



Univerza v Novem mestu
Fakulteta za *strojništvo*

Inženirsko prototipiranje in testiranje

Elvis Hozdić





Univerza v Novem mestu
Fakulteta za *strojništvo*

Elvis Hozdić

INŽENIRSKO PROTOTIPIRANJE IN TESTIRANJE

*Od teorije do prakse: nove dimenzije v sodobnem
razvoju izdelkov*

Novo mesto, 2024

Dr. Elvis Hozdić

INŽENIRSKO PROTOTIPIRANJE IN TESTIRANJE

Od teorije do prakse: nove dimenzije v sodobnem razvoju izdelkov

Izdajatelj

Univerza v Novem mestu Fakulteta za strojništvo

Založnik

Založba Univerze v Novem mestu

Urednik

Prof. dr. Andrej Lipej

Strokovna recenzija

Prof. dr. Mirko Soković

Lektorirala

Lea Stritih

Tehnično uredila

Bojan Nose, Maša Bučar Šmajdek

Izdaja

1. izdaja

Naklada

100 izvodov

Tiskarna

Tiskarna Cicero Begunje, d.o.o.

Izdano

Novo mesto, 2024

© Založba Univerze v Novem mestu, 2024

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v

Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

62-027.31(075.8)

004.9:621.7.04(075.8)

HOZDIĆ, Elvis

Inženirsko prototipiranje in testiranje: od teorije do prakse: nove dimenzije
v sodobnem razvoju izdelkov / Elvis Hozdić. - 1. izd. - Novo mesto: Založba
Univerze v Novem mestu, 2024

ISBN 978-961-6770-80-4

COBISS.SI-ID 210362371

VSEBINA

PREDGOVOR

1	OSNOVE RAZVOJA IZDELKOV	1
1.1	Definicija izdelka.....	2
1.1.1	Ideja kot izdelek.....	3
1.1.2	Storitev kot izdelek	4
1.1.3	Fizični otipljivi izdelki.....	5
1.2	Lastnosti izdelkov	6
1.3	Življenjski cikel izdelka.....	8
1.3.1	Faza definiranja izdelka	10
1.3.2	Faza uvedbe izdelka.....	12
1.3.3	Faza rasti	13
1.3.4	Faza zrelosti	14
1.3.5	Faza nasičenosti	16
1.3.6	Faza upada	17
	Literatura – poglavje 1	18
2	OSNOVE PROTOTIPIRANJA	21
2.1	Zgodovina in razvoj prototipiranja	22
2.2	Pomen prototipiranja v industrijskem in inženirskem oblikovanju	24
2.3	Pojem in definicije prototipov	25
2.4	Vrste prototipov	26
2.5	Namen uporabe prototipov	31
2.6	Prednosti in pomanjkljivosti prototipov	32
2.7	Faze procesa razvoja in izdelave prototipa	34
2.8	Metode izdelave prototipov	36
	Literatura – poglavje 2	38
3	DIGITALNO, VIRTUALNO IN KOLABORATIVNO INŽENIRSTVO PRI RAZVOJU PROTOTIPOV IN IZDELKOV.....	41
3.1	Uvod v digitalno, virtualno in kolaborativno inženirstvo	43
3.2	Digitalna tovarna in digitalna proizvodnja	51
3.3	Virtualna tovarna in virtualna proizvodnja.....	55

