temperatura kristalizacije) - temperatura, pri kateri delnokristalinični polimer kristalizira ob ohlajanju ali segrevanju,
- ΔH_m (talilna entalpija) - količina energije (J/g), potrebna za taljenje kristaliničnega dela delnokristaliničnega polimera,
- ΔH_c (entalpija kristalizacije) - količina energije (J/g), ki se sprosti pri kristalizaciji kristaliničnega dela delnokristaliničnega polimera,
- cp (specifična toplotna kapaciteta pri konstantnem tlaku) - toplota, potrebna za povečanje temperature 1 kg snovi za 1 °C.

Opis naprave

Z napravo Mettler Toledo DSC 2 (slika 2) lahko določimo toplotne prehode v temperaturnem razponu od – 80 °C do 700 °C ter dosežemo hitrosti segrevanja in ohlajanja od 0,02 K/min do 300 K/min, vzorce pa lahko merimo v dušikovi ali kisikovi atmosferi. DSC 2 je popolnoma avtomatiziran in ima odložišče za 34 vzorcev, ki jih lahko pripravimo vnaprej, nato pa jih robot samodejno zamenja, ko so izmerjeni. Masa vzorcev je med 10 in 30 mg. Vzorce vstavimo v 40 µl aluminijaste lončke, ki jih zapečatimo s preluknjanim pokrovčkom (slika 3).

Primeri uporabe

Z DSC metodo lahko prepoznamo in karakteriziramo različne polimerne materiale – s toplotnimi prehodi med 1. segrevanjem in ohlajanjem določimo lastnosti materiala zaradi predhodne predelave, s toplotnimi prehodi med 2. segrevanjem in ohlajanjem pa lahko določimo lastnosti materiala z izbrisano toplotno zgodovino – torej takšnega kot je v osnovi pred predelavo. Z zadrževanjem vzorca na določeni temperaturi v kisikovi atmosferi pa lahko tudi določimo OIT – čas, od takrat, ko vzorec izpostavimo kisikovi atmosferi pri določeni temperaturi, do takrat, ko začne vzorec degradirati.

Uporaba v industriji

Z DSC metodo lahko ugotovimo, ali je bil polimerni material primerno predelan, določimo njegove lastnosti ter ugotovimo, če vsebuje kakšne dodatke.

Ekstruder LabTech LTE20-44



1



2



3

Opis metode

Ekstrudiranje je kontinuirana tehnologija predelave termoplastov. Izdelujejo se izdelki konstantnega preseka, od tankih filmov, plošč, do profilov različnih oblik.

Opis naprave

Ekstruder LabTech LTE20-44 (slika 1):

- Dvopolžni, korotirajoč
- Premer polžev: 20 mm
- L/D = 44:1
- Obrati: do 800 min⁻¹
- Cilinder: vodno hlajen in električni grelci
- Maksimalni tlak: 100 barov
- Temperatura grelcev: do 400 °C

Ekstruder je opremljen z vakuumskim odsesovanjem (slika 3). Polža imata 4 mešalne cone. Cilinder ima 10 temperiranih con, 11 cona (šoba) je le električno greta. Na 5 mestih se meri tudi temperatura taline. Obrati doziranja so maksimalno 250 min⁻¹. Ekstruder ima tudi vodno kopel (slika 2), ki omogoča ohlajanje in vakuumsko sušenje ekstrudiranega materiala.

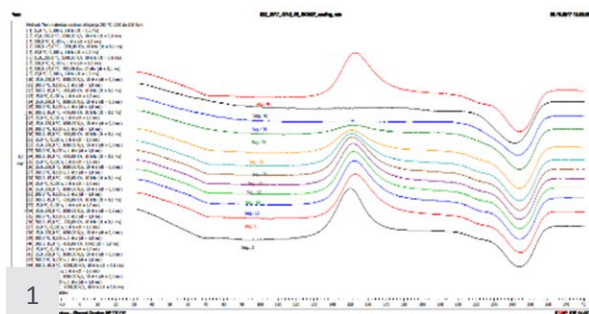
Primeri uporabe

Ekstruder se lahko uporablja tako za testiranje lastnosti termoplastov, kot za optimizacijo parametrov ekstrudiranja in optimizacijo termoplastičnih mešanic oz. kompozitov s termoplastično matrico. Omogoča kompavndiranje materialov v obliki gela, tekočin in granulatov oz. mlevine. S stranskim doziranjem je omogočena izdelava visoko polnjenih kompozitov.

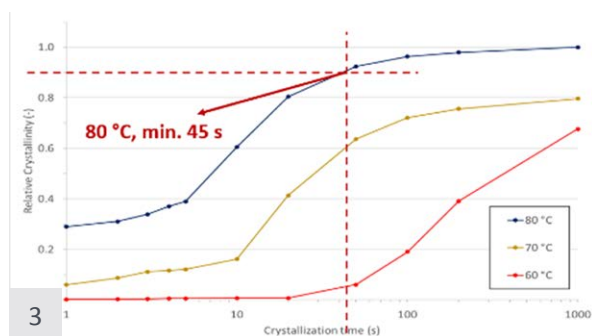
Uporaba v industriji

Za industrijske namene ga uporabljamo pri optimizaciji receptur pri termoplastičnih mešanicah in termoplastičnih kompozitih, za optimizacijo parametrov ekstrudiranja za različne materiale. Uporabljamo ga tudi za izdelavo materialov za demonstratorje za projekte, kjer razvijamo nove termoplastične mešanice, kompozite s termoplastično matrico in optimiramo pogoje predelave s kompavndiranjem. Uporabljamo ga tudi za granuliranje reciklatov in za up-cycling reciklatov. Za industrijske aplikacije izvajamo tudi testiranja s termoplastičnimi elastomeri, kjer s pomočjo designa eksperimentov določimo optimalna razmerja sestavin za doseganje želenih lastnosti.

Ultrahitra diferenčna dinamična kalorimetrija - Mettler Toledo Flash DSC 1



1



3

Opis metode

Z ultrahitro diferenčno dinamično kalorimetrijo (Flash DSC) zaznamo spremembo entalpije vzorca pri izotermnih pogojih ali pri programiranem segrevanju. Vzorec lahko toploto absorbira (endotermna reakcija) ali pa sprosti (eksotermna reakcija). S Flash DSC se lahko zazna in izmeri vsak toplotni prehod v materialu, ki vključuje spremembo toplotne kapacitete materiala (slika 1). Skladno s tem lahko določimo naslednje lastnosti:

- T_g (temperatura steklastega prehoda) - temperatura, pri kateri amorfni ali amorfni del delnokristaliničnega polimera preide iz steklastega stanja v viskoelastično ali mehko gumeno stanje,
- T_m (temperatura tališča) - temperatura, pri kateri kristalinični del delnokristaliničnega polimera preide iz trdnega stanja v tekoče stanje,
- T_c (temperatura kristalizacije) - temperatura, pri kateri delnokristalinični polimer kristalizira ob ohlajanju ali segrevanju,
- ΔH_m (talilna entalpija) - količina energije (J/g), potrebna za taljenje kristaliničnega dela delnokristaliničnega polimera,
- ΔH_c (entalpija kristalizacije) - količina energije (J/g), ki se sprosti pri kristalizaciji kristaliničnega dela delnokristaliničnega polimera,
- študiramo lahko vpliv hitrosti ohlajanja in segrevanja na morfologijo vzorcev.



