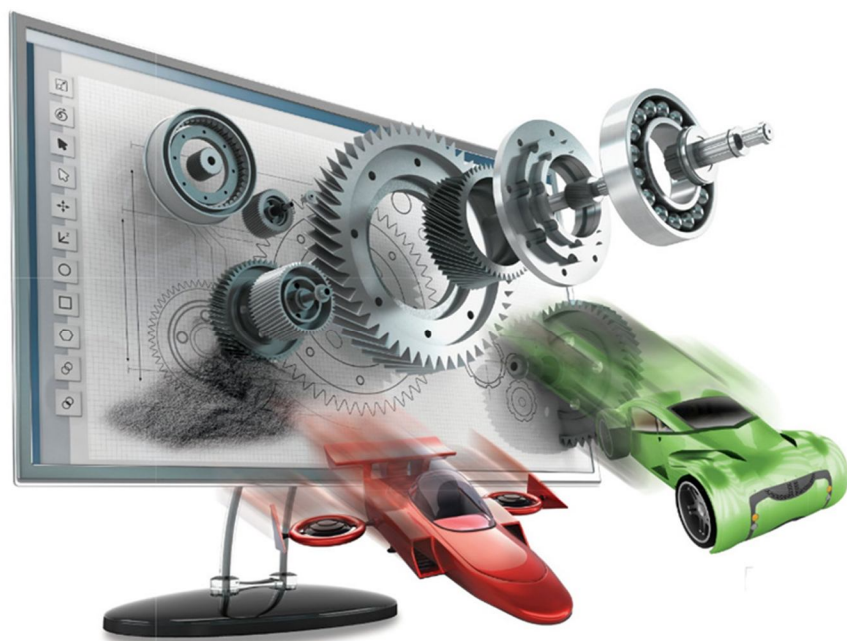


**Alan Topčić**  
**Edin Cerjaković**

# **IZRADA PROTOTIPA**



**Tuzla, 2014. godine**

Alan Topčić  
Edin Cerjaković

---

# **IZRADA PROTOTIPA**

---

I IZDANJE

Tuzla, 2014. godine

## IZRADA PROTOTIPA

<i>Autori:</i>	<i>dr. sc. Alan Topčić, vanredni profesor, dipl.inž.maš. dr. sc. Edin Cerjaković, docent, dipl.inž.maš.</i>
<i>Izdavači:</i>	<i>Alan Topčić i Edin Cerjaković</i>
<i>Štampa:</i>	<i>FAMIS d.o.o. Mostar</i>
<i>Urednik:</i>	<i>dr. sc. Alan Topčić, vanredni profesor, dipl.inž.maš.</i>
<i>Recenzenti:</i>	<i>dr. sc. Džemo Tufekčić, redovni profesor, dipl.inž.maš. dr. sc. Milan Jurković, profesor emeritus, dipl.inž.maš.</i>
<i>Tehnička obrada:</i>	<i>dr. sc. Alan Topčić, vanredni profesor, dipl.inž.maš.</i>
<i>Dizajn naslovnice:</i>	<i>dr. sc. Alan Topčić, vanredni profesor, dipl.inž.maš.</i>
<i>Tiraž:</i>	<i>300 primjeraka</i>

***Objavljivanje ove knjige i status ovoga djela kao univerzitetske knjige odobrilo je Vijeće Grupačija tehničkih nauka Univerziteta u Tuzli odlukom broj: 10/2-5120/14.5. od 03.09.2014. godine i Senat Univerziteta u Tuzli odlukom broj: 03-6270-7/14 od 15.10.2014. godine***

-----  
CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Nacionalna i univerzitetska biblioteka  
Bosne i Hercegovine, Sarajevo

[658.5-025.13:004.896\(075.8\)](#)

TOPČIĆ, Alan

Izrada prototipa / Alan Topčić, Edin  
Cerjaković. - Tuzla : autori, 2014. - [238] str. :  
ilustr. ; 20 cm

Bibliografija: str. [202-214].

ISBN [978-9958-0374-0-5](#)

1. Cerjaković, Edin  
COBISS.BH-ID 21619974  
-----

***Nijedan dio ove knjige ne smije se umnožavati, fotokopirati, skenirati niti na bilo koji način reproducirati ili distribuirati bez pisane saglasnosti vlasnika copyright.***

***Copyright © Alan Topčić***

## **PREDGOVOR**

Savremene proizvodne kompanije koje žele da održe i unaprijede svoju konkurentnost na globalom tržištu prisiljene su da sistematski unaprjeđuju postojeće i iznalaze nove načine za snižavanje troškova poslovanja u svim aspektima svoga djelovanja, kao i da iznalaze nove niše primjene postojećih proizvoda, metoda i procesa. Proizvod kao centar poslovnih aktivnosti proizvodnih kompanije predstavlja temelj razvoja i opstanka, te samo kompanije koje su u stanju da brzo, efikasno i troškovno učinkovito reagiraju na tržišne zahtjeve prilagođavajući svoje proizvode istim imaju šansu ne samo da opstanu nego i da unaprijede svoje poslovanje.

Tržište kao osnovni orijentir naspram zahtijeva korisnika sa jedne strane, te razvoj opštih i specijalističkih spoznaja kao i tehničko-tehnoloških dostignuća sa druge strane predstavljaju nepresušan izvor informacija koji ukoliko se adekvatno sagledaju, prate i implementiraju, omogućava proizvodnim kompanijama stalne prilike za unaprjeđenje proizvoda, ali i procesa, što najčešće rezultira tržišno konkurentnim proizvodom. Kako bi određeni proizvod od ideje evoluirao do konačnog tržišno prihvaćenog proizvoda neophodno je da prođe kroz niz sistemski uređenih aktivnosti uobličjenih u proces razvoja/redizajna proizvoda i svih aktivnosti koje prate proces lansiranja proizvoda na tržište. Proces razvoja/redizajna proizvoda, kao jedna od fundamentalnih poslovnih aktivnosti svake proizvodne kompanije, predstavlja veoma skupu aktivnost koja ponekada usprkos uložnim trudu i sredstvima ne rezultira željenim ishodom. Zbog toga, kontrola i nadasve snižavanje troškova procesa razvoja/redizajna proizvoda kao i iznalaženje adekvatnog puta za njegovu uspješnu realizaciju predstavlja jedan od prioriteta kome se treba posvetiti značajna pažnja.

Jedna od sistemskih aktivnosti procesa razvoja/redizajna proizvoda koja u značajnoj mjeri može unaprijediti i osigurati adekvatne spoznaje o proizvodu u gotovo svim fazama procesa, te koja se često ponovi i po nekoliko puta u različitim stadijima procesa razvoja/redizajna proizvoda jeste izrada prototipa. Upotreba prototipa u procesu razvoja/redizajna proizvoda postaje jedan od nezaobilaznih segmenata koji ide dotle da proizvodnja prototipa i spoznaje koje isti osigurava razvojnom timu često predstavlja presudni kriterij za okončanje jedne i otpočinjanje druge faza u procesu razvoja/redizajna proizvoda.

Savremena inženjerska praksa poznaje više načina proizvodnje prototipa, a svaki od njih ima niz specifičnosti koje se ogledaju u mogućnosti primjene prototipa, tačnosti njegove proizvodnje, primijenjenim materijalima, načinima i procesima koji se koriste za njihovu proizvodnju, te troškovima koji su vezani za proces proizvodnje

prototipa. Izbor adekvatnog načina proizvodnje prototipa u funkciji njegove namjene predstavlja ozbiljnu aktivnosti koja ukoliko se ne realizira na adekvatan način može značajno da poveća ukupne troškove procesa razvoja/redizajna proizvoda.

Činjenica jeste da na našima prostorima postoji određen broj publikacija koje u većoj ili manjoj mjeri sagledavaju problematiku izrade prototipa ili tretiraju neke od metoda za proizvodnju istih, međutim, autori su smatrali za shodno da uvažavajući spomenute publikacije, suvremene trendove u svijetu, te vlastita iskustva vezana za proces izrade prototipa daju svoj doprinos razvoju oblasti proizvodnje prototipa kroz ovaj udžbenik. Na ovaj način autori su pokušali na jednom mjestu objediniti što je moguće veći broj teorijskih i praktičnih informacija o procesima, načinima, mogućnostima, prednostima, ograničenjima, materijalima, raspoloživom hardveru i softverskim rješenjima kako bi se potencijalnim čitaocima ovoga udžbenika osigurale adekvatne informacije i dala osnovna saznanja vezana za proces izrade prototipa, te mogućnosti primjene istih u svakodnevnoj praksi.

Sadržaj udžbenika prvenstveno je namijenjen studentima tehničkih fakulteta prvog i drugog ciklusa studija, projektantima, istraživačima, uposlenicima razvojnih centara, ali i svim drugim pojedincima tehničke struke koji se u svojoj svakodnevnoj praksi susreću sa problematikom izrade prototipa i mogućnosti koje primjena istih pruža. Osim toga, udžbenik svojim sadržajem može poslužiti i svim drugim zainteresiranim pojedincima koji žele dublje da sagledaju mogućnosti primjene prototipa, kao i procesa koji se koriste pri njihovoj proizvodnji u različitim područjima ljudskih djelatnosti (medicina, stomatologija, industrija nakita, industrija igračaka, ...).

Ovu priliku autori koriste da izraze svoju duboku zahvalnost i poštovanje cijenjenim recenzentima dr.sc. Džemi Tufekčiću, red.prof. (Mašinski fakultet Univerziteta u Tuzli) i dr.sc. Milanu Jurkoviću, prof. emeritus (Tehnički fakultet Univerziteta u Bihaću) na nesebično uloženom vremenu i trudu, korisnim savjetima i prijedlozima koji su značajno doprinijeli unaprijeđenju kvaliteta udžbenika u cijelosti.

Polazeći od pretpostavke da se rezultat svake aktivnosti može unaprijediti i poboljšati, da zahtijeva određene prilagodbe vezane za napredovanje stanja nauke i tehnike, te dostignuća iz oblasti tematike tretirane u udžbeniku autori udžbenika će sa zahvalnošću prihvatiti sve korisne primjedbe, prijedloge i sugestije kako bi se kvaliteta narednih izdanja podigla na viši nivo, otklonile eventualno uočene greške, te se sadržaj udžbenika dodatno približio potencijalnim čitaocima.

*A u t o r i*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. POJAM PROTOTIPA</b>	<b>5</b>
2.1. Vrste prototipa	7
2.2. Razlike između prototipa i proizvodne varijante proizvoda	12
2.3. Prednosti i nedostaci izrade prototipa	13
2.4. Namjena prototipa	14
2.5. Faze procesa izrade prototipa	17
<b>3. FIZIČKI PROTOTIP</b>	<b>21</b>
<b>4. TRADICIONALNE METODE PROIZVODNJE FIZIČKIH PROTOTIPA</b>	<b>25</b>
4.1. Proizvodnja prototipa metodama ručne obrade	27
4.1.1. Proizvodnja prototipa od gline	27
4.1.2. Proizvodnja prototipa od drveta	30
4.1.3. Proizvodnja prototipa od „mekanih“ materijala	31
4.1.4. Ostale metode ručne proizvodnje prototipa	31
4.2. Proizvodnja prototipa metodama mašinske obrade	32
4.2.1. Proizvodnja prototipa obradom skidanjem materijala	34
4.2.2. Proizvodnja prototipa obradom deformacijom	36
4.2.3. Proizvodnja prototipa ostalim postupcima mašinske obrade	40
<b>5. BRZA IZRADA PROTOTIPA</b>	<b>45</b>
5.1. Opšti principi rada RP procesa	48
5.1.1. Pred-procesuiranje	48
5.1.1.1. <i>Podšavanje mašine za neposredan proces proizvodnje</i>	49

5.1.1.2. <i>Pred-procesuiranje podataka</i>	51
<i>Kreiranje podataka</i>	52
<i>Zajednički format razmjene podataka</i>	53
<i>STL format podataka</i>	56
<i>Validnost STL modela</i>	59
<i>Orijentacija modela u radnoj komori mašine</i>	63
<i>Naknada – kompenzacija</i>	64
<i>Generiranje strukture oslonaca</i>	66
5.1.2. Neposredna proizvodnje RP dijela	68
5.1.3. Naknadna obrada - postprocesuiranje	70
5.2. Vrste RP procesa	72
5.3. Prednosti i nedostaci RP procesa	79
5.4. Korisnici i područje primjene	83
5.5. Proizvođači RP sistema i opreme	89
5.6. Stereolitografija	93
5.7. DLP fotopolimerizacija	105
5.8. Selektivno lasersko sinterovanje	108
5.9. Trodimenzionalno štampanje	118
5.10. Trodimenzionalno štampanje fotopolimera	133
5.11. Trodimenzionalno štampanje termoplastičnih materijala	140
5.12. Trodimenzionalno štampanje metala	145
5.13. Nanošenje materijala ekstrudiranjem	151
5.14. Proizvodnja objekata laminiranjem	157
5.15. Komparativna analiza RP procesa	163
<b>6. NEKONVENCIONALNE METODE PROIZVODNJE PROTOTIPA</b>	<b>177</b>
<b>7. VIRTUALNI PROTOTIP</b>	<b>183</b>

# 1

## 1. UVOD

Razvoj informacionih tehnologija i Interneta rezultirao je globalizacijom tokova informacija, te omogućio efikasan način prijenosa, pohranjivanja i širenja opštih i specifičnih znanja i vještina. Na ovaj način određena specifična znanja i vještine izgubile su ekskluzivitet velikih, izdašno financiranih, razvojnih centara u Zapadnoj Evropi, USA i Japanu, te su postala globalno dostupna. Kao rezultat navedenog trenda u zemljama u razvoju koje su na vrijeme prepoznale potencijal i mogućnosti novoga doba, te uspjele da prate sveopšte trendove informatizacije svih aspekata društva, poslovnih i proizvodnih procesa, postepeno se razvila visoko obrazovana i kvalitetna radna snaga sposobna da ovlada suvremenim organizacionim konceptima i tehnologijama kao i da iznađe niz novih mogućnosti primjene istih. Direktni rezultat navedenog procesa jeste proboj niza novih, jeftinijih i kvalitetnih proizvoda popraćen značajnim povećanjem broja kvalificiranih proizvođača iz zemalja u razvoju na otvorenom globalnom tržištu, koje je do tada bilo pod apsolutnom kontrolom visokorazvijenih zemalja, čime je došlo do određenih poremećaja što je prisililo sve one koji žele da osiguraju dugoročnu egzistenciju, prosperitet i kompetentnost da se prilagode novim uslovima. Da bi u tome uspjele proizvodne kompanije širom svijeta moraju odgovoriti zahtjevima tržišta u dužem vremenskom periodu, a sve u uslovima kada tržište kontinuirano postavlja sve složenije zahtjeve u pogledu cijene, kvaliteta i brzine osvajanja novih i redizajna postojećih proizvoda.

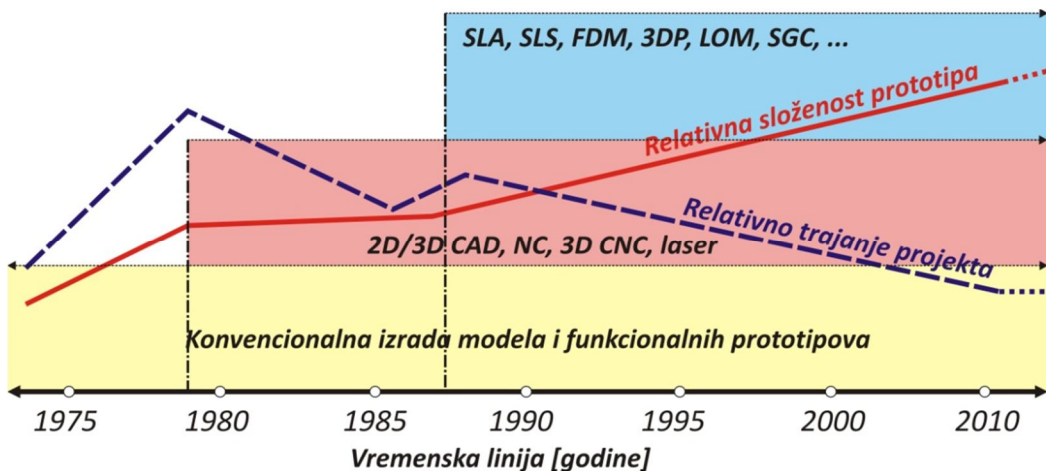
Bitno je napomenuti da se sa aspekta problematike prezentirane u ovome udžbeniku pod pojmom proizvoda podrazumijeva fizički opipljiv proizvod (a ne ideja ili usluga) sa jasno definiranim oblikom i pripadajućim fizičkim karakteristikama, te svim svojim sveukupnim opipljivim i neopipljivim karakteristikama, uključujući funkcionalne, socijalne i psihološke koristi i zadovoljstva. Kako bi se od ideje za novi ili za redizajn postojećeg proizvoda došlo do konkretnog proizvoda spremnog za proces proizvodnje



i lansiranje na tržište neophodna je realizacija niza sistemskih koraka od razrade koncepta, dizajna, izrade tehničke dokumentacije, preko izrade prototipa, testiranja prototipa, izmjena nedostataka i ispravljanje grešaka, odabira proizvodne tehnologije, izrade i projektovanja tehničko-tehnološke dokumentacije, te na kraju neposredne proizvodnje proizvoda. Reduciranje potrebnog vremena i troškova za realizaciju navedenih aktivnosti je jedan od važnijih faktora kako bi se moglo efikasno reagovati na zahtjeve tržišta i osigurati konkurentnost na tržištu.

