



UNIVERZITET U BEOGRADU

Milosav Ognjanović

INOVATIVNI RAZVOJ TEHNIČKIH SISTEMA

MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 2014.

UNIVERZITET U BEOGRADU

Milosav Ognjanović

**INOVATIVNI
RAZVOJ TEHNIČKIH
SISTEMA**

MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 2014

Prof. dr Milosav Ognjanović

INOVATIVNI RAZVOJ TEHNIČKIH SISTEMA

I - izdanje

Recenzenti:

Prof. dr Boško Rašuo, Mašinski fakultet Beograd
Prof. dr Božidar Rosić, Mašinski fakultet Beograd
Prof. dr Marko Miloš, Mašinski fakultet Beograd

Izdavač:

Univerzitet u Beogradu,
MAŠINSKI FAKULTET
Ul. Kraljice Marije 16, Beograd
tel. (011) 3370 760
fax (011) 3370 364

Za izdavača:

Prof. dr Milorad Milovančević, dekan

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Aleksandar Obradović

Odobreno za štampu odlukom Dekana Mašinskog fakulteta u
Beogradu br. 271/14 od 19.06.2014.

Tiraž: 300 primeraka

ISBN 978-86-7083-830-7

Štampa:

PLANETA PRINT
Igora Vasiljeva 33r, Beograd

*Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje.
Sva prava zadržava izdavač i autor*

PREDGOVOR

Ekonomski i društveni prosperitet zasnovan je na aktivnosti tržišta koja je u direktnoj vezi sa stalnim razvojem novih proizvoda zasnovanih na tehničkim inovacijama. Na našim prostorima ne postoji tradicija razvoja novih proizvoda, a pojam tehničke inovacije je nepoznata ili pogrešno shvaćena kategorija. Pod tim pojmom treba podrazumevati nov, do tada nepoznat proizvod ili proces uspešno nametnut i realizovan na tržištu. Inovacija ne podrazumeva samo invenciju tj. samo stvaranje novog proizvoda već i stvaranje tržišta preko kojeg se povratno realizuje i oplemenjuje uloženi finansijski kapital i drugi angažovani resursi. Na ovom putu vrebaju opasnosti poznate kao „Dolina smrti“ i „Darvinovo more“. Novi proizvod mora zadovoljiti zakonsku regulativu, standarde i dokaze o verifikovanim efektima na čoveka, okolinu i dr. Po pravilu, za inovacije izvan postojeće tehnologije, ova regulativa ne postoji i potrebno je sve to definisati što može biti „Dolina smrti“ koju prekriva „Darvinovo more“ koje treba premostiti uložnim resursima (novac, znanje,...) do postizanja tržišnih efekata. Osim ovih problema koji inače u svetu postoje, na našim prostorima ne postoji tradicija orijentisanja prema inovacijama, privreda nije niti je bila inovaciono orijentisana. Proizvodila su se i proizvode se „tuđa“ tehnička rešenja bez specijalizovanosti za određenu vrstu proizvoda koji bi dominirali nekim delom tržišta. Pitanje inovativnog razvoja tehničkih sistema prepušteno je „inovatorima naivcima“ od kojih se ne mogu očekivati ozbiljni rezultati.

Cilj ove knjige nije da razreši ovu kompleksnu problematiku. Za razvoj inovacija odgovorni su privredni sistem, istraživački sistem i obrazovni sistem, te je potrebno organizovano delovanje. U tom kontekstu, cilj knjige se svodi na navođenje korisnika da shvati pojam i značaj tehničke inovacije, zatim u proceduru inovacionog razvoja i dizajna kao i u metode inženjerskog dizajna koje predstavljaju alat za inovativni razvoj tehničkih sistema. U prvom delu koji se odnosi na osnove tehničkih inovacija, obrađeni su pojam tehničkih sistema, pojam i nivoi tehničkih inovacija i dati su odgovori na pitanja zašto i kako se razvijaju nova tehnička rešenja. Probijanje misaone barijere obezbeđuju nova naučna i tehnološka znanja, novi izvori energije i nove metode i alati za razvoj. Obuhvaćeni su i procesi razvoja TS u istoriji i mogući trendovi u budućnosti, uključujući okruženje sa ergonomske, bioničkog i ekološkog aspekta. Drugi