2

Opis naprave

Z napravo Mettler Toledo Flash DSC 1 (slika 2) lahko določimo toplotne prehode v temperaturnem razponu od -35 °C do 400 °C ter dosežemo hitrosti segrevanja $2.400.000\text{ K/mi-nin}$ ohlajanja do 240.000 K/min , vzorce pa lahko merimo v dušikovi atmosferi. Masa vzorcev je med 10 ng in 1000 ng .

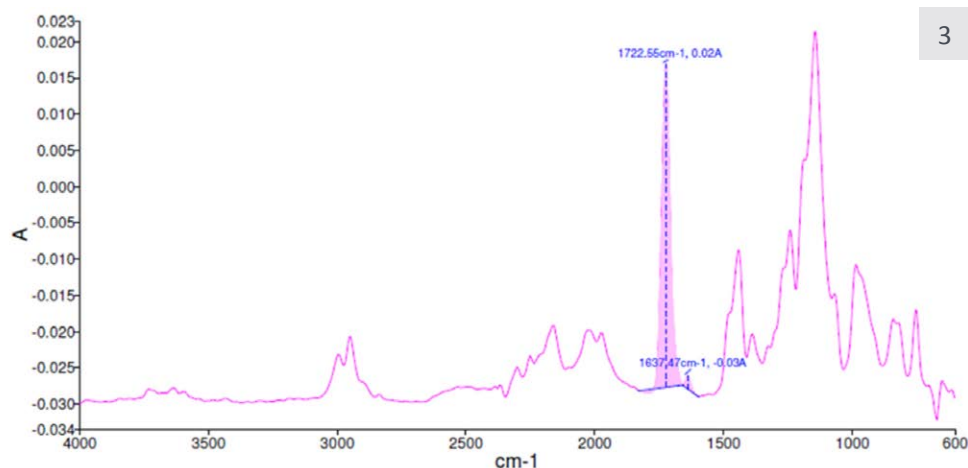
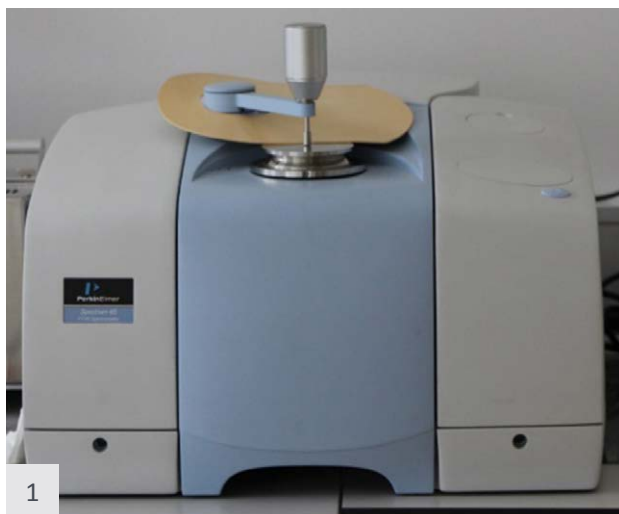
Primeri uporabe

S Flash DSC 1 lahko prepoznamo in karakteriziramo različne polimerne materiale – s toplotnimi prehodi med 1. segrevanjem in ohlajanjem določimo lastnosti materiala zaradi predhodne predelave, s toplotnimi prehodi med 2. segrevanjem in ohlajanjem pa lahko določimo lastnosti materiala z izbrisano toplotno zgodovino – torej takšnega kot je v osnovi pred predelavo. Z ustreznimi metodami lahko študiramo kinetiko kristalizacije in taljenja, ter tako optimiramo npr. temperaturo orodja in potreben čas hlajenja za delnokristalinične materiale (slika 3).

Uporaba v industriji

S Flash DSC 1 lahko ugotovimo, ali je bil polimerni material primerno predelan, določimo njegove lastnosti ter ugotovimo, če vsebuje kakšne dodatke. Lahko optimiramo pogoje predelave in v primeru uporabe reciklatov ugotovimo, ali so le ti že degradirani do takšne mere, da vplivajo na toplotne lastnosti materiala. Določimo lahko tudi maksimalno hitrost ohlajanja, da dosežemo želeno morfologijo po predelavi.

Infrardeča spektroskopija s Fourierjevo transformacijo – PerkinElmer Spectrum 65 FT-IR



Opis metode

Fourierjeva transformacijska infrardeča spektroskopija (FT-IR) je najbolj razširjena metoda infrardeče spektroskopije. Pri infrardeči spektroskopiji se vzorec izpostavi infrardečemu žarku, nekaj se ga absorbira, del se pa prenese preko vzorca. Rezultat posnet pri meritvi je spekter, ki predstavlja molekulske absorpcije in prepustnost, edinstveno za vsako molekulo, kot prstni odtis. Zaradi tega je infrardeča spektroskopija uporabna za analize različnih materialov.

Opis naprave

S spektrometrom PerkinElmer Spectrum 65 FT-IR (slika 1 in slika 2) je mogoče hitro, enostavno in zanesljivo raziskovati absorpcijske spektre različnih materialov, z resolucijo spektra $0,5 \text{ cm}^{-1}$ za popis osnovnih rotacij in vibracij molekul v plinski fazi. Deluje v povezavi z računalniškim programom PerkinElmer Spectrum, ki zajema podatke o absorpciji vzorca in nato podatke pretvori v spekter, kot je prikazan na sliki 3.

Primeri uporabe

S FT-IR spektroskopijo je mogoče identificirati neznan material, določiti kvaliteto in konsistenco vzorcev in določiti število komponent v mešanici. To se lahko nadalje uporablja kot orodje za preverjanje kvalitete vhodnih in/ali izhodnih materialov, raziskovanje nepravilnosti pri polimernih in ostalih materialih, identifikacijo kontaminacij z analizo majhnega dela vzorca, analizo tankih filmov in premazov ter analizo odpovedi izdelka.

Uporaba v industriji

Številne komponente v avtomobilski industriji, kakor tudi v vseh ostalih industrijskih panogah so primerne za FT-IR analizo, na primeru avtomobila so to med drugim: deli iz epoksi smol, premazi za dele, gorivo, gume, tesnila, barve, tekstil, zaviralci gorenja in izpusti. Zasledujemo lahko vpliv recikliranja na spremembo kemijske strukture polimerov.

Granulator - Scheer, SGS 25-E4

Opis metode

Granulati (Slika 1) so aglomerati praška, aglomeriranih delcev in raznih nosilcev dobljenih pri postopku granuliranja. Granulat lahko ustvarimo s suhim postopkom (z neposrednim stiskanjem) in suho granulacijo. Prav tako pa je mogoče granuliranje izvesti tudi z mokrim postopkom. S postopkom suhega granuliranja, lahko na podlagi ustrezne hitrosti rotorja (Hz) in hitrosti noža dobimo pelete različnih dolžin (odvisno od nadaljnje aplikacije). Zrnca pridobljena s pomočjo suhega granuliranja so močnejša in manj porozna od zrn, ki jih dobimo s pomočjo mokrih metod granuliranja. Prav tako je mogoče postopek suhe granulacije ponavljati tako dolgo, da dobimo zrnca ustrezne velikosti. Nitno granuliranje je postopek povečevanja specifične površine ekstrudirane niti. To dosegamo na takšen način, da nit dovajamo do rotirajočega nazobčanega rezila pri čemer se nit v stiku z rezilom ustrezno manjša (nastanejo granule).