3.4	<i>e-Proizvodnja</i>	57
3.5	Kolaborativni sistemi za razvoj prototipov in izdelkov	59
3.5.1	Upravljanje življenjskega cikla izdelka PLM	62
3.5.2	Računalniško podprto oblikovanje CAD	69
3.5.3	Povratno inženirstvo RE	81
3.5.4	Računalniško podprta inženirska analiza CAE	93
3.5.5	Virtualno prototipiranje VP	106
3.5.6	Računalniško podprto testiranje CAT	118
3.5.7	Računalniško podprta proizvodnja CAM	120
3.5.8	Hitra izdelava prototipov in orodij	129
3.5.9	Računalniško podprto načrtovanje proizvodnih procesov CAPP	136
3.5.10	Upravljanje s podatki o izdelku PDM	144
	Literatura – poglavje 3	147
4	VIRTUALNI PROTOTIPI PRI RAZVOJU IN OPTIMIZACIJI IZDELKOV	161
4.1	Struktura virtualnega prototipa izdelka	162
4.2	Metode definiranja virtualnega prototipa izdelka	165
4.3	Virtualno prototipiranje v procesu oblikovanja in analize izdelka	168
4.3.1	Uporaba virtualnega prototipiranja pri oblikovanju virtualnih prototipov modelov	170
4.3.2	Uporaba virtualnega prototipiranja pri oblikovanju virtualnih prototipov sklopov	175
4.3.3	Uporaba virtualnega prototipiranja pri analizi CAE eksploatacijskih lastnosti virtualnega prototipa izdelka	177
4.4	Optimizacija lastnosti virtualnega prototipa izdelka	184
4.5	Virtualno prototipiranje v funkciji CAM virtualnega prototipa izdelka ..	192
	Literatura – poglavje 4	195
5	ADITIVNE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE ZA HITRO IZDELAVO FIZIČNIH PROTOTIPOV	197
5.1	Definicije aditivne proizvodnje	198
5.2	Zgodovinska pot razvoja aditivne proizvodnje	199
5.3	Osnovni princip aditivne proizvodnje	201
5.4	Tehnologije aditivne proizvodnje	202
5.4.1	Stereolitografija (SLA)	207
5.4.2	Tehnologija z nalaganjem staljenega materiala (FDM)	210

5.4.3	3D tehnologija tiskanja PolyJet	212
5.4.4	Proizvodnja laminiranih objektov (LOM)	214
5.4.5	Selektivno lasersko sintranje (SLS)	216
5.4.6	Neposredno nalaganje materiala z laserjem (LENS)	218
5.4.7	Tridimenzionalno tiskanje (3DP).....	220
5.5	Hibridna aditivna proizvodnja	222
5.5.1	Klasifikacija procesov hibridne AM.....	224
5.5.2	Platforme za integracijo dodajalnih in odvzemnih procesov	236
5.6	Materiali v aditivni proizvodnji	238
5.6.1	Polimerni materiali za AM	241
5.6.2	Kovine za AM.....	245
5.6.3	Keramika za AM.....	247
5.6.4	Kompozitni materiali za AM	249
5.7	Aplikacije AM v izdelavi prototipov	255
5.8	Prednosti AM v izdelavi prototipov	256
5.9	Izzivi in omejitve AM v izdelavi prototipov	258
5.10	Prihodnji trendi in razvoj aditivne proizvodnje v domeni izdelave prototipov.....	259
	Literatura – poglavje 5	260
6	POSTPROCESNA OBDELAVA PROTOTIPOV, NAREJENIH S TEHNOLOGIJAMI ADITIVNE PROIZVODNJE	269
6.1	Uvod v postprocesno obdelavo.....	270
6.2	Tehnike postprocesne obdelave.....	273
6.2.1	Čiščenje.....	273
6.2.2	Tehnike površinske obdelave.....	274
6.2.3	Toplotna obdelava.....	276
6.2.4	Odstranjevanje podpornih struktur	277
6.2.5	Nanos površinskih premazov	279
6.2.6	Elektropoliranje površin	280
6.2.7	Ultrazvočna obdelava	283
6.2.8	Vroče izostatično stiskanje	284
6.3	Prihodnji trendi in tehnološki izzivi v obdelavi prototipov in končnih izdelkov.....	285
	Literatura – poglavje 6	291
7	TESTIRANJE FIZIČNIH PROTOTIPOV IN IZDELKOV	297

7.1	Strategija testiranja	298
7.2	Pomen testiranja v razvojnem procesu izdelka	301
7.3	Metode in tehnike testiranja v aditivni proizvodnji prototipov.....	302
7.3.1	Neporušitvene metode in tehnike testiranja.....	304
7.3.2	Porušitvene metode, standardi in tehnike za testiranje polimernih in kompozitnih prototipov.....	314
7.4	Procesi validacije pri testiranju prototipov in izdelkov	347
7.4.1	Preverjanje skladnosti s tehničnimi specifikacijami	348
7.4.2	Analiza in interpretacija testnih rezultatov	348
7.4.3	Izvajanje izboljšav in optimizacij	349
7.4.4	Pomen dokumentacije in poročanja pri testiranju prototipov in izdelkov.....	350
7.5	Prihodnji trendi in inovacije v testiranju prototipov in izdelkov	350
	Literatura – poglavje 7.....	352

