



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Komerčialist
Modul: Podjetniški

HITRA IZDELAVA PROTOTIPOV

Mentorica: Nežka Bajt, univ. dipl. inž. živ. tehnol.
Lektorica: Ana Peklenik, prof.

Kandidat: Uroš Jenko

Kranj, julij 2011

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici gospe Nežki Bajt, ki mi je pomagala pri izdelavi diplomske naloge, in vsem, ki so si vzeli čas in odgovorili na moja vprašanja.

Hvala g. Mihu Dolinarju iz podjetja Chemets d.o.o. za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Ani Peklenik, ki je lektorirala mojo diplomsko nalogo.

Zahvaljujem se tudi družini za potrpežljivost in spodbude v času mojega študija.

IZJAVA

»Študent Uroš Jenko izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Nežke Bajt, univ. dipl. inž. živ. tehnol.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Tehnologija hitre izdelave prototipov je osnovana na metodah dodajanja materiala, kar je v nasprotju s konvencionalnimi tehnologijami, ki delujejo na principu odvzemanja materiala. Omogoča izdelavo zelo kompleksnih, zapletenih struktur brez priprav in orodja. Podjetja razvijajo nove izdelke in stremijo k temu, da ti pridejo čim hitreje na tržišče. Izdelek je potrebno čim hitreje oblikovati, ga čim hitreje narediti in ga dostaviti kupcu pred konkurenco. Eden glavnih dejavnikov v tem procesu so prav prototipi.

Uporaba v industrijah, kjer se uporabljajo tehnologije nalaganja slojev, narašča in se bo v naslednjih letih še povečala. K rasti je v zadnjih letih pripomogla tudi široka prodaja tovrstnih storitev.

Vsebina diplomskega dela predstavlja opis tehnologij hitre izdelave prototipov in raziskavo poznavanja in uporabe teh v slovenskih podjetjih.

KLJUČNE BESEDE

- hitra izdelava prototipov
- vakuumsko vlivanje
- SLS (selektivno lasersko sintranje)
- funkcionalni prototip
- STL (oblika zapisa, razvitega za uporabo v stereolitografiji)

ABSTRACT

Rapid prototyping is a technology based upon methods of adding material, which is contrary to conventional technology, which functions on the principle of removing material. It enables the production of very complex, complicated structures without any sort of preparation or tooling. Companies developing new products strive to release them as soon as possible to market. It is necessary to design these products as soon as possible, that they go into production and to the end user before the competition can. One of the main factors in this process are prototypes. The use in industry, where this layer additive technology is used, is increasing, and in the coming years will continue to do so. The increasing number of service bureaus offering 3D technology has contributed to this increased use in industry. The contents of this paper present a description of rapid prototyping technologies and the research of their awareness and use in Slovenian companies.

KEYWORDS

- Rapid Prototyping
- Vacuum Casting
- SLS (selective laser sintering)
- Functional prototypes
- STL (file format for use in Stereolithography)

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
1.2	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	1
1.3	METODE DELA.....	1
2	HITRA IZDELAVA PROTOTIPOV	2
2.1	SPLOŠNO.....	2
2.1.1	Vzroki za nastanek hitre izdelave prototipov.....	2
2.1.2	Zakaj metodi rečemo hitra?	2
2.1.3	Zakaj metodi rečemo hitra?	4
2.2	TEHNOLOŠKI POSTOPKI ZA HITRO IZDELAVO PROTOTIPOV	4
2.3	POSTOPKI DODAJANJA	5
2.3.1	Stereolitografija – SLA.....	5
2.3.2	Selektivno lasersko sintranje – SLS	6
2.3.3	FDM – Fused Deposition Modeling	7
2.3.4	Polyjet – 3D-tiskanje.....	7
3	RAZVOJ IN UPORABA FORMATA STL.....	8
4	VAKUUMSKO ULIVANJE.....	9
4.1	Izdelava plastičnih prototipov z vakuumskim ulivanjem	9
4.2	Kdaj in zakaj izbiramo tovrstno tehnologijo?	9
4.3	Izdelava silikonskega kalupa	9
4.4	Vakuumsko ulivanje	11
5	UPORABA PROTOTIPNIH TEHNOLOGIJ ZA IZDELAVO KOVINSKIH SUROVCEV	13
5.1	3D-tiskanje livarskih form	13
5.2	Konstruiranje in priprava datotek	14
5.3	Materiali in tehnični podatki	14
5.4	Uporabnost in cene	14
6	RAZISKAVA UPORABE TEHNOLOGIJ HITRE IZDELAVE PROTOTIPOV.....	16
6.1	Metodologija.....	16
6.2	Rezultati in ugotovitve raziskave	16
7	SKLEP	24
	LITERATURA IN VIRI.....	25
	PRILOGE	26
	KAZALO SLIK	28
	KAZALO TABEL.....	28
	KRATICE IN AKRONIMI.....	29

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Pospešeni tehnični razvoj in čedalje večja konkurenca sta bolj in bolj skrajševala povprečno življenjsko dobo posameznih izdelkov na tržišču. Biti prvi na trgu pri prodaji novega izdelka je cilj mnogih podjetij. V preteklosti je bilo potrebnih veliko dolgotrajnih procesov za vpeljavo novega izdelka ali procesa do proizvodnje. Temu primerni so bili tudi stroški. S pojavom novih tehnologij pa so se časi razvoja izdelkov zelo skrajšali. Danes je na trgu mnogo naprav in postopkov za izdelavo z dodajalnimi postopki. Razvoj naprav je šel v dve smeri. Na eni strani so cenovno ugodni trirazsežni tiskalniki za izdelavo prototipov, pramodelov in konceptnih modelov, na drugi pa so to drage visoko zmogljive naprave in gradiva za izdelavo končnih izdelkov. Podjetjem pomagajo na področju oblikovanja novih izdelkov, pridobivanju novih idej, ustvarjalnosti in inovativnosti. Pogoji za to pa je poznavanje tehnologij in njihovo učinkovito izrabljanje. Premalo uporabljan stroj zna biti za podjetje prevelik strošek. To bi bil lahko problem za mala in srednje velika slovenska podjetja. Cenejše trirazsežne tiskalnike si še lahko privoščijo, naprav in gradiv za izdelavo končnih izdelkov pa ne, saj bi bila premalo izkoriščena. Ker je na trgu mnogo naprav in postopkov za hitro izdelavo prototipov, je namen naloge te poiskati in raziskati. Namen naloge je tudi ugotoviti seznanjenost, potrebe in pripravljenost podjetij za uporabo novih tehnologij.

1.2 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavke:

- podjetja v Sloveniji delno še niso seznanjena z dodajalnimi postopki,
- naprav za dodajanje imajo malo,
- prototipe dajejo izdelovat v tujino ali pa jih izdelujejo po metodi odzemanja materiala.

Omejitve:

- število razvojnih podjetij v Sloveniji,
- relativno malo literature v slovenskem jeziku o tej tematiki.

1.3 METODE DELA

V delu bomo uporabili empirične izkušnje, pridobljene v delovnih procesih, ter znanje, podano v strokovni literaturi. Uporabili bomo tudi podatke, pridobljene s pomočjo ankete. Na ta način bomo pridobili podatke o razširjenosti tehnologije izdelave hitrih prototipov v Sloveniji.

2 HITRA IZDELAVA PROTOTIPOV

2.1 SPLOŠNO

2.1.1 Vzroki za nastanek hitre izdelave prototipov

Odkritje novih metod, ki naj bi inženirju pomagale uresničiti njegovo zamisel, gre skoraj v celoti pripisati razvoju na področju računalniške grafike. Slike so namreč vedno bolj realistične, gibljive in interaktivne. Raba izraza virtualni prototip je postala del vsakdana in se nanaša na prikazovanje in simulacijo uporabe neke komponente v fazi načrtovanja.

Fizični prototipi pa omogočajo tudi, da predmet ne samo gledamo na monitorju, ampak se ga dotikamo. Tipno in vidno zaznavanje predmeta v treh dimenzijah privedeta do reakcije v možganih, ki nedvomno pomaga pri razumevanju začetne ideje in pri iskanju morebitnih popravkov. Dodatna prednost je tudi to, da lahko primerjamo več izdelkov in tako izberemo tistega, ki bi glede na strankine zahteve najbolj ustrezal.

Ločimo dva načina izdelave. Tradicionalna metoda, ki se uporablja že stoletja, temelji na odzemanju. Osnova je trdna masa, od katere odvzemamo dele s pomočjo različnega orodja. Ta tehnika zajema v glavnem:

- frezanje,
- struženje,
- elektro erozijsko obdelavo.

Tehnika odzemanja ima številne prednosti:

- natančnost – orodje zagotavlja večjo natančnost kot metode RP (hitre izdelave prototipov),
- finiširanje – dobimo lahko dejansko gladke površine,
- masovna proizvodnja – tako delo je hitrejše in cenejše pri velikih količinah in torej primernejše,
- izbira materialov – možna je obdelava tako rekoč vseh materialov,
- izdelki velikih dimenzij – ni omejitev glede volumnov, ki jih lahko dosežemo.

Nasprotno pa je hitra izdelava prototipov zasnovana na metodah dodajanja. Tanke plasti dodajamo drugo na drugo, dokler ne nastane celoten kos.

