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 reailizovan 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 uloženim 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 ergonomskog, 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 Fnkcije 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 Aksiomatske 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 Integrisani 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