8 PRIHODNOST INŽENIRSKEGA PROTOTIPIRANJA IN TESTIRANJA 359

8.1	Vpliv digitalizacije in avtomatizacije na prototipiranje	360
8.2	Materiali in trajnost v prototipiranju.....	361
8.3	Pomembnost simulacij in virtualnega testiranja prototipov in izdelkov AM	363
8.4	Sodelovanje in povezovanje v inženirskem prototipiranju	364
8.5	Vloga prototipiranja v prihodnjih industrijskih revolucijah	365

SEZNAM KRATIC IN SIMBOLOV

Okrajšava	Pomen
3DP	Tehnologija tridimenzionalnega tiskanja (angl. <i>3D Printing</i> – 3DP)
AI	Umetna inteligenca (angl. <i>Artificial Intelligence</i> – AI)
AM	Dodajalna proizvodnja (angl. <i>Additive Manufacturing</i> – AM)
AMF	Datoteka za dodajalno proizvodnjo (angl. <i>Additive Manufacturing File</i> – AMF)
ANN	Umetna nevronska mreža (angl. <i>Artificial Neural Network</i> – ANN)
AP	Aplikativni protokol (angl. <i>Applicative Protocol</i> – AP)
APT	Avtomatsko programirano orodje (angl. <i>Automatically Programmed Tools</i> – APT)
AR	Razširjena resničnost (angl. <i>Augmented Reality</i> – AR)
ASTM	Ameriško društvo za preizkušanje in materiale (angl. <i>American Society for Testing and Materials</i> – ASTM)
B2B	Poslovni model (angl. <i>Business-to-Business</i>)
BJT	Tehnologija brizganja veziva (angl. <i>Binder Jetting</i> – BJT)
BSE	Mikroposnetki z odbitimi elektroni (angl. <i>Backscattered electron micrographs</i> – BSE)
CAD	Računalniško podprto snovanje in konstruiranje (angl. <i>Computer Aided Design</i>)
CAM	Računalniško podprta proizvodnja (angl. <i>Computer Aided Manufacturing</i>)
CAID	Računalniško podprto integrirano oblikovanje (angl. <i>Computer Aided Integrated Design</i> – CAID)
CAP	Računalniško podprti procesi (angl. <i>Computer Aided Processes</i> – CAP)
CAPP	Računalniško podprto planiranje procesov (angl. <i>Computer Aided Process Planning</i>)
CAT	Računalniško podprto testiranje (angl. <i>Computer Aided Testing</i> – CAT)
CFD	Računalniška dinamika fluidov (angl. <i>Computational Fluid Dynamics</i> – CFD)
CFL	Poligonalno baziran model (angl. <i>Cubital Facet List</i> – CFL)
CIM	Računalniško integrirana proizvodnja (angl. <i>Computer Integrated Manufacturing</i>)