deo knjige obuhvata inovativni dizajn TS tj. proces stvaranja (sinteze) novog TS zasnovanog na novim funkcijama i novostvorenim potrebama, na novom principu, novim konstrukciskim detaljima, novim tehnologijama i sl. Relacije sa okruženjem kao što su ergonomske, estetske, bioničke, ekološke i druge, da bi predstavljale unapređenje, odnosno oplemenjavanje postojećeg stanja razvijaju se uz odgovarajuću inovativnu proceduru. Treći deo knjige obuhvata prikaz metoda koje se koriste u inženjerskom dizajnu s ciljem da se dostigne potrebni nivo inovativnosti. Prikazani skup metoda uključuje sve ono što se odnosi na traganje za idejama i rešenjima i na procedure transformacije znanja kako bi se dobila odgovarajuća svojstva TS. Četvrti deo obuhvata integrisane metode za razvoj određene kategorije TS, a koje uključuju izabrana svojstva TS, u prvom redu mašinskih sistema. Ove integrisane metode uključuju svojstva ovih sistema kao što su željeni nivo pouzdanosti u radu, ograničeni nivo vibracija i buke i dr. Za tu svrhu posebno su razvijeni pristupi kao što su Pouzdanost za dizajn, Vibracije za dizajn i Buka za dizajn TS. Pristupi i procedure u ovom smislu prilagođeni su potrebi korišćenja ovih svojstava kao ograničenja (Prinude – Constraints) u definisanju konstrukcijskih parametara TS u okviru metodologije Robusnog i Aksiomatskog dizajna.

Sadržaj knjige je koncipiran tako da svaka celina pokriva po jedan predmet modula Dizajn u mašinstvu. Osim toga, delovi knjige ili knjiga kao celina može biti korišćena i za druge predmete koji podrazumevaju inovativnost u razvoju TS. Knjiga je rezultat dugogodišnje globalne saradnje sa istaknutim institucijama u oblasti inženjerskog i industrijskog dizajna, učešća na svetskim konferencijama i praćenja vodećih časopisa u ovoj oblasti. Rezultat je i rada autora na projektima EU, tj. vodećim univerzitetima u ovoj oblasti. Osim toga važno je istaći da knjiga ne predstavlja samo prikaz trenutnog stanja u ovoj oblasti, već i integrisanu strukturu trenutnog stanja koja uključuje i metode i procedure koje su nastajale, a neke i gubile na značaju tokom intenzivnog razvoja ove metodologije koja je započela sredinom dvadesetog veka. Kao takva, ova knjiga predstavlja integrisani prikaz stanja procedure i metoda za razvoj tehničkih sistema na aktuelnom nivou razvoja, uključujući i tradicionalne metode koje nisu izgubile na značaju. Prikazana metodologija je osnova za razvoj hibridnih tehničkih sistema koje čine mehaničke, elektronske, softverske i druge celine, a vodi prema kreiranju TS za budućnost zasnovanih na novim naučnim otkrićima, novim izvorima energije i na razvoju novih metoda.

Zahvaljujem se recenzentima knjige koji su sistematskim pregledom i lekturom doprineli kvalitetu. Zahvaljujem se i svim korisnicima knjige koji će svojim sugestijama i primedbama takođe doprineti njenom kvalitetu.

Beograd, juna 2014.

Autor

SADRŽAJ

1. Osnove tehničkih inovacija

1.1	Pojam tehničkog sistema.....	1
1.2	Potrebe i pojam tehničke inovacije.....	6
1.3	Kreiranje tehničkih sistema i inovacija.....	12
1.4	Istorijski trend tehničkih inovacija.....	18
1.5	Planiranje tehničkih inovacija.....	23
1.6	Ideja i kako doći do ideje za novi proizvod.....	29
1.7	Pojam i značaj funkcije tehničkog sistema.....	34
1.8	Transformacija bioloških tehničkih sistema.....	39
1.9	Harmonizacija tehničkog sistema sa okruženjem.....	43
1.10	Kreativnost u razvoju novih tehničkih sistema.....	47

