



Gibanje MLADI RAZISKOVALCI KOROŠKE

Področje: Tehnika ali tehnologija (strojništvo)

IZDELAVA ULITKA Z UPORABO TISKANEGA MODELA 3D IN PRIMERJAVA S STANDARDNIMI POSTOPKI IZDELAVE

Avtorji: Mihael Paradiž, Nejc Pori in Žiga Šapek

Mentorja: Suzana Plemen in Alen Šapek

Leto in kraj izdelave: 2023, Ravne na Koroškem

Šola:
Srednja šola Ravne
Na gradu 4a
2390 Ravne na Koroškem

ZAHVALA

Zahvaljujemo se mentorici na šoli Suzani Plemen za vso podporo in pomoč pri raziskavi.

Hvaležni smo podjetju Additio, d. o. o., in mentorju v podjetju Alenu Šapku za strokovno pomoč in vse potrebne informacije, ki smo jih potrebovali pri raziskavi.

Podjetju se zahvaljujemo tudi za donacijo materiala in vseh pripomočkov, ki smo jih potrebovali za izdelavo našega izdelka.

Zahvaljujemo se tudi vsem slovenskim podjetjem, ki so nam posredovala ponudbe za mehansko obdelavo izdelka in vse potrebne podatke.

Zahvaljujemo se tudi podjetju Gravis, d. o. o., za izdelavo logotipov in napisov.

KAZALO

1	UVOD.....	1
2	OSNOVE TISKANJA 3D.....	2
3	VRSTE 3D-TISKANJA.....	6
3.1	Model ciljnega nalaganja (fdm).....	8
3.2	Selektivno lasersko sintranje (sls)	9
3.3	Stereolitografija (sla)	11
4	PREDSTAVITEV IZDELAVE IZDELKA	14
5	STROŠKOVNA IN ČASOVNA PRIMERJAVA IZDELAVE IZDELKA IZ ULITKA S KLASIČNO METODO CNC-IZDELAVE IZDELKA	20
5.1	Stroškovna primerjava	20
5.2	Časovna primerjava	21
5.3	Postopek izdelave našega izdelka.....	21
5.4	Analiza podatkov	22
5.5	Odpadek materiala pri metodi CNC-rezkanja	24
6	ANALIZA IN IZBOLJŠAVE	26
7	ZAKLJUČEK.....	29
8	LITERATURA.....	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Uvajanje tehnologij 3D-tiska na posameznih področjih	4
Slika 2: Primerjava tehnologij 3D-tiskanja	7
Slika 3: FDM-tehnologija 3D-tiskanja	9
Slika 4: SLS-tehnologija 3D-tiskanja	10
Slika 5: SLA-tehnologija 3D-tiskanja	12
Slika 6: 3D-tiskalnik.....	15
Slika 7: Prikaz parametrov po programu za 3D-tiskanje	16
Slika 8: Natisnjen 3D-izdelek.....	16
Slika 9: Kalupiranje.....	17
Slika 10: Litje v kalup	18
Slika 11: Ulitek.....	18
Slika 12: Pobarvan ulitek	19
Slika 13: Končni izdelek z montažo (obešalo za kolo)	19
Slika 14: Radioskopija izdelka	26
Slika 15: To smo mi	30

POVZETEK

Cilj raziskovalne naloge je bil izdelati unikaten izdelek (obešalo za kolo) s pomočjo nove tehnologije 3D-tiska, ki je še v razvoju. Zastavili smo si cilj, da izdelek izdelamo sami s pomočjo mentorjev. Primerjali smo stroške ter čas izdelave z različnimi podjetji, da smo lahko primerjali podatke za našo izdelavo. Predpostavili smo, da sta naš postopek in izdelava cenejša in hitrejša. Na osnovi te raziskave smo ugotovili, da je postopek naše izdelave cenejši, kar je potrdila naša prva hipoteza. Z drugo hipotezo smo ugotovili, da smo časovno približno enako hitro gotovi kot v drugih tehnologijah. Poudarek pri raziskavi smo dali reciklaži odpadnih materialov, saj razmišljamo o prihodnosti sveta. Izračunali smo, koliko je odpadnega materiala in stroškov pri mehanski izdelavi izdelka v primerjavi z našim postopkom izdelave 3D-tiska in izdelavo ulitka. Ulitek smo nato pregledali s postopkom radioskopije. Posnetek je prikazal poroznost materiala, kar nas je vzpodbudilo k nadaljnji raziskavi. Za še boljšo kakovost materiala lahko izdelek 3D natisnemo s filamentom s karbonskimi vlakni in dobimo še trdnejši izdelek po nizki ceni. Izboljšamo lahko tudi sam postopek litja in preprečimo nastanek zračnih mehurčkov.

Ključne besede: 3D-tisk, ulitek, rezkalni stroj CNC, filament, aluminij, odpadni material, obešalo za kolo

ABSTRACT

The goal of this explorational work was to make unique bicycle hanger with the help of new technology of 3D printing which is still in the development. We set ourselves a goal to make a product with the help of our mentors. We compared costs and time needed to make product with other companies, so we could compare them with our production. We predicted that our process would be cheaper and faster. Because of this exploration we found out, that our process was cheaper, which confirmed our first hypothesis. For second hypothesis, we figured out that we spend about the same time as with other processes. We concentrated our explorational work towards recycling waste materials, because we were thinking about future of our world. We calculated how much material is wasted and the cost with mechanical production of product compared to ours process of 3D printing and casting. We looked our cast under radioscope. Shot showed us that material was porous which pushed us to continue researching. For better quality material, we can 3D print wit carbonfiber material and we would get even stronger product at lower price. We can improve our way of pouring, so we can prevent air bubbles that form in material.

Keywords: 3D-printing, casting, CNC milling machine, filament, aluminum, waste material, bike hanger

1 UVOD

Smo dijaki drugega letnika programa strojni tehnik Srednje šole Ravne. V okviru praktičnega pouka smo dobili priložnost za raziskovalno nalogo pod mentorstvom učiteljice Suzane Plemen, da se povežemo z lokalnim podjetjem Additio, d. o. o., katerega lastnik in naš somentor je Alen Šapek, mag. inž. met. in mat.

V podjetju Additio, d. o. o., smo izdelali ulitek z uporabo tiskanega modela 3D. Narisali smo načrt izdelka s pomočjo programa Creo.

Pri kreiranju oblike smo se osredotočili na uporabnost in unikatno izvedbo izdelka, kar nam je tudi uspelo. Izdelek služi kot obešalo za kolo, katerega smo podrobneje predstavili v tej raziskovalni nalogi.

Cilj naše raziskovalne naloge je primerjava med tehnologijami. Izvedli smo jih na osnovi ponudb, ki smo jih pridobili na osnovi elektronsko poslanih povpraševanj. Poslali smo jih v 65 slovenskih podjetij, ki nudijo mehansko izdelavo kovinskih izdelkov.

Zanimalo nas je, ali je izdelava našega izdelka, izdelanega s pomočjo ulitka na osnovi tiskanega modela 3D, cenejša in hitrejša od obstoječih tehnologij. Menimo, da je hitrejša in cenejša, in sicer je bil glavni cilj te raziskovalne naloge ugotoviti prav to.

V raziskovalni nalogi smo postavili naslednje hipoteze:

HIPOTEZA 1:

Predpostavljamo, da je naš postopek izdelave izdelka s pomočjo 3D-tiska in izdelave ulitka cenejši od klasične metode CNC-rezkanja.

HIPOTEZA 2:

Predpostavljamo, da je naš postopek izdelave izdelka s pomočjo 3D-tiska in izdelave ulitka hitrejši od klasične metode CNC-rezkanja.

HIPOTEZA 3:

Predpostavljamo, da bo posnetek radioskopije ulitka pokazal dobre rezultate v smislu, da bo struktura ulitka homogena, brez zračnih mehurčkov in nečistoč.

2 OSNOVE TISKANJA 3D

Tehnologija 3D-tiska ni nova tehnologija. Začetki segajo že v pozna 60. leta prejšnjega stoletja. Danes njen razvoj strmo narašča, vzporedno pa tudi razvoj novih materialov za 3D-tiskalnike. Področij, na katerih se uporablja, je toliko, da je nemogoče naštet vsa. Srečamo ga v arhitekturi za tisk maket stavb in naselij, v strojništvu za tisk industrijskih delov, kalupov, orodij, v protetiki za izdelavo prilagojenih protez udov, v medicini za medicinske pripomočke ter za tisk tkiv in celo organov, v modnem oblikovanju za izdelavo kreacij in dodatkov, v urbanizmu za tisk reliefa pokrajin, v farmaciji za tisk zdravil, v živilski industriji za tisk hrane, v molekularni gastronomiji za izdelavo sintetičnih ali polysintetičnih živil, v avtomobilski, letalski ter vesoljski industriji za tisk delov motorjev in karoserije, v zobozdravstvu za tisk zobovja, zobnih aparatov, implantatov ... Seznam je neskončen (Muck in Križanovskij, 2015, str. 13).

Imamo neomejeno možnosti, natisnemo si lahko zobno ščetko in kmalu bomo lahko natisnili že sami sebe. Razvoj materialov, ki se uporabljajo za tisk, je še hitrejši od razvoja tehnologij. Imamo neomejeno možnost izbire uporabe materialov. Če tiskamo z materiali na osnovi prahu, lahko uporabimo škrob, celulozo, polimere, kovino, keramiko, celo sladkor ... Materiale pa lahko med seboj tudi pomešamo in dobimo kompozite. Od trdih materialov lahko uporabimo kovine, folijo, papir, tudi čokolado, od tekočih pa predvsem polimerne materiale ali kovino, beton, živila, biočrnila in podobno (Muck in Križanovskij, 2015, str. 13).

Razvoj tehnologij in materialov je privedel do stanja, ko tiskani prototipi izdelkov že dosegajo lastnosti končnih izdelkov.