Metode dodajanja imajo naslednje prednosti:

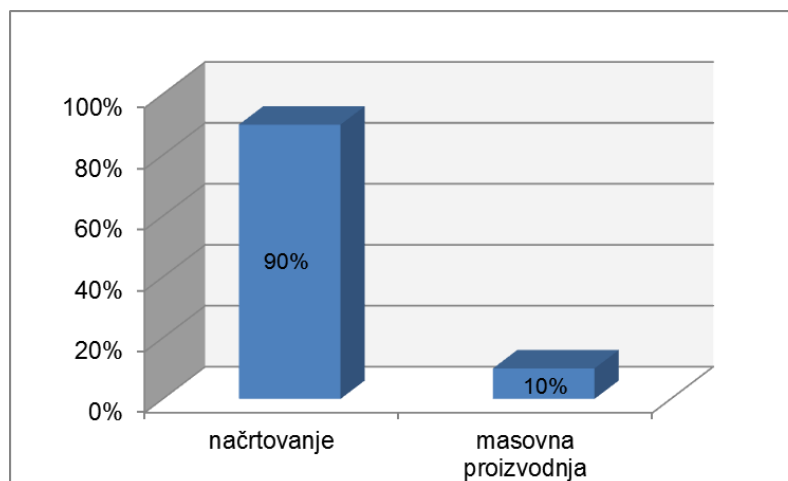
- deli lahko privzemajo še tako zapleteno geometrijsko obliko,
- izdelava zahteva zelo malo tehničnega znanja,
- izdelava včasih ne zahteva človeške intervencije.

2.1.2 Zakaj metodi rečemo hitra?

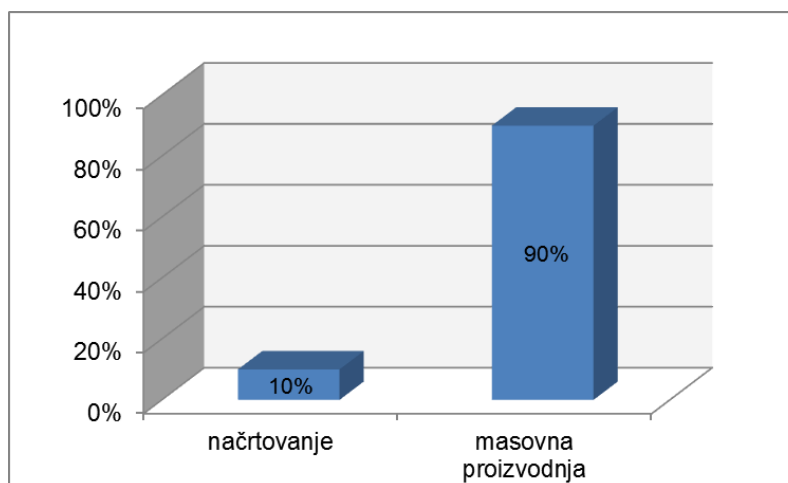
Prehod od modela CAD (računalniško podprtega dizajna) do izdelka nikakor ni hiter. Najhitrejši stroji porabijo ure in ure za izdelavo majhnih delov in kar nekaj dni za večje, torej definicija hitrosti v industrijskem jeziku nikakor ne ustreza realni situaciji. Treba je razumeti, v katerem delu celotnega procesa izdelave prototipa smo

dejansko hitrejši v primerjavi s tradicionalno izdelavo. Pri slednji vključuje čas za projekt risanje, natančen načrt dela, opremo, zamenjavo orodja, čas izdelovanja, čas končne obdelave itd. Celoten postopek lahko traja ure ali pa tedne, odvisno od zapletenosti kosa. Vse to pa je potrebno, da lahko začnemo z masovno proizvodnjo. Pravzaprav lahko že med izdelavo prototipa proučujemo najhitrejši možni način izdelave končnega proizvoda.

Nasprotno je pri hitri izdelavi prototipa, kjer v celoti eliminiramo fazo načrtovanja dela, vendar pa je čas priprave za masovno proizvodnjo daljši.



Slika 1: Tradicionalna metoda (Dolinšek, 2002, 34)



Slika 2: Hitra izdelava prototipov (Dolinšek, 2002, 34)

Iz primerjave časa, ki se porabi v industriji, če uporabimo tradicionalne metode ali pa RP, potemtakem lahko definicijo hitre izdelave prototipov zamenjamo s hitrim začetkom pri izdelavi prototipov (Dolinšek, 2002, 34).

Prednosti, ki jih ponuja tehnologija izdelave hitrih prototipov, je kar nekaj. Možno je zmanjšati napake na prototipu, narisanim v CAD, pogovori med stranko in projektantom so enostavnejši in bolj neposredni, predvsem pa jih je manj, potem ko proizvodnja že steče.

Od snovanja do prvega trdega predmeta mine manj časa, kar je za tako konkurenčen in neizprosen trg, kakršen je današnji, zelo pomembno. Izdelek, ki je seveda kvaliteten, moramo spraviti na trg pred ostalimi. Pred RP je bila izdelava prototipov prepuščena dragim modelarjem, s katerimi je bilo treba tako ali tako komunicirati, kar je samo povečalo možnost nesporazuma. Možna je izdelava kosov zapletenih oblik. Če se držimo tradicionalnih prijemov, lahko le s težavo pridobimo razne profile in vdrtime.

2.1.3 Zakaj metodi rečemo hitra?

Prvi izdelek neke serije imenujemo prototip. Funkcije takega predmeta so lahko različnih tipov:

- konceptualnega,
- funkcionalnega,
- tehničnega,
- predserijskega.

Konceptualni prototip je pomemben izključno zaradi dizajna, ocenitve prostora, ki ga zaseda, ali pa po potrebi za testiranje verodostojnosti podatkov virtualne izdelave prototipa. Na tej točki se lahko začnejo tržne raziskave. Izbira materiala za izdelavo prototipa ni ključnega pomena, lahko se tudi oblikuje prva približna cena.

Funkcionalni prototip nam služi za oceno, kako se predmet obnese, kako funkcionira, potem se skuša optimizirati njegove funkcije. Iz predmeta so razvidne mehanske značilnosti, torej je potrebno narediti toliko primerkov, kolikor različnih testov bomo izpeljali. Material mora biti podoben serijskemu.

Pri tehničnem prototipu bosta uporabljeni material in tehnologija enaka kot pri izdelku za prodajo. Poleg ocen glede delovanja bodo tu prisotne tudi ocene produkcijskega cikla. S pomočjo uničevalnih poizkusov se lahko testira vzdržljivost in trajnost izdelka.

Predserijski prototip bi bil lahko dejanski končni produkt, popravki te stopnje so maloštevilni in postranski. Največkrat pride v poštev za izdelavo delov modelov, katerih izdelava je zapletena.

2.2 TEHNOLOŠKI POSTOPKI ZA HITRO IZDELAVO PROTOTIPOV

Začetki razvoja prvih tehnoloških postopkov hitre izdelave prototipov po principu selektivne solidifikacije fotopolimerov segajo že v konec 70. let prejšnjega stoletja. Leta 1986, ko je bila patentirana tehnologija stereolitografije, pa so se začela pojavljati številna podjetja, ki so razvijala in tržila podobne tovrstne tehnologije v komercialne namene. Delujejo tako, da sestavljajo tekoče, prahaste in folijske materiale v realne modele.

Za neposredno izdelavo se uporabljajo naslednji hitro izdelovalni postopki:

- 3DP – Trirazsežno tiskanje,
- SLS – Selektivno lasersko sintranje,

- SLA – Stereolitografija,
- FDM – Fused Deposition Modeling,
- PolyJet – Trirazsežno tiskanje fotopolimerov.

Naslednja tabela prikazuje primerjavo neposrednih hitro izdelovalnih postopkov.

	Neugodno	Manj ugodno	Ugodno	Zelo ugodno	Priporočljivo
Natančnost	3DP	SLS	FDM	SLA	PolyJet
Hrapavost	3DP	SLS	FDM	SLA	PolyJet
Ločljivost	3DP	SLS	FDM	SLA	PolyJet
Trdnost	3DP	PolyJet	SLA	FDM	SLS
Hitrost	FDM	SLS	SLA	PolyJet	3DP
Cena	FDM	PolyJet	SLA	SLS	3DP

Tabela 1: Primerjava neposrednih hitro izdelovalnih postopkov (www.rapiman.net)

2.3 POSTOPKI DODAJANJA

2.3.1 Stereolitografija – SLA

Pri tehnologiji stereolitografije gre za strjevanje na svetlobo občutljive tekoče plastike. Model nastaja plast za plastjo v koritu, napolnjenim s tekočo plastično maso. Računalnik krmili laserski žarek, ki deluje na ultravijoličnem delu svetlobnega spektra, ta pa povzroči, da se tekočina na obsevni plošči strdi. Po zaključeni izdelavi ene plasti se nosilna osnova (platforma) nekoliko spusti, celotna površina se spet napolni s tekočino in korak se ponavlja, dokler ni izdelan ves objekt. Od debeline plasti in orientacije objekta v kadi je odvisno, kako natančno bo ta izdelan. Tipična debelina ene plasti je med 0,1 in 0,2 milimetra.

Čas izdelave je odvisen od velikosti in zahtevnosti objekta. V povprečju se ena plast strdi v eni ali dveh minutah, to pomeni, da tipičen proces izdelave traja 6 do 12 ur. Po zaključku izdelave mora objekt še v ultravijolično pečico, kjer plastika doseže svojo zahtevano trdnost. Po tej fazi je proces izdelave dokončan, po potrebi lahko objekt še dodatno površinsko obdelamo (brušenje, barvanje) (Gebhardt, 2003, 89).