CLI	Format, predstavljen s strani konzorcija evropskih držav v okviru raziskovalnega projekta EEC Basic Research in Industrial Technologies for Europe/European Research on Advanced Materials (BRITE EURAM 1994), (angl. <i>Common Layer Interface</i> – CLI)
CNC	Računalniško numerično krmiljenje (angl. <i>Computer Numerical Control</i>)
CPD	Kolaborativni razvoj izdelka (angl. <i>Collaborative Product Development</i> – CPD)
CRM	Sistem za upravljanje odnosov s strankami (angl. <i>Customer Relationship Management</i>)
CSG	Polna konstruktivna geometrija (angl. <i>Constructive Solid Geometry</i> – CSG)
CT	Računalniška tomografija (angl. <i>Computer Tomography</i> – CT)
DED	Tehnologija nanašanja materiala z usmerjenim virom energije (angl. <i>Directed Energy Deposition</i> – DED)
DF	Digitalna tovarna (angl. <i>Digital Factory</i> – DF)
DFMA	Načrtovanje za proizvodnjo in sestavo (angl. <i>Design for Manufacturing and Assembly</i> – DFMA)
DFSS	Načrtovanje za Six Sigma (angl. <i>Design for Six Sigma</i> – DFSS)
DLF	Tehnologija AM, usmerjena izdelava s svetlobo (angl. <i>Directed Light Fabrication</i> – DLF)
DLP	Digitalna obdelava svetlobe (angl. <i>Digital Light Processing</i> – DLP)
DMD	Tehnologija AM, neposredno nanašanje kovine (angl. <i>Direct Metal Deposition</i> – DMD)
DMU	Digitalna maketa (angl. <i>Digital Mock-up</i> – DMU)
DNC	Direktno numerično krmiljenje (angl. <i>Direct Numerical Control</i> – DNC)
DT	Digitalni dvojček (angl. <i>Digital twin</i>)
DW	Tehnologija AM, direktno pisanje (angl. <i>Direct Writing</i> – DW)
EBM	Tehnologija AM, taljenje z elektronskim žarkom (angl. <i>Electron Beam Melting</i> – EBM)
EDS/EDX	Energijsko razpršilna rentgenska spektroskopija (angl. <i>Energy-dispersive X-ray spectroscopy</i> – EDS/EDX)
EFD	Inženirska dinamika fluidov (angl. <i>Engineering Fluid Dynamics</i> – EFD)
ERP	Informacijski sistem za celotno upravljanje podjetja (angl. <i>Enterprise Resource Planning</i>)
ES	Ekspertni sistem (angl. <i>Expert System</i> – ES)

ETO	Proizvodnja po naročilu (angl. <i>Engineer-to-Order</i>)
FDM	Tehnologija AM s ciljnim nalaganjem materiala (angl. <i>Fused Deposition Modeling</i> – FDM)
FEA	Analiza končnih elementov (angl. <i>Finite Element Analysis</i> – FEA)
FEM	Metoda končnih elementov (angl. <i>Finite Element Method</i> – FEM)
FFF	Tehnologija AM, izdelava s taljenjem filamentov (angl. <i>Fused Filament Fabrication</i> – FFF)
FGM	Gradient funkcionalnega materiala
FL	Meka logika (angl. <i>Fuzzy Logic</i> – FL)
FMS	Fleksibilni proizvodni sistem (angl. <i>Flexible Manufacturing System</i>)
GM	General Motors
HASP	Hibridni aditivni in substrativni proces (angl. <i>Hybrid Additive and Substrative Process</i> – HASP)
HCI	Vmesnik človek-računalnik (angl. <i>Himan-Computer Interface</i> – HCI)
HIP	Vroče izostatsko stiskanje (angl. <i>Hot Isostatic Pressing</i> – HIP)
HMD	Naprave za nošenje na glavi (angl. <i>Head Mounted Display</i> – HMD)
IGES	Konverzijski standard (angl. <i>Initial Graphics Exchange Specification</i> – IGES)
IJP	Tehnologija AM; tiskanje z inkjetom (angl. <i>Inkjet Printing</i> – IJP)
IoT	Internet stvari (angl. <i>Internet of Things</i>)
ISO	Mednarodni organizacija za standardizacijo (angl. <i>International Organization for Standardization</i> – ISO)
IT	Informacijsko tehnologije (angl. <i>Information Technology</i> – IT)
LBMD	Tehnologija AM, lasersko nanašanje kovine (angl. <i>Laser-Based Metal Deposition</i> – LBMD)
LEAF	Format za izmenjavo podatkov (angl. <i>Layer Exchange ASCII Format</i> – LEAF),
LENS	Tehnologija AM, direktno nalaganje materiala z laserjem (angl. <i>Laser Engineered Net Shaping</i> – LENS)
LFF	Tehnologija AM, laserska izdelava proste oblike (angl. <i>Laser Freeform Fabrication</i> – LFF)
LOM	Tehnologija AM, proizvodnja laminiranih objektov (angl. <i>Laminate Object Manufacturing</i> – LOM)
LPS	Tehnologija AM, sintranje v tekoči fazi (angl. <i>Liquid Phase Sintering</i> – LPS)

