



Povzetek projekta Po kreativni poti do znanja 2017 – 2020, 2. odpiranje, za namen objave in predstavitve na spletni strani sklada

1. Polni naslov projekta: Optimizacija tehnologije 3D tiska anizotropnih plastomagnetov

- V katero področje na prvi klasifikacijski ravni KLASIUS-P-16 se uvršča projekt glede na vsebinsko zasnovo (neustrezno področje izbrišite):

05 - Naravoslovje, matematika in statistika

06 - Informacijske in komunikacijske tehnologije (IKT)

07 - Tehnika, proizvodne tehnologije in gradbeništvo

2. V sodelovanju z: (navede se univerza oz. samostojni visokošolski zavod, ki je prijavil projekt in članica, ki je nosilka projekta ter partner/ja – podjetje/ji oz. organizacija, ki je/sta bilo/i vključeno/i v projekt)

Univerza v Mariboru -prijavitelj

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko -
izvajalec/nosilec

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo - izvajalec

ItehLab, informacijske tehnologije, d.o.o., Ljubljana - prvi partner

Magneti Ljubljana, podjetje za proizvodnjo magnetnih materialov, Ljubljana – drugi partner

3. Besedilo:

- Opredelite problem, ki se je razreševal tekom izvajanja projekta

V projektu smo raziskovali in reševali inovativen problem optimizacije tehnologije 3D-tiska plastomagnetnih materialkov. Tehnologija 3D tiskanja izdelkov in naprav se uvaja na mnogih področjih, vendar je tehnologija 3D-tiskanja plastomagnetov poseben problem, saj dodani feritni material, potreben za magnetenje, naredi filament krhek in zato problematičen za ekstrudiranje, navijanje in za 3D-tiskanje. V projektu smo reševali problem izdelave primerne sestave materiala (ustreznega polimerne matrice in feritnega materiala) za ekstrudiranje filameta. Drugi problem pa je bil izdelava primerne prototipa za ekstrudiranje filameta. Za tiskanje smo v projektu izbirali primerne komercialne tiskalnike, ki smo jih minimalno prilagodili.

Projekt PKP OPTIMAG se je izvajal v treh a povezanih v tematskih sklopih:

I) Prvi je bil izdelava primerne plastomagnetnega filameta iz polimerne matrice in feritnega prahu in izdelava plastomagnetov s 3D tiskalnikom ter meritve magnetnih in mehanskih lastnosti le teh.

Sklopa II in III tvorita simulacijo, načrtovanje in izdelavo prototipa enovijačnega ekstrudorja in navijalnika za 3D-tiskanje plastomagnetov. Sklop II je zajemal matematično modeliranje in

simuliranje kinematike-dinamike ter načrtovanje delov in celotnega mehanskega prototipa ekstrudorja filameta in navijalnika.

Sklop III pa je zajemal načrtovanje in izdelavo elektronske avtomatizacije-optimizacije procesa ekstrudiranja in navijanja.

Seveda smo vse sklope izvajali povezano in interdisciplinarno, da smo dosegali čim bolj optimalne rezultate.

- Opišite potek reševanja problema oz. kratak povzetek projekta

I)

V okviru PKP projekta OPTIMAG smo na dvovijačnem ekstrudorju v podjetju Magneti LJ d.d. izdelali filament, ki omogoča 3D tisk anizotropnih plastomagnetov. Filament je sestavljen iz polimerne matice (PA12) in iz magnetnih prahov stroncijevega ferita. Iz tega filameta smo na 3D tiskalniku, ki omogoča tisk na osnovi tehnologije ciljnega neprekinjenega nalaganja snovi (FDM) natisnili vzorce plastomagnetov: (i) cilindrične oblike ($\phi 10\text{mm} \times 2\text{mm}$) za meritev magnetnih lastnosti, gostote in karakterizacijo mikrostrukture ter (ii) vzorce v obliki tako imenovane »pasje kosti« ($75\text{ mm} \times 2\text{mm}$) za določitev natezne trdnosti (**slika 1**).