Jedna od aktivnosti koja u navedenom procesu razvoja/redizajna proizvoda značajno utječe na ukupni utrošak vremenskih i finansijskih resursa jeste proces izrade prototipa. Sam proces izrade prototipa i adekvatne primjene istih u skladu sa postavljenim zahtjevima podrazumijeva sveobuhvatno poznavanje problematike, te mogućnosti i ograničenja različitih pristupa proizvodnji prototipa što je rezultiralo uskim specijalizacijama određenog broja stručnjaka za proizvodnju prototipa u brojnim industrijskim djelatnostima.

Nezaobilazna činjenica jeste da u procesu razvoja/redizajna proizvoda faza izrade, evaluiranja i testiranja prototipa predstavlja jednu od odlučujućih aktivnosti koja često daje „zeleno svjetlo“ za nastavak realizacije procesa ili isti vraća korak unazad uzrokujući nepovratni gubitak vremena i finansijskih sredstava. Navedeno posebno dolazi do izražaja ukoliko se sagledaju sve izraženija vremenska ograničenja procesa razvoja/redizajna proizvoda što je imalo direktnog utjecaja na dugogodišnju praksu izrade prototipa u proizvodno-razvojnem procesu, slika 1.1.



Slika 1.1. Vrijeme trajanja projekta i kompleksnost proizvoda sa aspekta izrade prototipa

Zadnjih 20-tak godina, potreba za kraćim rokovima razvoja novih proizvoda i smanjenja troškova istog, uz paralelno povećanje sveukupne složenosti proizvoda, natjerala je proizvodne kompanije na iznalaženje novih učinkovitih načina proizvodnje prototipa što je u konačnici rezultiralo značajnim promjenama u samom poimanju i načinu procesa proizvodnje prototipa općenito, te širom otvorilo vrata brojnim drugim aplikacijama procesa koji su prvobitno striktno bili namijenjeni izradi prototipa. Ti novi

koncepti proizvodnje prototipa, zasnovani na posve novom pristupu procesu proizvodnje fizičkih dijelova (tzv. slojevita proizvodnja), u značajnoj mjeri su otklonili brojne prepreke vezane za geometrijska ograničenja dijelova koji se proizvode, reducirali su vrijeme proizvodnje koje po prvi puta nije funkcionalno zavisno od geometrijske složenosti proizvoda, snizili su troškove proizvodnje prototipa, te su doveli do razvoja sasvim novih proizvodnih koncepata prepoznatih u suvremenoj literaturi kao brza proizvodnja (eng. *Rapid Manufacturing*).

Paralelno sa razvojem i evolucijom novih pristupa proizvodnji prototipa, postojeće tradicionalne metode proizvodnje prototipa, zahvaljujući brojnim iskoracima i unaprijeđenijima tradicionalnih procesa proizvodnje šire svoje aplikativne mogućnosti pri proizvodnji prototipa, u određenoj mjeri smanjuju troškove i vrijeme potrebno za realizaciju procesa proizvodnje prototipa, te na taj načini i dalje osiguravaju svoje mjesto pri proizvodnji prototipa.

Naravno namjena prototipa u procesu razvoja/redizajna proizvoda, ili njegova upotreba kao gotovog proizvoda za određene namjene (npr. marketinške aktivnosti) u značajnoj mjeri je utjecala na načine poimanja samoga prototipa, ali i načina proizvodnje.

Prvobitno poimanje prototipa podrazumijeva fizičku opipljivu prezentaciju određenih aspekata ili cjelokupnog razvijanog/redizajniranog proizvoda koja ima za cilj da pomogne dizajnerima, inženjerima, investitorima i bilo kome ko učestvuje u datom projektu, da vizualizira, razumije, simulira, analizira, optimira, testira, itd. određene aspekte proizvoda koji se razvija/redizajnira. Posmatranjem realnog fizičkog prototipa određenog stepena konkretizacije (funkcija faze procesa razvoja/redizajna proizvoda) moguće je lakše uočiti određene propuste, konstruktivne greške, eventualne poteškoće u proizvodnji, montaži i sklapanju, te pravovremeno reagirati kako bi se iste otklonile. Cijeneći činjenicu da troškovi otklanjanja eventualno uočenih nedostataka značajno rastu sa porastom stepena konkretizacije (faze) proizvoda u procesu razvoja/redizajna proizvoda tj. što je proizvod bliži finalnoj proizvodnji to su i korekcije određenih nedostataka skuplje, navedeno direktno implicira da bi bilo preporučljivo pristupiti proizvodnji prototipa u najranijim fazama procesa razvoja/redizajna proizvoda. Međutim, sa druge strane proces izrade fizičkog prototipa zahtijeva ulaganje značajnih finansijskih sredstava kako u opremu tako i u stručno osposobljen kadar što u kombinaciji sa prethodno iznesenim zahtijeva određivanje adekvatne mjere i trenutka kada i kako pristupiti proizvodnji fizičkog prototipa. Terminiranje trenutka proizvodnje fizičkog prototipa uglavnom je vezano za određene ključne faze procesa razvoja/redizajna proizvoda kada troškovi proizvodnje istog opravdavaju vrijednost rizika povezanog sa troškovima eventualno neuočenog propusta u razvijanom konceptu. Određivanje načina proizvodnje fizičkog prototipa je direktno u funkciji namjene prototipa uz obavezno sagledavanje troškova kao i dostupnih modaliteta proizvodnje istog.

Razvojem informacionih tehnologija i dostupnih softverskih rješenja, te jačanjem hardverskih komponenti dolazi do razvoja nove forme prototipa u

virtualnom okruženju unutar CAD radnog okruženja poznatog pod nazivom virtualno prototipiranje. Na ovaj način se u značajnoj mjeri snižavaju troškovi i vrijeme proizvodnje prototipa uz određeni stepen reprezentativnosti istog. Naime, usprkos evidentnom razvoju svih segmenata IT sektora danas virtualni prototip ipak ima određena ograničenja koja se prvenstveno ogledaju u ergonomske, funkcionalne, osjetilne, prostorne i drugim aspektima, te ne omogućava realizaciju testiranja razvijanog/redizajniranog proizvoda u realnom okruženju. Usprkos navedenom razvoju brojnih softverskih modula i alata svakim danom se sve više šire aplikativne mogućnosti i tačnost podataka dobivenih na osnovu virtualnih prototipova, olakšava se kreiranje i manipulacija istim, a uočeni nedostaci se sve lakše korigiraju. Bitno je napomenuti da virtualni prototipovi danas predstavljaju i nezamjenjivu osnovu za proizvodnju fizičkih prototipova određenim proizvodnim procesima, pri čemu se prvenstveno misli na procese brze izrade prototipa, ali i pri generiranju upravljačkih instrukcija za određene konvencionalne pristupe proizvodnji prototipa, npr. CNC mašinska obrada.

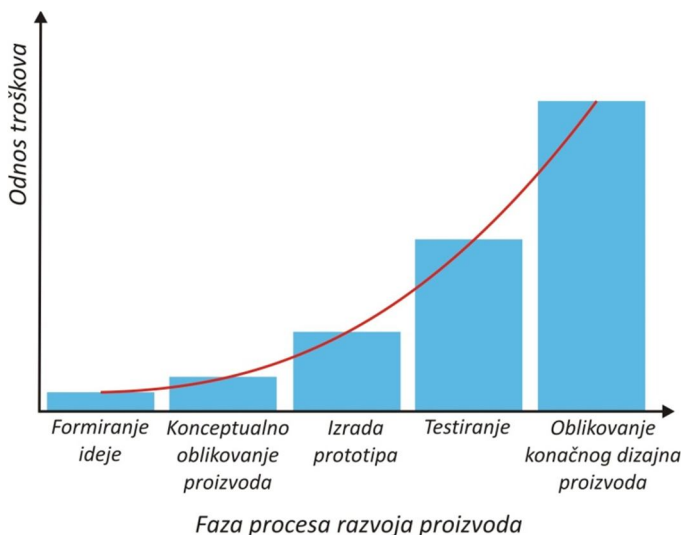
# 2

## 2. POJAM PROTOTIPA

Procesa razvoja proizvoda kroz sve svoje faze (stvaranje ideje, planiranje proizvoda, konceptualno oblikovanje, izrada prototipa, testiranje, definiranje konačnog dizajna proizvoda, izrada tehničke dokumentacije) predstavlja iterativni, korak po korak proces kojim se u svakoj fazi vrši unaprjeđenje polazne osnove proizvoda u skladu sa unaprijed definiranim kriterijima u gotov proizvod. Savremeni trendovi u procesu razvoja proizvoda jasno ukazuju na činjenicu da se navedeni proces treba sistemski sagledavati, da njegova realizacije zahtijeva koordiniranu timsku aktivnost većeg broja stručnjaka iz različitih oblasti, te da njegova realizacija zahtijeva ulaganje značajnih materijalnih i finansijskih sredstava bez jasne garancije da će rezultirati tržišno kompetitivnim proizvodom. Dakle, racionalno upravljanje resursima koji stoje na raspolaganju razvojnom timu predstavlja jedan od ključnih zahtijeva kako bi se osigurala ekonomičnost procesa razvoja proizvoda.

Više od polovine troškova procesa razvoja proizvoda otpada na početnu fazu oblikovanja konceptualnog rješenja proizvoda, te provjeru konačnog dizajna proizvoda, pri čemu značajan utrošak vremena odlazi na oblikovanje i redizajniranje proizvoda u skladu sa željenim zahtjevima, pa je jasno da uštede načinjene u ovim fazama mogu biti veoma značajne. Činjenica da je u sam proces razvoja proizvoda uključen manji ili veći broj pojedinaca različitih personalnih osobnosti, različitih stručnih nivoa i područja, te da se radi o sekvencijalnom procesu zasigurno može dovesti do međusobnog nerazumijevanja, određenih previda i nastanka grešaka koje se neopaženo mogu „provući“ kroz više faza i biti otkrivene naknadno u najgorem slučaju na potpuno razvijenom proizvodu koji je lansiran na tržište. Naravno, ukoliko se procesu razvoja proizvoda prilazi sistemski (a ne stihijski) tada su na raspolaganju brojne procedure kojima se nastoji čim prije uočiti eventualna greška i spriječiti njeno „propagiranje“ kroz sljedeće faze. Ovo je bitno zbog činjenice da su troškovi promjene

prethodno prihvaćenih rješenja različiti, te da zavise od faze u kojoj je greška uočena i u kojoj se promjena vrši. Što je proizvod bliži neposrednoj proizvodnji, to izmjene i otklanjanje eventualno uočenih grešaka zahtijeva više vremena i naravno rezultira značajnim povećanjem troškova procesa razvoja proizvoda, slika 2.1.



Slika 2.1. Odnos visine troškova i vremena neophodnog za otklanjanje eventualnih grešaka u funkciji faze procesa razvoja proizvoda

Napretkom kompjuterske tehnike, a posebno CAD/CAM softverskih rješenja koji svoj rad zasnivaju na parametriziranim objektima, promjene određenih rješenja u osnovnom dizajnu mogu se vršiti uz minimalne napore, dok pojedine tehnike proizvodnje prototipa osiguravaju relativno brzu i jeftinu proizvodnju fizičkih trodimenzionalnih prototipova direktno iz CAD datoteka. Na ovaj način se osiguravaju pretpostavke za jasnu i nedvosmislenu prezentaciju ideja i koncepata u svim fazama razvoja proizvoda, za kreiranje konačnog proizvoda koji će u potpunosti zadovoljiti zamisli dizajnera i želje korisnika u skladu sa postavljenim kriterijima, te da neće doći do nepotrebnih troškova promjene prethodno usvojenih rješenja u naknadnim fazama procesa razvoja proizvoda ili čak u industrijskoj proizvodnji razvijenih proizvoda.

Riječ prototip predstavlja izvedenicu grčkih riječi „πρωτος“ (protos) = prvi i „τύπος“ (tipos) = impresija, odnosno „πρωτότυπον“ (prototipon) = primitivna forma [1]. Shodno tome, opšta definicija prototipa može se formulirati kao: „Prototip je prvi ili originalni primjerak nečega što je ili će biti umnožavano ili razvijano“. Međutim, s obzirom na široku upotrebu pojma prototipa u praksi, koje prethodno navedena definicija ne pokriva, za definiciju prototipa može se uzeti i sljedeća sveobuhvatnija formulacija: *Prototip je prvi, izvorni oblik, tip, primjer, proizvoda/sistema ili nekog njegovog dijela u odgovarajućoj formi namijenjenog za različite vidove ispitivanja, testiranja (funkcionalna, ergonomska, mehanička, sigurnosna, ...) i upotrebe u ovisnosti od karakteristika samoga prototipa i područja implementacije novo razvijenog proizvoda/sistema.*

Navedena formulacija pojma prototipa odstupa od opšte prihvaćenog shvaćanja prototipa kao fizičkog objekta – proizvoda najčešće namijenjenog za ispitivanja i testiranja prije prelaska u serijsku proizvodnju, te kao takva objedinjava razne vrste prototipova koji se pojavljuju i koriste u različitim fazama procesa razvoja proizvoda kao što su: matematski modeli, skice, gipsani modeli, fizičke aproksimacije proizvoda, virtualni modeli, itd. (slika 2.2).



Slika 2.2. Prototip utičnice s produžnim kablom - Rambler Socket, dizajner Meysam Movahedi

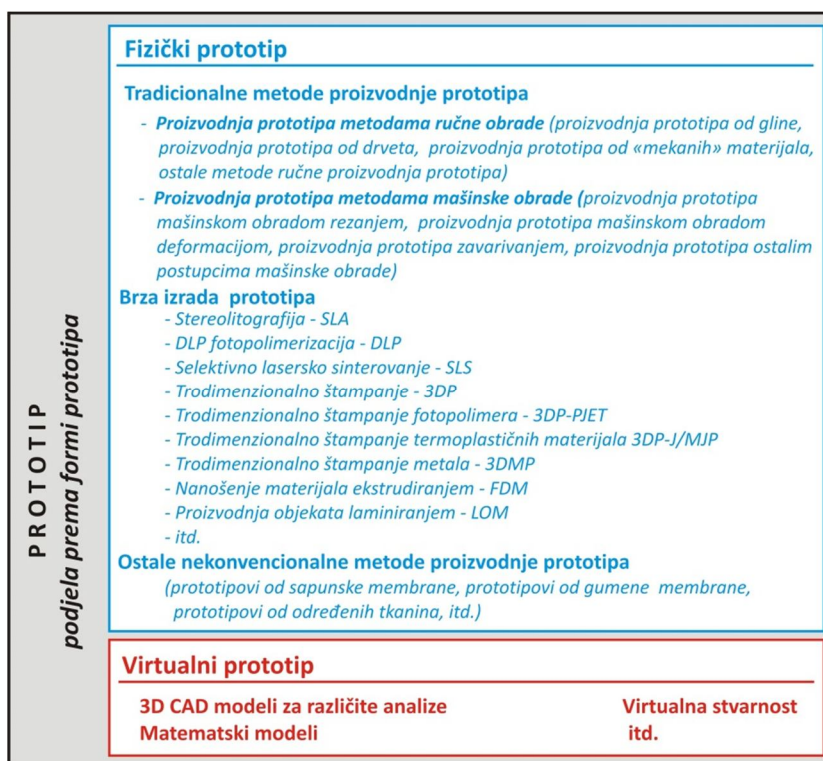
## 2.1. Vrste prototipa

Vjekovima postoji praksa da se dizajn određenog proizvoda potvrđuje proizvodnjom njegovog fizičkog modela kroz izradu prototipa - prototajping (eng. *Prototyping*), slika 2.3. Međutim, u današnje vrijeme izrada prototipa kao važnog dijela procesa razvoja proizvoda, obuhvata različite aktivnosti od oblikovanja, optimiranja i izvođenja simulacija na kompjuteru (virtualni prototip) do izrade realnog, opipljivog, funkcionalnog dijela (fizički prototip).



Slika 2.3. Proizvodnja fizičkog prototipa automobila u glini: 1961. godine American Motors Corporation- AMC (desno) [2], moderni razvojni studio (lijevo) [3]

Sukladno naprijed iznesenom moguće je konstatirati da se sa aspekta pojavnog oblika prototipa tj. njegove forme razlikuju fizički i virtualni prototipovi (slika 2.4) što je neposredno povezano sa namjenom prototipa (slika 2.5, tabela 2.1). Sa jedne strane su virtualni prototipovi koji ne moraju biti opipljivi, često u nekoj drugoj formi osim fizičke (na primjer, matematički model). Ovakvi prototipovi se proučavaju i analiziraju. Zaključci koji iz toga slijede zasnovani su samo na poznatim principima nauke koji postoje u datom trenutku. Glavni nedostatak ovakvih prototipova je nemogućnost predviđanja nepoznatih okolnosti. S druge strane, fizički prototip je opipljiva manifestacija proizvoda i često se koristi za testiranje i eksperimente. Ne mora da posjeduje punu funkcionalnost, pa ipak je neprocjenjiv za ocjenu brojnih karakteristika proizvoda. Nešto više o virtualnom i fizičkom prototipiranju će biti riječi u narednim poglavljima.