Poudarki tehnologije SLA:

- prva in najbolj množično uporabljena tehnologija hitre izdelave objektov (prototipov),
- čeprav so cene naprav in surovin visoke, so nižje od cen drugih tehnologij z izjemo najnovejše tehnologije brizganja,
- uporablja na svetlobo občutljivo tekočo plastično maso (surovina, iz katere nastane objekt),
- zahteva dodatno površinsko obdelavo, saj laser sam po sebi ne zagotovi dovolj gladke površine. Tako lahko nastanejo težave, saj preveč brušenja lahko vpliva na kompaktnost (strukturno trdnost) objekta,

- izdelani objekti so krhki (drobljivi), uporaba tekoče plastike v procesu izdelave pa povzroči, da je površina objekta na dotik lepljiva,
- prehodi med plastmi so dokaj izraziti (zato zahteva po brušenju). Predvsem je to lahko problem na osi z – v smeri od spodaj navzgor, kot nastaja objekt (stopničast prehod med plastmi),
- pri izdelavi nekaterih objektov jih je treba med izdelavo dodatno podpreti,
- surovina (tekoča plastika) je lahko strupena in zdravju škodljiva.

2.3.2 Selektivno lasersko sintranje – SLS

Tehnologija SLS je nadgradila tehnologijo SLA, tako da omogoča večjo svobodo pri izbiri materialov. Na voljo imamo široko paleto različnih vrst prahu, kot so poliamid, poliamid s steklenimi vlakni, TPE – material, podoben gumi, prah keramike. Novejše naprave za selektivno lasersko sintranje omogočajo tudi sintranje različnih kovinskih prahov s skupnim komercialnim imenom Laser Form™. Materiali so v obliki finega prahu, ki ga laserski žarek stali. Ne gre torej za strjevanje na svetlobo občutljivih materialov, temveč za toplotno obdelavo. Da pa to ne bi zahtevalo močnega izvora laserja (tipično 50 W CO₂ laser), je prah v procesu izdelave segret na temperaturo malo pod tališčem. Zaradi uporabe prahu je proces izdelave objekta nekoliko drugačen. Napravo sestavljata dve posodi s prahom in transportni mehanizem. Ta prah (surovino) prenese na delovno površino, kjer stali površino, ki je del objekta. Delovna površina se spusti za debelino ene plasti in proces se ponovi, to pot iz druge smeri, dokler objekt ni izdelan. Proces izdelave poteka znotraj nadzorovanega okolja, običajno dušikove komore, kjer prepreči oksidacijo materiala (v skrajnem primeru celo eksplozijo).

Površina s tehnologijo SLS izdelanega izdelka je veliko bolj porozna (luknjičasta) kot površina objekta, narejenega s tehnologijo SLA, kar ima svoje prednosti in slabosti. To je zaradi dejstva, da se delci materiala med seboj povežejo (delci prahu) zaradi delnega in nepopolnega taljenja materiala. Tehnologija zahteva dober nadzor nad temperaturo (moč laserja), saj lahko previsoka temperatura povzroči nepravilno strjevanje ali celo prelivanje stopljenega materiala in s tem nepravilno izdelan objekt. Prednost tehnologije SLS je, da običajno ne zahteva dodatne podpore za nekatere oblike objektov, saj to zagotavlja preostali, nestaljeni prah na delovni površini (Gebhardt, 2003, 116).

Poudarki tehnologije SLS:

- zaradi uporabe drugih surovin je lahko objekt konstrukcijsko močnejši, kar pomeni, da je moč izdelati tudi objekte, ki jih s tehnologijo SLA ni mogoče izdelati,
- laser topi surovino, ki je v stanju finega prahu, na voljo je več različnih materialov, ne le en sam kot pri tehnologiji SLA,
- tudi tu se lahko pojavi problem v stopničasti površini objekta,
- površina objekta je po izdelavi luknjičasta (porozna), zato je tudi v tem primeru priporočljiva površinska obdelava. Brušenje je zaradi tega preprostejše, preprosto je tudi odpraviti napake, nastale med procesom izdelave. Če pa želimo imeti gladko površino, je treba na objekt naknadno nanesti površinsko snov (tesnilno maso), ki zapolni luknjice. Ta še dodatno utrdi objekt.

Materiali:

- poliamid (PA),
- poliamid s steklenimi vlakni (PA + GA).

2.3.3 FDM – Fused Deposition Modeling

Proces izdelave modela po postopku FDM (Fused Deposition Modeling) teče tako, da se material, ki pride v šobo, zaradi visoke temperature stali. Tiskalnik ima dve šobi. Prva je namenjena nanosu osnovnega materiala, druga pa nanosu podpornega materiala. Šoba, ki se premika po ravnini, raztaljeni material nanese na delovno površino. Ko je plast zaključena, tiskalnik delovno področje spusti za debelino plasti in takoj nato začne nanašati naslednji sloj (Dolinšek, 2002, 38).

Modeli, narejeni po postopku 3D-tiska plastične mase ABS po FDM-postopku, so namenjeni prvenstveno oblikovalcem, razvojnikom in tržnikom za prezentacije v zgodnji fazi razvoja novega izdelka. Olajšajo vizualno predstavo izdelka, hkrati pa omogočajo izvedbo sprememb na izdelku pred izdelavo dragih orodij. Izdelani model se lahko naknadno mehansko obdelata in poljubno barva ter tako uporabi kot komponenta za vgradnjo v prototipno napravo, ki je namenjena trženju.

Poudarki tehnologije FDM:

- prototipi za funkcionalna testiranja,
- prototipi za testiranje oblike,
- prototipi, ki morajo biti iz realnega materiala,
- manjše serije.

Materiali:

- ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene),
- ABSi (Methylmethacrylate-Acrylonitrile-Butadiene-Styrene),
- PC (Polycarbonate),
- PPSU (Polyphenylsulfone).

2.3.4 Polyjet – 3D-tiskanje

Postopek Polyjet je eden izmed postopkov hitre izdelave prototipov, ki so se pojavili v zadnjih dvajsetih letih, kolikor je preteklo od pojave stereolitografije na trgu. Kot za vse ostale postopke hitre izdelave prototipov tudi za Polyjet potrebujemo trirazsežni model, izdelan z enim od CAD-paketov, zapisan v STL-formatu. Jedro naprave je tiskalna glava, takšna, kot jo poznamo v velikih industrijskih tiskalnikih, namenjenih tiskanju reklamnih letakov. Namesto barve nanaša tekočo zmes reaktivnih monomerov in oligomerov, ki se strdi pod vplivom ultravijolične svetlobe. Izdelek je takoj pripravljen za uporabo in ne potrebuje nobene naknadne obdelave, razen odstranjevanja podpornega gradiva, ki ga odstranimo s pomočjo visokotlačne črpalke in vode. Lahko pa izdelek tudi peskamo, poliramo, pobarvamo ali kako drugače obdelamo. Izdelki so primerni tudi kot pramodeli za izdelavo silikonskih kalupov, za postopek vakuumskega litja v silikonskih kalupih, ob uporabi posebnih izgorevalnih komor pa tudi za postopke litja z izgubljenim jedrom (1zu1 Prototypen, 2006, 21).

3 RAZVOJ IN UPORABA FORMATA STL

Podatkovni format STL je poligonski (mrežni) zapis, razvit v podjetju 3D Systems za potrebe naprav stereolitografije, ki spada med postopke slojevitih tehnologij. Patent za postopek stereolitografije je bil vložen leta 1984, leta 1986 pa je bilo ustanovljeno podjetje 3D Systems, ki je pričelo izdelovati naprave za izdelavo (prototipnih) izdelkov po postopku stereolitografije.

Zapis STL so kot vhodni zapis povzeli vsi izdelovalci naprav slojevitih tehnologij, s tem je zapis postal standarden zapis za postopke slojevitih tehnologij. Razlog za popularnost je v preprostem zapisu modela, saj STL-format opisuje samo zunanjo površino 3-dimenzionalnega modela brez dodatkov, kot je zapis o barvi, površini ali podobnih CAD-atributih (točke, premice, krivulje in plasti), ki v drugih formatih lahko povzročijo zaplete pri nestandardnih oblikah zapisa in s tem večjo možnost za vnašanje napak na sam model oziroma izdelek (Drstvenšek, 2008, 37).

4 VAKUUMSKO ULIVANJE

4.1 IZDELAVA PLASTIČNIH PROTOTIPOV Z VAKUUMSKIM ULIVANJEM

Osnovni princip izdelave prototipov, izdelanih z vakuumskim ulivanjem (angl. Vacuum casting) temelji na ulivanju dvokomponentnih poliuretanov v silikonske kalupe, cel proces pa se odvija v vakuumski komori. Postopek izdelave zajema izdelavo pramodela (angl. Masterpart), na podlagi tega se izdelava silikonski kalup in v katerega se gravitacijsko uliva izbrani dvokomponentni material. Poenostavljeno, gre za dejansko kopiranje nekega objekta.

4.2 KDAJ IN ZAKAJ IZBIRAMO TOVRSTNO TEHNOLOGIJO?

Prototipi in tako imenovani proizvodi nulte serije izdelkov, izdelanih z vakuumskim ulivanjem, so namenjeni vsem, ki se soočajo s potrebami po visokokakovostnih prototipih. Gre za izdelke, ki se z svojim videzom in tehničnimi lastnostmi zelo približajo končnim serijskim izdelkom. Širok nabor materialov omogoča izdelavo funkcionalnih, dejansko uporabnih izdelkov, od samostojnega kosa, simulacij 2K brizganih izdelkov (izdelek, sestavljen iz dveh različnih materialov) do zahtevnih sestavov. Največja prednost tega postopka je možnost izdelave samo enega izdelka ali pa manjše serije. Tovrstni prototipi so uporabni za namene mehanskih testiranj, marketinških predstavitev, promocije, prodajo končnih izdelkov pred izdelavo serijskih orodij za brizganje, testiranje trga itd.