Vzorce plastomagnetov smo tiskali na nemagneten in magneten substrat za doseganje anizotropnosti. Pri čemer smo raziskali vpliv homogenosti magnetnega polja substrata na dosežene magnetne lastnosti natisnjenih magnetov. Homogenost magnetnega polja substrata smo regulirali s spreminjanjem višine permanentnih magnetov v substratu od 0 mm do 6 mm (**tabelo 1**). Rezultati naše raziskave so pokazali, da se z naraščanje višine magnetnega substrata, remanenca in maksimalni energijski produkt 3D natisnjenih magnetov povečujeta. Najboljše magnetne lastnosti, dosežejo v primeru magnetnega substrata višine 4 mm. Pri nadaljnjem povečevanju višine magnetnega substrata (6mm) pa se tako magnetne lastnosti, kot tudi gostota natisnjenih magnetov ponovno poslabšajo (**tabelo 1**). Vzrok za takšno obnašanje, lahko pojasnimo z dejstvom, da ker magnetne tiskamo na ogrevano podlago, se z naraščanjem višine substrata znižuje temperatura podlage, kar neugodno vpliva na adhezijo med posameznimi natisnjenimi sloji plastomagnetov in se posledično odraža v povečani poroznosti vzorcev (**slika 2**) oz. manjši gostoti (**tabela 1**).

Raziskavo smo zaključili z določitvijo mehanskih lastnosti 3D natisnjenih magnetov z nateznim preizkusom. Kot rezultat preizkusa smo dobili krivuljo sila-razteg (napetost - raztezek), ki prikazuje obnašanje 3D natisnjenega vzorca magnetov med natezno obremenitvijo. Krivulja nakazuje, da se pod vplivom zunanje obremenitve preizkušane homogeno deformira in krhko poruši, brez pojava nehomogene deformacije. Pri čemer znaša natezna trdnost plastomagnetov 19,59 MPa.

II in III)

V predhodnem projektu je bil izdelan poskusni prototip eno-vijačnega ekstrudorja in navijalnika, ki pa ni bil avtomatiziran in optimiziran in je bilo potrebno ročno nastavljanje-krmiljenje procesa proizvodnje izdelave in navijanja filameta. Po pregledu začetnega stanja je bilo ugotovljeno, da bo potrebno (delno tudi zaradi avtomatizacije) praktično na novo načrtati in izdelati tako mehansko konstrukcijo kot elektroniko za namen avtomatizacije-optimizacije (**slika 3**). Ta prototip je namenjen prototipni in maloserijski proizvodnji izdelave filameta in njegovega navijanja, za razliko od industrijskega 2-vijačnega v podjetju Magneti Ljubljana.

Tako so bili v programskem orodju Solidworks izrisani mehanski sestavni deli ekstrudorja (**slika 4**) in navijalnika (**slika 5**), ki smo jih nato natisnili na običajnem komercialnem 3D-tiskalniku.

Na ekstrudorju je bil izbran ustrezen pogon- vijačni vrtnik, za katerega je bilo potrebno izdelati mehanski nosilec. Narejena je bila izboljšava vijačnega dela ekstrudorja (polža) in izvedbo ter

gretje granulata izhodne glave ekstrudorja. Na izhodu ekstrudorja so bili izbrani in dodani ustrezni ventilatorji za hlajenje filameta.

Za navijalnik smo izboljšali mehanske spoje za pogon treh koračnih motorjev, valjev na začetku, vodila filameta v sredini (za pomik levo desno) in valjev koluta za navijanje. Izdelan je bil nosilec-stabilizator oziroma omejevalnik prečnega gibanja koluta navijanja. Izdelan je bil nosilec za senzor povešenosti-napenjanja filameta pred navijanjem.

Za potrebe izvedbe avtomatizacije procesa navijanja je bilo napravljeno matematično modeliranje-simuliranje kinematike navijanja filameta preko treh koračnih motorjev, za časovno spremenljivo sinhronizirano krmiljenje vrtljajev koračnih motorjev. Študirali smo tudi matematično modeliranje zapletenega nelinearnega sistema navijalnika filameta. Korekcijo odstopanje kinematičnega modela od nelinearnega smo izvedli z uvedbo regulacije hitrosti koračnega motorja koluta za navijanje, preko merjenja povešenosti (napetosti s senzorjem raztezka), kot popravek kinematičnega modela. Pri tem smo uporabili regulator na osnovi umetne inteligence oz. mehke (angl. fuzzy) logike. Pripadajoče algoritme, ki smo jih izpeljali, smo so bili simulirali s programom Matlab.

Načrtana in izdelano je bila elektronika ter program za mikrokrmilniški (Arduino) pulzno- širinski pogon akumulatorskega vrtalnika ekstrudorja in regulacija temperature granulata pri izhodu ekstrudorja.

Načrtana je bila elektronika (napajanje in gonilniki) ter program za mikrokrmilniško (Arduino) avtomatizacijo (krmiljenje-regulacijo) navijanja filameta s tremi koračnimi motorji. Predhodno razviti algoritmi kinematike-regulacije so bili implementirani na mikrokrmilniku Arduino v jeziku C++.