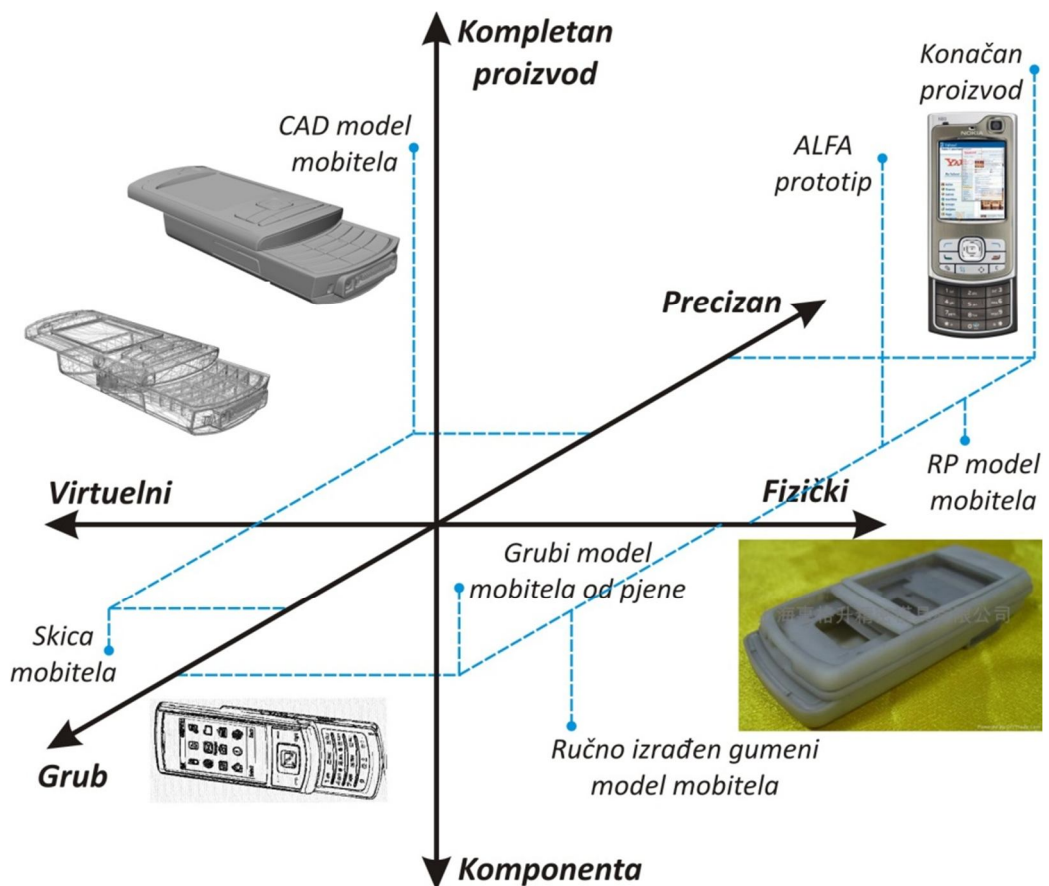


Slika 2.4. Tipovi prototipa sa aspekta pojavnog oblika prototipa

Sljedeći bitan aspekt sa koga je moguće sagledati prototipove jeste aspekt stepena reprezentativnosti do koje prototip prezentira objekt koji predstavlja. Stepenn reprezentativnosti može da se kreće u granicama od veoma grubih prototipova do veoma preciznih prototipova. Grubi prototipovi se koriste za proučavanje samo određenih aspekata proizvoda u ranim fazama razvoja proizvoda. Navedeni prototipovi služe za potvrđivanje određenih aspekata dizajna proizvoda (npr. funkcionalnost, ergonomija, ...) i u principu ne moraju niti tehnički, niti optički odgovarati gotovom serijskom proizvodu, ali mu služe kao osnova. Kao primjer, može



se uzeti airbag (zračni jastuci u autima, iako nisu punjeni zrakom) čiji su prototipovi bazirani na zračnom punjenju, dok serijski proizvodi imaju male eksplozivne kapsule, pri čijoj se eksploziji unutrašnjost jastuka puni sagorjelim plinovima (slika 2.6). Temperature koje pri tom nastaju, ponekad oprže lice vozača ili nekog od suvozača, ali se testovima na prototipu moglo dokazati da je takvo punjenje efikasnije nego punjenje zrakom. Pri eksploziji, sagorjeli plinovi se u jastuku brže prostiru nego što bi to bilo moguće zračnim punjenjem. Precizni, tačni tzv. kompletni prototipovi u potpunosti repliciraju većinu karakteristika proizvoda, te se najčešće proizvode u punoj veličini i sa svim karakteristikama (funkcionalnim, ergonomskim, estetskim, ...) proizvoda. Sadrže sve vrste elemenata od kojih je sastavljen proizvod, a isti su napravljeni od materijala koji će se nalaziti u gotovom proizvodu. Navedena vrsta prototipa se proizvodi uglavnom na kraju procesa razvoja proizvoda i neposredno prije serijske proizvodnje proizvoda radi evaluacije i potvrđivanja dizajna i karakteristika proizvoda, te prezentacije kupcima. Naravno između ove dvije krajnosti (grubi vs. precizni prototipovi) moguće je osmisliti čitavu lepezu prototipova, a sve u skladu sa konkretnim zahtjevima i namjenom prototipa.



Slika 2.5. Tipovi prototipa zavisno od implementacije, forme i aproksimacije





a)



b)

Slika 2.6. a) sistem zračnih jastuka u automobilu, b) princip djelovanja

Osim aspekta forme i reprezentativnosti, prototipovi se mogu sagledati i sa aspekta funkcije tj. namjene za koju se proizvode. Općenito sa aspekta namjene moguće je razlikovati pet vrste prototipova [4]:

- Prototipovi za potvrđivanje načela (eng. *Proof of Principle Prototype*) - Ova vrsta prototipa se koristi za testiranje određenih aspekata dizajna bez pokušaja tačne simulacije vizualnog izgleda, odabira materijala ili pokušaja proizvodnje. Takvi prototipovi mogu se koristiti za: „dokazivanje“ potencijala aktualnog pristupa dizajnu, za utvrđivanje funkcionalnosti pojedinih opcija dizajn, te za testiranja u cilju daljnjeg razvoja proizvoda (slika 2.7);



Slika 2.7. Prototip od gline za potvrđivanje načela, razvijen za potrebe testiranja predloženog dizajna automobila s ciljem unaprijeđenja vrijednosti koeficijenta otpora zraka [5]

- Prototipovi za analizu oblika (eng. *Form Study Prototype*) – Ovaj tip prototipova omogućava razvojnom timu analizu veličine, oblika i doživljaja proizvoda bez simuliranja njegove stvarne funkcije ili tačnog vizualnog prikaza proizvoda (boja, tekstura, kvaliteta izrade). Dakle, navedeni tip prototipova omogućava procjenu ergonomskih karakteristika (slika 2.8), te daje uvid u vizualne aspekte završnog oblika proizvoda. Zbog korištenih

materijala pogodnih za ručnu obradu (jeftini materijali, npr. uratenske pjene) koji se koriste pri izgradnji prototipa, prototipovi se uglavnom koriste u internim procesima odlučivanja, imaju kraći vijek trajanja i nisu namijenjeni za prikazivanje potencijalnim korisnicima ili kupcima proizvoda;



Slika 2.8. Prototipovi za ispitivanje ergonomskih aspekata proizvoda [6], [7], [8]

- Prototipovi za analizu iskustava korisnika (eng. *User Experience Prototype*) – Korisnički orijentiran vid prototipa, namijenjen za interakciju sa potencijalnim korisnicima u cilju analiza i istraživanja želja korisnika. Naime, ova vrsta prototipa omogućava realizaciju rane procjene interakcije potencijalnih korisnika s različitim elementima, kretnjama i konceptima razvijanog proizvoda u cilju definiranja korisničkog iskustva. Kod ove vrste prototipa prioritet nije na estetskim obilježjima, prototip ne prezentira ukupne gabarite, proporcije, sučelja i artikulaciju proizvoda za koji se proizvodi. S obzirom na to da ovaj tip prototipa zahtijeva korištenje i upotrebu od strane korisnika nužno je voditi računa o njegovoj robusnosti (slika 2.8);

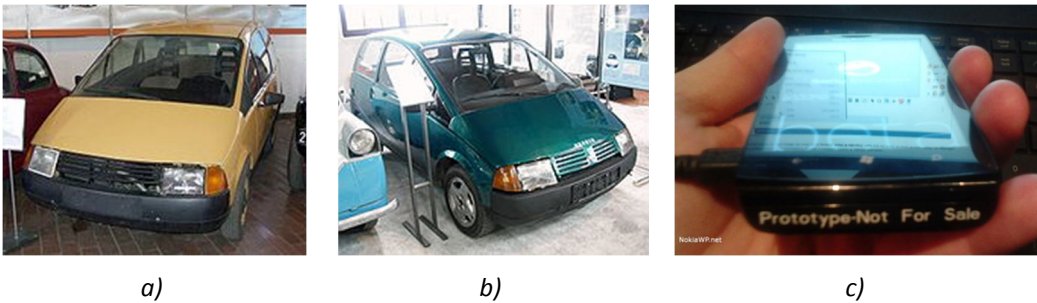


Slika 2.9. Vizualni prototip Bluetooth slušalice mobilnog telefona [9]

- Vizualni prototipovi (eng. *Visual Prototype*) – Zadatak ove vrste prototipa je prezentacija estetskih komponenti proizvoda (izgled, boja, tekstura

površine,...) bez težnje da se prezentira realna funkcija finalnog proizvoda. Navedeni model prototipa koristan je pri ispitivanju tržišta, pakovanja, snimanja za propagandne svrhe, itd. (slika 2.9);

- Funkcionalni prototipovi (eng. *Functional Prototype*) – Ova vrsta prototipova u najvećoj mjeri ima praktičan značaj sa aspekta simuliranja ponašanja proizvoda u realnim radnim uslovima tj. u funkcionalnim ispitivanjima pojedinih karakteristika proizvoda: ergonomija, estetika, materijali, funkcionalnost dizajna, itd. Pri izvođenju planiranih analiza i testiranja, a u cilju reduciranja troškova, često se pribjegava skaliranju – umanjenju veličine ove vrste prototipa. Bitno je naglasiti da potpuno funkcionalni prototipovi (dimenzije, materijal, tačnost, ... ) u suštini predstavljaju posljednju provjeru razvijenog koncepta, te kao takvi su završna kontrola procesa razvoja proizvoda na kojoj još postoji mogućnost izvođenja određenih korekcija i unaprijeđenija neposredno prije puštanja novo razvijenog proizvoda u proizvodnju (slika 2.10).



Slika 2.10. a) i b) funkcionalni prototip automobila Beskid 106, dizajniran u Poljskoj (BOSMAL - Automotive Research and Development Center, period 1982÷1987) – nikada nije ušao u masovnu proizvodnju , c) funkcionalni prototip mobilnog telefona [10]

## 2.2. Razlike između prototipa i proizvodne varijante proizvoda

**NAMJERNO IZBRISANE STRANICE .....**

*"Getting prototypes in front of colleagues, stakeholders, and target or existing users is a great way to get quick feedback addressing your design direction, business needs, customer needs, and usability."*

*"Prezentacija prototipa pred kolegama, zainteresiranim strankama, te potencijalnim ili postojećim korisnicima je odličan način da se brzo dobiju povratne informacije naspram određenih pravaca, poslovnih potreba, potreba kupaca i upotrebljivosti prezentiranog dizajna."*

*Robert Reimann*

*... „slika govori više od hiljadu riječi“, njena proširena verzija bi bila:  
„... a virtuelna stvarnost više od hiljadu slika“!*

*M. Srdanović – Virtuelna stvarnost ili stvarna virtuelnost*

**NAMJERNO IZBRISANE STRANICE .....**

## LITERATURA

1. <http://www.etymonline.com/index.php?search=prototype&searchmode=none>
2. [http://en.wikipedia.org/wiki/Automotive\\_design](http://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_design)
3. <http://forums.kidrobot.com/viewtopic.php?t=129707>
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Prototype>
5. <http://www.smartplanet.com/blog/smart-takes/at-gm-rapid-3d-prototyping-helps-concept-cars-become-reality-faster/17838>
6. <http://www.goddardtech.com/rapid-prototyping>
7. [http://www.grahampackaging.com/rapid\\_prototypes.cfm](http://www.grahampackaging.com/rapid_prototypes.cfm)
8. <http://www.edaya.com/ergonomic-test/>
9. <http://blog.sorcitproducts.com/?m=201005>
10. <http://www.wpcentral.com/tags/julie>
11. <http://www.carscoops.com/2012/11/skoda-begins-teasing-new-2013-octavia.html>
12. <http://neverhadyourcar.com/page/13>
13. <https://www.hni.uni-paderborn.de/en/research/priority-projects-in-research/competence-center-virtual-prototyping-and-simulation/>
14. <http://neverhadyourcar.com/page/13>
15. [http://www.mech.utah.edu/senior\\_design/05/index.php/WhaleWatchingUAV/WingCorePrototype](http://www.mech.utah.edu/senior_design/05/index.php/WhaleWatchingUAV/WingCorePrototype)
16. <http://physics.aps.org/story/v27/st7>
17. <http://operations.blogs.ie.edu/page/6>
18. [http://www.motorcyclistonline.com/firstrides/122\\_0612\\_2006\\_fischer\\_mrx/photo\\_06.html](http://www.motorcyclistonline.com/firstrides/122_0612_2006_fischer_mrx/photo_06.html)
19. A.Fajić, Dž. Tufekčić, A. Topčić, E. Mujić: „*Rapid Prototyping Data Formats*“, 7th International Scientific Conference on Production Engineering DEVELOPMENT AND MODERNIZATION OF PRODUCTION RIM 2009, Kayro, Egipat, 2009. godine
20. S. Lovrić: „*Analiza uskih grla u integralnom razvoju proizvoda*“, magistarski rad, Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet u Tuzli, Tuzla, mart 2011. godine
21. <http://mikeyanderson.com/uncover-the-power-of-the-prototype>
22. <http://richsiemer.typepad.com/>
23. <http://www.oobject.com/category/12-clay-car-mockups/>
24. <http://www.crunchyroll.ca/forumtopic-238729/how-do-you-create-a-bodykit-for-your-car>
25. [http://www.motorauthority.com/news/1081316\\_a-look-back-at-the-original-clay-models-for-the-mclaren-f1](http://www.motorauthority.com/news/1081316_a-look-back-at-the-original-clay-models-for-the-mclaren-f1)
26. <http://connectorsonline.org/2011/02/20/clay-modeling/>
27. <http://luxurynewsblog.blogspot.com/2013/01/playing-with-clay-hand-modeling-in.html>

28. <http://blog.wanken.com/1028/canons-balsa-wood-1d-mock-up-tutorial/>
29. <http://www.behance.net/gallery/Wood-bicycle-prototype/704507>
30. <http://www.mynewsdesk.com/uk/finnish-british-chamber-of-commerce/pressreleases/upm-presents-a-prototype-wood-car-954233>
31. [http://www.zeva.com.au/conversion\\_blog.php?post=10](http://www.zeva.com.au/conversion_blog.php?post=10)
32. <http://www.styrotechcnc.co.nz/cnc-services/service-1>
33. <http://www.citroenet.org.uk/prototypes/projet-g/projet-g.html>
34. [http://www.blueskydesigngroup.com.au/process/prototyping/?doing\\_wp\\_cron=1382718704.7158761024475097656250](http://www.blueskydesigngroup.com.au/process/prototyping/?doing_wp_cron=1382718704.7158761024475097656250)
35. <http://www.iff.fraunhofer.de/en/business-units/robotic-systems/robogen.html>
36. S. Ekinović: „*Postupci obrade razanjem*“, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 2003. godine
37. <http://www.hurco.com/en-SG/why-hurco/success-stories/blog/archive/tags/Vertical%20Machining%20Centers/default.aspx>
38. <http://www.at.ford.com/news/cn/ArticleArchives/26972.aspx>
39. <http://www.carbodydesign.com/gallery/2012/05/mercedes-benz-design-philosophy/7/>
40. B. Musafija: „*Obrada metala plastičnom defomracijom*“, Svejtlost, Sarajevo 1991. godine
41. <http://www.bend-all.com/prototype-rd.aspx>
42. <http://www.macri-italia.com/bending-prototype.html>
43. <http://www.indiamart.com/jaybrahmani/metal-fabrication.html>
44. <http://spokenaboutbicycles.blogspot.com/2011/07/humpbike-utah-trained-jedi.html>
45. <http://www.bladesmithsforum.com/index.php?showtopic=28743>
46. [http://www.popularwoodworking.com/article/the\\_mystery\\_of\\_holdfasts](http://www.popularwoodworking.com/article/the_mystery_of_holdfasts)
47. <http://www.ram-rijeka.com/c/931/Osnovni-postupci-zavarivanja---Ram-Rijeka.wshtml>
48. <http://confederate.com/development/?p=694>
49. Promotivni Katalog kompanije: AS LangLand & Schei, Norveška
50. <http://www.stratasys.com/materials/polyjet/digital-materials>
51. <http://www.tradeindia.com/fp222007/Electric-Discharge-Machine.html>
52. [http://www.wirecutcompany.com/EDM\\_capabilities.html](http://www.wirecutcompany.com/EDM_capabilities.html)
53. <http://visualmechanics.co/blog/?p=1078>
54. <http://www.tcdinc.com/prototypes.html>
55. <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=877456>
56. <http://www.bremermfg.com/aluminum-sand-castings.htm>
57. [http://web.iitd.ac.in/~pmpandey/MEL120\\_html/RP\\_document.pdf](http://web.iitd.ac.in/~pmpandey/MEL120_html/RP_document.pdf)
58. <http://einside.kent.edu/?type=art&id=3007>
59. <http://www.3ders.org/articles/20111115-how-to-make-your-ownstereolithography-3d-printer.html>
60. Wohlers Report 2007 (ISBN 0-9754429-3-7) Rapid Prototyping and Manufacturing, State of Industry – godišnji izvještaj grupe WOHLERS ASSOCIATION