Opis naprave

Granulator (Slika 2) je naprava namenjena pripravi granul. Kljub temu, da gre v našem primeru za laboratorijski granulator, je zelo kompakten in robusten. S pomočjo nastavitve hitrosti dveh rotorjev (dozirne glave, nož) lahko popolnoma kontroliramo dolžino granulata.

Velikost granulata zavisi od dozirne hitrosti, ki jo lahko manualno nastavimo. Velikosti granul se tako gibljejo od 0,5 mm-12 mm.

Primeri uporabe

Granulator se uporablja predvsem v povezavi s procesom ekstrudiranja. Filament po ekstrudiranju namreč napolnimo skozi vodno kopel, kjer se ohladi, do granulatorja, ki filament razreže na ustrezno velike granule (Slika 3).

Uporaba v industriji

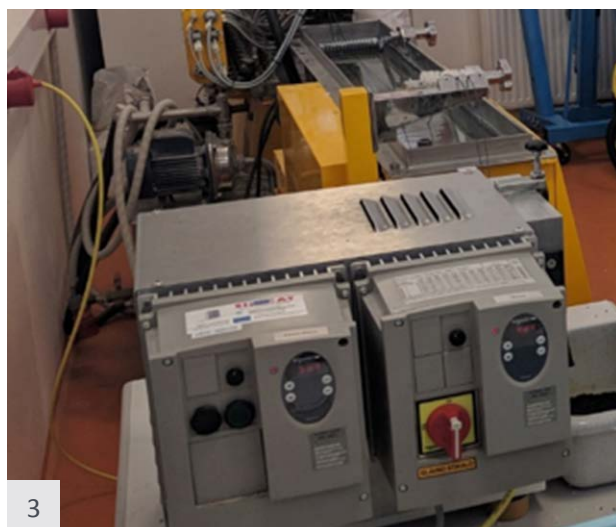
Za industrijske namene ga uporabljamo pri pripravi polimernih mešanic, biokompozitov ter ekstrudiranju čistih polimernih matric, kjer dobljene filamente po procesu ekstrudiranja namenimo skozi vodno kopel v granulator. Dobljeni granulat uporabimo za brizganje testnih epruvet, s pomočjo katerih materialu določimo mehanske, toplotne in kemijske lastnosti.



1



2



3

Naprava za merjenje toplotne prevodnosti - HOT DISC, TPS 1500



1

Opis metode

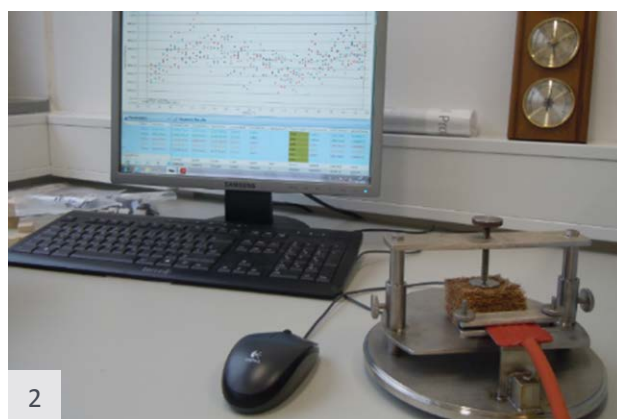
Pri sestavi metode moramo biti pozorni na posamezne parametre. Za polimerne materiale s pričakovanimi vrednostmi toplotne prevodnosti med 0,01 W/mK in 0,2 W/mK izberemo čas meritve med 20 in 160 s ter moč segrevanja med 0,03 in 0,6 W. Potrebno je tudi navesti tip senzorja in kabla, kot tudi temperaturo okolice. Priporočljiva velikost vzorca je 15 x 15 mm, debeline 4 mm ali več, lahko pa so tudi okrogli. Meritve se izvajajo po standardu ISO 22007-2.

Opis naprave

Hot Disk TPS 1500 (slika 1) je sestavljen iz merilne naprave, ohišja za pritrditev senzorja in vzorca s pokrovom, različnih senzorjev in priključnih kablov. K vsemu naštetemu pripada tudi ustrezen računalnik s programsko opremo. Meritve lahko izvajamo tudi pri povišanih ali znižanih temperaturah, pri čemer uporabimo temperaturno komoro SHIMADZU TCE – N300.

Primeri uporabe

Poleg toplotne prevodnosti, lahko izmerimo tudi toplotno difuzivnost in specifično toplotno kapacitivnost



2

po enoti volumna. Metoda je primerna za materiale z vrednostmi toplotne prevodnosti med 0,01 in 500 W/mK in toplotne difuzivnosti med 5×10^{-1} in 10^{-4} mm²/s.

Uporaba v industriji

Poleg toplotne prevodnosti polimerov lahko napravo s pomočjo ustrezne opreme uporabljamo tudi za ostale materiale kot so npr. kovine, gradbeni materiali ipd. (slika 2: merjenje toplotne prevodnosti kokosovih vlaken).

Laboratorijski mešalni reaktor

Opis metode

Kemijski reaktor je zaprt prostor v katerem potekajo kemijske reakcije. Poznamo šaržne in kontinuirne kemijske reaktore. V laboratorijih se običajno uporabljajo šaržni reaktorji. Pri šaržnem reaktorju reagente prenesemo v zaprt volumen (reakcijska posoda, bučka, čaša, itd.), kjer jih zadržujemo pri določenih pogojih (temperatura, tlak, mešanje, itd.) za določen čas. Po koncu kemijske reakcije nastali produkt izpraznimo iz reaktorja in po potrebi nadaljnjo obdelujemo.

Opis naprave

Mešalni reaktor je namensko prilagojen za sintezo polimerov, saj omogoča mešanje tekočin z izredno visoko viskoznostjo ter je opremljen z ogrevanim ventilom, ki omogoča enostavno praznjenje polimerov iz reaktorja. Reaktor ima volumen 2,5 L, tlačno območje delovanja od 1 bar do 6 bar in temperaturno območje delovanja od 25 °C do 350 °C. Opremljen je s spiralnim mešalom, dvema kondenzatorjema, ki omogočata destilacijo pod atmosferskim ali povišanim tlakom in vakuumsko črpalko. Reaktor je računalniško krmljen in omogoča kontrolo temperature reaktorja, hitrosti segrevanja reaktorja, temperature kondenzatorja in tlaka v reaktorju. Računalniško krmljenje omogoča izpis parametrov obratovanja reaktorja kot funkcijo časa reakcije. Volumen reaktorja omogoča, da s sintezo ene šarže pridobimo ustrezno količino materiala za nadaljnjo predelavo (npr. kompavndiranje in brizganje plastike). Zasnova reaktorja omogoča enostavno nadgradnjo z dodatno opremo.

Primeri uporabe

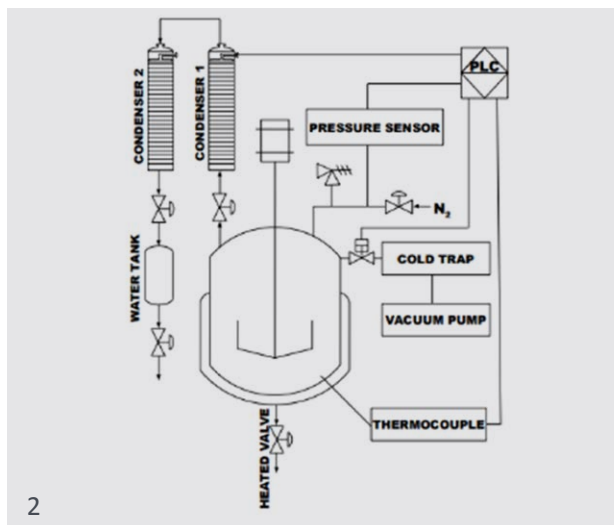
S pomočjo reaktorja lahko izvedemo različne tipe polimerizacij (verižne in stopenjske polimerizacije) ter modifikacije polimerov.