2. Inovativni dizajn tehničkih sistema

2.1	Inovativna sinteza funkcija tehničkog sistema.....	53
2.1.1	Sinteza tehničkog sistema (F-S transformacija).....	55
2.1.2	Struktura funkcija.....	62
2.2	Koncipiranje idejnog rešenja tehničkog sistema.....	68
2.2.1	Izbor i razvoj izvršilaca elementarnih funkcija.....	70
2.2.2	Formiranje varijantnih rešenja	76
2.2.3	Izbor optimalne varijante.....	78
P.1	Primeri koncipiranja idejnog rešenja.....	84
2.3	Izbor dimenzija mašinskih delova i sklopova.....	101
2.3.1	Kriterijumi funkcije.....	103
2.3.2	Kriterijum čvrstoće	107
2.3.3	Kriterijum krutosti	110
2.3.4	Dopunski kriterijumi i standardi	112

2.4	Izbor konstrukcijskih parametara	115
2.4.1	Fncije cilja za masu	115
2.4.2	Izbor parametara radnih uslova	118
2.4.3	Izbor oblika poprečnog preseka	122
2.4.4	Izbor materijala, termičke i mehaničke obrade	128
2.4.5	Izbor graničnih uslova	133
2.5	Modularnost u razvoju tehničkih sistema	137
2.5.1	Osnove Košijeve geometrijske sličnosti.....	137
2.5.2	Tipizacija i unifikacija komponenata tehničkih sistema	139
2.5.3	Osnove i principi modularnosti	140
2.6	Tehnologičnost oblika livenih i kovanih mašinskih delova	144
2.6.1	Oblici livenih mašinskih delova.....	144
2.6.2	Oblici kovanih mašinskih delova	158
2.7	Tehnologičnost oblika zavarenih mašinskih delova	163
2.7.1	Zavareni spojevi	164
2.7.2	Specifičnosti oblika zavarenih mašinskih delova.....	171
2.7.3	Pogodnost mašinskih delova za izradu zavarivanjem	175
2.7.4	Zaostali naponi i deformacije	177
2.8	Tehnologičnost oblika rezanih mašinskih delova	180
2.8.1	Specifičnosti tehnologije rezanja	180
2.8.2	Pogodnost oblika za prethodno oblikovanje rezanjem	183
2.8.3	Pogodnost oblika za završnu obradu rezanjem.....	185
2.8.4	Pogodnost oblika za sklapanje	188
2.8.5	Usklađenost geometrijske tačnosti	191
P.2	Primeri elementarnih proračuna mašinskih delova	195
2.9	Estetska svojstva i relacije sa okruženjem	229
2.9.1	Uloga i značaj estetskih svojstava	230
2.9.2	Pristup razvoju estetskih svojstava	232
2.9.3	Korelacija okruženja i estetskih svojstava	235
2.9.4	Vrste estetskih svojstava	239
2.9.5	Elementi estetskih svojstava	241
2.9.6	Vrednovanje estetskih svojstava tehničkih sistema	247
2.10	Sistemi za interaktivnu vizuelizaciju	250
2.10.1	Vizuelizacija i simulacija primenom 3D – CAD modela	251
2.10.2	Virtuelna realnost	256
2.10.3	Materijalizovanje modela – 3D štampa	258
2.10.4	Snimanje prostornih oblika – 3D skeniranje	261

3. Metode u inženjerskom dizajnu

3.1	Metode i procesi u inženjerskom dizajnu	263
3.2	Transformacija koncepcije u konstrukciju	266
3.2.1	Varijacija konstrukcijskih rešenja	268
3.2.2	Efekti konstrukcijskih ograničenja i ciljeva	274
3.3	Identifikacija stanja u konstrukciji – DfX metode	278
3.3.1	Opšti prikaz DfX metodologije	279
3.3.2	Dizajn za proizvodnju (Design for Production)	282
3.3.3	Dizajn za cenu (Design for Cost)	285
3.3.4	Dizajn za okolinu (Design for Environment)	287
3.4	Metode proračuna	289
3.4.1	Intuitivne metode	291
3.4.2	Analitičke metode	292
3.4.3	Numeričke metode	293
3.4.4	Aksiomske metode	295
3.4.5	Empirijske metode	296
3.4.6	Nivoi i realizacija proračuna	297
3.5	Znanje, podaci, odlučivanje	298
3.5.1	Prikupljanje i čuvanje znanja i podataka	299
3.5.2	Obrada znanja i podataka – softverska podrška	307
3.5.3	Odlučivanje u inženjerskom dizajnu	309
3.6	Metode traganja za idejama i rešenjima	314
3.6.1	Konvencionalne metode	315
3.6.2	Intuitivne metode	318
3.6.3	Diskurzivne metode	322
3.6.4	Inovacione tehnike	325
3.6.5	Izbor i rangiranje	329
3.7	Navigacija u traganju za idejama	332
3.7.1	Polazišta, resursi i ograničenja u navigaciji	333
3.7.2	Sistem navigacije – navigator	336
3.7.3	Didaktički činioci navigacije	339
3.7.4	Koordinacija tima u navigaciji	342
3.8	Metode zasnovane na svojstvima tehničkih sistema	343
3.8.1	Vrste i relacije svojstava tehničkih sistema	344
3.8.2	Dekomponovanje svojstava i strukture tehničkih sistema	348
3.8.3	Robusni i aksiomatski dizajn zasnovan na svojstvima	351
3.8.4	Nivoi i aspekti robusnosti	353
3.9	Integrirani pristupi i metode	354
3.9.1	Vertikalno integrisanje	355
3.9.2	Horizontalno integrisanje	357
3.9.3	Integrisanje metoda	358
3.9.4	Metoda povratnog inženjerstva u razvoju hibridnih TS.....	359