61. [http://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_%28file\\_format%29](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_%28file_format%29)
62. [http://www.netfabb.com/stl\\_repair\\_fixing.php](http://www.netfabb.com/stl_repair_fixing.php)
63. Creative, Innovative - Reading Materials for IC Training Modules: „Rapid Prototyping & Manufacturing Technologies“, IC Professional training series, Industrial Centre, The Hong Kong Polytechnic University, 2009.
64. A. Topčić, E.Cerjaković, S. Lovrić: „Analysis of dimensional deviation of parts based on ceramic produced by three dimensional printing process“, Edukativno naučno-stručni skup iz mjerenja i kontrole kvaliteta u proizvodnom mašinstvu i zaštiti životne sredine – ETIKUM, Zbornik radova, Univerzitet u Novom sadu, Fakultet Tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Srbija 2014 godine..
65. <http://www.additive3d.com/faq/faq220.htm>
66. <http://www.kraftwurx.com/3d-model-printing/3d-printing-news/1209-gpi-prototype-presents-additive-manufacturing-technologies-at-design-manufacturing-texas>
67. <http://www.4dconcepts.de/produkte/rp-dienstleistung/rapid-prototyping-modellbau/stereolithographie.html>
68. <http://www.makepartsfast.com/2009/03/716/dpt-purchases-materialise%E2%80%99s-e-stage-software/>
69. [http://www.eos.info/additive\\_manufacturing/for\\_technology\\_interested](http://www.eos.info/additive_manufacturing/for_technology_interested)
70. <http://www.paragon-rt.com/stereolithography/>
71. <http://www.harbec.com/capabilities/rapid-prototyping/>
72. <http://www.cs.berkeley.edu/~sequin/CAFFE/cyberbuild.html>
73. <http://www.additive3d.com/faq/faq220.htm>
74. <http://www.ems-usa.com/gallery.html>
75. <http://www.cadalyst.com/manufacturing/is-rm-finally-ready-for-prime-time-11091>
76. <http://www.smartplanet.com/blog/smart-takes/at-gm-rapid-3d-prototyping-helps-concept-cars-become-reality-faster/17838>
77. [http://www.isr.umd.edu/~zhang/414\\_99f/team/team1/](http://www.isr.umd.edu/~zhang/414_99f/team/team1/)
78. <http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/technology/the-sum-of-its-parts>
79. [http://web.media.mit.edu/~amitz/Research/Entries/2008/11/23\\_DIGITAL\\_FABRICATION\\_AND\\_DESIGN\\_OF\\_MUSICAL\\_INSTRUMENTS.html](http://web.media.mit.edu/~amitz/Research/Entries/2008/11/23_DIGITAL_FABRICATION_AND_DESIGN_OF_MUSICAL_INSTRUMENTS.html)
80. <http://sigalonhowtodoit.soup.io/tag/thingiverse>
81. <http://machinedesign.com/3d-printing/how-smooth-3d-printed-parts>
82. <http://manufacturing.materialise.com/why-choose-stereolithography>
83. <http://www.3trpd.co.uk/>
84. [http://www.fablabbcn.org/2013/11/digital-fabrication\\_exercise-2\\_rapid-prototyping\\_3d-printing/](http://www.fablabbcn.org/2013/11/digital-fabrication_exercise-2_rapid-prototyping_3d-printing/)
85. A. Fajić: „Analiza utjecaja procesnih parametrara tehnologije 3D printanja na svojstva prototipa“, magistarski rad, Univerzitet „Džemal Bijedić“ Mostar, Mašinski fakultet u Mostaru, 2008. godine
86. [www.materialise.com](http://www.materialise.com)

87. <http://www.novomet.ru/eng/company/technologies-and-manufacturing/sls-selective-laser-sintering/>
88. <http://www.makepartsfast.com/2010/08/983/an-alternative-to-laser-curing-dlp/>
89. <http://phys.org/news568.html>
90. <http://www.mechanicalengineeringblog.com/tag/indirect-tooling/>
91. <http://www.rapidmanufacturing-training.eu/fr/>
92. <http://www.gowit3d.com/tag/prototyping-rapid-stereolithography/>
93. <http://www.nature.com/news/science-in-three-dimensions-the-print-revolution-1.10939>
94. <http://www.sundayobserver.lk/2009/02/22/rev33.asp>
95. <http://www.raprotec.de/lomtechnik.htm>
96. <http://blogs.gre.ac.uk/architecture/category/facilities/3d-printer-facilities/page/2/>
97. <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/project/wow/exhibits/printing/>
98. <http://proto3000.com/what-is-rapid-prototyping.php>
99. <http://www.hallink.com/rapid-prototyping>
100. <http://www.fastdates.com/PitBoardFeatures/NCR/NCR.htm>
101. <http://www.digitaltrends.com/cars/chevrolets-3-d-prototype-process-may-drive-the-development-of-cooler-cars-in-the-future/>
102. <http://www.protocam.com/html/aerospace.html>
103. <http://www.rapidreadytech.com/2012/08/research-advances-additive-manufacturing-for-aerospace/>
104. [http://www.ionicmodels.com/3dprinting\\_gallery.htm](http://www.ionicmodels.com/3dprinting_gallery.htm)
105. [http://www.redeyeondemand.com/PJ\\_VeroBlue.aspx](http://www.redeyeondemand.com/PJ_VeroBlue.aspx)
106. <http://www.growingyourbaby.com/2009/06/28/brazilian-student-creates-3d-models-of-unborn-babies/>
107. <http://www.explainingthefuture.com/bioprinting.html>
108. <http://hirschinger.blogspot.com/>
109. <http://home.howstuffworks.com/product-prototyping-process3.html>
110. <http://www.solid-ideas.com/industrial/>
111. <http://www.dpaonthenet.net/article/65519/Stratasys-introduces-tough-unfilled-nylon-for-additive-manufacturing.aspx>
112. <http://blog.solidconcepts.com/industry-highlights/worlds-first-3d-printed-metal-gun/>
113. <http://schmitprototypes.com/military/>
114. <http://www.hancinema.net/printing-objects-the-3d-printer-a-santa-claus-machine-57448.html>
115. <http://lab.visual-logic.com/2013/02/stereolithography-and-rapid-prototyping/>
116. [http://dianepernet.typepad.com/diane/2006/09/london\\_design\\_f.html](http://dianepernet.typepad.com/diane/2006/09/london_design_f.html)
117. <http://www.harrymcdaniel.com/works/RapidPrototypeModel.html>
118. <http://geomagic.com/en/community/case-studies/converse-delivers-innovative-shoe-designs-with-geomagic-freeform/>
119. <http://www.fastdates.com/PitBoardFeatures/NCR/NCR.htm>

120. <http://www.custompartnet.com/>
121. [http://www.hotrod.com/feature\\_stories/1403\\_future\\_of\\_fabrication/photo\\_01.html](http://www.hotrod.com/feature_stories/1403_future_of_fabrication/photo_01.html)
122. M. Suhr: „Wissensbasierte Unterstützung recyclingorientierter Produktgestaltung“, Diss., Schriftenreihe Konstruktionstechnik (Hrsg.W. Beitz), Nr. 33, TU Berlin 1996. godine
123. [www.sintecoptronics.com](http://www.sintecoptronics.com)
124. [www.laserfx.com](http://www.laserfx.com)
125. <http://www.cs.cmu.edu/~rapidproto/students.06/bjb1/SLA/materials.htm>
126. A. Softić, seminarski rad studenta drugog cilusa Mašinskog fakultetata u Tuzli: „Direktna proizvodnja proizvoda primjenom RP tehnologija“, Tuzla, 2012. godine
127. <http://dentaltechnologyreview.blogspot.com/2009/02/micro-stereo-lithography-models.html>
128. <http://www.3d-printers.com.au/2012/03/14/3d-printing-at-a-nano-scale/>
129. <http://www.3dsystems.com>
130. <http://production3dprinters.com/materials/sla>
131. <http://www.paramountind.com/sla-material.html>
132. <http://www.laserproto.com/ServicesMaterials.aspx?PageID=5>
133. <http://www.3dproparts.com/technologies/stereolithography-sla>
134. <http://www.protocam.com/html/materials-sla.html>
135. <http://www.matweb.com>
136. <http://www.dlp.com/technology/how-dlp-works/>
137. <http://www.anvilprototype.com/PrototypingTools/ProJetRP/tabid/96/Default.aspx>
138. <http://www.zcorp.com/en/Press-Room/EnvisionTEC-and-Z-Corporation-Complete-OEM-Distribution-Agreemen/news.aspx>
139. <http://www.envisiontec.de>
140. A. Topčić, Dž. Tufekčić, R. Šelo: "Selektivno lasersko sinterovanje - SLS", Jahorina – IRMES '2002, Međunarodni naučno - stručni skup "Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema", Jahorina, 2002. godine
141. A. Topčić, Dž. Tufekčić, R. Šelo: "Influence of triangle approximation parameters on quality of parts produced by Selective Laser Sintering process", Međunarodni naučno-stručni skup: "Research and Development of Mechanical Elements and Systems ", IRMES 2004, Kragujevac, Srbija i Crna gora, 2004. godine
142. <http://stratasys.com/materials/polyjet/rigid-opaque>
143. A. Topčić, Dž. Tufekčić, R. Šelo: "Influence of process parameters on roughness and texture of lateral flat surfaces of parts produced by Selective Laser Sintering process"; 3<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries, ATDC 2004, Split, Hrvatska, 2004. godine
144. <http://www.newdesign.ir/search.asp?id=842&rnd=3131>
145. <http://www.youtube.com/watch?v=PHaXX2OoOs4>,
146. [http://www.youtube.com/watch?v=USZ\\_z7bletU](http://www.youtube.com/watch?v=USZ_z7bletU)
147. [www.dtm-corp.com](http://www.dtm-corp.com)
148. <http://production3dprinters.com/sls>

149. <http://www.eos.info>
150. <http://production3dprinters.com/materials/duraform-flex-plastic>
151. <http://www.sunpe.com>
152. <http://www.solidconcepts.com/sls-materials.html#>
153. <http://www.harvest-tech.com/pdf/CastForm.pdf>
154. <http://gpiprototype.com/services>
155. M. Plančak: „Brza izrada prototipova, modela i alata – Rapid Prototyping i Rapid Tooling“, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2004. godine
156. Z Corporation: Technical Application Guide - Water Transfer Printing
157. Z Corporation : Technical Application Note - Functional Prototype of Molded Plastic Parts
158. A. Topčić, Dž. Tufekčić, A. Fajić, E. Cerjaković: " *Implementation of Three Dimensional – 3DP printing process in casting*", Peti međunarodni simpozijum, "Konstruisanje, oblikovanje i dizajn, KOD 2008", Zbornik, format A5, stranice 393÷398 /6 stranica/, 15 - 16. april 2008. godine, Novi Sad, Srbija, CIP 658.512.2(082), COBISS.SR-ID 230213639, ISBN 978-86-7892-104-9
159. A. Topčić, Dž. Tufekčić, R. Šelo: "*Selektivno lasersko sinterovanje - SLS*", Jahorina – IRMES '2002, Međunarodni naučno - stručni skup "Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema", Jahorina, 2002. godine
160. A. Topčić, E. Cerjaković, S. Lovrić: "*Comparative analysis of RE/RP versus Conventional Approaches of Tool Designing in Sand Casting*", 11<sup>th</sup> International Scientific Conference MMA2012, Univerzitet u Novom sadu, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Zbornik radova, Novi Sad, Srbija, septembar 2012., ISBN 978-86-7892-429-3;
161. Z Corporation: ZCast® 501 Direct, Metal Casting - DESIGN GUIDE
162. <http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/spage.aspx>,
163. <http://www.voxeljet.de/en/systems/vx4000/>
164. <http://www.voxeljet.de/en/systems/material>
165. <http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/Material-Options/spage.aspx>
166. <http://www.personal.psu.edu/users/j/r/jrh225/ZP150PowderGuide.pdf>
167. <http://develop3d.com/blog/2011/02/z-corps-recycling-smarts>
168. <http://www.csoft.ru/catalog/hard/printer-3d/projet-office/projet-660-pro.html>
169. [http://www.ems-usa.com/zcorp\\_zprinter\\_z450.html](http://www.ems-usa.com/zcorp_zprinter_z450.html)
170. A. Topčić, A. Rifatbegović, E. Cerjaković: "*Implementation of parts produced by three-dimensional printing process in medicine*", Monografija Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu "MACHINE DESIGN", maj 2008. godine, Novi Sad, Srbija, CIP 62-11:658.512.2(082), COBISS.SR-ID 230893319, ISBN 978-86-7892-105-6
171. <http://www.youtube.com/watch?v=FrJ6LUZhvf0>
172. <http://www.youtube.com/watch?v=FrJ6LUZhvf0>
173. <http://www.youtube.com/watch?v=D4Yq3glEyec>
174. <http://www.youtube.com/watch?v=XLLq9SwSTpM>
175. <http://www.stratasys.com/applications/concept-modeling/ergonomic-studies>
176. <http://stratasys.com/3d-printers/design-series/precision/objet-eden260v>

177. <http://www.theengineer.co.uk/channels/design-engineering/in-depth/the-rise-of-multi-material-3d-printing/1016242.article>
178. <http://stratasys.com/3d-printers/design-series/precision/objet24>
179. <http://stratasys.com/3d-printers/design-series/precision/objet-eden350v>
180. <http://redrockspd.wordpress.com/2013/06/11/new-projet-x60-series/>
181. <http://stratasys.com>
182. [http://www.dcad.in/images/pdf/FullCure\\_Letter\\_low.pdf](http://www.dcad.in/images/pdf/FullCure_Letter_low.pdf)
183. <http://www.cadblu.com/products/supplies/3d-systems-printer-supplies/174-visijet-material-specifications.html>
184. <http://www.3dsystems.com/cubex-3d-printer>
185. [http://www.3dsystems.com/products/datafiles/thermojet/datasheets/TJ\\_Pr\\_DesignComm.pdf](http://www.3dsystems.com/products/datafiles/thermojet/datasheets/TJ_Pr_DesignComm.pdf)
186. [http://www.3dsystems.com/products/datafiles/projet/ProJet\\_HD\\_3000\\_Brochure\\_USEN.pdf](http://www.3dsystems.com/products/datafiles/projet/ProJet_HD_3000_Brochure_USEN.pdf)
187. <http://www.solid-scape.com/products/3d-printers/solidscape-3z-pro-wax-printer-lost-wax-and-investment-casting>
188. <http://www.3dsystems.com/materials>
189. <http://www.solid-scape.com/products/3d-printer-wax-materials-lost-wax-and-investment-casting>
190. <http://www.3dsystems.com/3d-printers/personal/projet-1500>
191. <http://www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/projet-1000-1500-us.pdf>
192. <http://www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/projet-5000-1113-a4-uk-en-web.pdf>
193. [http://www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/projet-x60-series-us\\_0.pdf](http://www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/projet-x60-series-us_0.pdf)
194. <http://www.3dsystems.com/sites/www.3dsystems.com/files/projet-6000-7000-a4-uk.pdf>
195. <http://www.exone.com>
196. <http://www.exone.com/en/materialization/systems>
197. <http://www.dreams.me.vt.edu/Facility/Indirect3DP>
198. [http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-powder\\_binding-bonding.html](http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-powder_binding-bonding.html)
199. <http://www.youtube.com/watch?v=2GI9Bw48liY>
200. <http://www.w54.biz/showthread.php?1545-3D-Printing-an-example/page2>
201. <http://www.prometal-rct.com/eng/>
202. [http://www.prometal-rct.com/eng/applications\\_auto.html](http://www.prometal-rct.com/eng/applications_auto.html)
203. [http://035053e.netsolhost.com/sites/default/files/Case\\_Studies/metal\\_ToughWare.pdf](http://035053e.netsolhost.com/sites/default/files/Case_Studies/metal_ToughWare.pdf)
204. <http://en.prometaldoo.si/productos/various-parts/>
205. [http://www.prometal.com/sites/default/files/Case\\_Studies/sand\\_StandardAlloys.pdf](http://www.prometal.com/sites/default/files/Case_Studies/sand_StandardAlloys.pdf)
206. [http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1\\_X1Lab\\_US\\_092613.pdf](http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1_X1Lab_US_092613.pdf)
207. [http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1\\_SMaxFuran\\_US.pdf](http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1_SMaxFuran_US.pdf)