V zadnjem času se širi osebna uporaba 3D-tiska. Namizni nizkocenovni tiskalniki omogočajo izdelavo nezahtevnih, a uporabnih izdelkov. Napovedujejo, da bo do leta 2040 imelo že vsako gospodinjstvo vsaj en 3D-tiskalnik. Predvideva se, da se bo to zgodilo, ko bo cena teh tiskalnikov padla pod 350 evrov. Ta cena je pri nekaterih prostodostopnih tiskalnikih že dosežena.

Tudi na spletu ponujajo vrsto izdelkov, ki so že pripravljeni za 3D-tisk. Vsak posameznik lahko poljuben izdelek kupi za izredno nizko ceno in si doma natisne svoj 3D-izdelek.

Hiter razvoj na področju materialov in vzporedno tudi tehnologij je privedel do trenutka, ko izraz prototip ni več povsem ustrezen, saj s tehnologijami 3D-tiska vse pogosteje izdelujemo kar končne izdelke.

Neposredno digitalno izdelovanje se uporablja predvsem za izdelavo prilagojenih izdelkov, kot so razni pripomočki za ljudi s posebnimi potrebami:

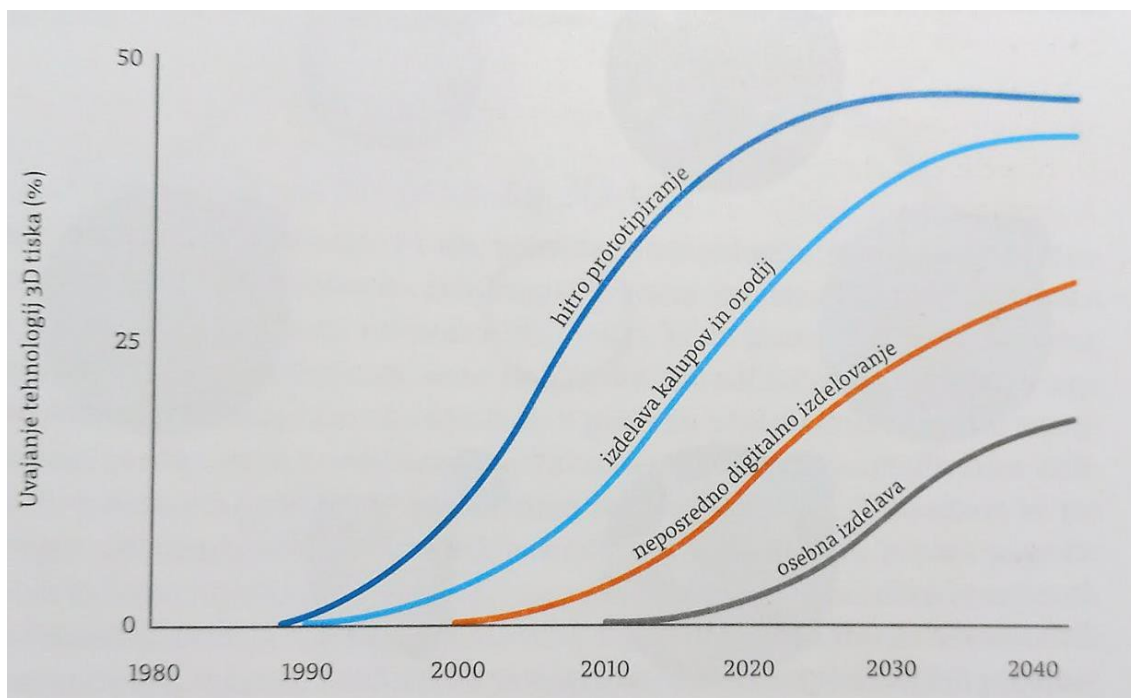
- slušni aparati,
- proteze,
- ergonomski pripomočki ...

Razvoj 3D-tiska stremi tudi v smeri, ko ne gre za serijsko proizvodnjo in s tem veliko pridobimo na času in prihranku denarja. Danes je izrednega pomena to, da izdelamo izdelek čim ceneje in hitreje, pa tudi kakovostno. Na tržišču imamo že celo paleto tiskalnikov, ki tiskajo visokokakovostne izdelke. V novembru 2022 so bili v Nemčiji na sejmu predstavljeni modeli VSAPER PRO, MED in edini petosni tiskalnik na svetu – VSAPER 5AX. Vzporedno potekajo tudi izobraževanja na področju 3D-tehnologije v slovenskem prostoru, ki so financirana s strani Evropske unije (Muck in Križanovskij, 2015). Na spletu lahko naročimo različne ugodne filamente, ki jih imamo že v Sloveniji (spletna trgovina Mimovrste). Splošni populaciji je še veliko neznanega v tej smeri tehnologije, zato smo se tudi odločili, da naredimo raziskavo na področju 3D-tiska in jo primerjamo s klasično, vsem poznano metodo CNC-rezkanja.

Razvoj 3D-tiska je v porastu predvsem na naslednjih področjih:

- hitro prototipiranje,
- izdelava kalupov,
- neposredno digitalno izdelovanje,
- osebna izdelava.

Na sliki 1 je prikaz uvajanja tehnologij 3D-tiska na posameznih področjih v razmerju s časom.



Slika 1: Uvajanje tehnologij 3D-tiska na posameznih področjih

Vir: Muck in Križanovskij, 2015

Prednosti, ki jih prinašajo tehnologije 3D-tiska, je veliko. Natisnemo lahko kar doma, oblike so lahko kompleksne, čas, ki smo ga porabili, je majhen in izvedba je enostavna ... Tako se neglede na kompleksnost oblike 3D-predmeta izdelava izvede v enem koraku, medtem ko pri drugih odzematnih proizvodnih tehnologijah proizvodni proces pogosto zahteva hkratno ali vzporedno uporabo dveh ali več računalniško krmiljenih obdelovalnih strojev in ustreznih orodij, ki pa so draga. S povečevanjem števila tehnoloških operacij (npr. vrtanje, rezkanje, struženje, brušenje), v primeru izdelave kompleksnejših oblik, se lahko število uporabe dragih orodij, ki jih potrebujemo za izdelavo izdelka, poveča. Daljši pa je tudi čas izdelave in čas, ki ga potrebujemo za izdelavo. To predstavlja visoko ceno izdelka, kar pa za tehnologijo 3D-tiska ne velja, kar je velika prednost in tudi čas izdelave se lahko s 3D-tiskanjem vnaprej predvidi.

Nadgradnja 3D-tiska je v našem primeru tudi izdelava ulitka iz tiskanega modela 3D, saj smo dali velik poudarek na zmanjševanje odpadkov in na vnovično uporabo odpadnega materiala. V našem primeru je to odpadni aluminij, ki smo ga pretopili in znova uporabili. Danes imamo v svetu preveč odpadkov, kar je za naš planet in življenje na njem bistvenega pomena v naši prihodnosti v smislu zmanjševanja le-teh. Ena izmed prednosti je ta, da se materiali znova uporabijo s pomočjo tiskanega modela 3D, ki se uporabi za ulitek iz odpadnega materiala.

Naj poudarimo še to, da je pri klasični tehnologiji, ki nam je vsem znana (struženje, rezkanje, vrtanje ...), veliko odpadnega materiala, kar predstavlja neizkoriščene surovine. Strošek materiala pa danes narašča. Nasprotno je pri 3D-tisku dodajalna tehnologija, pri kateri ne nastane nič ali zelo malo odpadnega materiala.

Oživilo bo tudi popravljanje izdelkov. Pokvarjene naprave ne bomo več odvrgli, ampak bo proizvajalec omogočil spletni dostop do virtualnih 3D-modelov izdelkov ali raznih pozicij oziroma proizvodov.

Enostavnejše dele si bomo lahko natisnili sami na domačem namiznem 3D-tiskalniku, zahtevnejše pa v bližnjih lokalnih podjetjih s spletnimi tiskarskimi storitvami in široko ponudbo različnih tehnologij 3D-tiska ter materialov (filamentov). S prvim podjetjem na Koroškem, ki se ukvarja s to tehnologijo in razvojem, smo sodelovali tudi mi (Additio, d. o. o.), kjer smo 3D-tisk spoznali podrobneje in ga nadgradili z vnovično uporabo materiala s pomočjo ulitka. Dosegli smo več z manj, kar je danes ključnega pomena. Danes se namreč pojavlja vse več problemov in začeli smo se zavedati, da so zaloge nafte in vode končne. Tradicionalna oskrbovalna veriga je danes zasnovana na množični proizvodnji, ki se je zaradi cenejše delovne sile v večji meri premaknila v države na Vzhod, kar predstavlja visoke stroške transporta, da se proizvodi dostavijo naročniku oziroma uporabniku. Tudi čas dostave je dolg, tudi več dni, kar pa predstavlja veliko onesnaženje zraka z izpušnimi plini.

V kolikor bomo mladi v bodoče razmišljali v smeri vnovične uporabe odpadnega materiala, bomo veliko prispevali in dali našim prihodnim generacijam, saj bomo manj onesnaževali okolje z odpadki. Nujno je, da se zavedamo, da z odpadki uničujemo naš planet. Ena od rešitev, da zmanjšamo količino odpadkov, je ravno 3D-tiskanje izdelkov iz recikliranih materialov, nadgradnja pa izdelava ulitkov iz tiskanih modelov 3D iz odpadnega materiala.

3 VRSTE 3D-TISKANJA

Postopek 3D-tiskanja se začne z izdelavo ali pridobitvijo virtualne oblike predmeta, ki ga želimo ustvariti. Ta virtualna zasnova se lahko zapiše v datoteki CAD (Computer Aided Design) s programom 3D-modeliranja (za ustvarjanje popolnoma novega objekta) ali s 3D-skenerjem (za kopiranje obstoječega objekta). 3D-skener naredi 3D-digitalno kopijo predmeta. Obstaja tudi veliko spletnih repozitorijev, od koder lahko prenesete obstoječe 3D-datoteke, ki vam bodo pomagale začeti z delom. Proces 3D-tiskanja pretvori predmet v številne tanke plasti, nato pa ga zgradi od spodaj navzgor, plast za plastjo. Te plasti nato skupaj tvorijo trden predmet (Tehnični priročnik za 3D-tiskanje, b. d., str. 7).

Imamo celo paleto raznih tehnologij 3D-tiskanja, ki se uporabljajo za različna področja uporabe izdelkov.