4.3 IZDELAVA SILIKONSKEGA KALUPA

Najpomembnejši element izdelave kalupa je model oz. pramodel. To je lahko katerikoli predmet, vendar pa se je pri izbiri potrebno ozirati na nekatere zakonitosti, ki nam kasneje olajšajo delo. Kot pramodel niso uporabni predmeti, barvani z barvami na nitro osnovi, saj se silikon okoli takšnega pramodela ne strjuje. Prav tako so problematični porozni modeli. Ker silikon v vakuumu zalije tudi najmanjše pore v modelu, takega modela ni možno izvleči iz kalupa. V redkih primerih, ko nam ne preostane drugega, tak pramodel prej pobarvamo s kitom za brizganje in obrusimo. Taki pramodeli so največkrat izdelani po postopkih 3D-print, SLS (lasersko sintranje) in FDM (ABS 3D-print).

Pomembna lastnost silikonskih kalupov je, da z njihovo uporabo vedno dobimo popolno kopijo pramodela. Torej tudi njegove eventualno slabe površine ali netočne mere zaradi ročne obdelave. Samo za primer, silikonski kalup na polirani površini skopira tudi prstni odtis ali pa lasersko označen logotip.

Zaradi omenjenih razlogov je potrebna uporaba uporabnejših tehnologij. Najprimernejši sta prototipni tehnologiji SLA in PolyJet. Pramodeli, izdelani na tak način, so predvsem mersko zelo natančni (plasti do 0,0016 mm) in niso porozni. Različne površine modela dosegamo z brušenjem, poliranjem ali s peskanjem. Prav tako pri njihovi uporabi ne prihaja do raznih kemijskih reakcij s silikonom.

V drugi fazi postopka izdelave kalupa se na pramodel nalepi pozitiv dolivnega kanala in eventualno odzračevalnih poti. Sledi izdelava zunanjega okvira kalupa. S pomočjo dodanih podpornih elementov se pramodel 'obesi' v prostor na sredini pripravljene okvirja. Kalup je pripravljen na ulivanje silikona.

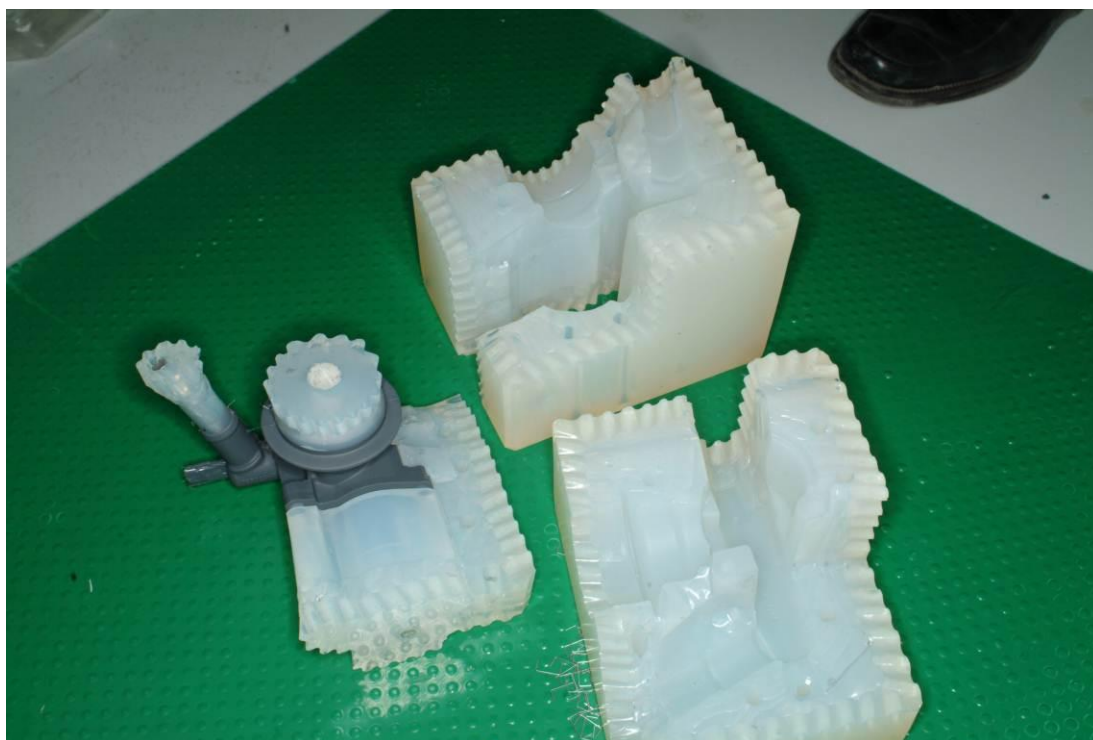


Slika 3: Pramodel, pripravljen za ulivanje silikona

Iz dvokomponentnega silikona je potrebno pred ulivanjem v prazen kalup odstraniti čim več zračnih mehurčkov. V ta namen ga pred in po ulivanju vakuumiramo, torej za določen čas izpostavimo vakuumu. Napake v silikonskem kalupu, nastale zaradi mehurčkov zraka, se odražajo v slabih ulitkih.

Silikon se strjuje približno 12 ur. Po končanem procesu strjevanja silikonsko kocko z zalitim pramodelom odstranimo iz okvirja. Modelar, največkrat s skalpelom, razreže silikonsko kocko po namišljenih delilnih predelih. Pri enostavnih pramodelih gre za razrez na dve polovici, pri zahtevnejših modelih pa je tak razrezan kalup lahko tudi iz več kot desetih delov.

Sledi še zadnja faza. Iz razrezanega kalupa se odstrani pramodel in tako dobimo odprtino popolnoma enake oblike kot pramodel z dodanim livnim sistemom. Potrebno je še sestavljanje delov kalupa, fiksiranje teh in silikonski kalup je pripravljen na ulivanje dvokomponentnih materialov.



Slika 4: Prerezan kalup

4.4 VAKUUMSKO ULIVANJE

Izraz vakuumsko ulivanje nam pove, da gre za gravitacijsko litje dvokomponentnih materialov v vakuumski komori oz. vakuumu. Vakuum je pri celotnem postopku izdelave tovrstnih izdelkov najpomembnejši faktor, saj nam zagotavlja popolno zalitost materiala v kalup. Vakuumska črpalka dobesedno izsesa ves zrak iz kalupa in okolice. Prav tako v izdelkih ni mehurčkov raznih plinov, ki nastanejo pri reakciji A- in B-komponente materiala.

Postopek ulivanja v kalup se prične z natančnim odmerjanjem A- in B-komponente materiala (dvokomponentni poliuretan). V osnovi gre za mešanico izocianata in poliola, odmerjenega po navodilih proizvajalca. Posamezne komponente doziramo posamično, v dve ločeni posodi. V eno po potrebi dodajamo razne pigmente, odvisno od barvnih zahtev. Obe posodi ločeno vstavimo v mešalni mehanizem v komori. Po določenem času vakuumiranja obeh ločenih komponent pričnemo z mešanjem. Premični podstavek posode ene od komponent jo prelije v posodo z drugo. Rotirajoča mešalna lopatica premeša tekoči material, vseskozi v vakuumu. Vsak material ima zaradi hitre reakcije obeh komponent določen čas (angl. Gel time), v katerem mora priti do ulivanja v kalup. Časi ulivanja so torej odvisni od materiala in določeni s strani proizvajalcev. Ulivanje v kalup poteka po istem principu kot zlivanje komponent. Premični podstavek posode z materialom zlije material v lijak, ki je s cevjo povezan s kalupom. Material steče v kalup in popolnoma zalije vse odprtine.

Po ulivanju vsak material potrebuje določen čas, da se strdi, oziroma da pride do zahtevane trdnosti. Časi lahko močno variirajo od materiala do materiala, od 15 minut pa do nekaj ur, včasih tudi dni. Podatki o časih in zahtevanih posebnih pogojih pri strjevanju so določeni s strani proizvajalcev materialov. Življenjska doba enega kalupa se giblje od deset do približno štirideset ponovitev ulivanja. Razlog za to je največkrat agresivnost tekočega materiala, ki z vsako ponovitvijo malenkost poškoduje kalup. Druga postavka je tehnična zahtevnost kosa, saj kos iz kalupa vzamemo ročno in silikon včasih ne vzdrži mehanskih obremenitev. Vedno je življenjska doba odvisna od same geometrije ulitka.

Sledi samo še razstavljanje kalupa in odrezovanje livnega sistema. Končane plastične izdelke lahko po potrebi dodatno brusimo, poliramo, peskamo, barvamo ... Na določene materiale je možen tudi nanos raznih krom in drugih efektov.



Slika 5: Primer odlivka

Tehnične lastnosti izdelkov, izdelanih z vakuumskim litjem, ki jih naročnik lahko izbira za svoje prototipe oz. izdelke:

- trdota Shore A in D,
- barve, prosojne in neprosojne po RAL, PANTONE, HKS (barvne lestvice),
- temperaturna obstojnost,
- elastičnost,
- trdnost.

5 UPORABA PROTOTIPNIH TEHNOLOGIJ ZA IZDELAVO KOVINSKIH SUROVCEV

Z razvojem prototipnih tehnologij so se pojavili novi načini izdelave kovinskih surovcev oz. ulitkov. Zaradi potreb po vedno večji uporabnosti hitro izdelanih prototipov in zahtev o identičnosti prototipa s serijskim izdelkom so proizvajalci prototipnih naprav svoje izdelke pripeljali do točke, kjer lahko te tehnologije uporabimo kot del standardnega proizvodnega procesa. Logično ti postopki zahtevajo nov način razmišljanja in prinašajo marsikatero prednost.