Uporaba v industriji

Mešalni reaktorji se uporabljajo v različnih industrijah (polimerna, kemijska, farmacevtska, prehrabna, itd.) za izvedbo kemijskih reakcij ali mešanje snovi. V polimerni industriji se najpogosteje uporabljajo za sinteze in modifikacije polimerov.



1



2



3

Naprava za merjenje indeksa tečenja taline - LIYI MFI LY-RR

Opis metode

Indeks tečenja taline (MFI) je merilo za pretok staljene plastike. Majhen vzorec, približno 5 g, segrejemo nad točko taljenja ali mehčanja, da steče skozi kapilaro s pomočjo bata z obtežitvijo, ki se razlikuje glede na vrsto analiziranega polimera. Masa taline v gramih, ki priteče skozi kapilaro v 10 minutah, je indeks tečenja taline (Slika 2). Meritve izvajamo skladno s standardom ISO 1133, pri točno določeni temperaturi ter obtežitvi, ki sta za vsak material drugače definirana. Na splošno velja, da pri primerjavi polimerov istega razreda nižji indeks tečenja taline ustreza višji molekularni masi in/ali manjši razvejenosti materiala.

Opis naprave

Meritve indeksa tečenja taline izvajamo na napravi Donnguan LIYI LY-RR (Slika 1). Ta se lahko uporablja za določevanje hitrosti tečenja taline (MFR) ali volumskega pretoka taline (MVR) za materiale, kot so ABS, polistiren, polietilen, polipropilen, poliamid, matrice za vlakna, akrilati, POM, fluorirani polimeri, polikarbonat in drugi termoplasti. Merilno območje naprave je od 50 do 400 °C.

Meritve indeksa tečenja taline pa izvajamo z različnimi obremenitvami, najpogostejše obremenitve po standardu ISO 1133 so: 1,2 kg, 2,16 kg, 3,8 kg, 5 kg, 10 kg ter 21,6 kg.

Primeri uporabe

Napravo uporabljamo za merjenje indeksa tečenja taline, ki je neposredno povezana z molsko maso in viskoznostjo materiala.

Uporaba v industriji

Naprava za merjenje indeksa tečenja taline se pogosto uporablja v plastični industriji za nadzor kakovosti termoplastov, še posebej pri vhodni kontroli za določanje razlik med šaržama. Uporablja se tudi kot podpora za nastavljanje parametrov predelave, kot osnova za določanje deleža reciklata oziroma mlevca k čistemu materialu, tako, da s tem ne pokvarimo lastnosti materiala. Indeks tečenja taline je prav tako dober za identifikacijo degradacije materiala, saj z degradacijo molska masa materiala pada, indeks tečenja pa raste.



Mlin za mletje termoplastov - Wanner C 13.20 s



Opis metode

V industriji se vse bolj uporabljajo reciklati in mlevci, vendar pa še niso popolnoma znani vplivi le-teh na lastnosti končnega materiala. Mlin za mletje termoplastov nam bo pomagal, da bomo lahko pri povsem realnih pogojih izvajali raziskovalno delo o degradaciji materiala med predelavo, reciklažo in up-cyclingom. Vzorce, ki jih predhodno nabrizgamo, zmeljemo z mlinom in uporabimo mlevec bodisi kot dodatek virgin materialu, kot sam mlevec ali z raznimi dodatki, ki preprečijo poslabšanje lastnosti materiala.

Opis naprave

Wanner C 13.20 S mlin, ki ga vidimo na sliki 1, ima rotor premera 130 mm z devetimi noži (slika 2), velikost odprtine pa je 130 x 200 mm², prostornina posode za mlevec pa je 4 litre. Posodo z mlevcem praznimo ročno.

Primeri uporabe

S pomočjo mlina za mletje termoplastov se tako raziskovalci kot tudi naši študenti učijo delati z mešanicami svežega materiala in mlevca ter raziskujemo, kako dodatek mlevca vpliva na lastnosti materiala, prav tako tudi spremljajo, kako se lastnosti materiala skozi večkratno mehansko reciklažo spreminjajo ter z različnimi dodatki poskušajo izboljšati lastnosti reciklatov. Na sliki 3 vidimo mlevec polikarbonata.

Uporaba v industriji

Mlin za mletje termoplastov se uporablja za izvajanje študije degradacije polimernih materialov med mehansko reciklažo, saj se reciklati vse pogostejše uporabljajo v industriji, njihove lastnosti pa se z vsako mehansko reciklažo slabšajo. Tako lahko predvidevamo, kaj se bo z materiali dogajalo, ko jih bomo večkrat reciklirali, hkrati pa tudi testiramo različne dodatke, ki pomagajo obdržati dobre lastnosti materiala tudi po večkratni reciklaži.

Optični mikroskop s kamero - Novex Holland B series

Opis metode

Mikroskopiranje je tehnika priprave in opazovanja mikroskopskih predmetov z mikroskopom. Poznamo več vrst mikroskopov: svetlobni ali optični mikroskop, presevni elektronski mikroskop in vrstični elektronski mikroskop. Na fakulteti imamo optični mikroskop z možnostjo uporabe optične kamere, ki nam povečano sliko prenese na računalnik, kjer lahko opazovane objekte tudi izmerimo. Optični mikroskop za izvor svetlobe uporablja kondenzor z zaslonko ali lučko in s svetlobnim valovanjem v vidnem spektru osvetli objekt, ki ga nato vidimo skozi okular.

Opis naprave

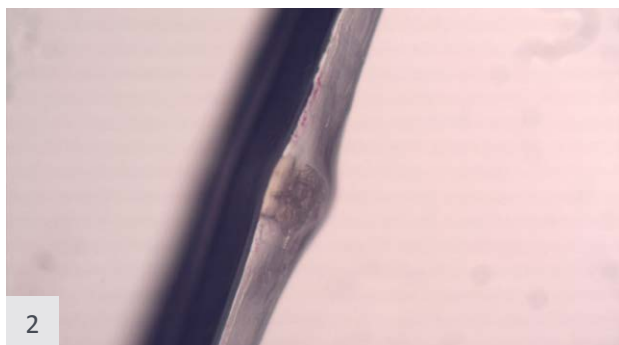
Optični mikroskop Novex Holland B series, ki ga vidimo na sliki 1, ima možnost priklopa optične kamere, ki omogoča prenos slike na računalnik. Okular je nagnjen pod kotom 30° , nastavimo pa lahko razdaljo med zenicama in ga tako prilagodimo posamezniku. Mikroskop ima štiri objektivne s povečavami: 4x, 10x, 40x in 100x. Opazovanemu objektu, ki ga z objektnim steklom namestimo na mizico mikroskopa, lahko z vrtljivimi gumbi nastavimo ostrino. Prav tako ga lahko pomikamo v ravnini ter tako nastavimo del opazovanega objekta, ki ga želimo opazovati.