Izvedene so bile tudi študije in ustrezne meritve za potrebe magnetenja filameta. Ugotovljeno je bilo, da je primerno po/med tiskanjem plastomagneta. Elektromagnetno pulzno magnetenje ima prednost pred magnetenjem s trajnimi zaradi možnosti enostavnega spreminjanja parametrov magnetenja. Porabo energije pa zmanjšamo s pulznim magnetenjem. Magnetenje filameta pred navijanjem bi izničilo temperatura 3D-tiskalnika.

Priloga: Tabele in slike

- Navedite in opišite rezultate projekta ter njihov doprinos k družbeni koristnosti

Rezultati projekta

Rezultati projekta so tako pridobljeno teoretično kot praktično znanje s področja izbire in meritve materialov (polimerov in feritov) za izdelavo filamentov ter njihova sama izdelava za namen 3D-tiskanja plastomagnetov, kar je novost tako na teoretičnem kot praktičnem področju.

Rezultat projekta je tudi praktična izdelava avtomatiziranega prototipa za optimizirano proizvodnjo-ekstrudiranje filameta ter navijanje le tega na kolut, za poznejše 3D-tiskanje plastomagnetov.

Pridobljene so praktične izkušnje 3D-tiskanja plastomagnetov iz izdelanih prototipnih filamentov in pri njihovem magnetenje s trajnimi magneti v procesu tiskanja ter nato rezultati meritev izdelanih plastomagnetov. Na osnovi tega bo v prihodnosti možno izdelati namenske 3D-tiskalnike z vključenim postopkom magnetenja.

Družbena koristnost

Družbena korist projekta je v pridobljenem znanju, kakor tudi z možnostjo praktične, komercialne uvedbe 3D-tiskanja plastomagnetov v prototipno in serijsko proizvodnjo plastomagnetov na osnovi lastnega znanja in s tem ustvariti prednost pred ostalimi proizvajalci plastomagnetov, ki jih danes v svetu izdelujejo s postopki brizganja in sintranja.

4. Priloge:

Tabela 1: Lastnosti 3D tiskanih anizotropnih plastomagnetov

Vzorec	Višina magnetnega substrata [mm]	Remanenca B_r [mT]	Koercitivnost iH_c [kA/m]	Mak. energijski produkt BH_{max} [kJ/m ³]	Gostota ρ [g/cm ³]
1	0	161	231,70	4,86	2,696
2	2	170	231,50	5,40	2,626
3	4	194	235,51	7,01	2,889
4	6	165	236,97	5,13	2,643
Lastnosti injekcijsko brizganih magnetov**		293	224	16,7	3,750