MAM	Dodajalna proizvodnja kovin (angl. <i>Metal Additive Manufacturing</i> – MAM)
MBD	Dinamika več teles (angl. <i>Multi Body Dynamics</i> – MBD)
MES	Proizvodni informacijsko-komunikacijski sistem (angl. <i>Manufacturing Execution System</i>)
MEX	Tehnologija ekstruzije materiala (angl. <i>Material Extrusion</i> – MEX)
MFBD	Dinamika več prilagodljivih togih teles (angl. <i>Multi Flexible Body Dynamics</i> – MFBD)
MIS	Upravljalni informacijski sistemi (angl. <i>Management Information Systems</i> – MIS)
MIT	Massachusetts Institute of Technology (MIT)
MJT	Tehnologija brizganja materiala (angl. <i>Material Jetting</i> – MJT)
ML	Strojno učenje (angl. <i>Machine Learning</i> – ML)
MPM	Upravljanje medijskim procesom (angl. <i>Media Process Management</i> – MPM)
MR	Mešana resničnost (angl. <i>Mixed Reality</i> – MR)
NDT	Nedestruktivno testiranje (angl. <i>Non-Destructive Testing</i> – NDT)
PBF	Tehnologija združevanja prahastega materiala v slojih (angl. <i>Powder Bed Fusion</i> – PBF)
PDM	Upravljanje s podatki o izdelku (angl. <i>Product Data Management</i> – PDM)
PDP	Proces razvoja izdelka (angl. <i>Product Development Process</i> – PDP)
PEEK	Polietereeterketon (PEEK)
PLC	Življenjski cikel izdelka (angl. <i>Product Life Cycle</i> – PLC)
PLC	Programski logični krmilnik (angl. <i>Programable Logical Controller</i>)
PLLA	Poli-L-laktična kislina (PLLA)
PLM	Informacijski sistem za upravljanje življenjskega cikla izdelka (angl. <i>Product Lifecycle Management</i> – PLM)
PPC	Sistem planiranja in kontrole proizvodnje (angl. <i>Production Planning and Control</i>)
PPS	Sistemi za načrtovanje in vodenje proizvodnje (angl. <i>Production Planning and Control System</i>)
RE	Povratni inženiring (angl. <i>Reverse Engineering</i> – RE)
RFID	Radio frekvenčna identifikacija (angl. <i>Radio Frequency Identification</i>)
RM	Hitra proizvodnja (angl. <i>Rapid Manufacturing</i> – RM)
RP	Hitro prototipiranje (angl. <i>Rapid Prototyping</i> – RP)