3.10 Eksperimentalne metode	361
3.10.1 Vrste eksperimentalnih ispitivanja	362
3.10.2 Simulacije radnih uslova	364
3.10.3 Vrste i principi merenja fizičkih veličina	366

4. Izabrana svojstva za dizajn tehničkih sistema

4.1 Naponska stanja i radni režimi	369
4.1.1 Raspodela napona	370
4.1.2 Merenje i statistička obrada promene napona	373
4.1.3 Spektri napona i radni režimi	381
4.2 Kritični napon za radni režim	382
4.2.1 Hipoteze o linearnoj akumulaciji oštećenja	383
4.2.2 Krive radne izdržljivosti	386
4.2.3 Primena radne izdržljivosti	390
4.3 Verovatnoća razaranja	391
4.3.1 Verovatnoća razaranja za vremensku izdržljivost	396
4.3.2 Verovatnoća razaranja u oblasti trajne izdržljivosti	398
4.3.3 Područje rasipanja verovatnoće razaranja za osnovnu izdržljivost	400
4.3.4 Verovatnoća razaranja za radnu izdržljivost	402
4.4 Pouzdanost za dizajn	408
4.4.1 Elementarna pouzdanost	409
4.4.2 Pouzdanost komponenata i sistema	413
4.4.3 Ispitivanje pouzdanosti za dizajn	420
5.5 Pouzdanost kao granični uslov za DP i FR	422
4.5.1 Relacije FR i DP kod prenosnika	423
4.5.2 Granične vrednosti za potrebnu pouzdanost	425
4.5.3 Integrisani robusni dizajn koponenata prenosnika	429
P.3 Primeri proračuna na osnovu pouzdanosti	432
4.6 Dinamički poremećaji i pobuda u tehničkim sistemima	447
4.6.1 Spoljašnja pobuda dinamičkih poremećaja	449
4.6.2 Unutrašnja pobuda dinamičkih poremećaja	451
4.6.3 Pobuda poremećaja radom zupčanika i ležaja	454
4.7 Vibracije za dizajn tehničkih sistema	459
4.7.1 Frekvencijska analiza vremenskih funkcija	460
4.7.2 Osetljivost sistema na pobudu vibracija	464
4.7.3 Interakcija pobude i osetljivosti	469
4.7.4 Izolacija vibracija	471

4.8	Buka za dizajn tehničkih sistema	475
4.8.1	Prostiranje poremećaja kroz strukturu	476
4.8.2	Nastanak i emisija buke	479
4.8.3	Izolacija buke	483
4.9	Inženjerski dizajn mirnih i tihih mašina	487
4.9.1	Zahvati na procesu	488
4.9.2	Zahvati na konstrukciji	490
4.9.3	Tehnološke mere i rešenja	494
4.10	Eksperimenti, vibracije i buka za dizajn tehničkih sistema	495
4.10.1	Merne veličine vibracija i buke	496
4.10.2	Struktura vibracija i buke	500
4.10.3	Modalno ispitivanje	504
4.10.4	Praćenje i dijagnostika stanja	507
P.4	Primeri proračuna vibracija	509

Literatura	519
-------------------------	-----