Katero vrsto tehnologije 3D-tiska bomo uporabili, je odvisno od (Tehnični priročnik za 3D-tiskanje, b. d.):

- stroškov,
- kakovosti površine,
- natančnosti,
- površine izdelave,
- procesa,
- uporabljenih materialov,
- zapletenosti izdelka,
- hitrosti izdelave,
- velikosti izdelka,
- splošnih prednosti in slabosti,
- cene,
- področja uporabe ...

Za lažjo primerjavo med tehnologijami 3D-tiskanja prikazuje slika 2, s katere so razvidne prednosti in slabosti posamezne tehnologije ter ostali dejavniki, ki vplivajo na to, katera tehnologija je primerna za posamezni izdelek.

Nekatere tehnologije se uporabljajo bolj, druge manj. Odvisno je tudi od trendov današnjega časa.

TEHNOLOGIJA	Proces	Uporabljeni materiali	Zapletenost	Hitrost	Največja velikost dela (cm)	Natančnost	Površinska obdelava	Prednosti	Slabosti	Cena	Področja uporabe	Primeri uporabe
Model ciljnega nalaganja (FDM)	Sloji topljene plastike	ABS filamenti, polikarbonat, smola, najlon	●●●●	Srednja	30x30x50	Ustrezna	Ustrezna	Vzdržljiva, idealna za konceptualne modele	Slaba ločljivost	€€	Aeronavtika, avtomobilska industrija, medicina	Vetne turbine, letalske komponente
Selektivno lasersko sintranje (SLS)	Plastični prah, topjen z laserjem	Papir, plastika, kovina, steklo, keramika, kompoziti	●●●	Hitra	34x34x60	Dobra	Ustrezna	Odporna, vzdržljiva, prožna	Potrebuje naknadno obdelavo	€€	Aeronavtika, avtomobilizem, predmeti za potrošnjo	Majhne proizvodne serije in prototipi
Stereolitografija (SLA)	Polimerizacija z UV laserjem	Tekoči fotopolimer, kompoziti	●●●	Hitra	30x30x50	Zelo dobra	Zelo dobra	Visoka ločljivost, kompleksne geometrije	Samo fotopolimerni materiali	€€€	Aeronavtika, avtomobilska industrija, potrošniško blago	Medicinski modeli anatomskih človeških delov
Fotopolimerno brizganje (POLYJET)	Inkjet metoda s tekočimi fotopolimerji	Kovina, plastika, smola	●●●	Hitra	39x31x19	Zelo dobra	Dobra	Več materialov hkrati	Samo fotopolimerni materiali; natis niso vzdržljivi	€€€	Medicinski pripomočki, multimaterialni prototipi	Medicinski stetoskopi
Selektivno lasersko taljenje (SLM)	Kovinski prah, topjen z laserjem	Kovine: baker, aluminij, tungsten itd.	●●	Hitra	28x28x36	Ustrezna	Ustrezna	Proizvaja dele z visoko gostoto	Cena; potrebuje naknadno obdelavo	€€€	Zobozdravstvo, izdelki, mehanske komponente	Lahke komponente za letala
Taljenje z elektronskim snopom (EBM)	Prah, topjen z elektronskim snopom	Kovine: kobalt, krom, nikelj	●●●	Hitra	20x20x20	Ustrezna	Slaba	Manj termičnih obremenitev	Omejen nabor materialov	€€€	Zobozdravstvo, medicinski vsadki, avtomobilska industrija	Medicinski modeli kostnega tkiva
Elektronsko brizganje veziva (BJ)	Inkjet metoda z brizganjem veziva na prah	Keramika, kovine, plastika, pesek, kompozit	●	Hitra	40x20x10	Ustrezna	Ustrezna	Brez podporne strukture; večbarvni natis	Krški natis z omejenimi mehanskimi lastnostmi	€	Arhitektura, mehanske strukture	Lanci in splošno pohištvo
Tiskanje z uporabo neprekinjenih vlaken (CFE)	Metoda nalaganja/topljenja z dvema žobama	Plastika, oglikovi kompoziti, najlon	●●●●	Srednja	32x43x16	Ustrezna	Ustrezna	Robustni deli, naknadna obdelava ni potrebna	Omejitve pri postavitvi vlaken	€€€	Aeronavtika	Lahke komponente
Brizganje materiala (MJ)	Inkjet metoda z materiali na bazi smole	Smola	●●	Počasna	30x18x20	Zelo dobra	Dobra	Visoka ločljivost	Omejeni materiali, podobni vosku; potrebuje podporno strukturo	€€	Prototipi za obliko, testiranje prilaganja, livarski vzorci	Lite izgubljene vozke v naitu in medicinskih poljih

LEGENDA:
 ● = Preprosta;
 ●● = Srednja;
 ●●● = Zaprta;
 ●●●● = Zelo zapleta.

€ = Poceni;
 €€ = Zmerna;
 €€€ = Draga;
 €€€€ = Zelo draga.

Slika 2: Primerjava tehnologij 3D-tiskanja

Vir: Tehnični priročnik za 3D-tiskanje, b. d.

Najpogostejše se uporabljajo te tri tehnologije, ki smo jih podrobneje predstavili. Uporabljajo se tudi za izobraževalne namene, in sicer so to:

- model ciljnega nalaganja (FDM),
- selektivno lasersko sintranje (SLA),
- stereolitografija (SLA).

3.1 MODEL CILJNEGA NALAGANJA (FDM)

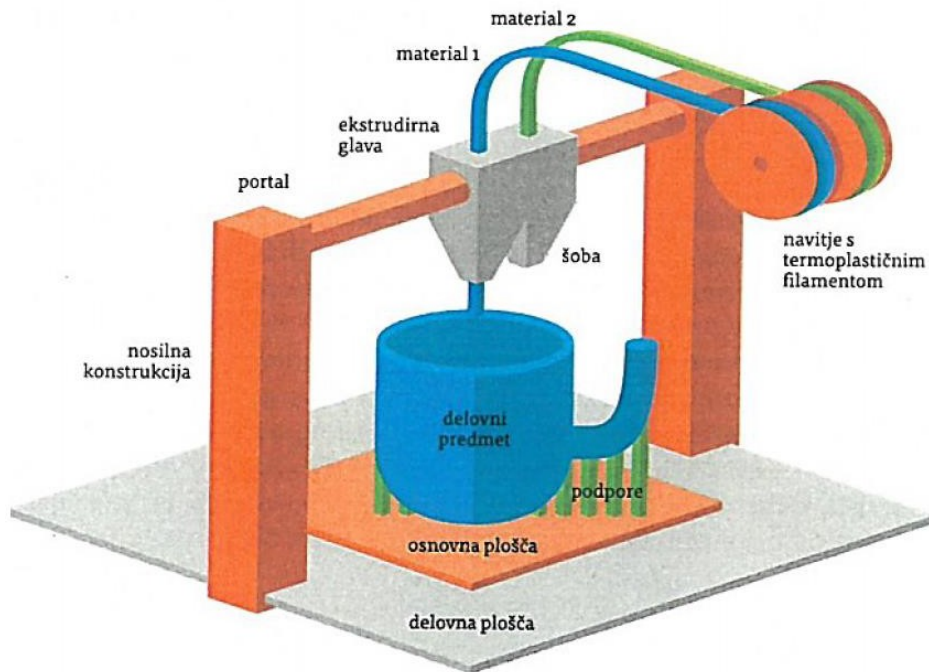
To je tehnologija 3D-tiskanja, ki deluje tako, da se termoplastični polimer iztisne skozi ogreto šobo in se nanaša na gradbeno površino. FDM (»fused deposition modeling«) prav tako velja za obliko aditivne proizvodnje, ki jo lahko definiramo kot »proces združevanja materialov za izdelavo objektov iz podatkov 3D-modelov, običajno plast za plastjo«. Ustvarjanje natisnjene objekta 3D z uporabo FDM zahteva na prvem mestu delo z datoteko STL (datotečni format stereolitografije), ki matematično razdeli model na rezine in ga usmerja k naslednjemu procesu gradnje. Včasih lahko programska oprema samodejno ustvari podporne strukture za objekt. Na splošno stroj potrebuje materiale tako za objekt kot podporne strukture. Sam postopek vključuje uporabo plastičnega filameta, ki ga vreteno prenaša do šobe, kjer se material utekočinja in iztiska na gradbeno ploskev. Takoj po dotiku gradbene ploskve se filament strdi, medtem se hkrati postopoma deponira po določeni strukturi, da se ustvari končni 3D-natis. Ko je plast narejena, se gradbena platforma spusti za debelino plasti, tako da lahko tiskalnik začne graditi naslednji sloj (Muck in Križanovskij, 2015).

Prednosti te tehnologije so (Muck in Križanovskij, 2015; Rihter, 2018):

- omogoča izbiro različnih gostot zapolnitve izdelka;
- velik nabor materialov – različni polimerni filamenti (PLA, ABS, fleksibilna plastika), filament z vsebnostjo lesa, kamna, najlona, kovinski filament ...;
- enostavna zamenjava filameta;
- možnost izdelave prototipov in popolnoma funkcionalnih izdelkov;
- enostavna dodatna obdelava;
- enostavno vzdrževanje naprave;
- enostavna odstranitev podpornega materiala;
- nizka cena materiala;
- izbira različnih barv.

Slabosti te tehnologije so (Muck in Križanovskij, 2015; Rihter, 2018):

- ni najnatančnejši postopek;
- stopničasti prehodi med sloji;
- hitrost izdelave je omejena;
- delno krčenje materiala zaradi segrevanja in ohlajanja;
- natančnost kotnih struktur je slabša zaradi krožnega preseka filamenta.



Slika 3: FDM-tehnologija 3D-tiskanja

Vir: Tehnični priročnik za 3D-tiskanje, b. d.