208. [http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1\\_SPrintFuran\\_US.pdf](http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1_SPrintFuran_US.pdf)
209. [http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1\\_MPrint\\_US.pdf](http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1_MPrint_US.pdf)
210. [http://www.exone.com/sites/default/files/dataSheets/X1\\_datasheets\\_MFlex.pdf](http://www.exone.com/sites/default/files/dataSheets/X1_datasheets_MFlex.pdf)
211. <http://engineershandbook.com/RapidPrototyping/prometal.htm>
212. [http://s3.amazonaws.com/cloudfab\\_bukkit/the\\_files/277/original/r1.pdf?1261593916](http://s3.amazonaws.com/cloudfab_bukkit/the_files/277/original/r1.pdf?1261593916)
213. <http://www.prometal-rct.com/pdfs/ProMetalS15Feb2006EUN.pdf>
214. <http://www.exone.com/en/materialization/what-is-digital-part-materialization/sand>
215. <http://www.exone.com/en/materialization/what-is-digital-part-materialization/metal>
216. [http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1\\_MaterialData\\_420SS.pdf](http://www.exone.com/sites/default/files/brochures/X1_MaterialData_420SS.pdf)
217. [http://www.rm-platform.com/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=24&Itemid=5](http://www.rm-platform.com/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=24&Itemid=5)
218. <http://www.ponoko.com/make-and-sell/show-material/239-3d-printed-stainless-steel#main-image>
219. <http://www.rapidmanufacturing-training.eu/>
220. <http://www.youtube.com/watch?v=WHO6G67GJbM>
221. <http://www.stratasys.com/3d-printers/idea-series/mojo>
222. <http://www.stratasys.com/3d-printers/design-series/performance/dimension-1200es>
223. <http://www.stratasys.com/3d-printers/production-series/fortus-400mc>
224. <http://www.3dimensionprint.co.uk/printers/printing-bst.html>
225. <http://www.stratasys.com/~media/Main/Secure/Material%20Specs%20MS/Fortus-Material-Specs/Fortus-MS-ABSplus-01-13-web.pdf>
226. <http://www.stratasys.com/~media/Main/Secure/Material%20Specs%20MS/Fortus-Material-Specs/Fortus-MS-ABS-M30-01-13-web.pdf>
227. <http://www.stratasys.com/~media/Main/Secure/Material%20Specs%20MS/Fortus-Material-Specs/Fortus%20Nylon12%20Material%20SS%20EN%2012-13%20Web.pdf>
228. <http://www.stratasys.com/~media/Main/Secure/Material%20Specs%20MS/Fortus-Material-Specs/Fortus-MS-PC-ISO-01-13-web.pdf>
229. <http://www.stratasys.com/applications>
230. [http://engineeronadisk.com/notes\\_manufact/rpa8.html](http://engineeronadisk.com/notes_manufact/rpa8.html)
231. <http://neptuno.co/3dprinting.html>
232. [http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-lamination-bond\\_cut.html#helisys](http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-lamination-bond_cut.html#helisys)
233. <http://www.tedata.com/3232.0.html>
234. <http://www.united-ind.com/proto.html>
235. [http://www.wtec.org/loyola/rp/11\\_03.html](http://www.wtec.org/loyola/rp/11_03.html)
236. <http://www.raprotec.de/lomtechnik.htm>

237. <http://www.cubictechnologies.com/SD300.htm>
238. Jerome P. Lavelle, Hampton R Liggett, Hamid R. Parsaei: „*Economic Evaluation of Advance Technologies: Techniques and Case Studies*“, Taylor&Francis NY, USA, 2012
239. <http://uploadkon.ir/uploads/154-161.pdf>
240. <http://www.mcorcotechnologies.com/3d-printers/iris/>
241. <http://www.stratoconception.com/produits/stations>
242. <http://www.cubictechnologies.com/SD300.htm>
243. [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F0-387-23291-5\\_11](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F0-387-23291-5_11)
244. T. Wohlers, Wohlers Report 2004: Rapid Prototyping, Tooling, & Manufacturing State of the Industry (2004).
245. [http://technologyinterface.nmsu.edu/Spring07/07\\_Ulmer/](http://technologyinterface.nmsu.edu/Spring07/07_Ulmer/)
246. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00124677>
247. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607003548>
248. <https://bib.irb.hr/prikazi-rad?&lang=en&rad=485133>
249. <http://www.tiskarstvo.net/tiskarstvo2011/clanciWeb/Sabati/SabatiMetodeRada.html>
250. [http://www.additive3d.com/3dpr\\_cht.htm](http://www.additive3d.com/3dpr_cht.htm)
251. <http://www.makepartsfast.com/2011/10/2646/tips-on-selecting-the-right-rapid-prototyping-machine/>
252. <http://www.finelineprototyping.com/intro/technologies.php>
253. <http://www.tritech3d.co.uk/stratasys-printers-comparison.php>
254. <http://solidsmack.com/fabrication/aio-robotics-zues-all-in-one-3d-printerscanner-launches-closes-in-on-funding/>
255. [http://envisiontec.com/case\\_studies/novartis/](http://envisiontec.com/case_studies/novartis/)
256. [http://www.fsb.unizg.hr/zavod\\_za\\_materijale/download/be7933004221dc612e0370635677715c.pdf](http://www.fsb.unizg.hr/zavod_za_materijale/download/be7933004221dc612e0370635677715c.pdf)
257. <http://www.klex.hr/hr/usluge/prototyping/other-rp-printing-methods-comparasion/>
258. <http://sr.scribd.com/doc/165343614/527907-Diplomski-Rad-Duan-Vrbanec>
259. <http://www.marinelog.com/DOCS/NEWSMMIX/2010mar00301.html>
260. [http://articles.baltimoresun.com/2010-09-07/news/bs-bz-unmanned-surface-vessel-20100907\\_1\\_aai-vice-president-unmanned-system-vessel](http://articles.baltimoresun.com/2010-09-07/news/bs-bz-unmanned-surface-vessel-20100907_1_aai-vice-president-unmanned-system-vessel)
261. M. Jurković, M. Mahmić, Z. Jurković: „*Evolution and application of Rapid Prototyping technologies*“, Journal for Technology of Plastic, Vol. 30, 2005, Number 1-2, str. 95-108
262. <http://www.medicaldevice-network.com/features/feature66089/feature66089-1.html>
263. <http://prototechasia.com/en/nos-technologies/>
264. <http://www.mrsi-usa.com/moreinfo.asp?type=proto>
265. <http://www.tital.de/e/technologies/rapid-prototyping/>
266. <http://www.eos.info/tooling>
267. <http://www.schouwenburg.com/3d-printing-or-mass-production-when-does-it-make-sense/>

268. [http://www.carpages.co.uk/mercedes\\_benz/mercedes-benz-airbag-part-1-31-10-05.asp](http://www.carpages.co.uk/mercedes_benz/mercedes-benz-airbag-part-1-31-10-05.asp)
269. <http://netconstructions.blogspot.com/2011/12/experiment-models-soap-film.html>
270. Melanie Schmidt: „*Membranen in der Architektur*“, TU München
271. [http://www.architizer.com/en\\_us/projects/pictures/tensile-pavilion/12295/92675/#.UYkr-o29TIU](http://www.architizer.com/en_us/projects/pictures/tensile-pavilion/12295/92675/#.UYkr-o29TIU)
272. <http://netconstructions.blogspot.com/search/label/Olympic%20Park%20of%20Munich>
273. <http://www.designworldonline.com/shift-from-physical-to-virtual-prototyping/>
274. G. G. Wang: „*Definition and Review of Virtual Prototyping*“, Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, University of Manitoba, Winnipeg, MB, R3T 5V6, Canada
275. A.Topčić, Dž. Tufekčić, E. Cerjaković: „*Razvoj proizvoda*“, Off-set Tuzla, ISBN 995831074-0, Tuzla, 2011. godine
276. <http://www.cadalyst.com/manufacturing/virtual-prototyping-pays-9774>
277. <http://nhm.id.tue.nl/cave.Jpg>
278. <http://www.lsi.usp.br/~alga/site/team/g-virtua.htm>
279. [http://mail.imoney.com/Images/Apr06/18DesignOfTheMercedesSClass/Designers\\_are\\_a-IMG\\_525.jpg](http://mail.imoney.com/Images/Apr06/18DesignOfTheMercedesSClass/Designers_are_a-IMG_525.jpg)
280. <http://wot.motortrend.com/jaguar-land-rover-gets-techy-opens-virtual-design-center-1392.html#axzz2RYic8qc7>
281. <http://www.dailytech.com/article.aspx?newsid=5278>
282. <http://illumin.usc.edu/printer/90/rebuilding-the-ancient-world-via-computer-modeling/>
283. <http://www.ruwings.ru/photo/Boeing-787-Dreamliner/6>
284. A. Kunosić: „*Analiza i sinteza mehanizma mehatroničkog modula za promjenu stepena prenosa*“, Mašinski fakultet u Tuzli, magistarski rad, 2012. godine
285. [http://www.vrlab.buffalo.edu/project\\_vfact/vfact.html](http://www.vrlab.buffalo.edu/project_vfact/vfact.html)
286. [http://www.dguv.de/ifa/en/fac/virtual\\_reality/index.jsp](http://www.dguv.de/ifa/en/fac/virtual_reality/index.jsp)
287. [http://www.vrlab.buffalo.edu/project\\_vfact/vfact.html](http://www.vrlab.buffalo.edu/project_vfact/vfact.html)
288. <http://blog.industrysoftware.automation.siemens.com/blog/2010/05/>
289. [http://www.lssu.edu/whats\\_new/articles.php?articleid=2407](http://www.lssu.edu/whats_new/articles.php?articleid=2407)
290. <http://inition.co.uk/3D-Technologies/fakespace-cave>
291. <http://www.solidconcepts.com/>
292. <http://www.envisiontec.de>
293. <http://www.custompartnet.com/>
294. [www.dtm-corp.com](http://www.dtm-corp.com)
295. <http://production3dprinters.com/sls>
296. <http://www.eos.info>
297. <http://production3dprinters.com/materials/duraform-flex-plastic>
298. <http://www.ptonline.com/articles/3d-printers-lead-growth-of-rapid-prototyping>
299. Li Lü, J. Y. H. Fuh, Yoke-San Wong: „*Laser-Induced Materials and Processes for Rapid Prototyping*“, Kruwer Academic Publisher, 2001, ISBN 0-7923-7400-2



300. <http://www.harvest-tech.com/pdf/CastForm.pdf>
301. <http://3d.globatek.ru/>
302. [http://maja.uni-mb.si/files/apem/APEM5-2\\_075-084.pdf](http://maja.uni-mb.si/files/apem/APEM5-2_075-084.pdf)
303. [http://www.additive3d.com/rp\\_int1.htm](http://www.additive3d.com/rp_int1.htm)
304. <http://prototechasia.com/en/nos-technologies/>
305. Lokesh, K.; Jain.P.K: „*Selection of Rapid Prototyping Technology*“, Advances in Production Engineering & Management 5 (2010)1, 75-84, APEM Journal, ISSN 1854-6250
306. <http://gfxspeak.com/2011/06/23/pedal-brain-saves-money-with-3d-printing-its-prototypes/>
307. <http://www.3dsystems.com/3d-printers/personal/cubex>
308. <http://www.advtek.com/stratasys/materials-technology/fdm-materials.php>
309. <http://www.quickparts.com/LowVolumePrototypes/FDM/MaterialProperties.aspx>
310. K.G. Cooper: „*Rapid Prototyping Technology –Selection and Application*“, NASA, ISBN 0-8247-061-1, Marcel Dekker Inc. USA, 2005.
311. [http://www.chrisandjimcim.com/index.php?option=com\\_hwdvideoshare&task=viewvideo&Itemid=261&video\\_id=96](http://www.chrisandjimcim.com/index.php?option=com_hwdvideoshare&task=viewvideo&Itemid=261&video_id=96)
312. [http://www.wtec.org/loyola/rp/08\\_05.htm](http://www.wtec.org/loyola/rp/08_05.htm)
313. [http://www.additive3d.com/com\\_lks.htm](http://www.additive3d.com/com_lks.htm)
314. [http://www.dmoz.org/Science/Technology/Manufacturing/Prototyping/RapidPrototyping/Equipment\\_and\\_Supplies/](http://www.dmoz.org/Science/Technology/Manufacturing/Prototyping/RapidPrototyping/Equipment_and_Supplies/)
315. E. Cerjaković, A. Topčić, S. Lovrić, S. Ahmetbegović : „*Application of Rapid Prototyping Technology in 3D visualization of relief surfaces*“, 2nd International Conference „Valis Aurea“, focus on: Regional Development, izdavač: DAAAM International Beč, Veleučilište u Požegi, Požega, Hrvatska, 03. Septembar 2010. godine, ISBN 978-953-7744-06-9, ISBN 978-3-901509-76-6, CIP 741243, 2010. godine
316. <http://shatura.laser.ru/WWW.LASER.RU/rapid/index.html>
317. <http://shatura.laser.ru/rapid/rptree/rptree.html>
318. <http://web.mit.edu/tdp/www/licensees.html>
319. <http://www.raprotec.de/lomtechnik.htm>
320. <http://www.cubictechnologies.com/SD300.htm>
321. Jerome P. Lavelle, Hampton R Liggett, Hamid R. Parsaei: „*Economic Evaluation of Advance Technologies: Techniques and Case Studies*“, Taylor&Francis NY, USA, 2012
322. <http://uploadkon.ir/uploads/154-161.pdf>
323. <http://www.mcortechologies.com/3d-printers/iris/>
324. <http://www.stratoconception.com/produits/stations>
325. <http://www.cubictechnologies.com/SD300.htm>
326. [http://www.motoraauthority.com/news/1081316\\_a-look-back-at-the-original-clay-models-for-the-mclaren-f1](http://www.motoraauthority.com/news/1081316_a-look-back-at-the-original-clay-models-for-the-mclaren-f1)
327. <http://www.smartplanet.com/blog/smart-takes/at-gm-rapid-3d-prototyping-helps-concept-cars-become-reality-faster/17838>

328. Cooper G. Kenneth: „*Rapid Prototyping Technology*“, New York, Marcel Dekker, Inc., 2001
329. T. Filetin, I. Kramer: „*Brza izrada prototipova*“, Gradimo, 1, 2007. URL: <http://www.gradimo.hr/clanak/brza-izrada-prototipova/15509>
330. Paramount Industries, Inc., Langhorne, SAD: Stereolithography (STL) Rapid Prototypes. URL: <http://www.paramountind.com/stereolithography.html>
331. envisionTEC, Gladbeck, Germany: PerfactoryXtreme® and PerfactoryXede®. URL: [http://www.envisiontec.de/fileadmin/pdf/MachSheet\\_Xede\\_and\\_Xtreme\\_en.pdf](http://www.envisiontec.de/fileadmin/pdf/MachSheet_Xede_and_Xtreme_en.pdf)
332. ProtoCAM, Northampton, SAD: Stereolithography Prototype, SLA Prototyping. URL: <http://www.protocam.com/html/slapro.html#tolerances>
333. 3D Systems Corporation, Rock Hill, SAD: ProductionDuraForm® Laser Sintering Materials. URL: <http://production3dprinters.com/materials/sls>
334. N. Grujović : „*Brza izrada prototipova*“, 2007, Kragujevac, [http://mfkg.kg.ac.rs/centri\\_fakulteta\\_za\\_virtualni\\_proizvod](http://mfkg.kg.ac.rs/centri_fakulteta_za_virtualni_proizvod)
335. Z Corporation, Burlington , SAD: 3D Printers. <http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/spage.aspx>
336. Voxeljet technology GmbH, Friedberg; Germany: Voxeljet 3D-printers. <http://www.voxeljet.de/en/systems/overview/voxeljet-3d-printer/>
337. Filetin Tomislav; Kramer Ivan: *Brza izrada prototipova*, Gradimo, 1, 2007. URL: <http://www.gradimo.hr/clanak/brza-izrada-prototipova/15509>,
338. *Virtuelni razvoj proizvoda*, <http://www.scribd.com/doc/Virtuelni-Razvoj-Proizvoda/>
339. CustomPartNet, Olney, SAD: Jetted Photopolymer. <http://www.custompartnet.com/wu/jetted-photopolymer>,
340. Objet Geometries Inc., Billerica, SAD: PolyJet Matrix™ 3D Printing Technology. [http://www.objet.com/PRODUCTS/PolyJet\\_Matrix\\_Technology/](http://www.objet.com/PRODUCTS/PolyJet_Matrix_Technology/),
341. The Ex One Company, Irwin, SAD: Materials. [http://www.exone.com/eng/technology/x1-prometal/materials\\_prometal.html](http://www.exone.com/eng/technology/x1-prometal/materials_prometal.html),
342. [http://www.profine-croatia.hr/arh\\_sheme/pdf/3D\\_modeliranje.pdf](http://www.profine-croatia.hr/arh_sheme/pdf/3D_modeliranje.pdf)
343. [http://bs.wikipedia.org/wiki/3D\\_printanje](http://bs.wikipedia.org/wiki/3D_printanje)
344. <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/3dp.png>
345. M. Jurković: „*Tehnološki procesi – projektovanje i modeliranje*“, Mašinski fakultet u Tuzli, Tuzla, 2000. godine
346. M. Fruht: „*Dizajn u proizvodnji*“, Naučna knjiga, Beograd, 1990. godine
347. S. Brdarević: „*Projektovanje fabrika (projektovanje proizvodnih sistema)*“, Travnik, 1996. godine
348. D. Zrnić, M. Prokić, P. Nilović: „*Projektovanje livnica*“, Mašinski fakultet Beograd, 1984. godine
349. M. Jurković: „*Reinženjering proizvodnih preduzeća – razvoj i modernizacija proizvodnje*“, Grafičar, Bihać, 2011. godine
350. V. R. Milačić: „*Proizvodni sistemi i tehnologija inovacija*“, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 1976. godine