Ena izmed uporabnejših tehnologij s koreninami v prototipnih sferah je prav gotovo Voxjet 3D-tiskanje livarskih kalupov oz. form. Postopek združuje lastnosti hitre prototipne izdelave in serijske proizvodnje ulitkov. Zapolnjuje časovno in finančno nišo med CAD-datoteko in prvim uporabnim kosom.

5.1 3D-TISKANJE LIVARSKIH FORM

Je način izdelave form in jeder, za katero naročnik potrebuje samo 3D-datoteko forme z ali brez jeder, odvisno od izdelka. Ti CAD-objekti se v fazi pred tiskanjem virtualno razporedijo po delovnem volumnu 3D-tiskalnika. Zatam lahko tiskalnik prične z nanašanjem materiala oz. 3D-tiskanjem. Osnovna gradnika sta kremenčev pesek in furanska smola. Kot dodatno možnost lahko uporabimo tudi andaluzit. Ko tiskalnik razprostre plast peska, industrijska tiskalniška glava injekt na pesek nabrizga plast furanske smole v obliki ene plasti izdelka. Podatek o obliki določene plasti tiskalniku da za to posebej razvita programska oprema. Za lažjo predstavo, gre za princip razreza objekta, podoben tomografiji. Natiskana furanska smola se vpije v pesek in ga otrdi na želenih pozicijah. Sledi nov nanos peska, nova plast smole in tako ponavljajoče do konca procesa. Po zaključku je cilinder, poln vezanega in nevezanega peska, takoj pripravljen na čiščenje. S sesanjem in izpihovanjem se nestrjeni pesek odstrani, ostanejo 3D natisnjeni objekti, identični CAD-datotekam form in jeder. Sledita samo še transport do livarne in litje izbranega materiala.



Slika 6: Livarska forma (interno gradivo Chemets d.o.o.)

5.2 KONSTRUIRANJE IN PRIPRAVA DATOTEK

Kot je bilo že rečeno, je za tovrstno izdelavo potrebna le 3D-datoteka. Uporabni so vsi modelirni programi 3D, ki omogočajo izvoz datotek v STL-format. Konstruiranje livarskih form za namene 3D-tiskanja se v določenih zakonitostih razlikuje od zahtevnega konstruiranja serijskih orodij. Predvsem pri konstruiranju ni omejitev glede negativnih, zaprtih kotov, zahtevnega zapiranja delov forme in glede oblik. Tehnologija 3D-tiskanja omogoča izdelavo praktično kakršne koli oblike. Konstruktor lahko odmisli dileme in zahteve glede odpiranja orodja in številčnosti vložkov. Edini pogoj pri konstruiranju zelenih datotek je, da tehnik v proizvodnji lahko očisti nevezan kremenčev pesek iz trdne 3D natiskane forme ali jedra. Ostane le še konstruiranje osnovnih livarskih elementov, kot so livni sistem z napajalniki, odzračevanjem, pozicijo filtrov ... V največ primerih gre torej za dodajanje pozitivna livnega sistema kosu (v 3D CAD-okolju), določitev zunanje oblike forme in odštevanje enega dela od drugega.

5.3 MATERIALI IN TEHNIČNI PODATKI

Osnovni gradbeni material form in jeder sta kremenčev pesek ali andaluzit, odvisno od vrste taline, ki se bo uporabljala. Za uporabo barvnih kovin in njihovih zlitin je primernejši kremenčev pesek, za litje talin pri temperaturah taline nad 1300 °C pa je primernejši andaluzit (za litje do 1600 °C). Granulacije peska so lahko različne in stvar izbire: od 90 do 200 µm srednje velikosti zrn. Debeline plasti tiskanja so prav tako različne – od 200 do 400 µm. Kombinacija izbrane granulacije peska, debelina plasti in vsebnosti veziva (furan od 0,9 do 1,3 %) omogoča tudi opcijsko izbiranje plinopropustnosti.

Proces 3D-tiskanja se izvaja na dveh različnih modelih 3D-tiskalnikov. Prvi omogoča izdelavo kosov do velikosti 1500 x 750 x 700 mm, drugi pa z delovnim prostorom 4000 x 2000 x 1000 mm predstavlja trenutno največji tovrstni 3D-tiskalnik na svetu. Natančnost izdelanih form in jeder se giblje v okviru 0,1 % in je odvisna od granulacije peska. Resolucija tiskalniške glave je 300 dpi, povprečna hitrost tiskanja se giblje nad 20 l/h oziroma cca 1 cm višine/h.

5.4 UPORABNOST IN CENE

Za prve izračune cen so potrebne 3D-datoteke zelenih izdelkov. V večini primerov gre za STL-datoteke form in jeder, pripravljenih za izdelavo in takojšnjo uporabo. Ponudnik 3D-tiskanja za izdelavo predračuna uporabi več različnih postavk:

- X-, Y-, Z-dimenzije kosov,
- kompleksnost oblik (za predvidevanje časa čiščenja),
- izbrani material in debelina plasti,
- dobavni rok.

Ravno dobavni rok je eden izmed pomembnejših faktorjev, saj je izdelava možna v izbranem roku od 3 do 21 dni. Razlika v ceni med skrajnima časovnima variantama lahko doseže tudi 60 % (odvisno tudi od drugih faktorjev).

Uporabnost ulitkov, izdelanih z uporabo 3D-tiskanih form, se kaže na več nivojih, odvisno od potreb in specifičnosti posameznega izdelka. Izstopata časovni in finančni prihranek. Za primer vzemimo postopek izdelave z uporabo modelov in modeliranja livarskega peska. Vsak model potrebuje natančno določitev delilnih ravnin, običajno jih potrebujemo več. Podobno je pri jedrih in izdelavi jedrovnikov. Čas in kompleksnost modelov zato marsikdaj predstavljajo ogromne časovne in finančne stroške, ki pri 3D-tiskanju lahko odpadejo ali pa se občutno znižajo. Uporaba klasičnih postopkov se pri večjih serijah lahko pokaže kot primernejša, vendar pa v nasprotnem primeru, ko je prisotna potreba po nekaj kosih surovca v nekaj dneh, izbira postopkov 3D-tiskanja form in takojšnjega litja prekaša vse klasične tehnologije.

6 RAZISKAVA UPORABE TEHNOLOGIJ HITRE IZDELAVE PROTOTIPOV

6.1 METODOLOGIJA

Raziskovalna metoda – anketa

Raziskovalni inštrument – vprašalnik z vprašanji

Vzorčna enota – podjetja na področju Slovenije

Velikost vzorca – 70 podjetij

Oblika komuniciranja – preko e-pošte, forum na strokovnem spletnem portalu strojništvo.com, vprašalnik na svetovnem spletu

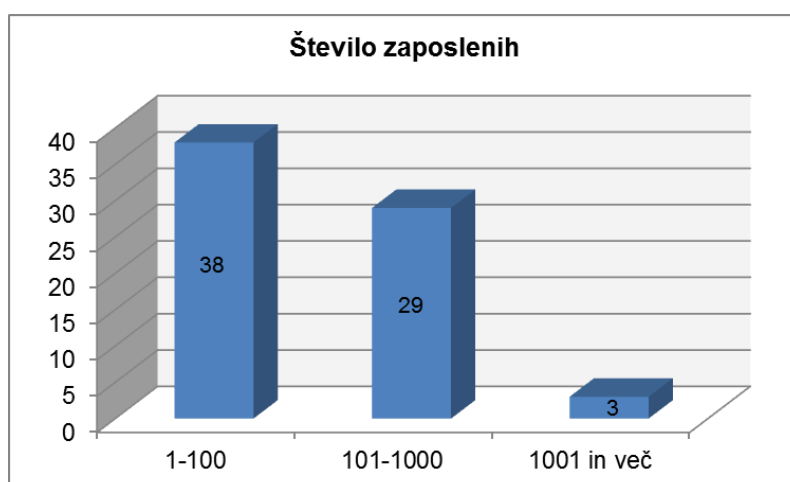
Vprašalnik smo naslovili na osebe, ki se v podjetjih ukvarjajo z razvojem izdelkov. V vzorec smo vključili manjša in večja slovenska podjetja. Za takšen način pridobivanja podatkov smo se odločili zaradi preglednosti pridobljenih podatkov in hitre odzivnosti. Vprašalnik je bil sestavljen iz 10 vprašanj, ki so anketirancem omogočala enostavno odgovarjanje.

6.2 REZULTATI IN UGOTOVITVE RAZISKAVE

Najprej smo preverili velikost podjetij, v katerih uporabljajo tehnologije hitre izdelave prototipov za razvoj izdelkov. Iz analize pridobljenih podatkov smo ugotovili, da večina manjših podjetij porablja nove tehnologije. Hitro izdelujejo prototipe tudi v naših največjih podjetjih. Še vedno pa obstajajo tudi podjetja, ki se držijo tradicionalnih metod, temelječih na odvzemanju materiala. Večinoma so to srednje velika podjetja.