3.2 SELEKTIVNO LASERSKO SINTRANJE (SLS)

To je tehnika, ki uporablja laser kot vir energije za oblikovanje trdnih 3D-objektov. Razvila sta jo Carl Deckard, študent Univerze v Teksasu, in njegov profesor Joe Beaman okoli 1980. Pozneje sta sodelovala pri ustanavljanju podjetja Desk Top Manufacturing (DTM), ki je bilo leta 2001 prodano velikim konkurentom 3D-Systems. SLS je na nek način zelo podoben stereolitografiji (SLA). Glavna razlika med SLS in SLA je v tem, da SLS namesto tekoče smole uporablja praškasti material v kadi. SLS za razliko od SLA in FDM ne zahteva uporabe podpornih struktur, zato zmanjšujemo količino materialov, ki jih potrebujemo za tiskanje. Predmet je dejansko natisnjen, medtem ko je nenehno obdan z nesintranim prahom. Sam postopek vključuje laser, ki se uporablja za selektivno sintranje plasti granul, zato se material

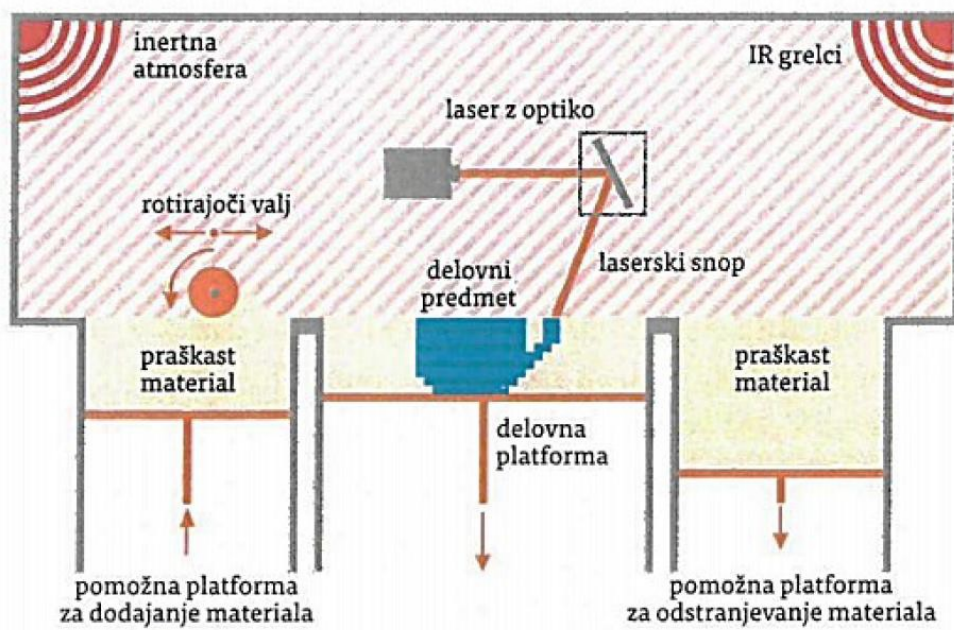
medsebojno veže, da se ustvari trdna oblika. Ob koncu postopka se lahko predmet zelo segreje, zato ga pustimo ohladiti, preden ga odstranimo iz stroja (Tehnični priročnik za 3D-tiskanje, b. d.).

Prednosti te tehnologije so (prav tam):

- natančni in trajni izdelki,
- dokaj hiter postopek,
- podpore materiala niso potrebne,
- velik nabor različnih materialov,
- izdelava prototipov, funkcionalnih delov, izdelkov.

Slabosti te tehnologije so (prav tam):

- sintranje porabi veliko energije;
- postopek ni primeren za domačo uporabo;
- potrebna zaščitna atmosfera;
- v večini primerov potrebna infiltracija za izdelavo izdelkov.



Slika 4: SLS-tehnologija 3D-tiskanja

Vir: Tehnični priročnik za 3D-tiskanje, b. d., str. 17

3.3 STEREOLITOGRAFIJA (SLA)

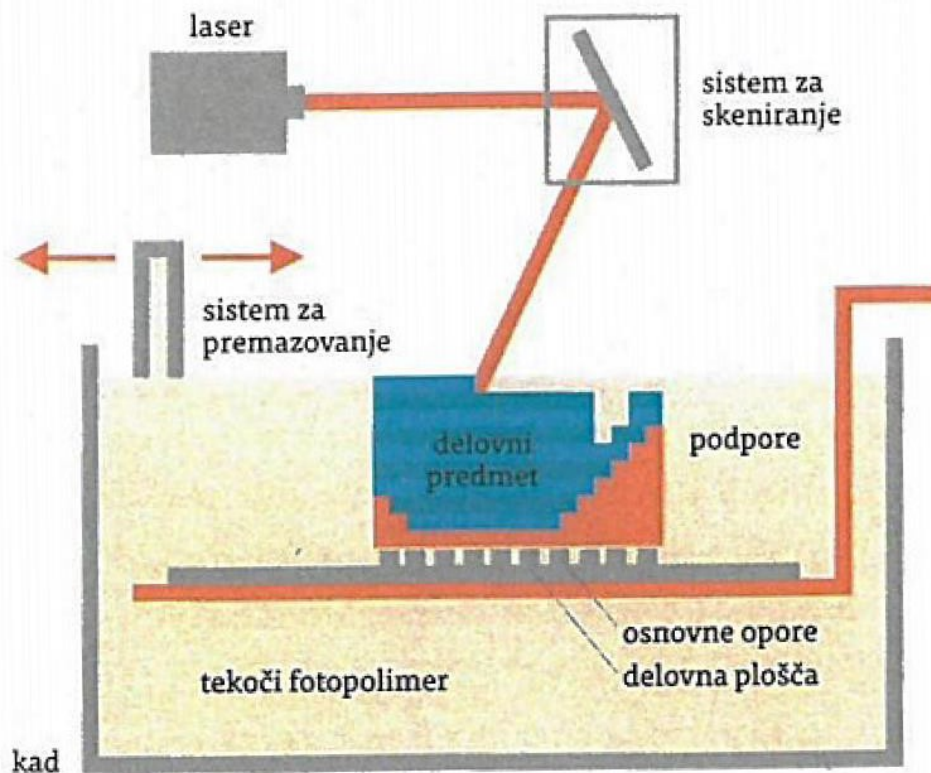
To je na svetlobi temelječ proces, ki gradi posamezne plasti modela s tekočim polimerom, utrjenim z laserskim žarkom. To je najstarejša tehnologija v zgodovini 3D-tiskanja, vendar se še danes zelo uporablja. Postopek vključuje uporabo tiskarskega stroja, imenovanega »stereolitografski aparat«, ki pretvarja tekočo plastiko v trdne 3D-objekte. Laser je usmerjan in nadziran z dvema galvanometroma. Po vsakem sloju se rezervoar za smolo odstrani, da se sprostí utrjeni material. Gradbena platforma se nato premakne navzgor za 25 do 200 mikronov, odvisno od izbrane višine sloja, da se pripravi na proces strjevanja naslednje plasti. Zdi se, da je del zgrajen na glavo, kar se imenuje inverzna stereolitografija.

Prednosti te tehnologije so (Muck in Križanovskij, 2015):

- velika natančnost in kakovost površine izdelka;
- možen je velik nabor materialov;
- relativno hiter postopek.

Slabosti te tehnologije so (prav tam):

- majhna trajnost izdelkov;
- potrebna dodatna operacija – segrevanje v UV-pečeh;
- zahtevna dodelava;
- ni ekološki postopek;
- trajnost izdelkov je manjša kot npr. pri tehnologijah SLS ali FDM;
- velikokrat je potrebna uporaba podpor.



Slika 5: SLA-tehnologija 3D-tiskanja

Vir: Muck in Križanovskij, 2015

Tehnologijam 3D-tiska je skupno, da se 3D-predmet gradi s tankimi sloji materiala. Notranjost izdelka je lahko polna ali porozna (mrežasta oblika). V našem primeru smo izdelali ulitek iz 3D-modela in polnega izdelka nismo potrebovali. Tako smo privarčevali na filamentu.

Na tržišču imamo celo paleto različnih vrst 3D-tehnologije tiska. Med njimi so tudi:

- SLM (selektivno lasersko taljenje) – je precej napredna in draga tehnologija, podobna SLS. Uporablja se selektivno lasersko taljenje, ki se uporablja predvsem v industriji za taljenje kovinskega prahu.
- EBM (taljenje elektronskih žarkov) – je zelo napredna in draga tehnologija, usmerjena v industrijski sektor; uporablja fuzijo materiala z uporabo elektronskega žarka. Lahko celo stopi kovinske praške in doseže temperaturo do 1000 °C. Ustvari se lahko zelo popolne in napredne oblike.
- LOM (izdelava laminiranih predmetov) – je ena izmed vrst 3D-tiskanja, ki uporablja izdelavo laminatov. Za oblikovanje struktur se uporabljajo listi papirja, tkiva, kovine ali plastike. Te plasti se povežejo z lepilom in razrežejo z laserjem. Je za industrijsko uporabo.

- MJ (brizganje materiala) – je še ena izmed tehnologij 3D-tiskanja, ki se uporablja v nakitarski industriji. Uporablja se že leta in dosega odlično kakovost. Več slojev je zgrajenih drug na drugega, da ustvarijo trden kos. Glava vbrizga na stotine drobnih kapljic fotopolimera in jih nato strdi z UV-svetlobo.
- MSLA (zakrita SLA) – je vrsta prikritega SLA, to pomeni, da kot svetlobni vir uporablja matriko LED, ki oddaja ultravijolično svetlobo skozi LCD-zaslon, ki prikazuje enoslojni list kot masko, od tod tudi ime. Dosežete lahko zelo visoke čase tiskanja, saj je LCD-plast popolnoma izpostavljena naenkrat, namesto da bi sledila območjem z lasersko konico.
- DMLS (neposredno sintranje kovin) – ustvari predmete na podoben način kot SLS, vendar je razlika v tem, da se prah ne stopi, ampak se z laserjem segreje do te mere, da ga je mogoče na molekularni ravni stopiti. Zaradi napetosti so kosi običajno nekoliko krhki, čeprav jih je mogoče naknadno toplotno obdelati, da postanejo odpornejši.
- DOD (spustite na zahtevo) – tiskanje na zahtevo je druga vrsta 3D-tiskanja. Uporablja dva brizgalna curka, eden nalaga gradbeni material, drugi pa topni material za nosilce. Tako kot druge tehnike ustvarja tudi plast za plastjo, vendar za izdelavo vsakega sloja uporabljajo tudi muhorez, ki polira območje gradnje. Tako je dosežena popolnoma ravna površina. V industriji se zelo uporabljajo za večjo natančnost ali izdelavo kalupov.