351. K.T. Ulrich, S.D. Eppinger: „*Product Design and Development*“ 3rd edition, NY: McGraw Hill., 2004 godine
352. S.C. Wheelwright, K.B. Clark: „*Revolutionizing Product Development*,“ Maxwell-Macmillan, New York, NY., 1992. godine
353. C. H. Loch, S. Kavadias: "*Handbook of New Product Development Management*", First edition 2008. godine
354. W. J. Abernathy, J. M. Utterback: „*Patterns of industrial innovation*“, Technology Review June/July, 41–47., 1978. godine
355. K.B. Clark, T. Fujimoto: „*Product Development Performance*“, Boston, MA: Harvard Business School Press, 1991. godine
356. S. Lovrić: „*Analiza uskih grla u integralnom razvoju proizvoda*“ , magistarski rad, Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet u Tuzli, Tuzla, mart 2011. godine
357. G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, K.-H. Grote: „*Engineering Design - A Systematic Approach*“ Third Edition, Springer-Verlag London Limited 2007
358. F. Kramer: „*Produktplanung in der mittelständischen Industrie*“, Wettbewerbsvorteile durch Differenzierungs-Management. Proceedings ICED 91, Schriftenreihe WDK 20. Zürich: HEURISTA 1991. godine
359. E.V. Krick: „*An Introduction to Engineering and Engineering Design*“, 2nd Edition. New York: Wiley & Sons, Inc. 1969. godine
360. VDI-Richtlinie 2221:Methodik zum Entwickeln technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993. godine
361. C.J. Backhouse, N.J. Brookes: „*Concurrent Engineering: what's working where?*“, Gower Publishing, 1996. godine
362. I. Budak: „*Prilog analizi sistema za 3D digitalizaciju delova u mašinskoj proizvodnji*“, Seminarski rad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Postdiplomske studije, Novi Sad, 2002. godine
363. G. G. Wang: „*Definition and Review of Virtual Prototyping*“, Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, University of Manitoba, Winnipeg, MB, R3T 5V6, Canada
364. <http://www.cadalyst.com/manufacturing/virtual-prototyping-pays-9774>
365. virtual prototyping pays off May 1, 2003 By: Don LaCourse - <http://www.cadalyst.com/cadalyst-author/don-lacourse-34>
366. F. Dai, M. Göbel: „*Virtual Prototyping – An Approach Using VR-technique*“, Proceedings of the 1994 ASME Computers in Engineering Conference, Minneapolis, MN, 1994. godine
367. M. Jurković: „*Matematičko modeliranje inženjerskih procesa i sistema*“, Mašinski fakultet Bihać, Bihać 1999. godine
368. Dž. Tufekčić, M. Jurković: „*Fleksibilni proizvodni sistemi*“, Mašinski fakultet u Tuzli, Tuzla, 1999. godine
369. A. Topčić, Dž. Tufekčić, R. Šelo: " *Influence of triangle approximation parameters on quality of parts produced by Selective Laser Sintering process*", Međunarodni naučno-stručni skup: "Research and Development of Mechanical Elements and Systems", IRMES 2004, Kragujevac, Srbija i Crna gora, 2004. godine

370. I. Veža, B. Bilić, D. Bajić: „*Projektiranje proizvodnih sustava*“ , Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2001. godine
371. K.B. Clark, T. Fujimoto: „*Product Development Performance*“, Boston, MA: Harvard Business School Press, 1991. godine
372. User Manual EOSINT M Proceß-Steuerung Version 2.10.
373. J.P.Kruth, X. Wang, T. Laoui, F. Froyen: "*Lasers and materials in Selective Laser Sintering*", Catholoc University of Leuven, Belgium, LANE2001, Erlangen, 2001. godine

## POPIS SLIKA

1.1. Vrijeme trajanja projekta i kompleksnost proizvoda sa aspekta izrade prototipa	2
2.1. Odnos visine troškova i vremena neophodnog za otklanjanje eventualnih grešaka u funkciji faze procesa razvoja proizvoda	6
2.2. Prototip utičnice s produžnim kablom - Rambler Socket, dizajner Meysam Movahedi	7
2.3. Proizvodnja fizičkog prototipa automobila u glini: 1961. godine American Motors Corporation- AMC (desno) , moderni razvojni studio (lijevo)	7
2.4. Tipovi prototipa sa aspekta pojavnog oblika prototipa	8
2.5. Tipovi prototipa zavisno od implementacije, forme i aproksimacije	9
2.6. a) sistem zračnih jastuka u automobilu, b) princip djelovanja	10
2.7. Prototip od gline za potvrđivanje načela, razvijen za potrebe testiranja predloženog dizajna automobila s ciljem unaprijeđenja vrijednosti koeficijenta otpora zraka	10
2.8. Prototipovi za ispitivanje ergonomskih aspekata proizvoda	11
2.9. Vizualni prototip Bluetooth slušalice mobilnog telefona	11
2.10. a) i b) funkcionalni prototip automobila Beskid 106, dizajniran u Poljskoj (BOSMAL - Automotive Research and Development Center, period 1982÷1987) – nikada nije ušao u masovnu proizvodnju , c) funkcionalni prototip mobilnog telefona	12
2.11. Komunikacija i interakcija članova razvojnog tima pri razvoju: a) novog modela Škoda Octavia, b) kokpita koncepta automobila Ford EVOS, ], c) simulacija i analiza rada virtualnog prototipa	16
2.12. Faze procesa proizvodnje prototipa	18
2.13. Faze razvoja dizajna i prototipa automobila Ford EVOS Concept: a) skice konceptualnih rješenja i rješenje finalnog dizajna, b) izrada prototipa od gline, c) ručna proizvodnja prototip od aluminijskih vlakana i fiberglasa, d) finalni funkcionalni prototip koncepta automobila Ford EVOS	20

3.1. Fizički prototip: a) manualna proizvodnja prototipa automobila u glini, b) fizički prototip profila krila od polistirena, c) RP prototip vijčanog kompresora proizveden procesom trodimenzionalnog štampanja, f) prototip od sapunice	22
4.1. Neki od tradicionalnih pristupa proizvodnji fizičkih prototipova: a) manualna proizvodnja prototipa u glini, b) gotovi prototip motocikla izrađen u glini, c) proces CNC 5-osnog glodanja, d) gotovi prototip proizvedene CNC glodanjem od drveta, e) proces obrade erozijom – erozimat, f) prototip proizveden erozimatom	26
4.2. Primjena prototipa od gline za ispitivanje: a) ergonomskih svojstava dizajna unutrašnjosti automobila, b) hidrodinamičkih svojstava dizajna kobilice broda	28
4.3. a) Harley Earl sa svojim „LeSabre“ modelom napravljenim od gline, b) prototip od gline savremenog automobila	28
4.4. Faze procesa proizvodnje prototipa od gline	29
4.5. Neki od alata za oblikovanje prototipa od gline	29
4.6. Prototipovi od drveta: a) Canon fotoaparat, b) dječji bicikl	30
4.7. Ručni alati za obradu drveta i proizvodnju prototipa od drveta	30
4.8. Neki od primjera prototipova od drveta proizvedenih za potrebe automobilske industrije: a) spojler praga automobila, b) nosač mjenjačke kutije drveni prototip i gotovi aluminijski dio	31
4.9. a) ručna proizvodnja prototipa od stiropora, b) prototip automobila izrađen od polistirena	32
4.10. Primjer proizvodnje prototipa automobila klesanjem iz kamena	32
4.11. Primjeri prototipa proizvedenih procesima skidanja materijala za potrebe funkcionalnih testiranja: a) konvencionalna glodalica, b) robotizirana glodalica	33
4.12. Primjeri proizvodnje prototipa procesom 5-osnog glodanja: a) prototip turbinskog kola od metala, b) prototipa automobila od polistirena	34
4.13. Primjer proizvodnje prototipa od gline primjenom procesa skidanja materijala za potrebe automobilske industrije	35
4.14. Primjeri prototipa proizvedenih procesom savijanjem: a) savijanje cijevi za potrebe automobilske industrije, b) primjeri prototipa savijenih cijevi, c) okovi od lima	36
4.15. Primjeri prototipa proizvedenih kovanjem za potrebe funkcionalnih testiranja: a) pedala brdskog bicikla, b) oštrica noža, c) stege za drvo	37

4.16. Primjeri prototipa proizvedenih zavarivanjem za potrebe funkcionalnih testiranja: a) prototip rama motocikla X132 Hellcat, b) prototip aviona F16	39
4.17. a) pojava električnog impulsa (iskrenje) između alata i obratka u EDM procesu, b) EDM proces u dielektriku	40
4.18. a) EDM mašina (lijevo), b) prototipovi proizvedeni EDM procesom	41
4.19. Primjeri prototipa proizvedenih rezanjem laserom: a) prototip radio prijelnika, b) prototip novog sistema pakovanja proizvoda	42
4.20. Primjeri prototipa proizvedenih livenjem: a) magnezijjski odlivak liven pod potiskom, b) vakuumski lijevani propeler od aluminija, c) aluminijjski odlivak u pijesku razvodne grane V8 motora	43
5.1. Glavni aspekti primjene RP procesa	47
5.2. Faze procesa proizvodnje prototipa zasnovanih na primjeni aditivnih postupaka proizvodnje objekata	49
5.3. Primjer podešavanja procesnih parametara na 3D printeru z310+ (proizvođač: Z Corporation, USA): podešavanje vrste gradivnog materijala, debljine gradivnog sloja i nivoa kompenzacije (softver: ZPrint v.7.3)	49
5.4. a) priprema (prosijavanje) gradivnog materijala (prah) u procesu 3D štampanja, b) usipanje gradivnog materijala (transparentna fotosenzitivna smola) u SLA procesu	50
5.5. a) mogućnosti orijentacije objekata u radnoj komori 3DP mašine z310+ (x – smjer kretanja nosača glave za štampanje, y – smjer kretanja glave za štampanje, z – smjer izgradnje), b) orijentacija realnog objekata u radnoj komori mašine 3DP mašine z310+ u procesu izgradnje, c) orijentacija većeg broja objekata u radnoj komori mašine 3DP mašine z310+ po završetku procesa izgradnje, d) prikaz potencijalnog rasporeda većeg broja objekata pozicioniranih i adekvatno orijentiranih u radnoj komori RP mašine	51
5.6. Elementi RP sistema na nivou pripreme podataka	52
5.7. Šematski prikaz kombinacije RP procesa i virtualne stvarnosti	53
5.8. Šema direktne (a) i indirektno (b) razmjene podataka između CAD radnih stanica	54
5.9. Šema procesa razmjene podataka između različitih CAD softverskih paketa primjenom neutralnog formata podataka	55
5.10. Pregled 2D i 3D formata koji se koriste u RP sistemima	56

- 5.11. Prikaz trougaone aproksimacije sfere: a) idealna sfera, b) grubi mozaik, c) fini mozaik, d) i e) predstavljanje elementa trougla kod \*.stl formata 57
- 5.12. Prikaz sintakse ASCII zapisa (a) i binarnog zapisa (b) \*.stl formata 57
- 5.13. Utjecaj parametara pred-procesuiranja podataka (ch - visina tetive; ac - kontrola ugla) pri generiranju \*.stl formata zapisa u softverskom paketu ProE WildFire 2.0: a) 3D CAD zapreminski model, b) ch=0.5, ac=0.5; c) ch=0.1, ac=0.5, d) ch=0.5, ac=0.1; e) ch=0.1, ac:0.1; f) ch=0.05, ac=0.05 58
- 5.14. Dijaloški okvir za transformaciju 3D CAD modela u \*.stl format u: a) CATIA v5r13 ; b) ProE Wildfire 2.0 59
- 5.15. Priprema elemenata RP modela 60
- 5.16. Prezentacija pogrešno (a) i ispravno (b) transformirane \*.stl datoteke 60
- 5.17. Nastanak pukotina u trougaonom mozaiku 61
- 5.18. a) prikaz 3D CAD modela vijčanog kompresora (Mechanical Desktop); b) \*.stl. model pozicioniran u radnoj komori RP mašine; prikaz nekoliko karakterističnih poprečnih slojeva generiranih iz \*.stl modela u softverskom paketu 3DPrint 7.3, proizvođača: ZCorp, USA (ukupan broj slojeva: 1931, debljina sloja gradivnog materijala: 0,1 [mm]) i to: c) sloj: 506, visina: 51,41 [mm]; d) sloj: 574, visina: 58,32 [mm]; e) sloj: 807, visina: 81,99 [mm]; f) sloj: 828, visina: 83,13 [mm]; g) sloj: 1219, visina: 123,85 [mm]; h) sloj: 1548, visina: 157,28 [mm] 62
- 5.19. Primjer analize dimenzionalnih odstupanja dijelova proizvedenih procesom trodimenzionalnog štampanja (3DP) od materijala ZCast 501, proizvođač: ZCorp, USA: a) geometrija ispitnog 3DP dijela; b) otprašivanja viška gradivnog materijala u radnoj komori 3DP mašine sa pripadajućim orijentacijama i oznakama; c) „zeleni“ i termički tretirani 3DP ispitni dijelovi; d) mjerenje dimenzija 3D laserskim skener Desktop 3D Scanner HD, proizvođač: NextEngine, USA; e) prikaz procesuiranog „oblaka“ tačaka, f) izometrijski prikaz rezultata CAD inspekcije u [mm]; g) i h) pregled vrijednosti geometrijskih odstupanja u [%] za proizvedene 3DP ispitne dijelove na sobnoj temperaturi za: g) x osu, h) z osu; i) vrijednosti geometrijskih odstupanja proizvedenih 3DP testnih dijelova za „zeleni“ dio (isprekidana linija) i eksperimentalne tačke (puna linija) mjereno nakon termičke obrade 65
- 5.20. Primjer sklairanja \*.stl modela u radnoj komori 3DP mašine, softver ZPrint 7.3: ZCorp, USA: a) orijentacija \*.stl modela u radnoj komori 3DP mašine i anizotropno sklairani dio (crveno uokviren) sa parametrima pod b (donji dijaloški okvir); b) dijaloški okviri za linearno i anizotropno skaliranje 66
- 5.21. Primjer kompenzacija dimenzija elemenata sklopa vijčanog kompresora u procesu trodimenzionalnog štampanja (3DP), softverski paket ZPrint 7.3



(File → 3D Print Setup): a) *.stl model sklopa orjentisan u radnom prostoru RP mašine; b) dijaloški okvir za kompenzaciju elemenata sklopa	66
5.22. Izgled strukture oslonca u procesu: a) FDM, b) SLS, c) SLA	67
5.23. Prikaz generirane strukture oslonaca sa pripadajućim objektima u softverskom okruženu (a) i neposredno nakon proizvodnje (b), proces stereolitografija	67
5.24. Opšti princip rada SLS procesa	68
5.25. Prikaz nekih od proces izgradnje i spajanja slojeva: a) fotopolimerizacija, b) sinterovanje, c) topljenje, d) InkJet nanošenje	69
5.26. Rezultat post-procesuiranja proizvedenih RP dijelova: a) primjer SLS procesa – mašinska obrada, b) primjer 3DP procesa – farbanje	70
5.27. Uklanjanje proizvedenog RP dijela iz radne komore mašine: a) neposredno sa gradivnom platformom – primjer FDM proces, b) otprašivanjem viška gradivnog materijala bez gradivne platforme – primjer 3DP proces, c) mehaničko odvajanje RP dijela od radne platforme – primjer SLA proces	71
5.28. Uklanjanje strukture oslonaca: a) mehanički - primjer SLA proces, b) ispiranje vodom - primjer FDM proces, c) rastvaranjem - primjer FDM proces	71
5.29. Neke od faza postprocesuiranja proizvedenih RP dijelova: a) infiltracija voskom – primjer 3DP proces, b) pjeskarenje – primjer 3DP proces, c) bojanje – primjer SLA proces, d) poliranje – primjer SLS proces, e) UV očvršćivanje – primjer DLP proces	72
5.30. Klasifikacione šema RP sistema s obzirom na mehanizam i strategiju oslikavanja slojeva gradivnog materijala	74
5.31. Podjela RP procesa naspram principa predavanja potrebne svjetlosne energije gradivnom materijalu: a) tačka po tačka- SLS proces, b) po cijeloj površini – DLP proces	75
5.32. Kategorije aditivnih postupaka slojevite proizvodnje dijelova sa aspekta primjene: a) proizvodnja prototipa- SLA proces, b) proizvodnja alata – 3DP proces, c) šematski prikaz indirektna aplikacije RP dijelova u procesa preciznog livenja, d) proizvodnja gotovih upotrjebljivih dijelova – SLS proces	77
5.33. Prezentacija podjele RP procesa sa aspekta zahtjeva naspram potrebe generiranja strukture oslonaca: a) prikaz rasporeda većeg broja objekata pozicioniranih i adekvatno orijentiranih u radnoj komori RP mašine s ciljem korištenja cjelokupne raspoložive zapremine radne komore – 3DP proces, b) primjer dijelova ugnježenih u okolni gradivni materijal – 3DP proces, c) struktura oslonaca osigurava realizaciju neposrednog procesa	

proizvodnje – primjer SLA proces, d) prikaz prototipa i strukture oslonaca u LOM procesu	78
5.34. Prezentacija stepenastog efekta na dijelu proizvedenom FDM procesom	80
5.35. a) utjecaj stepenastog efekta na kvalitetu površine dijelova proizvedenih aditivnim procesima slojevite proizvodnje, b) prikaz efekta stepenastog koraka pri različitim debljinama gradivnog sloja	81
5.36. Načini unaprjeđivanja kvaliteta površine u aditivnim procesima slojevite proizvodnje sa aspekta stepenastog efekta: a) optimalna orijentacija dijelova u procesu proizvodnje, b) adaptivno kreiranje debljine slojeva gradivnog materijala, c) izgradnja slojeva pod određenim uglom ivica u odnosu na smjer gradnje	82
5.37. Procentualna zastupljenost RP procesa po pojedinim područjima primjene [izvor: <i>Wholers Report 2012</i> ]	83
5.38. Primjeri primjene aditivnih procesa slojevite proizvodnje objekata pri proizvodnji proizvoda široke potrošnje: a) prototip drške aparata za brijanje, b) prototip kućišta mobitel aparata, c) industrija igračaka, d) posude za pakovanje	84
5.39. Primjeri primjene aditivnih procesa slojevite proizvodnje objekata u automobilskoj industriji: a) prototip formule Ferrari model F1, b) prototipa i na osnovu njega proizvedeni funkcionalni dio podne konzole automobila Chevrolet Malibu 2014	85
5.40. Primjeri primjene aditivnih procesa slojevite proizvodnje objekata u aerospace industriji: a) SLA model rukavice astronauta, b) prototip avionskog motora, c) 3DP model suvremenog lovačkog aviona	85
5.41. Primjeri primjene aditivnih procesa slojevite proizvodnje objekata u medicini: a) planiranje operativnog zahvata u maksilofacijalnoj hirurgiji, b) 3D zapreminski model donje vilice pacijenta, c) 3DP model ljudskog embrija, d) bioprinting, e) razvoj ortopedskih pomagala	86
5.42. Primjeri primjene aditivnih procesa slojevite proizvodnje objekata pri proizvodnji industrijskih mašina: a) prototip kućišta ručne bušilice, b) prototip segmenta industrijskog postrojenja, c) provjera mogućnosti montaže	87
5.43. Primjeri primjene aditivnih postupaka slojevite proizvodnje objekata u vojnoj industriji: a) potpuno funkcionalni metalni pištolj, b) prototip vojne kacige, c) komponente (bijelo) funkcionalne poluautomatske puške AR15	87
5.44. Primjeri primjene aditivnih procesa slojevite proizvodnje objekata u arhitekturi: a) prototipovi pojedinačnih objekata, b) projektovanje i uređenje urbanih cjelina	88