Primeri uporabe

Eden izmed načinov uporabe je ta, da si ogledamo granulat ali film ter ugotovimo, ali so prisotne kakšne nečistoče ali vključki. Na sliki 2 vidimo folijo, ki vsebuje vključek. Prav tako lahko optični mikroskop s kamero uporabimo, da si po opravljeni termogravimetrični analizi ogledamo, kakšen je ostanek. Kadar so v materialu steklena vlakna, lahko preverimo kakšna je porazdelitev dolžine steklenih vlaken ter tudi izmerimo njihovo dolžino. Na sliki 3 je viden ostanek po termogravimetrični analizi – v materialu so bila steklena vlakna.

Uporaba v industriji

V industriji se optični mikroskopi s kamero uporabljajo za preiskovanje površine materialov – dobimo vpogled v obliko, velikost in razporeditev mikrostrukturnih sestavin.



Naprava za merjenje površinske upornosti - MECO Antistatic Tester MGT-4

Opis metode

Površinska upornost je opredeljena kot razmerje med enosmerno napetostjo in tokom, ki teče med dvema elektrodama z določeno konfiguracijo. Osnovna enota je Ohm (Ω).

Opis naprave

Z napravo za merjenje površinske upornosti izolatorjev proizvajalca MECO, model MGT-4, skladno s standardom DIN EN 61340-2-3 omogoča merjenje površinske upornosti med $1 \times 10^5 \Omega$ in $1 \times 10^{12} \Omega$. Ima dve vzmetni elektrodi širine 30 mm, z razmikom 1,5 mm. Pri merjenju uporablja napetost okoli 100 V, s tokom zmanjšanim pod 1 mA. Naredi lahko 10 meritev v 1 sekundi. Kot vir energije uporablja baterijo.

Primeri uporabe

Metoda se uporablja za določanje (anti)statičnosti površine. Je zelo enostavna in uporabna. Elektrodi prislonimo na vzorec, naprava izmeri vrednosti, jih obdela s pomočjo logaritemskega ojačevalnika in pošlje naprej do mikroprocesorja, ki jih evalvira. Končne podatke poda na zaslonu.

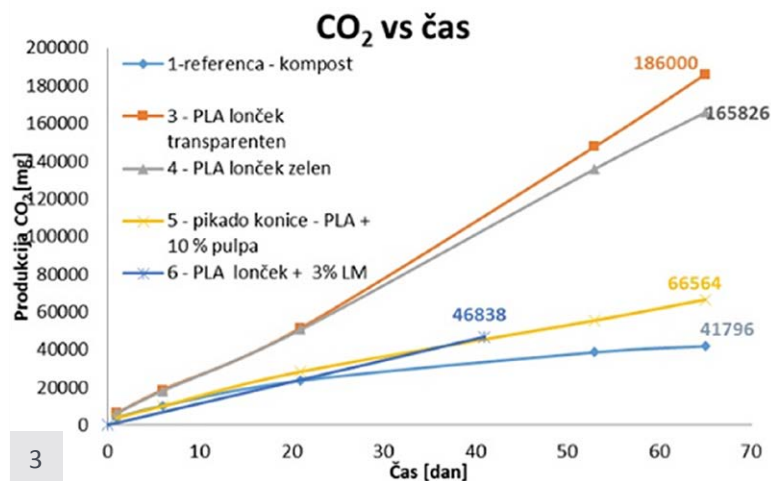
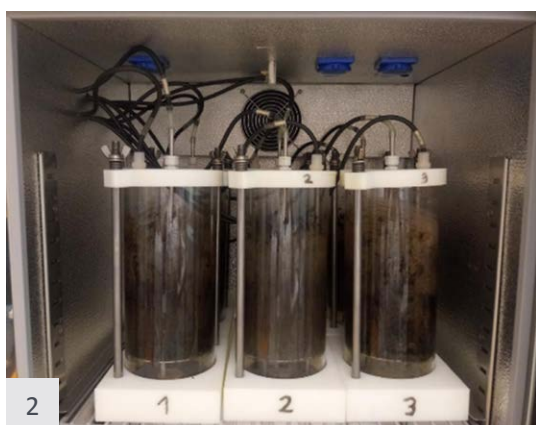
Uporaba v industriji

Merjenje površinske upornosti je najzanesljivejši indikator uspešnosti delovanja antistatikov v materialu, kakor tudi za karakterizacijo materialov in njihove primernosti za določene aplikacije, ki zahtevajo (anti)statično obnašanje materiala.



1

Respirometer



Opis metode

Z respirometrom določamo aerobno ali anaerobno biorazgradljivost trdnih ali tekočih vzorcev v različnih aplikacijah. Vzorce pripravimo skladno s standardom ISO 14855-1, kar pomeni, da jih v točno določenem razmerju sušine pomešamo s kompostom, nakar mešanici dodamo ustrezno količino vode. Vzorca ne smejo presegati velikosti 1 x 1 cm. Dobljeno mešanico damo v reaktor, ki ga nepredušno zapremo in priklopimo na dovod zraka (slika 2). Odvod zraka vodimo v kontrolno enoto, kjer se opravijo meritve posameznih plinov.

Opis naprave

Respirometer je sestavljen iz večih posameznih enot (slika 1). V kontrolni enoti je nameščeno krmiljenje pretoka, optični NIR senzor za merjenje CO₂ in CH₄, elektrokemični senzor za merjenje O₂ in ostali senzorji za merjenje H₂, H₂S, NH₃. V pripadajoči komori je nameščenih 6 reaktorjev (opcijsko 12) s pripadajočo instalacijo

za pretok plinov in možnostjo nastavitve temperature do 70°C. Vse skupaj je podprto z računalnikom z ustrezno programsko opremo.

Primeri uporabe

Respirometer uporabljamo za biorazgradnjo polimerov v trdnem mediju (ISO 14855-1) ali v vodnem mediju (ISO 14852). V času biorazgradnje spremljamo sproščanje in porabo posameznih plinov: CO₂, CH₄, H₂, H₂S, NH₃, O₂. Ko se krivulja, ki nam prikazuje sproščanje CO₂ (sl. 3) poravnava z referenčno krivuljo, je biorazgradnja zaključena.

Uporaba v industriji

Poleg biorazgradnje polimerov lahko z respirometrom proučujemo tudi razgradnjo drugih materialov, zaradi česar je metoda uporabna tudi v živilski industriji, pri raziskavah v biotehnologiji, biologiji, ekologiji in farmaciji. Prav tako si z metodo lahko pomagamo tudi pri proučevanju biološke aktivnosti komposta in odpadnih voda.

Stiskalnica Baopin BP-8170-B

Opis metode

Najprej segrejemo obe stiskalni plošči na želeno temperaturo in med plošči vstavimo zaščitni plošči, med katerima je material v obliki granulata oziroma surovine za izdelavo kompozitnih plošč. Nato stisnemo skupaj stiskalni plošči. Stiskalnica ima dve stopnji stiskanja: prva stopnja je predgretje materiala pri nizkem tlaku, nato pa nastavimo želeni tlak ter čas stiskanja pri nastavljeni temperaturi. Nato stiskalnica preklopi na način ohlajanja, da se izdelek lahko dokončno zamreži pod tlakom in tako dobimo kvalitetno izdelano ploščo.

Opis naprave

Lastnosti stiskalnice BAOPIN BP-8170-B (slika 1):

- maksimalni tlak: 30 ton,
- vodno hlajenje in električno gretje,
- temperatura grelcev: do 300 °C,
- dimenzija stiskalnih plošč: 300 mm x 300 mm,
- razdalja med stiskalnima ploščama: 150 mm.