4 PREDSTAVITEV IZDELAVE IZDELKA

Ideja za izdelavo izdelka se je pričela v mesecu novembru, ko smo vzpostavili stik z novim podjetjem na Koroškem, ki se imenuje Additio, d. o. o., ki se ukvarja s tehnologijo 3D-tiskanja različnih izdelkov iz različnih filamentov. Potrebovali smo tri tedne, da smo narisali uporaben in inovativen izdelek, ki bo zanimiv za mlade. Odločili smo se, da izdelamo obešalo za kolo, ki ga lahko obesimo vertikalno tudi v stanovanju in predstavlja sodoben dizajn, saj smo dodali še kakovosten les in izdelku dodali unikaten izgled.

Narisali smo načrt v STEP-formatu in ga posredovali našemu somentorju v podjetje. Kot smo že povedali, je to Alen Šapek, lastnik tega podjetja, ki nas je vodil in usmerjal skozi celotno raziskavo. Prav tako smo STEP-format poslali 65 podjetjem v Sloveniji za pridobitev ponudbe za obstoječ tehnološki postopek (CNC-rezkanje).

Modelirali smo v programu Creo Parametric.

Creo Parametric je visoko zmogljiv sistem CAD za volumsko modeliranje (Solid modeling). Uporablja se za izdelavo modelov sestavnih delov in sestavov pri razvoju novih izdelkov. S pomočjo dodatnih Creo Parametric aplikacij lahko iz obstoječih modelov izdelamo druge oblike modelov, kot so delavniške in sestavne risbe, modeli pločevinastih delov, modele kabelskih snopov ter programe za CNC-obdelavo. Creo Parametric je uporaben za izdelavo različnih modelov, od enostavnih prizmatičnih delov do modelov z zelo zahtevnimi površinami, kot tudi za izdelavo posameznih delov do sestavov z več tisoč sestavnimi deli (Čretnik, 2013).

Izdelek smo natisnili s pomočjo 3D-tiskalnika Anycubic Kobra, ki tiska po metodi ciljnega nalaganja filamenta (FDM). Največja prostornina tiska je 220 x 220 x 250 mm.

Filament, ki smo ga uporabili, je bil MoldLay nemškega proizvajalca CC, ki ima podobne lastnosti kot vosek – tiska se pri nekoliko nižjih temperaturah do 180 °C.

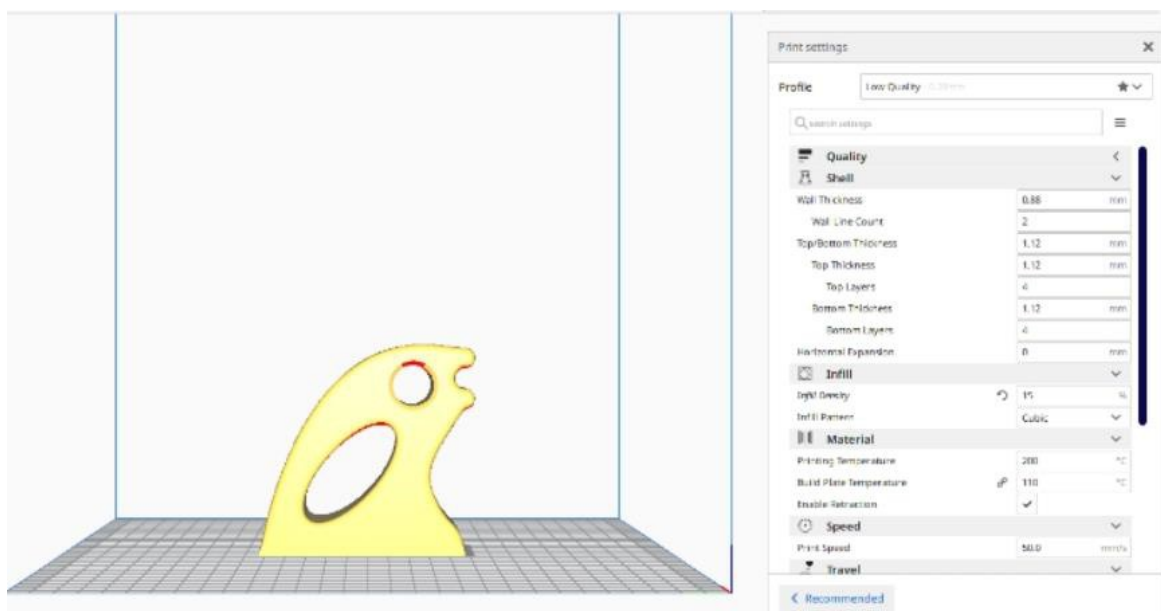


Slika 6: 3D-tiskalnik

Izdelek se je natisnil preko noči (6 ur). Stroškov električne energije nismo upoštevali, saj so minimalni.

Iz programa, ki ga prikazuje slika 7, so razvidni vsi parametri tiskanja, ki so bili:

- višina sloja tiska 0,20 mm,
- temperatura tiska 180 °C,
- temperatura postelje 60 °C,
- hitrost tiska 50 mm/s,
- polnilo 10 %.



Slika 7: Prikaz parametrov po programu za 3D-tiskanje

Natisnjen izdelek smo očistili, odstranili podpore, ki služijo proti uklonu materiala ali delov izdelka med 3D-tiskanjem. Obdelava je bila zelo gladka. Dodatna dela, kot sta brušenje in poliranje, niso bila potrebna. Izvedli smo kontrolo mer izdelka in nismo ugotovili nobenih napak. Izdelek smo natisnili skladno z načrtom, ki smo ga narisali. Natisnili smo dva izdelka, enega smo potrebovali za kalup in je pozneje v peči izgorel, drugega pa smo natisnili za predstavitev naše raziskave. Na sliki 8 je prikazan natisnjen izdelek, ki ima izredno gladko površino. Na tržišču imamo vrsto različnih barv filamentov in jo lahko poljubno izberemo.



Slika 8: Natisnjen 3D-izdelek

V našem primeru barva filamenta ni igrala pomembne vloge, saj je natisnjen 3D-izdelek pozneje razpadel in zgorel v peči segreti na temperaturo 500 °C. Izdelek je izredno lahek. Za izvedbo tiska smo se odločili za mrežasto notranjost in s tem še dodatno privarčevali na

materialu oziroma porabi filamenta. V primeru, da bi ta izdelek predstavljal naš končni izdelek, se bi odločili za gosto, polno natisnjen kos.

Sledila je izdelava kalupa za litje našega izdelka. Za osnovni material smo uporabili keramično maso ALU INVEST. V PVC-cev, dimenzije $D = 250$ mm in višine $D = 200$ mm, smo do višine $1/3$ cevi nasuli pripravljeno keramično maso. Nato smo vstavili naš 3D-model in ga obrnili tako, da je ravni del zgoraj vodoravno, in sicer zaradi lepše zapolnitve kalupa z materialom pri postopku litja. Čas, ki smo ga porabili za kalupiranje, je bil 15 minut. Sama izvedba kalupiranja ni zahtevna. Treba je samo paziti, da pri zalitju mase ne pride do praznin. V nasprotnem primeru lahko poči pri litju ali pa tekoči material pronica skozi kalup. S slike 9 je razvidna lega našega izdelka v kalupu.



Slika 9: Kalupiranje

Sledil je izžig modela v peči Heraeus K750/2, ki je bila predhodno segreta na 500 °C. Potreben čas za izgorevanje 3D-modela je bil dve uri.

Sledil je postopek litja v kalup. Material, ki smo izbrali, je odpadni aluminij, saj smo želeli, da ima naš izdelek dodano vrednost, ker prispeva k čistemu okolju in k zmanjševanju odpadkov. Aluminij smo segreli na 720 °C in ga ulili v naš pripravljen kalup. Čas, ki smo ga porabili za to, je bil 30 minut. Stroški materiala niso nastali.



Slika 10: Litje v kalup

Naslednji dan smo odstranili keramiko oziroma kalup. Razbili smo ga s kladivom. Večja sila ni bila potrebna. Očistili smo naš izdelek in odrezali odvečni material. Odrezali smo livne kanale in z ročno brusilko zbrusili in spolirali naš izdelek. Postopek smo končali v roku 10 min.



Slika 11: Ulitek

Sledil je postopek barvanja. Izdelek smo pobarvali z antracitno barvo ral 7015. Pobarvali smo ga pri temperaturi 70 °C in tako je nastal unikaten vzorec, kar prikazuje slika 12. Celoten čas za izvedbo našega izdelka s pomočjo 3D-tiska in izdelave ulitka je bil 10,5 ure. Vsi skupaj nastali stroški pa znašajo 52 evrov.



Slika 12: Pobarvan ulitek

Po barvanju smo naredili še montažo izdelka.

Na ravnini dna smo izvrtali dve izvrtini za navoj M12 v globino 20 mm. Navoje smo rezali ročno. Nato je sledila montaža na leseno desko. Odločili smo se kakovosten les iz drevesa oreha. V izvrtino $D = 20$ mm smo s tesnim prilegom ustavili leseno palico, katero smo postružili v toleranco. Sledila je montaža na leseno desko orehovega lesa in pritrditev logotipov.



Slika 13: Končni izdelek z montažo (obešalo za kolo)

5 STROŠKOVNA IN ČASOVNA PRIMERJAVA IZDELAVE IZDELKA IZ ULITKA S KLASIČNO METODO CNC-IZDELAVE IZDELKA

Decembra smo 65 podjetjem poslali povpraševanje za mehansko izdelavo našega izdelka. V povpraševanje smo vključili strošek in čas izdelave programa CNC, storitev mehanske izdelave, obrabo orodij in CNC-stroje, na katerih se izdelek po ponudbi izdelava. Ceno za material smo pridobili s pridobljenimi tremi ponodbami in za nalogo izbrali najcenejšo.