5.45. Primjeri primjene aditivnih procesa slojevite proizvodnje objekata: a) industriji nakita, b) umjetnosti, c) marketingu	88
5.46. Geografska diverzifikacija proizvođača RP sistemi	89
5.47. Primjer primjene RP sistema od strane nezavisne SME kompanije s ciljem unaprijeđenija vozniha karakteristika motocikla Ducati D-16 990cc V-4 MotoGP – rezultat motocikl pod oznakom NCR M-16 (desno)	92
5.48. a) princip rada SLA sistema, b) mašina SLA-250/50 (proizvođač: 3D System, USA)	93
5.49. „Sirovi“ SLA prototip (plavi materijal) u radnoj komori mašine sa strukturom oslonaca (bijeli materijal)	94
5.50. a) radna komora SLA mašine sa radnom platformom, b) proces solidifikacije fotoosjetljive smole UV laserom, c) SLA prototipovi u radnoj komori SLA mašine	95
5.51. Galvanometrijski upravljanja skenirajuća ogledala: a) ogledalo za X i Y ose, b) ogledala u skenirajućoj glavi, c) putanja laserske zrake (crvena linija) kroz skenirajuću glavu	96
5.52. UV peć za dodatno očvršćavanje SLA prototipa	96
5.53. SLA prototip automobila Citroen C3	97
5.54. a) SLA prototip korišten u umjetničke svrhe, b) dijelovi izrađeni i postprocesuirani na SLA u različitim smolama; c) funkcionalni prototip motora (sa dodatnim dijelovima koji nisu izrađeni SLA tehnologijom) – Grupa Rover	97
5.55. SLA prototip izduvnog sistema automobila (lijevo) i funkcionalno testiranje SLA prototipa izduvnog sistema automobila (desno) – Grupa Rover	98
5.56. Proizvodnja funkcionalnog SLA dijela za automatizirani podizač stakla na automobilu Škoda Octavia A5: a) postojeći ručni mehanički podizač stakla, b) sklop i sastavni elementi postojećeg ručnog mehaničkog podizača stakla, c) 3D CAD model zamjenskog doboša za automatizirani mehanizam za podizanje stakla, d) zamjenski doboš – funkcionalni dio dobiven SLA postupkom, e) testiranje proizvoda dobijenog primjenom RP tehnologije, f), g) ugradnja proizvoda dobijenog primjenom SLA postupka	99
5.57. Mikro SLA prototipovi: a) funkcionalni zupčasti par, b) mikro prototip automobila, c) mikro prototip formule	100
5.58. a) princip rada DLP tehnologije, b) uvećani prikaz skupa mikroskopskih ogledala, c) princip upravljanja DMD ogledalom	105

- 5.59. Faze DLP fotopolimerizacije (gradivni materijal u radnoj komori - lijevo, fotoizlaganje površine – sredina, očvršli sloj gradivnog materijala - desno) 106
- 5.60. a) prototip izduvne grana motora sa unutrašnjim sagorijevanjem (materijal: RC31), b) primjena u indirektnom livenju (materijal: EC500), c) primjena u proizvodnji medicinske opreme (materijal: iFlex 500) 106
- 5.61. a) šematski prikaz SLS procesa, b) faze procesa proizvodne SLS prototipa 108
- 5.62. Procesuiranje SLS dijela na RP mašini: a) postavljenje noseće platforme u radnoj komori SLS mašine; b) radna komora SLS mašine pripremljena za proizvodnju; c) faza izlaganja gradivnog materijala laseru; d) nanošenje novog sloja gradivnog materijala; e) proizvedeni SLS dio u radnoj komori mašine 109
- 5.63. Poroznost proizvedenog SLS prototipa u funkciji parametara SLS procesa, materijal EOS-DMLS DM 50-V2 a)  $P_l=200$  [W],  $v_s=100$ [mm/s] , b)  $P_l=100$  [W],  $v_s=100$ [mm/s], c)  $P_l=200$  [W],  $v_s=100$ [mm/s] 110
- 5.64. Postprocesuiranje za SLS (materijal: plastika, keramika, staklo, metal): a) vađenje dijela iz radne komore; b) grubo čišćenje dijela; c) grubo čišćenje zaostalog praha pneumatskim pištoljem u komori; d) fino čišćenje zaostalog praha pneumatskim pištoljem; e) gotovi SLS dio 111
- 5.65. Postprocesuiranje za DMLS (gradivni materijal: metal): a), b), c) uklanjanje okolnog neiskorištenog gradivnog materijala u radnoj komori mašine; d), e) očišćeni dio na radnoj platformi sa strukturom oslonaca; f) odsijecanje dijela tračnom pilom sa radne platforme; g) mašinska obrada proizvedenog SLS dijela; h) gotovi SLS dio; i) SLS dio kao alat u mašini 112
- 5.66. a) izgled poprečnog presjeka prototipa i sidrišta, b) prikaz sloja i pozicija turbinskog kola u radnoj komori (EOSINT M250), c) gotovi prototip turbinskog kola d) ostaci sidrišta na prototipu turbinskog kola, e) izgled odstranjenog sidrišta 118
- 5.67. a) proces trodimenzionalnog štampanja 3DP, b) 3D printer z310+ proizvođača Z Coproration, USA 119
- 5.68. Faze 3DP procesa: a) radna komora sprema za procesuiranje, b) štampanje prototipa, c) vađenje prototipa iz radne komore mašine i čišćenje, d) infiltracija voskom, d) infiltracija cianoakrilatom - nakapavanjem, f) lakiranje 3DP prototipa 120
- 5.69. 3DP prototip vijčanog kompresora proizveden s ciljem provjere određenih karakteristika dizajna proizvoda 121
- 5.70. Primjena 3DP dijelova kao funkcionalnih proizvoda (nosač glava za štampanje): a) originalni nosač glava sa štampanje od plastike, b) proizvedeni 3DP dio (zp130) infiltriran Z Max, c) ubacivanje spojnih

matica, d) mašinska obrada – bušenje otvor za ležajeve, e) komparacija originalnog i proizvedenog 3DP dijela, f) funkcionalni 3DP dio instaliran na mašini	121
5.71. Indirektna proizvodnja alata za livenje u RTV procesu primjenom 3DP prototipa	122
5.72. Primjena 3DP dijelova u DMC procesu namijenjenog za direktno lijevanje aluminija i drugih ne-željeznih legura do temperature topljenja od 1100 [°C], a) 3D CAD model, b) eksperimentalni 3DP kalup, c) procesa vađenja odlivka iz kalupa, d) i e) gotovi aluminijski odlivak	123
5.73. Primjena 3DP dijelova za livenje u pijesku: a) model i jezgra kalupa za livenje u pijesku, b) proizvedeni 3DP dijelovi alata za livenje, c) i d) formiranje kalupa za livenje, e) proizvedeni odlivak papuče grabuljastog transportera	123
5.74. Primjena 3DP dijelova za livenje u školjku	124
5.75. Različita područja primjene 3DP dijelova u zavisnosti od vrste gradivnog materijala	126
5.76. Šematski prikaz mikrostrukture gradivnog materijala i uloga adhezivnog sredstva u 3DP procesu	128
5.77. Postprocesuiranje proizvedenih 3DP dijelova : a) otprašivanja viška gradivnog materijala, b) termička obrada, c) infiltracija 3DP dijela četkanjem, d) infiltracija 3DP dijela namakanjem	129
5.78. Šematski prikaz: a) popunjavanja mikrostrukture gradivnog materijala infiltrantom, b) popunjene mikrostrukture gradivnog materijala infiltrantom u 3DP procesu	130
5.79. 3DP prototip u boji, proizveden na ZPrinter z450	131
5.80. Proizvodnja 3DP prototipa za potrebe medicinskih aplikacija: a) obrada CT podataka, b) generirani 3DCAD modela, c) 3DP modela u fazi proizvodnje, d) gotovi 3DP model	132
5.81. Princip 3D štampanja mlazom fotopolimera	133
5.82. Primjer proizvodnje 3DP-PJET prototipa: a) radna platforma sa glavom za štampanje u fazi proizvodnje prototipa, b) i c) neposredni prikaz nanošenja gradivnog materijala glavom za štampanje	134
5.83. Primjer proizvodnje 3DP-PJET prototipa od digitalnog materijala (kombinacija 14 materijala u istom 3DP-PJET dijelu proizveden izjedna)	134
5.84. a) mehaničko uklanjanje 3DP-PJET dijela sa gradivne platforme, b) odstranjivanje potpornog materijala mehaničkim putem, c) odstranjivanje potpornog materijala mlazom vode (eng. WaterJet)	135

5.85. Primjena 3DP-PJET prototipa: a) konceptualni prototip proizveden za potrebe ergonomskih analiza, b) funkcionalni prototip dijela izrađenog za potrebe automobilske industrije, c) prototip proizveden za medicinske potrebe primjenom 3DP PolyJet Matrix procesa	135
5.86. Lepeza gradivnih materijala i pripadajućeg potpornog materijala proizvođača Objet	137
5.87. Princip 3D štampanje termoplastičnih materijala (lijevo), faza neposredne proizvodnje u radnoj komori i uklanjanja gotovog dijela iz radne komore mašine CubeX, proizvođač: 3D Systems (desno)	140
5.88. a) princip rada 3DMP uređaja, b) izgled unutrašnjosti radne komore sa odštampanim 3DMP dijelovima i InkJet glavom za štampanje	146
5.89. 3DMP operacije postprocesuiranja za sisteme koji svoj rad zasnivaju na metalnom prahu kao gradivnom materijalu: a) usisavanje neutrošenog gradivnog materijala, b) uklanjanje dijela iz radne komore mašine, c) otprašivanje mlazom komprimiranog zraka [116], d), e) priprema za infiltraciju, f) čišćenje dijela nakon infiltracije, g) mehaničko uklanjanje baze korištene za infiltraciju – rezanje	147
5.90. Mogućnosti primjene 3DMP dijelova: a) primjena 3DMP kalupa za livenje bloka automobilskog motora, b) metalni 3DMP medicinski implantat, c) funkcionalni metalni 3DMP prototip, d) 3DMP kalup i jezgra, te gotovi odlivak turbinskog kola	148
5.91. Kvalitet površine dijelova proizvedenih 3DMP procesom: a) „zeleni“ metalni 3DMP dio, b) infiltrirani 3DMP dio, gradivni materijal: nehrđajući čelik infiltriran broncom, c) mašinski obrađeni 3DMP dio	151
5.92. a) šematski prikaz FDM procesa, b) prikaz mašine FDM 1650 (Stratasys) sa namotajima gradivnog materijala	152
5.93. a) Prototip kućišta motora proizveden FDM procesom, b) Proizvedeni injekcioni kalup FDM sa izvršenim elektrooblaganjem: alat (polovina kalupa) na vrhu, b) Držać automobilskih vrata izgrađen za 9 h 23 min na Stratasys FDM200	152
5.94. Operacije postprocesuiranja FDM prototipa: a) vađenje prototipa iz radne komore, b) odvajanje prototipa od gradivne platforme, c) mehaničko odvajanje potpornog materijala - BST pristup, d) Uklanjanje strukture oslonca SST pristup, e) pranje mlazom vode, f) dodatna mehanička obrada prototipa – šmirglanje	153
5.95. Mogućnosti primjene proizvedenih FDM dijelova	156
5.96. a) šematski prikaz LOM procesa, b) prikaz gotovih prototipova sa segmentima oslonca, c) LOM mašina Helisys LOM 2030	158
5.97. Uklanjanje potporne strukture i oslonaca od LOM dijela	159

5.98. Proizvodi LOM postupka a) prototip kućišta, b) negativ za proces livenja, c) jezgre za kalupe	160
5.99. Područja primjene proizvedenih LOM dijelova : a) prototip sportske obuće, b) direktna primjena LOM dijelova kao modela kalupa i jezgranika za potrebe livenja u pijesku, c) indirektna primjena LOM dijelova kao negativa modela kalupa za proizvodnju alata od smole za potrebe livenja u pijesku	160
5.100. Usporedni prikaz minimalnih i maksimalnih cijena koštanja pojedinih RP sistema	166
5.101. Okvirni pregled troškova izrade, cijena materijala, brzine gradnje i vremena postprocesuiranja po pojedinim RP procesima	167
5.102. Okvirni pregled odnosa debljine gradivnog sloja, hrapavosti površina, tačnosti modela, minimalne debljine stjenke i prečnika otvora za pojedine RP procese	167
5.103. Usporedni prikaz opštih kvalitativnih karakteristika RP postupaka prema	168
5.104. Usporedni prikaz pojedinih mehaničkih karakteristika RP gradivnih materijala na bazi polimera	169
5.105. Usporedni prikaz pojedinih mehaničkih karakteristika RP gradivnih materijala na bazi metala	169
5.106. Usporedba opštih karakteristike procesa proizvodnje prototipa primjenom konvencionalnih metoda i brze izrade prototipa	170
5.107. Prototipovi brodova izrađeni konvencionalnim tehnologijama u fazi testiranja: a) civilni brod, b) vojni brod	171
5.107. Grubo poređenje primjene RP sistema i konvencionalnih metoda pri proizvodnji gotovih upotrjebljivih dijelova s aspekta troškova i vremena proizvodnje jednoga dijela kao funkcije njegove složenosti	172
5.108. Usporedba RP/RT i konvencionalnih postupaka sa aspekta troškova i tačnosti izratka naspram kompleksnosti proizvoda prema D. Bajić (FESB Split)	172
5.109. Komparativna analiza inicijalnih troškova i vremena obrade naspram dodatnih troškova i vremena proizvodnje za različite RP i konvencionalne postupke pri proizvodnji plastičnih prototipa za medicinske aplikacije	173
5.110. a) i b) primjer alata proizvedenih SLS procesom kao i dijelova dobivenih upotrebom navedenih alata, c) komparativna analiza vremena proizvodnje funkcionalnih metalnih alata primjenom SLS procesa i tradicionalnog pristupa proizvodnji istih	174

5.111. Komparativna analiza troškova proizvodnje alata za livenje dijela turbine u funkciji veličine serije između RP procesa i tradicionalnih pristupa proizvodnji modela	175
5.112. Komparativna analiza troškova primjene DMLS postupka naspram konvencionalne proizvodnje alata za brizganje	175
5.113. Komparativna analiza troškova primjene RP naspram konvencionalnih postupaka za slučaj masovne i maloserijske proizvodnje svedeno na jedinicu proizvoda	176
6.1. a) aktivirani sistem zračnih jastuka u automobilu, b) faze aktiviranja zračnog jastuka	178
6.2. a), b) složena kontura od žice popunjena sapunskom membranom, c) prototipovi arhitektonskog rešenja objekta od sapunske membrane, d) prototipovi arhitektonskog rešenja objekta od sapunske membrane	179
6.3. Nekonvencionalni prototip strukture građevinskog objekta napravljen od tkanine	180
6.4. a) i b) olimpijski park u Minhenu (München, Njemačka), c) prototip od tkanine – svila; d) i e) prototip od tkanine – mrežni model	181
6.5. Primjena teorije sličnosti: a) posmatrana pojava na stvarnom objektu, b) posmatrana pojave na prototipu zasnovanom na primjeni teorije sličnosti	182
7.1. a) primjeri virtualnog prototipa vijčanog kompresora (Mechanical Desktop 6.0), b) primjer virtualnog prototipa pri CFD analizi	183
7.2. Primjena virtualnih prototipa za potrebe razvoja odjevnih predmeta	184
7.3. Vremenski okvir procesa razvoja proizvoda zasnovan na primjeni tradicionalnog i virtualnog prototipa	185
7.4. Komponente realizacije procesa virtualnog prototajpinga	186
7.5. Iterativni proces oblikovanja i analize u virtualnom prototajpingu	187
7.6. Usporedba tradicionalnog CAD/CAE/CAM fokusiranog razvoja proizvoda i razvoja proizvoda fokusiranog na virtualni prototajping	188
7.7. a) „Cave“ radno okruženje za prezentaciju virtualnih prototipova, b) 3D model „Cave“ okruženja, c) prikaz virtualnog dizajna unutrašnjosti automobila u „Cave“ okruženju, d) prezentacija virtualnog prototipa sklopa šasije automobila u „Cave“ okruženju	189
7.8. a) prijedlog rane faze dizajna Boeinga 787 – virtualni dizajn, b) prikaz konceptualnog uređenja unutrašnjosti kabine u virtualnom okruženju, c)	



prikaz virtualnih testiranja u zračnom tunelu, d) Boeing 787 Dreamliner na probnom letu 15.12.2009. godine	190
7.9. Virtualni prototip „Shift by Wire“ ručice mjenjača automobila	191
7.10. a) virtualni prototip proizvodnog sistema, b) virtualni prototip robotizirane ćelije za pakovanje	192
7.11. a) provjera montaža i demontaža fizičkog dijela na virtualnom prototipu automobila, b) analiza procesa montaže interijera automobila u virtualnom okruženju	192
7.12. a) integracija virtualnog prototipa u realno okruženje pri obučavanju održavaoca, b) analiza sklopova i mašina sa različitih aspekta održavanja	193