Stiskalnica ima dve vzporedni stiskalni plošči (slika 2), ki imata možnost segrevanja in ohlajanja. Stiskalnica ima sposobnost, da takoj po koncu segrevanja preklopi v način ohlajanja in vzorec ohladi, ko je še stisnjen med ploščama z nastavljenim tlakom.

Primeri uporabe

Stiskalnica nam omogoča izdelavo kakovostnih kompozitnih plošč.

Uporaba v industriji

S stiskalnico lahko izdelamo kompozitne plošče ter tako preverimo kakovost izdelanega kompozitnega materiala – preverimo lahko prisotnost vključkov, neraztaljenih komponent oziroma vidimo, če nastajajo aglomerati ob uporabi vlaken ali polnil, prav tako pa lahko lepo vidimo razporeditev le teh.



Suntest komora - ATLAS XXL

Opis metode

Atlas SUNTEST XXL komora (slika 1) je namenjena za merjenje vremenskih vplivov in odpornosti na svetlobo ter ustreza različnim standardom ISO, ASTM in ICH. Naprava ima standardni temperaturni senzor (BST) v skladu z ISO 4892-1, simulacija sončnega sevanja pa se izvaja po referenčnem soncu CIE85. Metodo izberemo glede na zahtevane standarde, pri čemer lahko spreminjamo obsevanost (300 – 400 nm), razpon obsevanosti 0,26 – 0,62 W/m², temperaturo oz. temperaturno razliko, vlago in območja tolerance.

Opis naprave

Naprava je opremljena z izredno veliko komoro za namestitve 3D vzorcev, prostornine 3000 cm³ (slika 2). Ima vgrajen vodni rezervoar za deionizirano vodo, velikosti 60 l, iz katerega preko ultrazvočnega razprševalnega sistema uravnavamo vlago, ki lahko predstavlja vlažnost, roso in dež. Za obsevanje vzorcev so namenjene tri zračno hlajene ksenon žarnice, moči 1700 W z ustreznimi filtri, ki nam omogočajo stabilno porazdelitev spektra. Ima notranji pomnilnik, vse podatke pa lahko izvozimo s pomočjo pomnilniške kartice.

Primeri uporabe

Komora SUNTEST XXL se uporablja za preverjanje sprememb lastnosti materialov in izdelkov zaradi sončne svetlobe, temperature in vlage. Sončna svetloba nam v materialu sproži degradacijski proces, ki nato v interakciji z vlago in temperaturo povzroči nezaželene učinke. Staranje, ki se zgodi na prostem ali v zaprtih prostorih v nekaj mesecih ali letih (kot je npr. bledenje, porumenelost ipd.) se lahko simulira v komori v le nekaj tednih.

Uporaba v industriji

Naprava je idealna za testiranja na področju raziskav in razvoja novih materialov za različna okolja končne uporabe. Poleg testiranja polimernih materialov lahko SUNTEST komoro uporabljamo tudi za testiranje ostalih materialov, kot so barve, premazi, lepila,



1



2



3

Vmesnik za povezavo TGA in FTIR - Perkin Elmer, TG-IR Interface TL8000



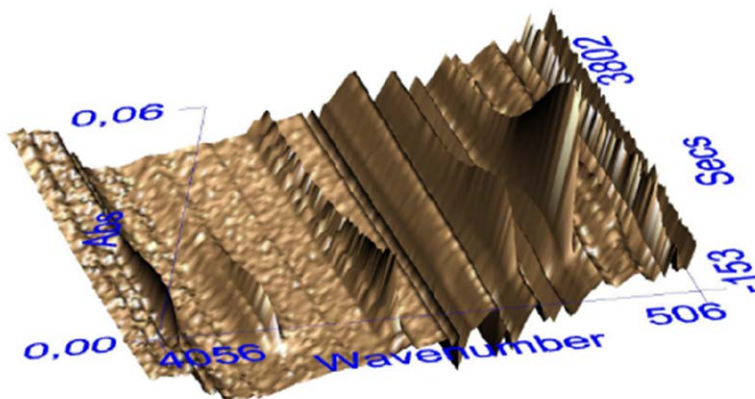
1

Opis metode

Termogravimetrična analiza meri spremembo mase vzorca v odvisnosti od temperature ali časa v nadzorovani atmosferi. Med segrevanjem, ko material razpada, se sproščajo razni plini. FT-IR spektroskopija je spektroskopska metoda, ki omogoča (kvalitativno in kvantitativno) identifikacijo kemijske strukture (prisotnost ali odsotnost kemijskih vezi v kemijski strukturi) ter s tem identifikacijo prisotnih snovi. FT-IR spektroskopijo uporabljamo za identifikacijo različnih organskih ter tudi anorganskih materialov. Vmesnik za povezavo TGA in FT-IR poveže obe tehniki in nam tako omogoča, da med termogravimetrično analizo zaznamo vrsto in količino plinov, ki se sproščajo med razpadom vzorca. Rezultat meritve je 3D graf (slika 2), ki prikazuje absorbanco pri posameznem valovnem številu v odvisnosti od časa meritve. Tako lahko razberemo katere spojine in v kakšni količini so se sproščale med segrevanjem vzorca.

Opis naprave

TG-IR Interface TL8000 (slika 1) je vmesnik med TGA in FTIR analizo, ki omogoča, da se popolnoma vse hlapne komponente, ki nastanejo med TGA analizo, transportirajo do FTIR spektroskopa, kjer jih zaznamo in tudi določimo njihovo količino.



2

Primeri uporabe

Zaznavanje plinov med degradacijo polimerov med segrevanjem ali vzdrževanjem na določeni temperaturi.

Uporaba v industriji

Vmesnik med TGA in FTIR nam omogoča, da zasledujemo, kateri plini se sproščajo med degradacijo materiala. Namreč, kadar je material predolgo v polžu brizgalnega stroja zagret na predelovalno temperaturo, začne degradirati. Na termogravimetričnem analizatorju lahko simuliramo brizganje s tem, da material zagrejemo na predelovalno temperaturo ter ga nato zadržujemo na tej temperaturi, hkrati pa spremljamo, kateri plini se sproščajo med samo degradacijo.

Termogravimetrična analiza - Perkin Elmer TGA 4000



1

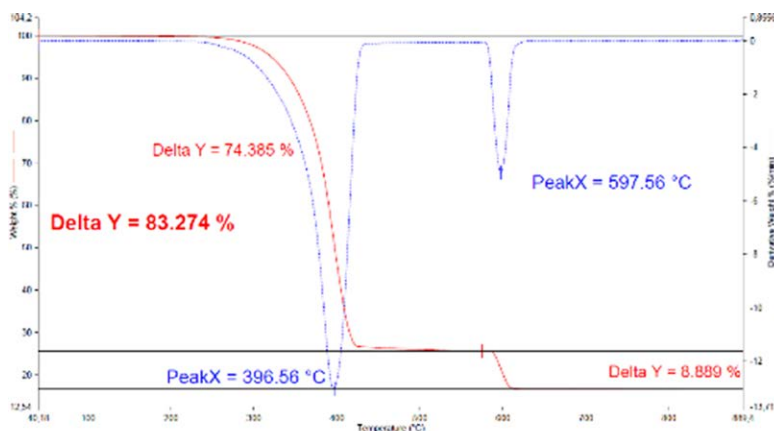


2

Opis metode

Termogravimetrična analiza (TGA) meri količino in hitrost spremembe mase materiala kot funkcijo temperature ali časa v nadzorovani atmosferi. Meritve se uporabljajo predvsem za določanje sestave materialov in za napovedovanje njihove toplotne stabilnosti pri temperaturah do 1100 °C. Tehnika lahko karakterizira materiale, ki kažejo izgubo mase ali pridobitev zaradi razgradnje, oksidacije ali dehidracije. Termogravimetrična analiza omogoča pregled:

- Toplotne stabilnosti materialov (degradacija, piroliza)
- Oksidativno stabilnost materialov (oksidacija)
- Sestave večkomponentnih sistemov (vsebnost mehčal, vsebnost anorganskega polnila, vsebnost pepela)



3

- Ocena življenjske dobe izdelka
- Kinetike razgradnje materialov
- Učinek reaktivnih ali korozivnih atmosfer na materiale
- Vsebnosti vlage in hlapnih snovi v materialih
- Učinkovitost stabilizatorjev

Opis naprave

Termogravimetrični analizator Perkin Elmer TGA 4000 (Slika 1, 2) je zasnovan tako, da nudi visoko zmogljivo ravnotežje in pečico za natančnost in preciznost, enostavno nalaganje vzorcev in odklapanje, hitro hlajenje za krajše cikle in boljšo produktivnost. Povezan je z računalniško programsko opremo, ki nadzoruje napravo in zbira podatke, imenovano Pyris Software, različica 11.0.2.0468. Delovni temperaturni razpon analizatorja je od temperatur okolice do 1000 °C. Vzorce lahko merimo v različnih atmosferah, vključno z dušikom, kisikom in zrakom (Slika 3).

Primeri uporabe

Meritve se uporabljajo predvsem za določanje sestave materialov in predvidevanje njihove toplotne stabilnosti. Tehnika lahko karakterizira materiale, ki kažejo izgubo mase ali pridobitev zaradi absorpcije/desorpcije hlapnih snovi, razgradnje, oksidacije in redukcije.

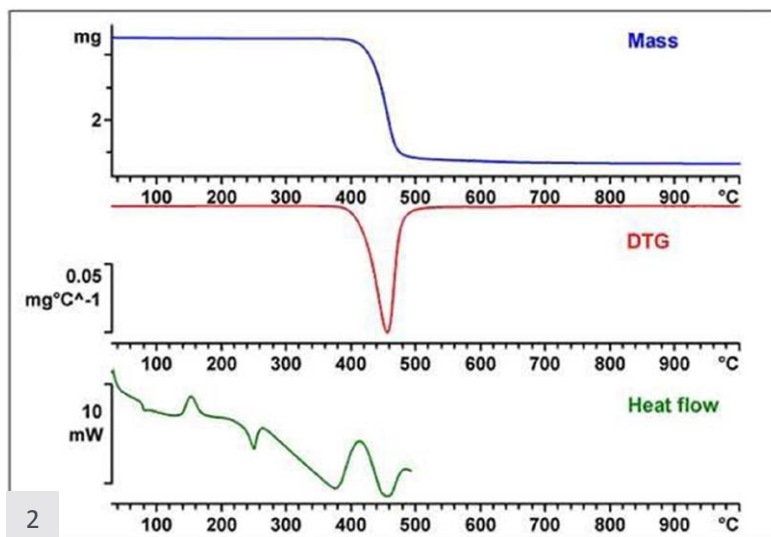
Uporaba v industriji

V zadnjih letih se TGA vse bolj uporablja za kontrolo in zagotavljanje kakovosti surovin in blaga, kot tudi za analizo okvar gotovih delov, zlasti v industriji za predelavo polimerov.

Termogravimetrična analiza (TGA) z diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) – Mettler Toledo TGA/DSC 3+



1



2

Opis metode

S termogravimetrično analizo merimo količino in hitrost spremembe mase materiala kot funkcijo temperature ali časa v nadzorovani atmosferi. Uporablja se predvsem za določanje sestave materialov in za napovedovanje njihove toplotne stabilnosti, s pomočjo kinetike razpada pa lahko napovedujemo tudi življenjsko dobo materiala. Dodatno pa naprava hkrati meri spremembe v toplotnem toku (DSC).

Opis naprave

Termogravimetrični analizator TGA/DSC 3+ (Slika 1), proizvajalca METTLER TOLEDO, se uporablja za merjenje fizikalnih in kemijskih sprememb materiala v odvisnosti od temperature ali časa. Spremembe lahko opazujemo v kisikovi ali dušikovi atmosferi. Instrument kontinuirno meri maso vzorca in ga pri tem segreva do želene temperature oziroma največ 1100 °C. Rezultat meritve je tako imenovani termogram (Slika 2), ki podaja odstotek mase vzorca glede na začetno maso vzorca v odvisnosti od temperature oziroma časa. S pomočjo prvega odvoda (DTG) lahko določimo temperaturo degradacije materiala. Dobimo pa še signal oziroma krivuljo, ki popisuje spremembe v toplotnem toku, kar nam omogoča še bolj poglobljeno interpretacijo lastnosti izmerjenih vzorcev.

Primeri uporabe

S TGA lahko določimo: odparevanje, desorpcijo, toplotni razpad (pirolizo, depolimerizacijo), toplotno stabilnost, oksidacijsko stabilnost, delež hlapnih substanc, delež polimera, delež ogljika (saj, ogljikovih vlaken), delež polnila, delež steklenih vlaken. Ker dobimo še signal DSC lahko dodatno prepoznamo in analiziramo toplotne prehode ter z njimi povezane fizikalne spremembe.

Uporaba v industriji

Z TGA/DSC metodo lahko ugotovimo, ali je bil polimerni material primerno predelan, določimo vsebnost polnil, temperature razpadov in degradacij komponent, ter na ta način ugotavljamo ali material ustreza specifikacijam.

Univerzalni trgalni stroj - SHIMADZU AG-X PLUS

Opis metode

Z nateznim testom lahko določimo vrsto osnovnih podatkov o materialu, kot so natezna trdnost, natezni E modul, raztezek pri natezni trdnosti, raztezek pri pretrgu, pretržno trdnost, Poissonovo število itd. Vsi ti podatki so nujno potrebni za uspešno konstruiranje. Natezni E modul (E_t) razberemo iz naklona premice na grafu. Natezna trdnost na meji plastičnosti (σ_m) je maksimalna napetost, ki jo material še prenese, preden se plastično deformira. Raztezek pri natezni trdnosti na meji plastičnosti (ϵ_m) je raztezek materiala pri maksimalni napetosti. Raztezek pri pretrgu (ϵ_{tb}) je raztezek, izmerjen v trenutku, ko se material pretrga. Natezni test je najbolj osnoven test, ki ga lahko izvedemo na materialih. S tem, ko material raztegujemo do pretrga, dobimo celoten graf, kako se material obnaša pod vplivom sile (Slika 1). Poleg nateznega testa je zelo pomemben tudi upogibni test, predvsem pri krhkih materialih, ko nam natezni preizkus ne nudi dovolj jasne slike. Z upogibom na sredini preizkušanca lahko določimo prožnost materiala oziroma odpornost materiala na lom.