Za vložni material smo izbrali aluminij, rezan iz lite pločevine, 105 x 108 x 63 mm.

Imena podjetij zaradi varovanja podatkov ne razkrivamo, kar smo tudi zapisali v povpraševanje.

Poslali smo 65 podjetjem in v roku enega meseca pridobili 7 ponudb, 18 negativnih odgovorov, da nam podjetje ne more ponuditi storitve, ker nimajo ustreznih strojev ali orodij, ker ima izdelek zahtevnejšo obliko. Od 40 podjetij odgovora nismo prejeli.

Za lažjo analizo podatkov smo izdelali tabeli, v kateri smo zajeli vse potrebne podatke.

V prvi tabeli smo zbrali stroške izdelave našega izdelka in stroške v podjetjih z mehanskim CNC-postopkom izdelave. V strošek smo vključili strošek materiala, strošek mehanske storitve, izdelave CNC-programa in strošek orodij. Izključili smo strošek logistike in vse, kar predstavlja dodaten strošek, saj bi lahko pri pridobljenih ponodbah prišlo do velikih razlik teh podatkov.

V drugi tabeli smo zbrali potreben čas izdelave izdelka v podjetju Additio, d. o. o., in primerjali s časi izdelave s podjetji s CNC-tehnologijo mehanske izdelave. V to tabelo smo dodali tudi stroje, na katerih bi posamezno podjetje naš izdelek izdelalo.

V tabeli 3 smo zapisali vse operacije, ki predstavljajo proizvodne operacije. Predpostavili smo, da ta izdelek naročimo v podjetju Additio, d. o. o., ki ga izdelava s tehnološkim postopkom 3D-tiska in ulitka. Stroškov montaže nismo vključili, saj je od posameznika odvisno, kako bo uporabil ta izdelek.

Če seštejemo, smo za vrtanje, struženje in montažo porabili eno uro časa.

5.1 Stroškovna primerjava

V tabeli 1 smo prikazali stroške, ki nastanejo pri izdelavi izdelka med podjetji in stroški, ki so nastali pri dejanski izdelavi v podjetju Additio, d. o. o.

	Strošek CNC- programa (€)	Strošek storitve mehanske izdelave (€)	Strošek orodij (€)	Strošek materiala Al (€)	Vsi stroški skupaj (€)	Vrsta CNC stroja
Podjetje 1	100	455	50	41	646	3-osni
Podjetje 2	100	410	40	41	591	3-osni
Podjetje 3	300	225	150	41	716	3-osni
Podjetje 4	200	115	120	41	276	5-osni
Podjetje 5	100	280	40	41	461	3-osni
Podjetje 6	100	110	50	41	301	5-osni
Podjetje 7	100	390	60	41	591	3-osni
Podjetje Additio, d. o. o.	1,71	40	10	5	57	3D-tisk + ulitek

Tabela 1: Stroškovna primerjava

Strošek porabe orodij oziroma rezalnih ploščic je minimalen, saj je material aluminij. V primeru, da bi uporabili bolj žilav ali trši material, bi ta strošek bil bistveno višji.

5.2 Časovna primerjava

V tabeli 2 smo prikazali čas, ki ga posamezna podjetja potrebujejo pri izdelavi izdelka in čas, ki smo ga porabili mi.

	Čas izvedbe programa (ura)	Čas storitve mehanske izdelave (ura)	Čas priprave orodij (ura)	Skupen čas (ura)
Podjetje 1	2	13	1	16
Podjetje 2	2	11	1	14
Podjetje 3	4	5	1	10
Podjetje 4	3	3	1	6
Podjetje 5	2	6	1	9
Podjetje 6	2	2	1	5
Podjetje 7	3	10	1	13
Podjetje Additio, d. o. o.	0	0	0	10,5

Tabela 2: Časovna primerjava

5.3 Postopek izdelave našega izdelka

Izdelek smo izdelali v devetih proizvodnih operacijah. Začeli smo z izdelavo 3D-modela. Narisali smo ga v eni uri, sama ideja za nastanek in uporabnost izdelka je terjala mnogo več

časa. Tri tedne je trajalo, da smo na podlagi skic prišli do želene oblike in funkcionalnosti izdelka. Iz tabele 3 je razvidno, da so skupni stroški v primerjavi s klasično metodo CNC bistveno nižji.

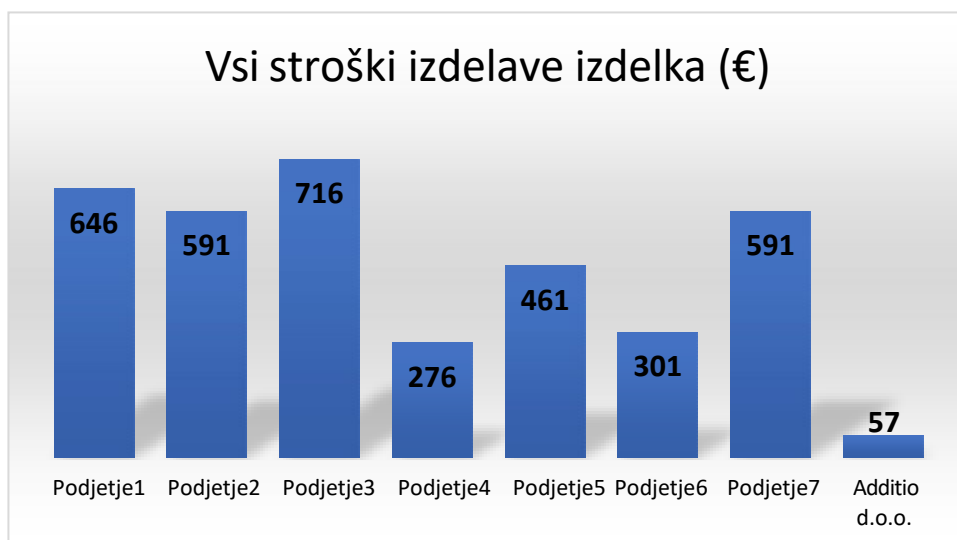
	Postopek izdelave izdelka	Strošek materiala (€)	Stroški (€)	Čas (min)
1	Izdelava 3D-modela načrta (Creo)		0	60 min
2	Tisk 3D-modela za litje		3	360 min
3	Brušenje modela		5	10 min
4	Kalupiranje (priprava za litje)		8	15 min
5	Izžig modela (na 500 °C)		21,5	120 min
6	Litje v kalup (na 720 °C)		6	30 min
7	Odstranitev keramike		6	10 min
8	Brušenje (odrez livnih kanalov)		2	10 min
9	Fina obdelava ... barvanje		0,5	20 min
	SKUPAJ (STROŠKI, ČAS)	5	57	635 min (10,5 ure)

Tabela 3: Stroški in čas izdelave izdelka s 3D-tehnologijo in litjem

5.4 Analiza podatkov

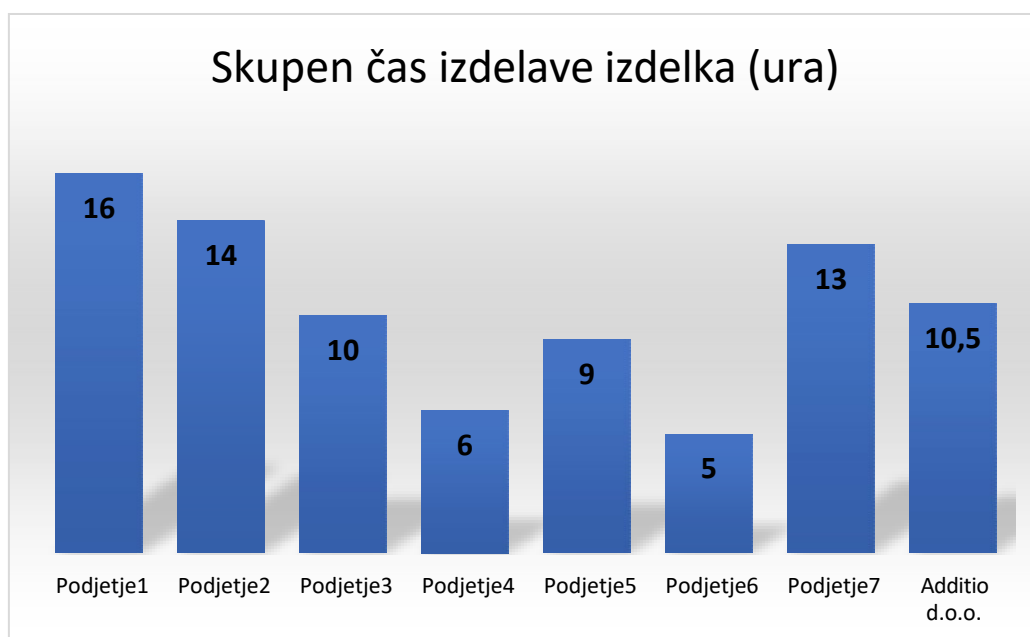
Iz podatkov, ki smo jih pridobili na osnovi pridobljenih ponudb s CNC-tehnologijo in izdelavo izdelka, ki smo ga izdelali sami, lahko sklepamo, da sta strošek in čas odvisna od razpoložljivega stroja, orodij, ki se uporabijo pri izdelavi, in števila vpetij obdelovanja.

Iz tabele 1 je razvidno, da nižje stroške predstavlja izdelava na petosnem CNC-stroju. Podjetja imajo različen strojni park in proizvajajo različne proizvode. Nekatera se poslužujejo serijske proizvodnje, zato tudi naš izdelek predstavlja višje stroške. V primeru, da bi naš izdelek naročili v množični količini, predpostavljamo, da bi cena izdelka bila nekoliko nižja. Ponudbo smo poslali za en izdelek.



Grafikon 1: Stroškovna primerjava tehnologij

Iz grafikona 1 je razvidno, kako majhen delež predstavljajo nastali stroški naše izdelave s 3D-tiskom in izdelavo ulitka v primerjavi s tehnološkimi CNC-postopki, ki se danes pretežno uporablja pri množični proizvodnji in tudi pri proizvodnji izdelave enega kosa.