## POPIS TABELA

2.1. Implementacija različitih prototipova sa aspekta forme za različite namjene	14
4.1. Podjela procesa obrade zavarivanjem	38
5.1. Podjela RP procesa prema gradivnom materijalu	73
5.2. Pregled proizvođača RP sistema	90
5.3. Osnovne karakteristike nekih od tržišno dostupnih SLA uređaja	101
5.4. Pregled nekih tržišno dostupnih SLA gradivnih materijala	102
5.5. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih SLA gradivnih materijala - podaci dobiveni ispitivanjem u skladu sa ASTM metodama (eng. <i>American Society for Testing and Materials</i> )	104
5.6. Osnovne karakteristike nekih tržišno dostupnih DLP uređaja	107
5.7. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih DLP gradivnih materijala - podaci dobiveni ispitivanjem u skladu sa ASTM metodama (eng. <i>American Society for Testing and Materials</i> )	107
5.8. Karakteristike nekih tržišno dostupnih SLS uređaja	113
5.9. Pregled nekih tržišno dostupnih SLS gradivnih materijala	114
5.10. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih SLS gradivnih materijala - podaci dobiveni ispitivanjem u skladu sa ASTM metodama (eng. <i>American Society for Testing and Materials</i> )	116
5.11. Karakteristike nekih tržišno dostupnih 3DP uređaja	125
5.12. Pregled nekih tržišno dostupnih 3DP gradivnih materijala	126
5.12. Karakteristike nekih tržišno dostupnih 3DP-PJET uređaja	136
5.13. Pregled nekih tržišno dostupnih 3DP-PJET gradivnih materijala	137
5.14. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih 3DP-PJET gradivnih materijala - podaci dobiveni ispitivanjem u skladu sa ASTM metodama (eng. <i>American Society for Testing and Materials</i> )	139
5.15. Karakteristike nekih tržišno dostupnih 3DP-J/MJP uređaja	141
5.16. Pregled nekih tržišno dostupnih 3DP-J/MJP gradivnih materijala	142

5.17. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih 3DP-J/MJP gradivnih materijala - podaci dobiveni ispitivanjem u skladu sa ASTM metodama (eng. American Society for Testing and Materials)	144
5.18. Karakteristike nekih od tržišno dostupnih 3DMP uređaja	149
5.19. Pregled nekih tržišno dostupnih 3DMP gradivnih materijala	150
5.20. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih 3DMP gradivnih materijala	150
5.21. Karakteristike nekih od tržišno dostupnih FDM uređaja	154
5.22. Pregled nekih tržišno dostupnih FDM gradivnih materijala	155
5.23. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih FDM gradivnih materijala - podaci dobiveni ispitivanjem u skladu sa ASTM metodama (eng. American Society for Testing and Materials)	155
5.23. Karakteristike nekih od tržišno dostupnih LOM uređaja	161
5.24. Pregled nekih tržišno dostupnih LOM gradivnih materijala	162
5.25. Usporedba mehaničkih karakteristika nekih tržišno dostupnih LOM gradivnih materijala - podaci dobiveni ispitivanjem u skladu sa ASTM metodama (eng. American Society for Testing and Materials)	162
5.26. Aplikativna područja primjene i maksimalna veličina gradivne komore pojedinih tržišno dostupnih RP sistema	164
5.27. Pregled komparativnih karakteristika pojedinih RP sistema	165
5.28. Opšta komparativna analiza pojedinih RP postupaka i konvencionalnih metoda	173
5.29. Usporedba mogućnosti različitih RP i konvencionalnih postupaka pri proizvodnji plastičnih prototipova za medicinske aplikacije	174

## POPIS SKRAĆENICA

- ABS** - akrilonitril butadien stiren (eng. *Acrylonitrile Butadiene Styrene*)
- ASCII** - Američki standardni znakovnik za razmjenu informacija (eng. *American Standard Code for Information Interchange*)
- ASTM** – Američko udruženje za testiranje i materijale (eng. *American Society for Testing and Materials*)
- BST** - pristup uklanjanju potpornog materijala mehaničkim putem – kidanjem (eng. *Breakaway Support Technology*)
- CAD** – kompjuterski podržan dizajn (eng. *Computer Aided Design*)
- CAM** – kompjuterski podržana proizvodnja (eng. *Computer Aided Manufacturing*)
- CAE** – kompjuterski podržan inženjering (eng. *Computer Aided Engineering*)
- CAPP** - kompjuterski podržano planiranje procesa (eng. *Computer Aided Process Planning*)
- CAX** – kompjuterski podržan .. (eng. *Computer Aided ..*)
- CFL** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *Cubital Facet List*)
- CIM** - kompjuterski integrirana proizvodnja (eng. *Computer Integrated Manufacturing*)
- CLI** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *Common Layer Interface*)
- CNC** – kompjutersko numeričko upravljanje (eng. *Computer Numerical Control*)
- CO<sub>2</sub>** – karbondioksid (eng. *Carbon Dioxide*)
- CT** - kompjuterska tomografija (eng. *Computerized Tomography*)
- dpi** – tačka po inču (eng. *dots per inch*)
- DLP** – procesiranje digitalnom svjetlošću (eng. *Digital Light Processing*)
- DMC** - proces direktnog lijevanje aluminija i drugih ne-željeznih legura (eng. *Direct Metal Casting*)
- DMD** – uređaj od digitalna mikroogledala (eng. *Digital Micromirror Device*)
- DMLS** - direktno lasersko sinterovanje metala (eng. *Direct Metal Laser Sintering*)

**DXF** – tip formata za razmjenu podataka (eng. *Drawing Interchange Format* ili *Drawing Exchange Format*)

**EDM** - obrada elektroerozijom (eng. *Electro Discharge Machining*)

**EOS** – elektro-optički sistemi (eng. *Electo-Optical Systems*)

**FDM** - nanošenjem materijala ekstrudiranjem (eng. *Fused Deposition Modeling*)

**FEM** – metoda konačnih elemenata (eng. *Finite Element Method*)

**HPGL** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *Hewlett-Packard Graphics Language*)

**IGES** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *Initial Graphics Exchange Specification*)

**IT** - informacione tehnologije (eng. *Information Technologies*)

**LEAF** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *Layer Exchange ASCII Format*)

**LOM** - proizvodnja objekata laminiranjem (eng. *Laminated Object Manufacturing*)

**LM** - slojevita proizvodnja (eng. *Layered Manufacturing*)

**MIT** – Tehnološki institut Masačuses (eng. *Massachusetts Institute of Technology*)

**MRI** - magnetska rezonancija (eng. *Magnetic Resonance Imaging*)

**NURBS** – neuniformna racionalna bazna kriva (eng. *Non-uniform rational basis spline*)

**PLA** - polilactid kiseline (eng. *Polylactic Acid*)

**PVC** – polivinil klorid (eng. *PolyVinyl Shloride*)

**RE** - reverzibilno inženjerstvo (eng. *Reverse Engineering*)

**RM** - brza proizvodnja (eng. *Rapid Manufacturing*)

**RP** – brza izrada prototipa (eng. *Rapid Prototyping*)

**RPI** – RP interfejs (eng. *Rapid Prototyping Interface*)

**RT** - brza izrada alata (eng. *Rapid Tooling*)

**RTV** – proces vulkanizacije na sobnoj temperaturi (eng. *Room Temperature Vulcanization*)

**SET** – tip formata za razmjenu podataka (fran. *Standard d'Échange et de Transfert*)

**SFF** - proizvodnja čvrste slobodne forme (eng. *Solid Freeform Fabrication*)

**SLA** - stereolitografija (eng. *Stereolitographpy Aparatus*)

**SLC** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *StereoLithography Contour*)

**SLS** - selektivno lasersko sinterovanje (eng. *Selective Laser Sintering*)

**SME** - male i srednje kompanije (eng. *Small and Medium Enterprise*)

**SSSR** – Savez socijalističkih sovjetskih republika (rus. *Союз Советских Социалистических Республик*)

**SST** – pristup uklanjanje potpornog materijala otapanjem (eng. *Soluble Support Technology*)

**STL** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *STereoLithography*)

**STEP** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *Standard for the Exchange of Product Data*)

**TPM** - tri propilen metil glikol etar (eng. *TriPropylene Glycol Methyl Ether*)

**USA** - Sjedinjene američke države (eng. *United States of America*)

**UV** – ultraljubičasto (eng. *Ultraviolet*)

**VDA-FS**- tip formata za razmjenu podataka (njem. *VDA - Flachen Schnittsell 1987-standard DIN 66301*)

**VR** - virtualno okruženje/stvarnost (eng. *Virtual Environment / Reality*)

**VRML** - tip formata za razmjenu podataka (eng. *Virtual Reality Modeling Language*)

**WWW** – svjetska mreža – Internet (eng. *World Wide Web*)

**ZUT** - zone utjecaja topline

**2D** – dvodimenzionalno (eng. *Two Dimensional*)

**3D** – trodimenzionalno (eng. *Three Dimensional*)

**3DP** - trodimenzionalno štampanje (eng. *Three-Dimensional Printing*)

**3DMP** - trodimenzionalno štampanje metala (eng. *Three Dimensional Metal Printing*)

**3DP-PJET** - trodimenzionalno štampanje fotopolimera (eng. *Three Dimensional Printing - Photopolymer Jetting*)

**3DP-J/MJP** - trodimenzionalno štampanje termoplastičnih materijala (eng. *Three Dimensional Printing - InkJet and MultiJet Printing*)





## INDEKS POJMOVA

### A

Aproksimacija 57, 58  
Anomalije 60  
Adhezivno sredstvo 119, 124, 127

### B

Brza izrada prototipa 22, 43, 45, 76  
Bojenje 71  
Brza izrada alata 76, 135, 138  
Brza izrada proizvoda 77  
BioPrinting 85  
Binder 119, 124, 145, 146

### C

CAD datoteka 6, 46, 48

### D

Digitalizirani podatci 23, 68  
Drvo 27, 30, 35  
Dielektrički medij 40  
Digitalni model 45  
Direktna razmjena podataka 53  
Dimenzionalna odstupanja 63  
DLP 106  
DMLS 108, 111  
DMC 122  
Digitalni materijali 134  
Demontaža 191

### E

Elektroerozija 40  
Ekstrudiranje 73, 154  
Ekspozicija 95

Elastomer 124, 130, 154, 165

### F

Fizički prototip 7, 15, 21, 25  
Funkcije prototipa 9  
Faze procesa proizvodnje prototipa 16  
Funkcionalnosti prototipa 17  
Fotopolimerizacija 70, 94, 105, 109  
Fotopolimer 94, 102, 133, 138  
FDM 72, 151

### G

Grubi prototip 8  
Glina 27, 35  
Gradivni materijal 49, 50, 69, 91, 104, 117, 124, 137, 162, 168  
Gradivna platforma 67, 70, 74, 117, 153, 159  
Galvanizacija 71  
Gumena membrana 178

### I

Iteracije proizvedenih prototipa 16  
Indirektna razmjena podataka 53  
Interfejs 54  
InkJet 70, 119, 127, 133, 140, 146, 151  
Infiltracija 71, 110, 119, 124, 128, 147  
Inertni gas 110, 117

## K

Klesanje 32  
Kamen 32  
Kompjuterska tomografija 47, 52  
Konverzija podataka 53  
Kompenzacija 64, 68  
Konzerviranje 71  
Keramika 42, 76, 108, 116, 127, 162

## L

Livenje 42  
Laminiranje 68, 70, 157  
Lakiranje 71  
LOM 72, 157  
Laser 42, 49, 72, 94, 109, 159  
Lamina 157

## M

Mašinska obrada 23, 27, 32, 71, 117  
„Mekani“ materijali 27 31  
Metali 27, 35, 40, 73, 76, 108, 116,  
122, 145, 148, 175  
Metalizacija 114, 135, 137, 175  
Magnetska rezonancija 47, 52  
Materijal za oslonce 49, 50  
Mreža trouglova 57  
Mehaničke karakteristike 63, 64  
Mehanizam oslikavanja 74, 75  
Mikro prototip 98  
MultiJet 141, 145  
M Print 147  
Montaža 191

## N

Namjena prototipa 9  
Nekonvencionalne metode 22  
Neutralni format podataka 53, 54  
Naknada 51, 64, 151  
Naplavljivanje 69  
Najlon 116

## O

Obrada skidanjem materijala 34  
Obrada deformacijom 36  
Operater 53, 64  
Orijentacija 63, 64, 81  
Oslonac 51, 64,  
66, 68, 71, 78, 94, 105, 131, 143, 159

## P

Precizni prototip 9  
Proizvodna varijanta proizvoda 12  
Prototajping 7, 13, 17, 19, 27, 46, 184,  
188  
Polistiren 22, 27, 31, 35  
Procesni parametri 19, 49, 66, 95,  
110, 117, 151, 153,  
Pjeskarenje 72, 116  
Poliranje 72, 156  
Prag ekspozicije 95  
PVC 117, 161, 163  
PolyJet Matrix 133, 136, 139  
Papir 42, 131, 159, 164

## R

Razvoj proizvoda 5, 13, 14, 19  
Ručne metode 22, 27  
Rezanje laserom 42  
Reverzibilno inženjerstvo 28, 47, 52  
Radna komora 50, 78, 95, 109, 120  
Razmjena podataka 53  
Rastersko popunjavanje 75  
RTV 122

## S

Stepena reprezentativnosti 8  
Stiropor 27, 31, 35  
Spužva 31  
Simultano inženjerstvo 33  
STL 55, 56, 63, 66, 94, 108, 145  
Sloj materijala 63, 81, 106, 108, 131,  
158  
Stepenasti efekt 63, 80, 104, 117

Struktura oslonaca 51, 64, 66, 71, 78,  
94, 96, 105, 110, 131, 143, 153, 159  
Sinterovanje 70, 109  
SLA 67, 72, 93  
SLS 72, 108  
Strategija oslikavanja 74, 75  
Sidrište 117  
Snap-fit 124  
S Print 147  
Sapunaska membrana 178

## Š

„Širina“ puta 153  
„Što-ako“ analiza 185

## T

Testiranja 11, 14, 27, 33, 86, 119, 177  
Tehnički crtež 15, 27, 30, 189  
Tehnološka dokumentacija 18, 33  
Tradicionalne metode 22, 25, 45  
Trodimenzionalna digitalizacija 52  
Trougaona mreža 63  
Tačnost 69  
Trodimenzionalno štampanje 72, 118  
Time-To-Market 84  
Temperaturna izdržljivost 124  
Trodimenzionalno štampanje  
fotopolimera 133  
Trodimenzionalno štampanje termo  
plastičnih materijala 140  
ThermoJet 142  
Trodimenzionalno štampanje metala  
145  
Tehnološki proces 13, 14, 25, 170,  
187

## V

Virtualni prototip 7, 183  
Validacija prototipa 18  
Vezivni materijal 49, 50  
Validnost 59, 63

Vektorsko popunjavanje 75  
Vrijeme ekspozicije 95  
Voksel 106  
Vezivno sredstvo 119, 124  
Virtualno okruženje 183, 188  
Virtualni prototajping 184

## W

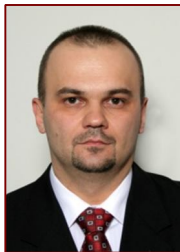
Water Cure 126

## Z

Zavarivanje 38  
Zajednička geometrijska forma 54  
„Zelene“ dio 65, 108, 119, 146, 151

## Ž

Žarenje 71, 110



***Dr.sc. Alan TOPČIĆ, vanredni profesor***

*Rođen 25. oktobra 1973. godine u Gradačcu, općina Gradačac, Bosna i Hercegovina. Završio Fakultet elektrotehnike i mašinstva u Tuzli (1999.), magistrirao na Mašinskom fakultetu u Tuzli (2003.) gdje i doktorira (2007.) Nakon završetka studija zapošljava se u firmi „Remontmontaža“ dd Tuzla, a 2001. godine prelazi na Mašinski fakultet Univerziteta u Tuzli na radno mjesto asistenta, gdje je zaposlen i sada u zvanju vanrednog profesora. U proteklom periodu realizira nekoliko studijskih boravaka i usavršavanja u Velikoj Britaniji, Njemačkoj i Austriji, objavljuje jedan univerzitetski udžbenik, autor i koautor je brojnih naučnih i stručnih radova objavljenih u zemlji i inostranstvu, učesnik u realizaciji većeg broja domaćih i međunarodnih naučno-istraživačkih i stručnih projekata, a osim angažmana na izvođenju nastave na matičnom fakultetu povremeno je angažiran i na izvođenju nastave na drugim mašinskim fakultetima u Bosni i Hercegovini.*



***Dr.sc. Edin CERJAKOVIĆ, docent***

*Rođen 07. novembra 1979. godine u Bijeljini, opština Bijeljina, Bosna i Hercegovina. Diplomirao na Mašinskom fakultetu u Tuzli (2004.), magistrirao na Mašinskom fakultetu u Tuzli (2008). Od 2004. godine zaposlen na Mašinskom fakultetu u Tuzli na radno mjesto asistenta, a od 2009. godine na radno mjesto višeg asistenta. Autor i koautor je na 11 naučno-istraživačkih radova, saradnik na 8 naučno-istraživačka projekata, te je apsolvirao 2 specijalizacijska usavršavanja iz oblasti mašinstva.*

ISBN 978-9958-03-740-5



9 789958 037405