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
1–100	38	54,3 %
101–1000	29	41,4 %
1001 in več	3	4,3 %
SKUPAJ:	70	100,0 %

Tabela 2: Število zaposlenih

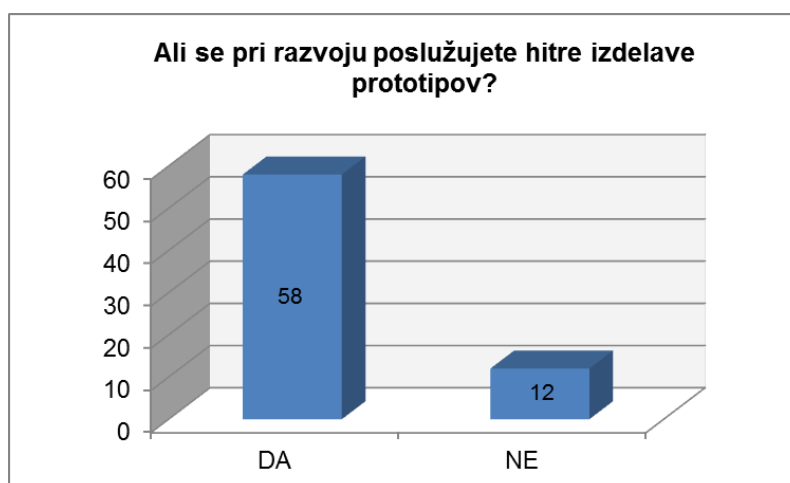


Slika 7: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 2

Ker je bil eden glavnih ciljev naše naloge ugotoviti, ali v naših podjetjih uporabljajo nove tehnologije in v kolikšni meri, smo to preverili na najpreprostejši način. Ker sta bila možna samo dva odgovora, smo lahko natančno ugotovili razmerje. Ugotovitve glede uporabe hitre izdelave prototipov so po rezultatih ankete zelo zadovoljive. Vse več podjetij se zaveda, da pospešeni tehnični razvoj in čedalje večja konkurenca skrajšujeta povprečno življenjsko dobo izdelkov na tržišču. Trgu je potrebno ponujati vseskozi nove in izpopolnjene izdelke. Prav hitra izdelava prototipov pa je lahko pri tem odločilnega pomena.

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
DA	58	82,9 %
NE	12	17,1 %
SKUPAJ:	70	100,0 %

Tabela 3: Ali pri razvoju uporabljate tehniko hitre izdelave prototipov?



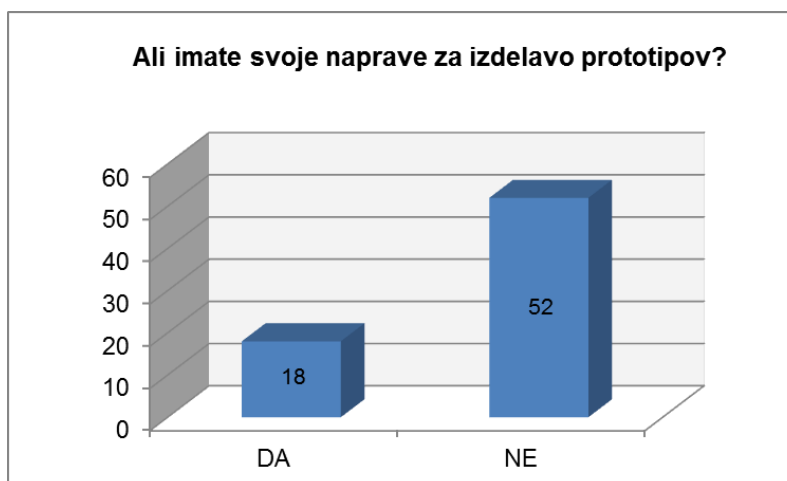
Slika 8: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 3

Da lahko podjetje upravičeno investira v tehnologijo za hitro izdelavo prototipov, morajo biti potrebe po teh storitvah velike. Stroj za izdelavo prototipov mora delati vsaj polovico razpoložljivega časa, da je investicija ekonomsko upravičena, saj je cena teh sistemov zelo visoka. Tehnologije se razvijajo hitro, sistemi pa so vse večji in hitrejši. Pojavljajo se novi materiali z boljšimi in vse bolj realnimi lastnostmi. Nakup opreme se mora izplačati najkasneje v dveh letih, nato pa je sistem zastarel in ne more več konkurirati novejšim in hitrejšim sistemom. Poleg investicije v opremo je za te tehnologije potrebno veliko investirati v pripravo in opremo prostorov ter kader. Veliko tehnologij je občutljivih na spremembe atmosfere, v kateri delajo (sprememba temperature in vlage). Prav tako se uporabljajo tudi materiali, ki so škodljivi zdravju ali pa ob uporabi sproščajo strupene pline.

Prav zaradi vseh teh razlogov zaenkrat v slovenskih podjetjih ni veliko naprav za hitro izdelavo prototipov. Podjetja brez svojih naprav koristijo storitve prototipnih storitvenih servisov. Preko storitvenih servisov lahko dobimo prototipe, narejene s katerokoli tehnologijo hitre izdelave prototipov. Ker se ta podjetja ukvarjajo izključno s prototipnimi storitvami, imajo veliko znanja, tako lahko svetujejo pri uporabi najprimernejše. Do pred kratkim so takšni servisi obstajali samo v tujini, sedaj pa jih je nekaj tudi v Sloveniji.

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
DA	18	25,7 %
NE	52	74,3 %
SKUPAJ:	70	100,0 %

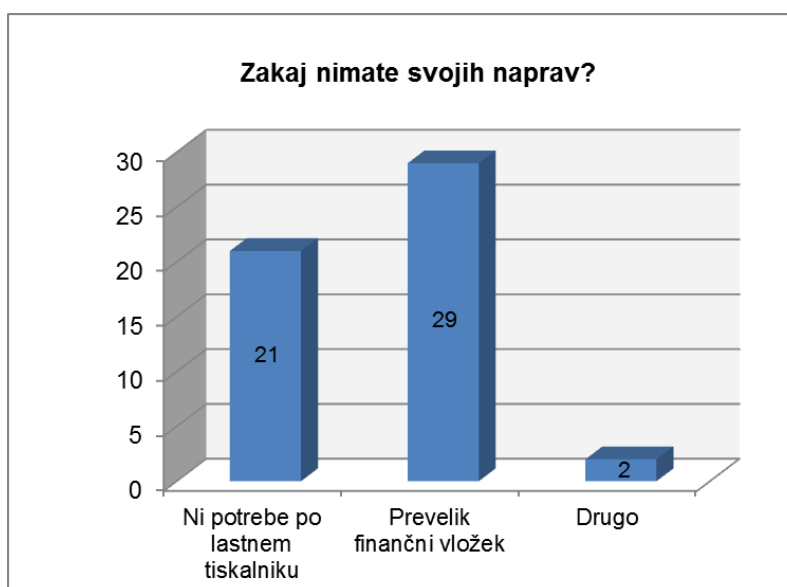
Tabela 4: Ali imate svoje naprave za izdelavo prototipov?



Slika 9: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 4

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
Ni potrebe po lastnem tiskalniku	21	40,4 %
Prevelik finančni vložek	29	55,8 %
Drugo	2	3,8 %
SKUPAJ:	52	100,0 %

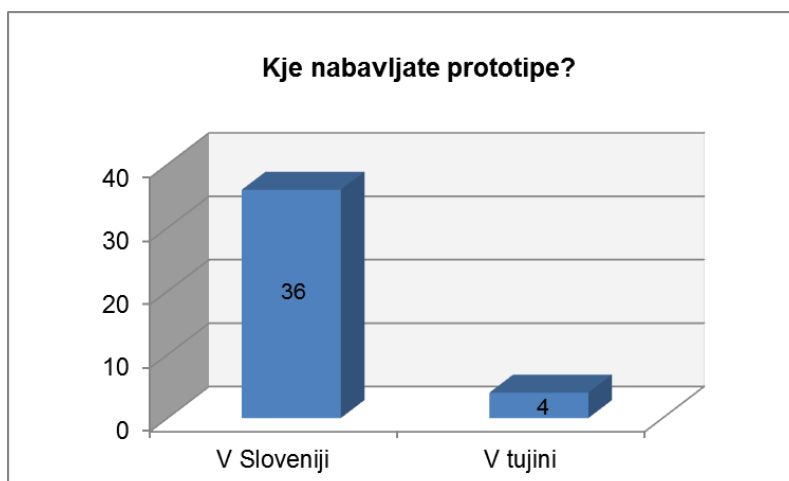
Tabela 5: Zakaj nimate svojih naprav?



Slika 10: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 5

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
V Sloveniji	36	90,0 %
V tujini	4	10,0 %
SKUPAJ:	40	100,0 %

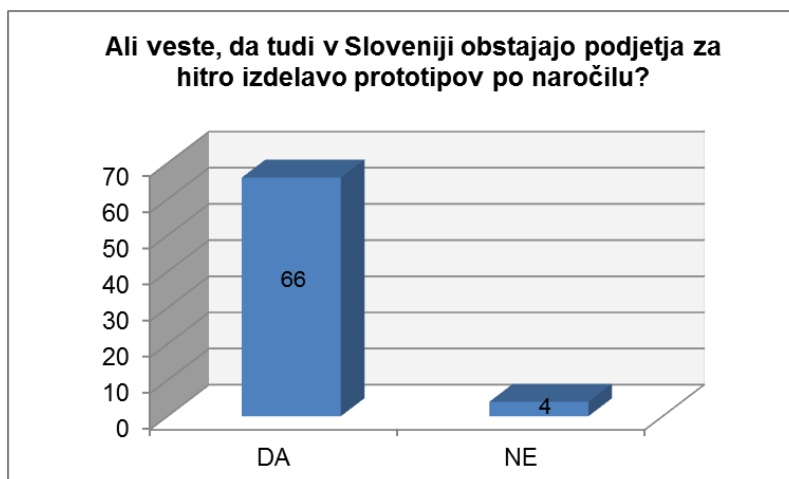
Tabela 6: Kje nabavljate prototipe?