Grafikon 2: Časovna primerjava tehnologij

Grafikon 2 prikazuje skupen čas izdelave izdelka vseh proizvodnih tehnologij CNC in tehnologije 3D-tiska in ulitka. Najkrajši čas, ki se uporabi za izdelavo, je CNC-tehnologija na petosnem CNC-stroju, vendar so stroški te izdelave visoki. Sklepamo lahko, da je čas, ki smo ga uporabili mi 10,5 ure, približno enak, kot če bi ga izdelali z obstoječo CNC-tehnologijo, vendar so stroški v primerjavi s CNC-tehnologijo minimalni.

5.5 Odpadek materiala pri metodi CNC-rezkanja

Raziskali smo, koliko predstavlja strošek in teža odpadnega materiala, ki nastane pri postopku mehanske obdelave s CNC-rezkanjem. Pridobili smo ponudbo za material, ki je priloga te naloge. Pri našem postopku litja stroški odpadnega materiala niso nastali.

Podatki za vložni material po ponudbi so:

- material: Al EN5083, rezano iz lite pločevine;
- dimenzije: 105 x 108 x 63 mm;
- teža: 2 kg (po izračunu je teža 1,88 kg za ta material in dimenzije, zaokrožimo na 2 kg, kot je na ponudbi);
- cena materiala: 16,5 evra/kg po ponudbi;
- skupna cena vložnega materiala je 33 evrov brez DDV.

Podatki našega izdelka (ulitka) so:

- material: odpadni aluminij;
- teža: 0,69 kg;
- cena materiala: 5 evrov (cena je simbolična, saj je iz odpadnega aluminija in je 5 evrov/izdelek);
- na podlagi teh podatkov smo dobili rezultat, da je teža odpadnega materiala, ki nastane pri rezkanju, 1,31 kg, kar predstavlja 21,61 evra.

Na osnovi tega smo naredili tabelo, iz katere je razvidna teža in strošek odpadnega materiala.

	Vložni material (dim: 105 x 108 x 63 mm)	Izdelek (ulitek)	
Teža (kg)	2	1	
Cena (€/kg)	16,5	5	
Odpadni material (kg)	1,31	0	65,5 %
Odpadni material (€)	21,61	0	

Tabela 4: Podatki za odpadek materiala in stroškov

Iz tabele 4 je razvidno, da pri odrezavanju s postopkom CNC-rezkanja nastane 1,31 kg odpadnega materiala v obliki odrezkov. To predstavlja 65,5 % odpada. Pri litju imamo 0 % odpada. Omenimo lahko le odpad, ki je pri litju livni kanal, ki se znova uporabi; le odreže se stran od izdelka.

Pri klasični metodi rezkanja s CNC-postopkom, nastali odpadni material predstavlja 21,61 evra. Prav tako je to 65,5 % cene vložnega materiala po ponudbi. Vložek ima optimalne dimenzije za izdelavo izdelka z minimalnim dodatkom za obdelavo z odvzemalno tehnologijo CNC-rezkanjem.

6 ANALIZA IN IZBOLJŠAVE

Raziskovalna naloga je za nas predstavljala velik izziv, saj smo pri postavljanju hipotez sklepali, da bodo stroški s CNC-mehanskimi postopki izdelave bistveno nižji. Presenečeni smo bili, ko smo dobili ponudbe od podjetij, vendar smo kmalu spoznali, da je strojna ura mehanske obdelave približno 35 evrov, lahko je tudi več, strošek izdelave CNC-programa za izdelavo izdelka na CNC-stroju in poraba orodij pa različno. Orodja (rezkarji, svedri, rezkalne glave ...) so izredno draga. Za lažjo predstavo smo si pogledali nekaj katalogov različnih proizvajalcev in posrednikov prodaje orodij. Velik strošek predstavljajo tudi rezalne ploščice.

Tako smo dobili realne in točne rezultate, prav tako smo vključili dejanske podatke po ponudbah in v povpraševanju prosili podjetja, da izdelajo ponudbo na način, kot da bomo izdelek tudi naročili pri njih. Sprva smo bili presenečeni nad visokimi stroški, a smo pozneje ugotovili, da je postavka za strojno uro mehanske obdelave s CNC-rezkanjem od nekje 35 evrov/uro ali celo več, zlasti na petosnem CNC-stroju pa je cena višja.

V bližnjem lokalnem podjetju smo posneli posnetek s postopkom radioskopije. Rezultati so pokazali, da je ulitek na določenih mestih porozen, kar je razvidno na sliki 14. Za lažjo predstavo o velikosti zračnih mehurčkov je na posnetku oznaka črke N, katera je velikosti 10 mm. Razberemo lahko, da so zračni mehurčki velikosti do nekje 2 mm. Glede na težo kolesa to ne predstavlja preobremenitve, saj je izdelek iz kovine.



Slika 14: Radioskopija izdelka

Nastali zračni mehurčki pri litju so nas še dodatno vzpodbudili k raziskovanju, kako še izboljšati naš izdelek. Dobili smo idejo – izdelek lahko izdelamo tako, da ga natisnemo s tehnologijo 3D-tiska, saj predvidevamo, da bi lahko izdelali izdelek kar s 3D-tiskom iz drugega materiala, kot je na primer filament s karbonskimi vlakni, ki je močnejši od plastike, ter bi lahko preskočili postopek litja, saj bi izdelek lahko sam zdržal obremenitev. Glede navojev za montažo pa bi kupili kovinske vložke, ki se segrejejo in vtisnejo v plastiko s karbonskimi vlakni.

Povezava, na katero se sklicujemo glede filamentov s karbonskimi vlakni, je <https://www.additio.eu/2023/02/13/filamenti-s-karbonskimi-vlakni-kako-natisniti-se-trdnejse-izdelke/>.

Raziskali smo, da je cena filamenta s karbonskimi vlakni 65 evrov/kg. Naš izdelek ima 86 g. Izračunali smo, da je strošek našega izdelka 5,59 evra. To so izredno nizki stroški izdelave v kratkem času. Čas izdelave predstavlja le 3D-tiskanje, ki izdelek natisne v šestih urah.

Prav tako smo raziskali tudi, kako lahko izboljšamo tehnologijo litja našega izdelka.

To dosežemo z naslednjimi postopki (Magma, b. d.; Pernat, 2011):

1. Z izračunom livnega sistema s simulacijskimi orodji (npr. MAGMASOFT). Programska oprema pokriva simulacije celotnega procesa izdelave ulitka – polnjenje, napajanje, strjevanje in ohlajanje, toplotno obdelavo ter izračun napetosti stanj in deformacij v ulitku ter orodju v vseh teh fazah in tudi v končnem, mehansko obdelanem ulitku.
2. Z namestitvijo dodatnih napajalnikov in oddušnikov na ulitek, ki bi služili za boljše napajanje taline, oddušniki pa bi poskrbeli za odvod zraka iz forme.
3. S prepihanjem taline z argonom, ki je tehnološki proces, ki se izvaja pred ulivanjem. S tem čiščenjem taline se zmanjšajo raztopljen vodik ter kovinske in nekovinske nečistoče (npr. oksidi, karbidi in ostale primesi), ki so v talini kot posledica procesa taljenja, obzidave peči, onesnaženega ulitka in drugo.

Velik poudarek smo dali tudi varčevanju in reciklaži. Naš izdelek smo izdelali iz odpadnega aluminija in prispevali k čistejšemu in bolj zdravemu okolju. Poleg tega stroški materiala v višini 41 evrov niso nastali, kot so v ponudbi za vložni material. Ponudbo smo dobili od lokalnega podjetja, ki prodaja različne kovinske materiale. Raziskali smo tudi, koliko je teža in cena odpada, ki nastane z odrezavanjem kovin s CNC-rezkalno tehnologijo. Rezultati so pokazali, da odrezki (odpadni material) predstavljajo kar 65,5 % odpada glede na optimalen vložek z minimalnim dodatkom za obdelavo. Pri litju se izognemo tem stroškom in odpadu.

Aktivno smo sodelovali s podjetjem Additio, d. o. o., kar je za nas imelo veliko vrednost, saj smo naredili praktičen primer in raziskali dejansko oziroma obstoječo tehnologijo mehanske CNC-obdelave s pomočjo ponudb. V bodoče upamo in verjamemo, da se bo tehnologija 3D-tiska in izdelave ulitkov povečala, saj težimo k nižjim stroškom in ohranjanju čistejšega okolja z vnovično uporabo materialov. Silovito napreduje razvoj filamentov za 3D-tisk, ki bodo upamo v bodoče nadomestili nekatere kovinske materiale.

7 ZAKLJUČEK

Rezultati so pokazali, da je naš izdelek cenovno precej konkurenčen v primerjavi z izdelavo s CNC-tehnološkim postopkom. Izdelek smo izdelali skladno z načrtom in ustreza kakovosti standardov.

V raziskovalni nalogi smo podali tri hipoteze.

Prvo hipotezo, da je čas, ki ga bomo uporabili, krajši, lahko potrdimo. Ugotovili smo, da za izdelavo izdelka s tehnologijo 3D-tiska in izdelavo ulitka potrebujemo približno enako časa kot pri obstoječih tehnologijah CNC. Najhitreje se izdelek izdelava na petosnem CNC-stroju, vendar, kot smo že omenili, so stroški visoki. Za izdelavo smo porabili 10,5 ure, povprečno pa s CNC-tehnologijo po ponudbah porabimo tudi približno enako časa. Še vedno smo mi konkurenčni pri izdelavi.

Predpostavili smo, da je strošek izdelave ulitka s pomočjo 3D-tiska v primerjava s stroški izdelave enakega izdelka s klasično CNC-tehniko mehanske izdelave izdelkov višji. Rezultati so pokazali, da je naša tehnologija cenejša, zato lahko drugo hipotezo potrdimo. Predvidevali smo, da bodo stroški izdelave s 3D-tiskom in ulitkom celo nekoliko višji, vendar smo se že na začetku raziskovalne naloge z mentorjem iz podjetja Additio, d. o. o., dogovorili, da nam bo nastale stroške razkril na koncu raziskave.