Opomba: **Po specifikacijah proizvajalca magnetnih prahov



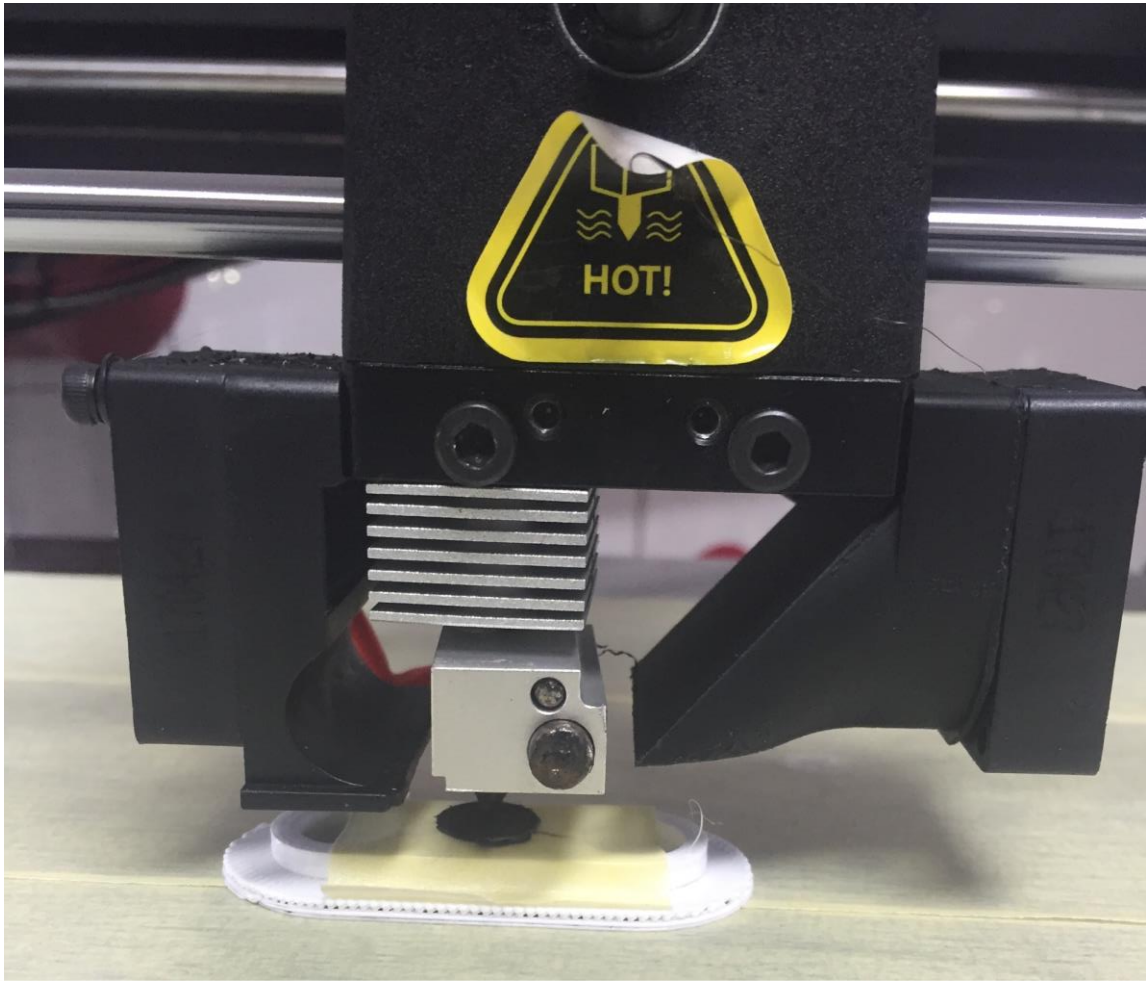
Javni štipendijski, razvojni,
invalidski in preživninski
sklad Republike Slovenije



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST



Javni študentski, razvojni,
invalidski in preživninski
sklad Republike Slovenije

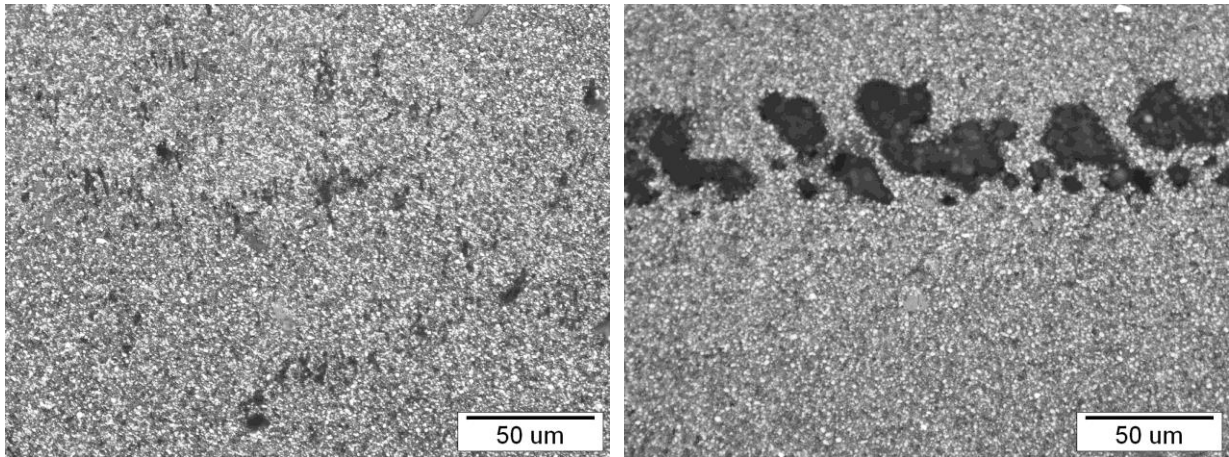


REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI SKLAD
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

Slika 1: Prikaz 3D tiska anizotropnih plastomagnetov na magnetni substrat



a)

b)



Javni študentski, razvojni,
invalidski in preživninski
sklad Republike Slovenije



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

Slika 2: Mikrostruktura 3D natisnjenih plastomagnetov (a) vzorec 3 in (b) vzorec 4 (svetlobna mikroskopija, polirano stanje); magnetni delci (svetlo), polimerna matica (sivo) in pore (črno)