Slika 11: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 6

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
DA	66	94,3 %
NE	4	5,7 %
SKUPAJ:	70	100,0 %

Tabela 7: Ali veste, da tudi v Sloveniji obstajajo podjetja za hitro izdelavo prototipov po naročilu?



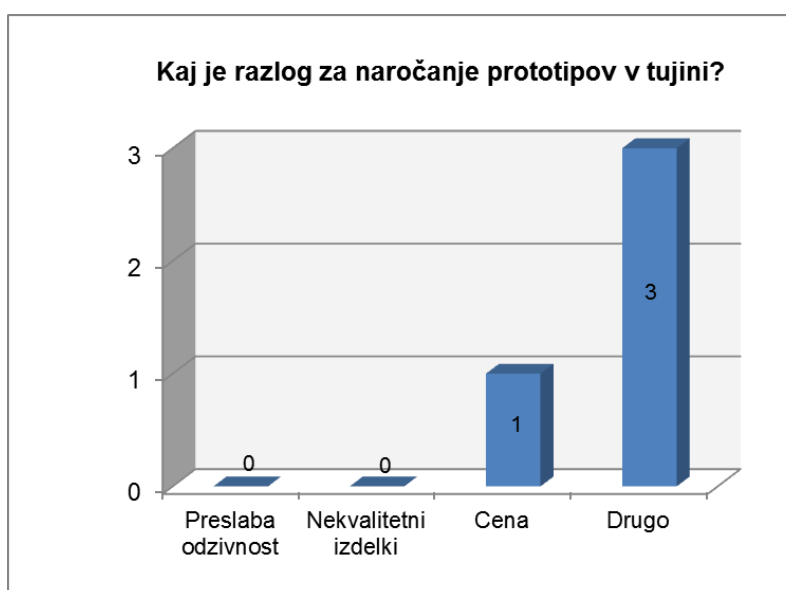
Slika 12: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 7

V anketi nas je tudi zanimalo, kje podjetja, ki nimajo svojih naprav, nabavljajo prototipe. Velika večina se je že preusmerila na domače storitvene servise, nekaj pa jih še vedno bolj zaupa tujim. Pri teh, ki nabavljajo v tujini, gre za nezaupanje in nepoznavanje naših ponudnikov teh storitev. Vsi kazalci pa kažejo, da bodo v prihodnosti tudi ti prešli na domače servise. Ti so v večini primerov cenovno ugodnejši, odzivnost je hitrejša, pa tudi kvaliteta ne zaostaja. Komunikacija med

servisom in stranko je veliko enostavnejša in bolj osebna v primeru izbire domačega dobavitelja. Če pride do nejasnosti ali pa sprememb projektov, se lahko stranki zelo hitro srečata in dogovorita.

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
Preslaba odzivnost	0	0,0 %
Nekvalitetni izdelki	0	0,0 %
Cena	1	20,0 %
Drugo	3	80,0 %
SKUPAJ:	4	100,0 %

Tabela 8: Kaj je razlog za naročanje prototipov v tujini?

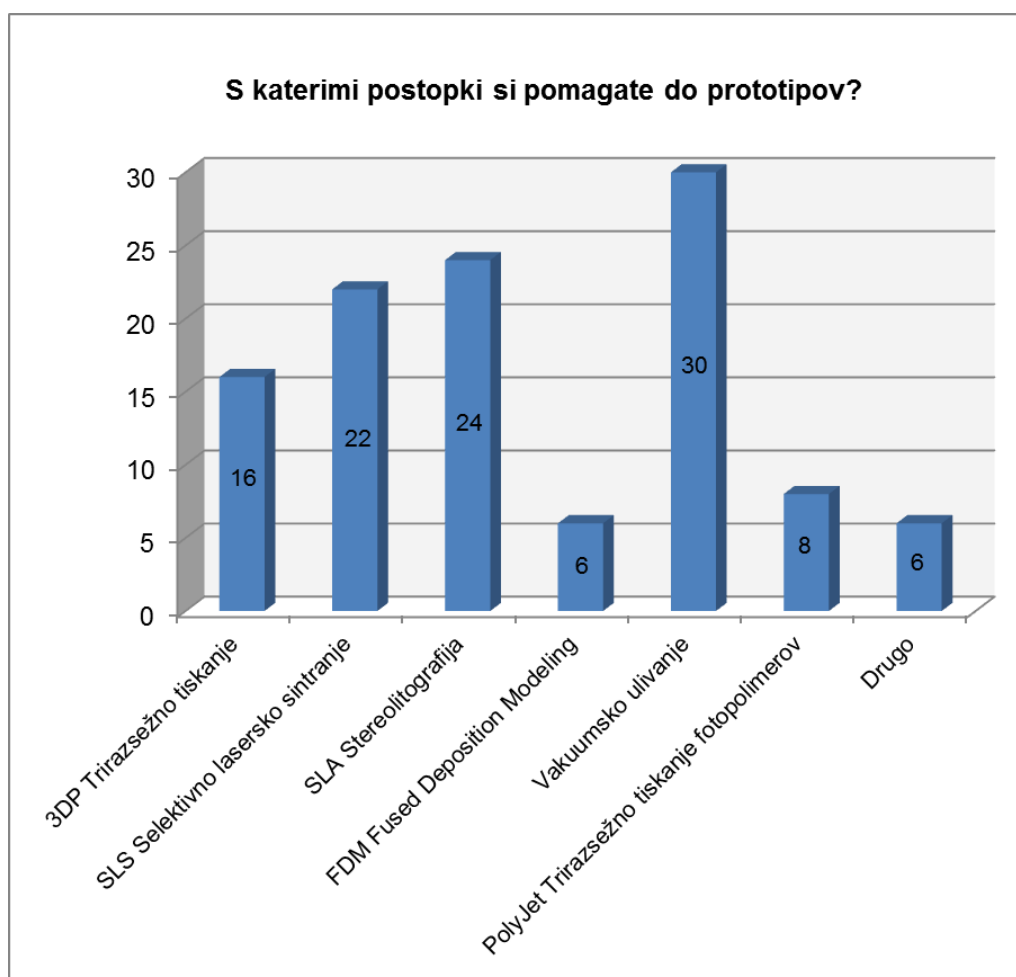


Slika 13: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 8

Odgovori za izbor	Odgovori	Delež
3DP – Trirazsežno tiskanje	16	14,3 %
SLS – Selektivno lasersko sintranje	22	19,6 %
SLA – Stereolitografija	24	21,4 %
FDM – Fused Deposition Modeling	6	5,4 %
Vakuumsko ulivanje	30	26,8 %
PolyJet Trirazsežno tiskanje ftopolimerov	8	7,1 %
Drugo	6	5,4 %
SKUPAJ:	112	100,0 %

Tabela 9: S katerimi postopki si pomagata do prototipov?

Vsaka izmed zgoraj naštetih tehnologij ima svoje področje, na katerem je najbolj primerna za uporabo. Iz odgovorov lahko razberemo podatek, da večina podjetij ne uporablja samo ene tehnologije za izdelavo prototipov. Največkrat jih kombinirajo. Za izdelavo prototipov največkrat uporabljajo naprave, zasnovane na dodajanju materiala. Stereolitografija je bila prva tehnika, ki se je uporabljala pri PR in je posledično tudi največkrat uporabljena. Zelo zanimiv je tudi podatek, da sami printi niso več dovolj. Zelo pogosto jih uporabijo kot modele za izdelavo kalupov za vakuumsko litje. Uporaba naprav za vakuumsko litje je omogočila izdelavo prototipov iz materialov, ki so identični končnim izdelkom tako po videzu kakor po mehanskih lastnostih. Iz tabele, pa tudi iz izkušenj, je razvidno, da je tehnologija vakuumskega ulivanja zelo razširjena med uporabniki, saj je izdelek možno testirati in spremljati odziv potencialnih kupcev.



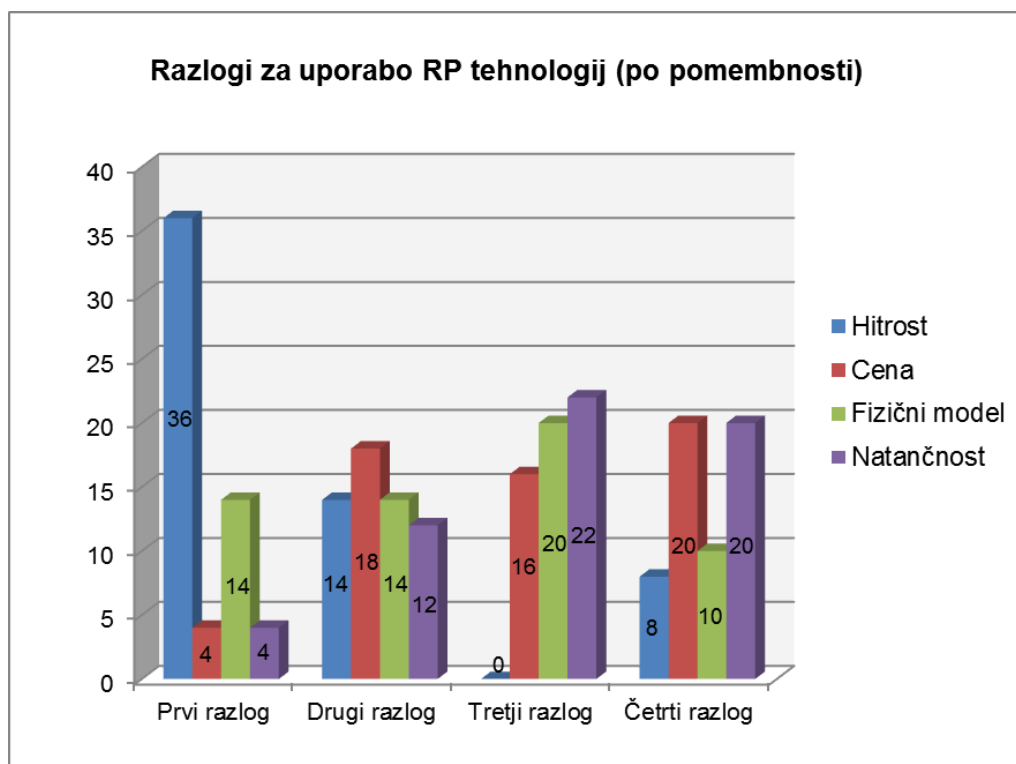
Slika 14: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 9