Tretja hipoteza je bila predpostavka, da je ulitek homogene strukture, brez nečistoč in zračnih mehurčkov. Hipoteze ne moremo potrditi. Struktura materiala je pokazala, da so pri litju nastali zračni mehurčki, vendar to ne vpliva na uporabnost izdelka in zato ni slabše kakovosti, saj je izdelek iz aluminija.

Naš izdelek predstavlja inovacijo, ki utegne biti mladim zanimiva. Obešalo za kolo smo izdelali iz lahkega aluminija in ga pobarvali z moderno antracitno barvo, dodali pa smo pridih narave in vključili masiven les oreha, ki bo vedno dal toplino in harmonijo prostoru.

Zavedamo se in smo hvaležni, da se v naši regiji razvijajo nova podjetja, ki so nam pripravljena prisluhniti in strokovno pomagati pri raziskovalnih nalogah.

Ugotovili smo, da lahko naš izdelek še izboljšamo pri tehnologiji litja ali pa ga izdelamo s tehnologijo 3D- tiska s filamentom s karbonskimi vlakni.

Živimo v svetu, ki se spreminja hitro in razvijajo se novi materiali ter nove tehnologije, zato smo hvaležni, da smo lahko raziskali in поблиžje spoznali del nove tehnologije 3D-tiska ter izdelali ulitek iz odpadnega materiala (aluminija).

Smo mnenja, da je izredno pomembno, da globalno zmanjšamo odpadke (odpadni material) in se vsi posvetimo kakovosti po nižji ceni brez škode naravi oziroma našemu planetu.



Slika 15: To smo mi

8 LITERATURA

Čretnik, Samo. 2013. *Creo Parametric*. Maribor: SCI, družba za informacijske tehnologije.

Magmasoft [online]. B. d. [citirano 20. 3. 2023; 15:10]. Dostopno na spletnem naslovu <https://www.exoterm.si/sl/program-magmasoft/>.

Muck, Tadeja, in Križanovskij, Igor. 2015. *3D-TISK*. 1. izd., 1. nat. Ljubljana: Pasadena.

Pernat, Matej. 2011. *Legiranje taline aluminija – skozi lonec talilne peči z elektromagnetno črpalko*: diplomsko delo [online]. Maribor: [M. Pernat], [citirano 24. 2. 2023; 15:35].

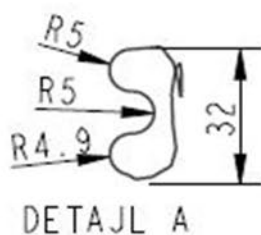
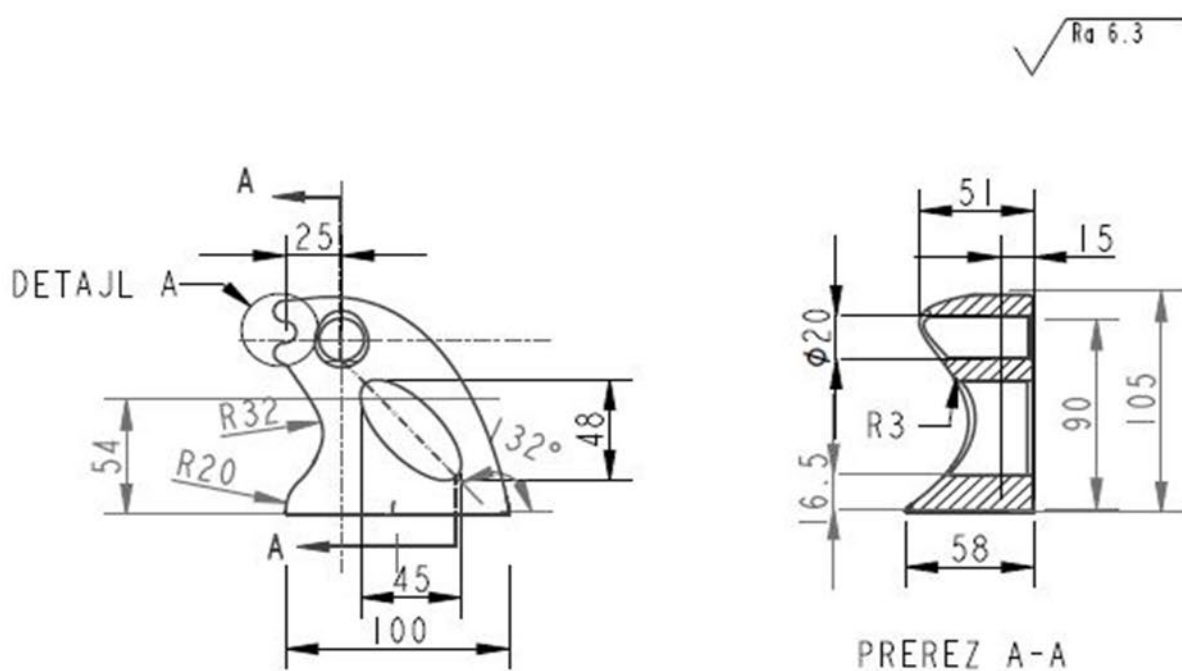
Dostopno na spletnem naslovu <https://www.academia.si/wp-content/uploads/2020/12/matej-pernat.pdf>.

Rihter, Enej. 2018. *3D-tiskanje izdelkov po principu filamentov*: diplomsko delo. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.

Tehnični priročnik za 3D-tiskanje [online]. B. d. [citirano 23. 1. 2023; 14:50]. Dostopno na spletnem naslovu <https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-SL.pdf>.

Prilogi:

- Načrt izdelka
- Ponudba za vložni material



				Tel. odprtihi mer		Posr. broj		Merilo: 0.333		Masa:		kg
								Material:				
					Datum	Ine	Naziv: MRK					
					Jan-25-23							
							☐ I. rabe:				List: I	
							Nadom. z.:				Nadom. z.:	

**PRODAJA IN RAZREZ JEKLA, PROFILOV, PLOČEVINE**

Belta d.o.o., Šentjanž pri Dravogradu 143, SI-2373 Šentjanž pri Dravogradu

T: +386 (0)2 821 52 90 • +386 (0)2 821 52 92 • +386 (0)2 821 52 93
 F: +386 (0)2 821 52 91 • E: info@belta.si • S: www.belta.si

ŠOLSKI CENTER RAVNE NA KOROŠKEM
 OE SREDNJA ŠOLA RAVNE NA KOROŠKEM
 NA GRADU 4

Ponudba : 00415-2023**Datum :** 9.01.2023**Valuta :** 24.01.2023**Kraj izdaje :** 2373 Šentjanž pri Dravogradu**2390 RAVNE NA KOROŠKEM****Povpraševanje/ Naročilnica:** pov z dne 09.01.2023**Način plačila :****Način odpreme :****Kontaktna oseba :** Kosmač Igor**Telefon :** 064 170 560**Fax :**

Davčna številka: 27201163

Na podlagi vašega povpraševanja št. vam nudimo:

Št.	Opis	Količina Enota	Cena brez DDV	Popust	Znesek popusta	Cena s popustom	Davek	Cena z DDV	Znesek
1 000533	Aluminij	2 kg	16,500	0 %	0,000	16,500	22 %	20,130	33,000
	Al EN5083 rezano iz lite pločevine 105x108x63 mm	1 kom							
Znesek brez DDV skupaj									33,00
DDV skupaj									7,26
Znesek z DDV skupaj									40,26
Z besedo EUR: štirideset 26/100									40,26

Pri plačilu se sklicujete na številko '00415-2023 !

Veljavnost ponudbe : 3 dni oz. DO ODPRODAJE ZALOGE
EXW

Rok dobave: 25.01 - 27.01.2023

Pariteta:

Cene veljajo v primeru naročila celotne količine. Embalaža in stroški pakiranja v ponudbi niso zajeti. Za vse materiale v tolerancah h6 in h8 se obračuna embalaža v višini minimalno 15 € na kos. Pri rezanih pozicijah se material obračuna po dejanski porabi. Na končno mero vedno upoštevajte minimalno 5 mm dodatka. Za zneske računov, ki ne bodo presegali 50,00 eur, vam bomo obračunali manipulativne stroške v višini 15,00 eur! Teže materiala so računske in se ob prevzemu lahko le te spremenijo! V kolikor potrebujete certifikat materiala, le tega zahtevajte ob naročilu! Strošek certifikata Vam bomo zaračunali 2,00 eur. V kolikor boste certifikat zahtevali pozneje, bo ta strošek znašal 9,00 eur!

Transakcijski račun: IBAN Nr. SI 56 3400 0101 4384 654 pri banki SPARKASSE D.D. BIC: KSPKSI22XXX

Prosimo Vas, da v primeru naročila pripišete našo številko ponudbe! Pred naročilom preverite ponudbo, saj kasnejših reklamacij ne bomo upoštevali.

Pridržujemo si pravico do prodaje blaga do vašega naročila. Ponujeni dobavni roki zajemajo le delovne dni v kolikor so vse zapadle obveznosti poravnane!

Pogoj za izdobavo blaga je, da so vse obveznosti v celoti poravnane. Zaradi neporavnanih obveznosti bomo prejeto naročilo obdelali in blago izdostavili izključno šele po poplačilu vseh naših zapadlih terjatev. Jamstvo za pravočasno dobavo naročenega blaga je sled tega izključena in za to ne prevzemamo nikakršne odgovornosti. Vsi preostali prodajni pogoji so vam dostopni na www.belta.si.

Za razumevanje se Vam zahvaljujemo!

Direktorica

Ines Golob



Lep pozdrav!

KATJA PUŠNIK



Belta d.o.o., Šentjanž pri Dravogradu 143, 2373 Šentjanž pri Dravogradu, Matična št.: 5559642000, IBAN: SI56 3400 0101 4384 654,
 SWIFT/BIC: KSPKSI22, Telefon: +386 (0)2 82 15 290, E-pošta: info@belta.si, Identifikacijska številka za DDV: SI15833682
 Okr.sodišče Slovenj Gradec, vl. št.: 1/04728/00. Osn.kapital: 30.028,00 eur