Javni štipendijski, razvojni,
invalidski in preživninski
sklad Republike Slovenije



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

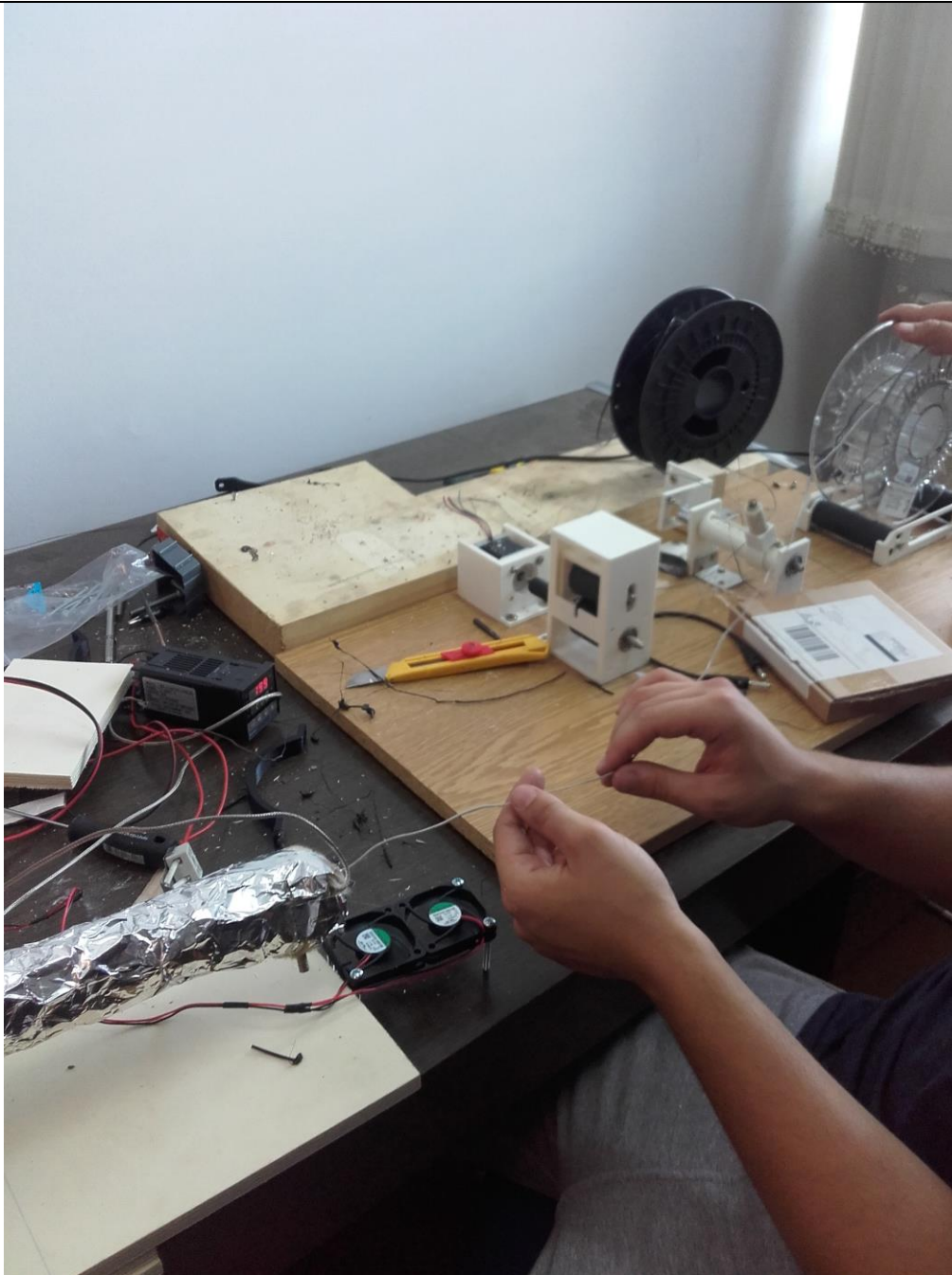
Slika 3: Izdelan prototip ekstrudorja in navijalnika filamenta s pripadajočo elektroniko



Slika 4: Del prototipa-ekstrudor s pripadajočo elektroniko



Slika 5: Del prototipa- navijalnik s pripadajočo elektroniko



Javni študijski, razvojni,
invalidski in preživninski
sklad Republike Slovenije



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI SKLAD
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

Slika 6: Delo na prototipu - ekstrudorju filamenta v času trajanja projekta PKP-OPTIMAG