RPI	Format za izmenjavo podatkov (angl. <i>Rapid Prototyping Interface</i>), ustvarjen s strani Rensselaer Design Research Center, izhaja iz trenutno sprejetega formata podatkov STL.
RT	Hitro prototipiranje orodja (angl. <i>Rapid Tooling</i> – RT)
SEM	Skenirna elektronska mikroskopija (angl. <i>Scanning Electron Microscopy</i> – SEM)
SF	Pametna tovarna (angl. <i>Smart Factory</i> – SF)
SHL	Tehnologija laminiranja listov (angl. <i>Sheet Lamination</i> – SHL)
SLA	Tehnologija AM, stereolitografija (angl. <i>Stereolithography</i> – SLA)
SLC	format za izmenjavo podatkov, razvit s strani podjetja 3D Systems iz ZDA; (angl. <i>StereoLithography Contour</i> – SLC)
SLM	Tehnologija AM, selektivno lasersko taljenje (angl. <i>Selective Laser Melting</i> – SLM)
SLS	Tehnologija AM, lasersko sintranje (angl. <i>Selective Laser Sintering</i> – SLS)
STEP	Standard za izmenjavo podatkov o modelu izdelka (angl. <i>Standard for the Exchange of Product model data</i> – STEP).
STL	Format za izmenjavo podatkov, ustanovljen leta 1987 s strani podjetja 3D Systems iz ZDA, dejansko predstavlja standardni format za izmenjavo podatkov v sistemih RP; (angl. STereoLithography),
TIPS	Temperaturno inducirana fazna separacija (TIPS)
UAM	Ultrazvočna dodajalna proizvodnja (angl. <i>Ultrasonic Additive Manufacturing</i> – UAM)
UV	Ultravijolično sevanje
UVP	Izdelki ultravijolične svetlobe (angl. <i>Ultra Violet Products</i> – UVP)
VDA-FS	Format za izmenjavo podatkov, standard DIN 66301 iz leta 1987; vmesnik za izmenjavo podatkov med CAD sistemi podjetij v avtomobilski industriji (nem. <i>Verein der Deutschen Automobilindustrie Flächen Schnittstelle</i> – VDA-FS)
VE	Virtualno inženirstvo (angl. <i>Virtual Engineering</i> – VE)
VF	Virtualna tovarna (angl. <i>Virtual Factory</i> – VF)
VM	Virtualna proizvodnja (angl. <i>Virtual Manufacturing</i> – VM)
VP	Virtualno prototipiranje (angl. <i>Virtual Prototyping</i> – VP)
VPP	Tehnologija fotopolimerizacije v komori (angl. <i>VAT Photo polymerization</i> – VPP)
VR	Virtualna resničnost (angl. <i>Virtual Reality</i> – VR)
VRML	Modelirni jezik virtualne realnosti (angl. <i>Virtual Reality Modeling Language</i> – VRML)
WHASP	Platforma za hibridne dodajalne in odvzemne procese (WHASP)

XCT	Rentgenska računalniška tomografija (angl. <i>X-ray Computed Tomography</i> – XCT)
XML	Računalniški komunikacijski jezik (angl. <i>Extensible Markup Language</i>)
XRD	Rentgenska difrakcija (angl. X-ray diffraction – XRD)
ZDA	Združene države Amerike

PREDGOVOR

V okviru študijskih programov strojništva se študenti srečujejo z nenehno spreminjajočim se industrijskim okoljem, kjer prilagajanje novim tehnologijam in tržnim potrebam postaja temelj modernega inženirstva. Sodobno prototipiranje in testiranje, kot področje *Razvoja izdelkov*, odpira vrata v svet, kjer inovacije, napredni materiali in virtualno modeliranje tvorijo temelje sodobne proizvodne filozofije.

Učbenik *Inženirsko prototipiranje in testiranje* je namenjen predvsem študentom Fakultete za strojništvo Univerze v Novem mestu. S svojim obsegom pokriva predmet *Virtualni prototipi* na visokošolskem študijskem programu *Tehnologije in sistemi*, kot tudi predmeta *Virtualni prototipi* ter *Povratni inženiring* na magistrskem študijskem programu *Tehnologije in sistemi v strojništvu*.

V tem učbeniku avtor raziskuje, opisuje in predstavlja koncepte in praktične pristope k inženirskemu prototipiranju in testiranju, ki so ključni za razumevanje in oblikovanje prihodnosti proizvodnje v skladu z načeli *Industrije 4.0* in napovedujoče *Industrije 5.0*. Predstavljene in opisane so napredne metode, tehnologije, tehnike in orodja, ki omogočajo hitrejši razvoj izdelkov, večjo prilagodljivost in učinkovitost proizvodnih procesov z vidika inženirskega prototipiranja in testiranja.

Učbenik vsebuje temeljne in napredne aspekte inženirskega prototipiranja in testiranja, od uporabe virtualnih, digitalnih in kolaborativnih tehnologij, preko dodajalnih tehnologij do tehnologij za testiranje virtualnih in fizičnih prototipov in izdelkov. Tako teoretične kot praktične vsebine so podane na način, ki študentom omogoča globoko razumevanje procesov in tehnologij ter jih spodbuja h kritičnemu razmišljanju in inovativnosti. Poudarek je na integriranem pristopu, ki združuje znanja iz različnih disciplin, saj inženirsko prototipiranje in testiranje zahteva sodelovanje mehanike, znanosti o materialih, elektronike, informatike, digitalizacije in kibernetizacije.