Anketirancem smo zastavili vprašanje o razlogih za uporabo tehnologij hitre izdelave prototipov. Ponudili smo jim štiri možne odgovore, ki so jih morali razvrstiti po pomembnosti odločitve od najpomembnejšega do najmanj pomembnega razloga. Že na prvi pogled je razvidno, da je glavni razlog hitrost, s katero pridejo do samega fizičnega modela. Drugi najpomembnejši razlog je fizični model. Z virtualnim modelom si v prvi fazi še lahko pomagamo in testiramo ujemanje sestavnih delov, za praktični preizkus pa potrebujemo prototipe. Natančnost izdelave in cena sta pri

odločitvah manj pomembni, vendar ne nepomembni. Pri stroških razvoja izdelka je cena izdelave prototipov zanemarljiva in tega se odgovorni zavedajo. Tudi natančnost razumljivo ni najpomembnejši razlog, saj za preverjanje sestavov in videza bodočega izdelka v veliki večini niso potrebne gladke površine in mersko ujemanje. Manjša odstopanja ne predstavljajo problemov, če pa so potrebe, pa je možna tudi natančna izdelava.

Odgovori za izbor	Prvi razlog	Drugi razlog	Tretji razlog	Četrti razlog
Hitrost	36	14	0	8
Cena	4	18	16	20
Fizični model	14	14	20	10
Natančnost	4	12	22	20
SKUPAJ:	58	58	58	58

Tabela 10: Razlogi za uporabo tehnologij RP (po pomembnosti)



Slika 15: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 10

7 SKLEP

Dejstvo je, da se evropska in s tem tudi slovenska proizvodnja soočata s konkurenco iz dežel z nizko plačanim delom. Da bomo lahko preživel, je nujen prehod na proizvodnjo izdelkov in storitev z veliko dodano vrednostjo. Med take proizvode nedvomno sodi izdelava z dodajalnimi postopki. Nudi nam možnost izdelave prototipov, orodij in končnih izdelkov.

Hitra izdelava prototipov je v rabi v številnih panogah. Največja uporabnika hitre izdelave prototipov sta industrija izdelkov široke potrošnje in avtomobilska industrija, vse več prototipnih storitev pa uporablja tudi medicina.

Hiter razvoj izdelka je ključen za uspešnost podjetja. Pri tem si lahko pomagamo z uporabo novih tehnologij in načini razvoja. Tehnologija, ki je vse bolj pomembna pri razvoju izdelka, je hitra izdelava prototipov in orodij. Izbira tehnologij je velika, zato je treba dobro poznati različne možnosti uporabe. S tem lahko optimiziramo razvojni proces ter zmanjšamo čas in stroške razvoja. Slojevite tehnologije omogočajo izdelavo do pred kratkim nemogočih oblik, kar je bila na začetku tudi njihova edinstvena prednost pred klasičnimi postopki.

Oblika vpliva zgolj na nekaj specifičnih tehnologij iz slojevitih tehnologij, bodisi zaradi dragega podpornega materiala ali težav pri odstranjevanju podpornega materiala iz problematičnih odsekov. Tehnologije, ki za podporo uporabljajo podporen material, drugačen od modelnega, oziroma so podpore izdelane iz modelnega materiala, vendar jih je potrebno odstraniti, so dražje od tehnologij, kjer je podporni material enak modelnemu in se po izdelavi lahko ponovno uporabi. Poraba materiala in posledično vpliv na okolje je manjši, vendar ne smemo prezreti različnih cen osnovnega materiala samega. Cene materialov se namreč močno razlikujejo. Pri ceni izdelka moramo upoštevati amortizacijo naprave, ceno in porabo materiala, strojne ure in strošek operaterja, obenem pa ne smemo pozabiti na osnovno vprašanje, kakšen izdelek sploh želimo (material, barva, mehanske lastnosti in kvaliteta površine). Vse to določa optimalni izdelovalni postopek.

Izbira tehnologije je tudi pomembna za določanje časa, potrebnega za finalizacijo izdelka. Čas poobdelave je danes precej zahtevno določiti, proizvajalci naprav pa bi ga najraje izpustili, čeprav vpliva na čas izdelave. Hitra izdelava prototipov ima glavno prednost ravno v prihranku časa.

LITERATURA IN VIRI

- Dolinšek, S., Miani, F. (2002). *Tehnološki razvoj in industrijska rast*. Izlake: Regionalni tehnološki center Zasavje
- Drstvenšek, I., Dolinšek, S. (2008). *Additive Layered Manufacturing: From Evolution to Revolution*. Maribor: Strojna fakulteta.
- Gebhardt, A. (2003). *Rapid Prototyping*. München: Carl Hanser Verlag.
- Milfelner, M. (2009). *IRT 3000*, št. 19 (1/2009).
- TCT magazine 2008: Tattenhall, UK, Rapid News Publication
- Interno gradivo podjetja 1zu1 Prototypen GmbH & Co (2006)
- <http://www.rapiman.net/index.php?pid=26&sid=26&mid=16>

PRILOGE

Priloga 1: Anketni obrazec

ANKETA

Hitra izdelava prototipov RP

1. Naziv podjetja, v katerem ste zaposleni.

2. Število zaposlenih.

|

3. Ali pri razvoju uporabljate hitre izdelave prototipov?

- da
 ne

4. Ali imate svoje naprave za izdelavo prototipov?

- da
 ne

5. Zakaj ne?

- Ni potrebe po lastnem tiskalniku
 Prevelik finančni vložek
 Drugo:

6. Kje nabavljate prototipe?

- V Sloveniji
 V tujini

7. Ali veste, da tudi v Sloveniji obstajajo podjetja za hitro izdelavo prototipov po naročilu?

- da
 ne

8. Kaj je razlog za naročanje prototipov v tujini?

- Preslaba odzivnost
 Nekvalitetni izdelki
 Cena
 Drugo:

9. S katerimi postopki si pomagata do prototipov?

- 3DP – Trirazsežno tiskanje
 SLS – Selektivno lasersko sintranje
 SLA – Stereolitografija
 FDM – Fused Deposition Modeling
 Vakuumsko ulivanje
 PolyJet Trirazsežno tiskanje fotopolimerov
 Drugo:

10. Razlogi za uporabo RP tehnologij.

Hitrost izdelave	<input type="text"/>
Cena	<input type="text"/>
Fizični model	<input type="text"/>
Natančnost	<input type="text"/>

KAZALO SLIK

Slika 1: Tradicionalna metoda (Dolinšek, 2002, 34).....	3
Slika 2: Hitra izdelava prototipov (Dolinšek, 2002, 34).....	3
Slika 3: Pramodel, pripravljen za ulivanje silikona	10
Slika 4: Prerezan kalup	11
Slika 5: Primer odlivka.....	12
Slika 6: Livarska forma (interno gradivo Chemets d.o.o.)	13
Slika 7: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 2	17
Slika 8: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 3	17
Slika 9: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 4	18
Slika 10: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 5	19
Slika 11: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 6	20
Slika 12: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 7	20
Slika 13: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 8	21
Slika 14: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 9	22
Slika 15: Grafični prikaz rezultatov iz tabele 10	23

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava neposrednih hitro izdelovalnih postopkov (www.rapiman.net) .	5
Tabela 2: Število zaposlenih.....	16
Tabela 3: Ali pri razvoju uporabljate tehniko hitre izdelave prototipov?	17
Tabela 4: Ali imate svoje naprave za izdelavo prototipov?.....	18
Tabela 5: Zakaj nimate svojih naprav?	19
Tabela 6: Kje nabavljate prototipe?	19
Tabela 7: Ali veste, da tudi v Sloveniji obstajajo podjetja za hitro izdelavo prototipov po naročilu?.....	20
Tabela 8: Kaj je razlog za naročanje prototipov v tujini?	21
Tabela 9: S katerimi postopki si pomagata do prototipov?	21
Tabela 10: Razlogi za uporabo tehnologij RP (po pomembnosti)	23

KRATICE IN AKRONIMI

SLS – selektivno lasersko sintranje

STL – oblika zapisa razvitega za uporabo v stereolitografiji

SLA – stereolitografija

FDM – Fused Deposition Modeling

3DP – trirazsežno tiskanje

CAD – računalniško podprti dizajn

RP – hitra izdelava prototipov

ABS – Acrylonitrile-Butadiene-Styrene

ABSi – Methylmethacrylate-Acrylonitrile-Butadiene-Styrene

PC – Polycarbonate

PPSU – Polyphenylsulfone