Opis naprave

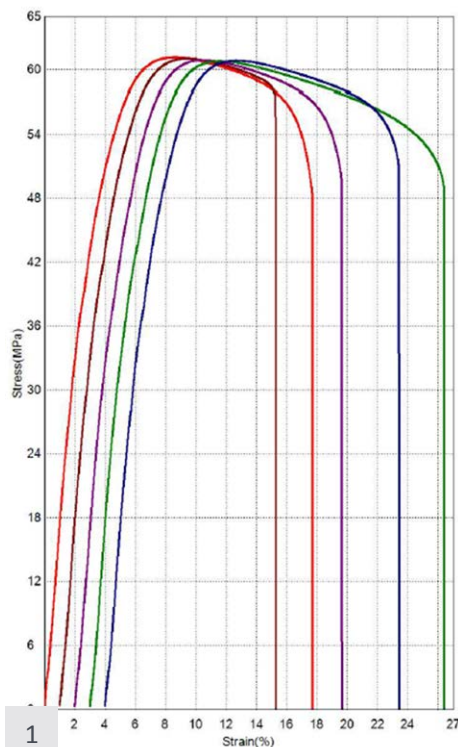
Za merjenje trdnostnih in deformacijskih lastnosti materialov imamo na razpolago računalniško krmiljen univerzalni trgalni stroj SHIMADZU AG-X PLUS (Slika 2). Na njem lahko izvajamo natezne, tlačne, upogibne in strižne preizkuse v skladu z različnimi standardi. Za natezne preizkuse pri različnih temperaturah imamo na razpolago temperaturno komoro. Trgalni stroj ima namizni »tabletop« okvir 50 kN z merilno celico 10kN in temperaturno komoro, s pomočjo katere lahko izvajamo teste v območju od -50 °C do 250 °C. Prav tako ima dodatne vpenjalne čeljusti za preizkus tritočkovnega upogiba, tlačnosti in adhezivnosti. Merilno območje je od 10 N do 10 kN.

Primeri uporabe

S pomočjo uporabe nateznih in upogibnih testov lahko določimo mehanske lastnosti materiala (natezni in upogibni E modul, natezna in upogibna trdnost, raztezek pri natezni trdnosti, raztezek pri pretrgu, upogibni raztezek pri maksimalni upogibni trdnosti).

Uporaba v industriji

Z izvajanjem nateznih in upogibnih testov lahko določimo mehanske lastnosti materialov.



UV komora IntelliRay 600

Opis metode

UV komora (slika 1) je aparat, v kateri s pomočjo UV svetlobe aktiviramo fotoiniciator ter tako sprožimo polimerizacijo. Začetna reakcija aktivacije fotoiniciatorja služi za aktivacijo monomera in s tem povzroči povezovalje monomernih enot v polimerno verigo. Omenjena metoda je v primerjavi s termično metodo zelo hitra, saj lahko s pomočjo fotopolimerizacije pripravimo polimer že v dveh minutah. Uporabimo lahko materiale v obliki emulzij ali drugih tekočin, ki vsebujejo monomere, ki za začetek polimerizacije potrebujejo fotoiniciator.

Opis naprave

UV komora IntelliRay600 ima vse komponente vgrajene v majhno ohišje, ki ga lahko enostavno prenašamo kamorkoli. V komplet je vključen tudi UV ščit, ki ga namestimo pred komoro in ščiti uporabnika pred UV žarki. Na LCD zaslonu lahko nastavimo intenzivnost obsevanja (1 – 100 %) ter čas obsevanja v sekundah (1 – 9999 s). Velikost prostora za obsevanje vzorcev je 152 mm x 203 mm.

Primeri uporabe

Material – fotopolimerizacijsko smolo običajno vlijemo v silikonski kalup in jo nato spolimeriziramo. Vzorci morajo biti dovolj tanki (od 3 do 5 mm), da lahko UV žarki prodrejo skozi material in povzročijo polimerizacijo. UV komoro lahko uporabimo tudi za naknadno zamreževanje 3D natisnjenih vzorcev iz fotopolimerizacijske smole. Na sliki 2 vidimo vklopljeno UV komoro, ki naknadno zamrežuje vzorce, na sliki 3 pa lahko vidimo vzorec, ki se je naknadno zamreževal v UV komori.

Uporaba v industriji

S pomočjo UV komore lahko naredimo vzorce za mehansko analizo materiala ter tako določimo lastnosti fotopolimerizacijske smole, ki jo sintetiziramo v lastnem laboratoriju. Še ena možnost uporabe UV komore je tudi UV staranje vzorcev – del vzorcev prekrijemo s kovinskimi ploščicami, drugi del pa obsevamo, ter tako opazujemo spremembo barve materiala.



1



2

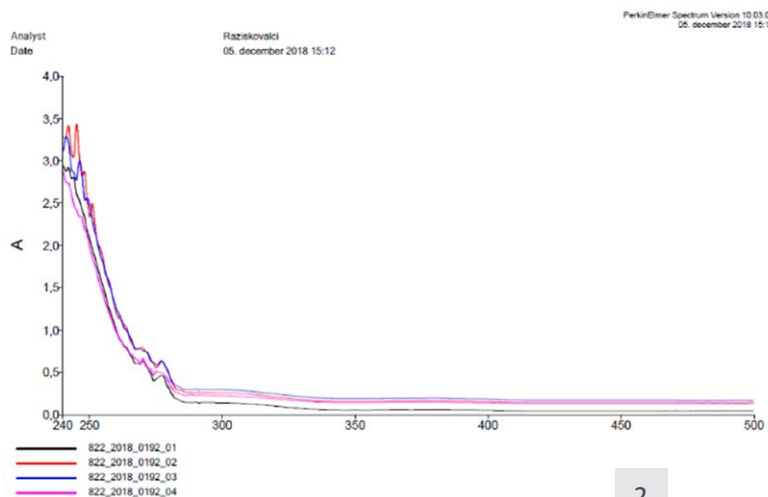


3

UV-VIS spektroskopija - Perkin Elmer Lambda Bio 20



1



2

Opis metode

UV-VIS spektroskopija je spektroskopska metoda – deluje na principu spremljanja odziva vzorca na elektromagnetno valovanje. Vzorec, ko je izpostavljen elektromagnetnemu valovanju ga lahko absorbira ali prepušča (transmitanca). Rezultat posnet pri meritvi je spekter, ki predstavlja absorbcijo in prepustnost raztopljenega vzorca v valovnem območju ultravijolične (UV) in vidne (VIS) svetlobe, kar je med 200 nm in 800 nm. Vzorce je potrebno raztopiti v topilu, ki na spektru UV in vidne svetlobe ne absorbira.

Opis naprave

S spektrofotometrom Perkin Elmer Lambda Bio 20 (slika 1) je mogoče hitro, enostavno in zanesljivo detektirati absorbcijo vzorca v območju UV-VIS spektra valovanja, in ki jo s pomočjo programske opreme Perkin Elmer Spectrum zapiše v obliki spektra, primer katerega je prikazan na sliki 2.

Primeri uporabe

UV-VIS spektroskopija se uporablja za kvalitativno in kvantitativno analizo organskih in anorganskih spojin. Ima širok spekter aplikacij uporabe, saj je metoda zelo občutljiva, selektivna, natančna in enostavna za uporabo. Uporabna je za določanje količine ekstrahiranih substanc. S preučevanjem izginjanja oziroma pojavljanja vrhov je mogoče podatke uporabiti tudi za proučevanje kinetike reakcij.

Uporaba v industriji

Veliko se uporablja v prehrabni in farmacevtski industriji. Zelo velikega pomena pa je tudi ima pri okoljevarstvu, veliko za analize vode.



Fakulteta za
tehnologijo
polimerov

www.ftpo.eu

Fakulteta za tehnologijo polimerov
Ozare 20 a, 2380 Slovenj Gradec
T: +386 2 620 47 61
lab@ftpo.eu

ver. 03 | maj-024