Učbenik je razdeljen na 8 poglavij. Prvo poglavje se osredotoča na osnove razvoja izdelkov. Definicija izdelka zajema tako ideje kot storitve in fizične izdelke, pri čemer je poudarjena njihova različnost in specifičnost. Razpravlja se o lastnostih izdelkov in njihovem življenjskem ciklu, ki vključuje faze od oblikovanja, izdelave, uvajanja na trg in rasti do nasičenosti in upada. To razumevanje je ključnega pomena za vsakogar, ki se ukvarja z razvojem izdelkov, saj omogoča celosten pogled na življenjsko dobo izdelka in s tem povezane izzive.

Drugo poglavje se pogloblja v osnove prototipiranja. Zgodovinski pregled in razvoj prototipiranja osvetljuje, kako se je ta proces skozi čas spreminjal in prilagajal

potrebam industrije. Pojem prototipov, njihove vrste, prednosti in pomanjkljivosti so obravnavani z namenom sistematičnega razumevanja tega ključnega koraka v razvoju izdelkov. Razumevanje različnih faz procesa razvoja in izdelave prototipa je bistveno za učinkovito implementacijo in inovacije.

Sodobni razvoj izdelkov ne more brez digitalnih, virtualnih in kolaborativnih pristopov. Tretje poglavje odpira vrata v svet digitalnih tovarn in *e-Proizvodnje*. Poseben poudarek je na kolaborativnih sistemih za razvoj prototipov in izdelkov, kot so upravljanje življenjskega cikla izdelka, računalniško podprto oblikovanje, povratno inženirstvo ter računalniško podprta proizvodnja. Ta del učbenika ponuja vpogled v napredne tehnologije, ki omogočajo bolj učinkovite in povezane procese razvoja izdelkov.

Pomembno poglavje učbenika je posvečeno virtualnemu prototipiranju. Struktura in metode definiranja virtualnega prototipa izdelka ter uporaba virtualnega prototipiranja v procesu oblikovanja, analize in optimizacije izdelkov so ključne teme četrtega poglavja. Virtualno prototipiranje omogoča natančno simulacijo in analizo izdelkov, kar pripomore k boljši optimizaciji in končnemu rezultatu.

Dodajalne (aditivne) proizvodne tehnologije predstavljajo revolucijo v hitrosti in prilagodljivosti izdelave prototipov. V petem poglavju učbenik obravnava definicije, zgodovinski razvoj in osnovne principe aditivne proizvodnje. Poglobljeno se obravnavajo tehnologije, kot so stereolitografija, tehnologija z nalaganjem staljenega materiala, 3D tiskanje *PolyJet* in selektivno lasersko sintranje. Predstavljeni so tudi hibridni procesi, materiali za aditivno proizvodnjo in aplikacije v izdelavi prototipov.

Šesto in sedmo poglavje učbenika se osredotočata na postprocesno obdelavo in testiranje fizičnih prototipov. Uvod v postprocesno obdelavo ter različne tehnike, kot so čiščenje, površinska obdelava, toplotna obdelava in odstranjevanje podpornih struktur, so pomembne za doseganje končne kakovosti izdelka. Strategije testiranja, pomen testiranja v razvojnem procesu in metode ter tehnike testiranja v aditivni proizvodnji so ključni za zagotavljanje zanesljivosti in kakovosti končnih izdelkov.

Zaključno, osmo poglavje obravnava prihodnost inženirskega prototipiranja in testiranja. Poudarjena je vloga digitalizacije in avtomatizacije, trajnost, pomembnost simulacij in virtualnega testiranja, sodelovanje ter povezovanje v inženirskem prototipiranju in vloga prototipiranja v prihodnjih industrijskih revolucijah. Ta del učbenika ponuja vpogled v smeri, v katere se bo razvoj izdelkov premikal v prihodnjem, in pripravlja bralce na izzive, ki jih prinašajo nove tehnologije in pristopi.

Učbenik tako ponuja celovit pregled in poglobljeno razumevanje vseh vidikov razvoja izdelkov in prototipiranja, kar je ključnega pomena za vsakogar, ki se ukvarja s tem področjem. Posebna prednost tega učbenika je v tem, da je vsako poglavje zasnovano kot samostojna, zaokrožena celota, ki vključuje pregled ustrezne literature in se lahko bere ločeno, neodvisno od drugih poglavij.

Učbenik *Inženirsko prototipiranje in testiranje* ni le priročnik tehničnega znanja, temveč je most do razumevanja kompleksnosti sodobnega inženirstva, ki oblikuje svet okoli nas. Ta učbenik je tudi namenjen vsem študentom strojništva, ki s svojo radovednostjo, strastjo in inovativnostjo vstopajo v svet inženirskega prototipiranja in testiranja, pripravljeni prispevati k oblikovanju naše skupne prihodnosti.

Avtor se zahvaljuje vsem, ki so prispevali k nastanku učbenika, zlasti strokovnjakom in industrijskim partnerjem, ki so delili svoje dragocene izkušnje in znanje. Posebna zahvala gre tudi akademskemu osebju Tehniške fakultete v Bihaću in Tehniške fakultete na Reki, ki je s strokovnimi nasveti omogočilo, da je učbenik postal dragocen vir znanja za prihodnje generacije inženirjev.

Ob tem avtor izkorišča priložnost, da izkaže svojo hvaležnost in spoštovanje do recenzenta prof. dr. Mirka Sokovića, ki je podal svoje predloge in nasvete s ciljem dvigovanja kakovosti predloženega visokošolskega učbenika. Hvala tudi vodstvu Fakultete za strojništvo Univerze v Novem mestu.

Prav posebna zahvala za podporo pri pisanju tega dela pa gre tistim, brez katerih vse to ne bi bilo mogoče. Čeprav ne razumejo veliko tega, kar je napisano v tem visokošolskem učbeniku, to delo brez njihove brezpogojne ljubezni in vsakodnevnega odrekanja nikoli ne bi zagledalo luči sveta – moji družini: soprogi Emini, hčerki Amini in sinu Ahmedu.

Avtor

Novo mesto, 10. 6. 2024

1 OSNOVE RAZVOJA IZDELKOV

*Namen izobraževanja mora biti urjenje neodvisnih aktivnih
in razmišljujočih posameznikov, ki bodo videli
v služenju skupnosti svoje najvišje poslanstvo.*

Albert Einstein

Vsebina

1.1	Definicija izdelka	2
1.2	Lastnosti izdelkov	6
1.3	Življenjski cikel izdelka	8

Razvoj in širjenje informacijskih tehnologij (angl. *Information Technologies* – IT) skupaj z rastjo internetne povezljivosti so igrali temeljno vlogo pri pospeševanju globalne izmenjave informacij [1]. To je prineslo neprecenljive koristi, saj je omogočilo širšemu krogu ljudi dostop do znanja in spretnosti, ki so bili prej rezervirani za elitne raziskovalne centre v razvitem svetu, vključno z Zahodno Evropo, Združenimi državami Amerike in Japonsko [2]. Posledično se je specifično znanje in tehnologija razširila po vsem svetu, kar je imelo izjemno pozitiven vpliv na države v razvoju. Te države so s pridobljenimi znanji in tehnologijami izboljšale svoje izobraževalne sisteme in tržne pozicije, kar je prispevalo k vzponu visoko kvalificirane delovne sile [3].

Zaznavanje ekonomskega potenciala in želja po zmanjšanju proizvodnih stroškov sta motivirala podjetja iz bolj razvitih držav, da so prenesla svoje tehnologije in znanje v države v razvoju. Ta prenos ni bil omejen zgolj na obstoječe tehnologije, temveč je vključeval tudi spodbujanje razvoja novih inovacij. Takšni procesi so državam v razvoju omogočili, da napredujejo in postanejo konkurenčne na globalnem trgu. Države, kot so Indija, Južna Koreja in Malezija, so postale primeri uspešne implementacije tega modela, kjer lokalne inovacije krepijo konkurenčnost in jih uvrščajo med pomembne gospodarske akterje na svetovni ravni [3].