

INOVATIVNI RAZVOJ TEHNIČKIH SISTEMA, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet 2014.

Autor: **Milosav Ognjanović, profesor emeritus** milosav.ognjanovic@gmail.com

Redovni član Akademije inženjerskih nauka Srbije - AINS, www.ains.rs



1. Osnove tehničkih inovacija

- 1.1 Pojam tehničkog sistema
- 1.2 Potrebe i pojam tehničke inovacije
- 1.3 Kreiranje tehničkih sistema i inovacija
- 1.4 Istorijski trend tehničkih inovacija
- 1.5 Planiranje tehničkih inovacija
- 1.6 Ideja i kako doći do ideje za novi proizvod
- 1.7 Pojam i značaj funkcije tehničkog sistema
- 1.8 Transformacija bioloških tehničkih sistema
- 1.9 Harmonizacija tehničkog sistema sa okruženjem
- 1.10 Kreativnost u razvoju novih tehničkih sistema

2. Inovativni dizajn tehničkih sistema

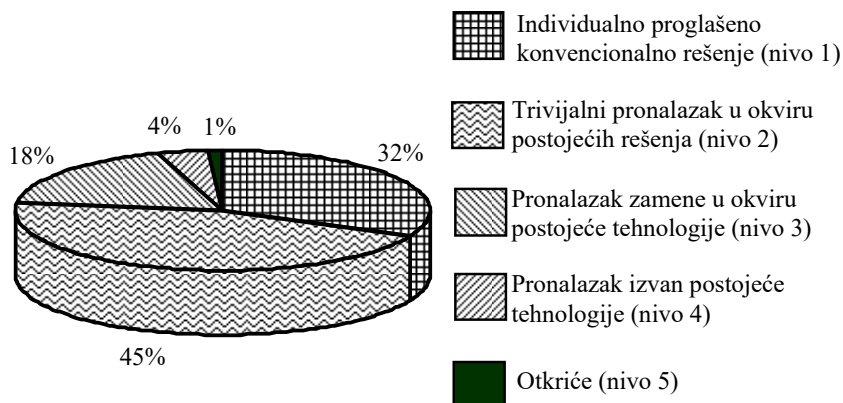
- 2.1 Inovativna sinteza funkcija tehničkog sistema
- 2.2 Koncipiranje idejnog rešenja tehničkog sistema
- P.1 Primeri koncipiranja idejnog rešenja
- 2.3 Izbor dimenzija mašinskih delova i sklopova
- 2.4 Izbor konstrukcijskih parametara
- 2.5 Modularnost u razvoju tehničkih sistema
- 2.6 Tehnologičnost oblika livenih i kovanih mašinskih delova
- 2.7 Tehnologičnost oblika zavarenih mašinskih delova
- 2.8 Tehnologičnost oblika rezanih mašinskih delova
- P.2 Primeri elementarnih proračuna mašinskih delova
- 2.9 Estetska svojstva i relacije sa okruženjem
- 2.10 Sistemi za interaktivnu vizuelizaciju

3. Metode u inženjerskom dizajnu

- 3.1 Metode i procesi u inženjerskom dizajnu
- 3.2 Transformacija koncepcije u konstrukciju
- 3.3 Identifikacija stanja u konstrukciji – DfX metode
- 3.4 Metode proračuna
- 3.5 Znanje, podaci, odlučivanje
- 3.6 Metode traganja za idejama i rešenjima
- 3.7 Navigacija u traganju za idejama
- 3.8 Metode zasnovane na svojstvima tehničkih sistema
- 3.9 Integrisani pristupi i metode
- 3.10 Eksperimentalne metode

4. Izabrana svojstva za dizajn tehničkih sistema

- 4.1 Naponska stanja i radni režimi
- 4.2 Kritični napon za radni režim
- 4.3 Verovatnoća razaranja
- 4.4 Pouzdanost za dizajn
- 5.5 Pouzdanost kao granični uslov za DP i FR
- P.3 Primeri proračuna na osnovu pouzdanosti
- 4.6 Dinamički poremećaji i pobuda u tehničkim sistemima
- 4.7 Vibracije za dizajn tehničkih sistema
- 4.8 Buka za dizajn tehničkih sistema
- 4.9 Inženjerski dizajn mirnih i tihih mašina
- 4.10 Eksperimenti, vibracije i buka za dizajn tehničkih sistema
- P.4 Primeri proračuna vibracija

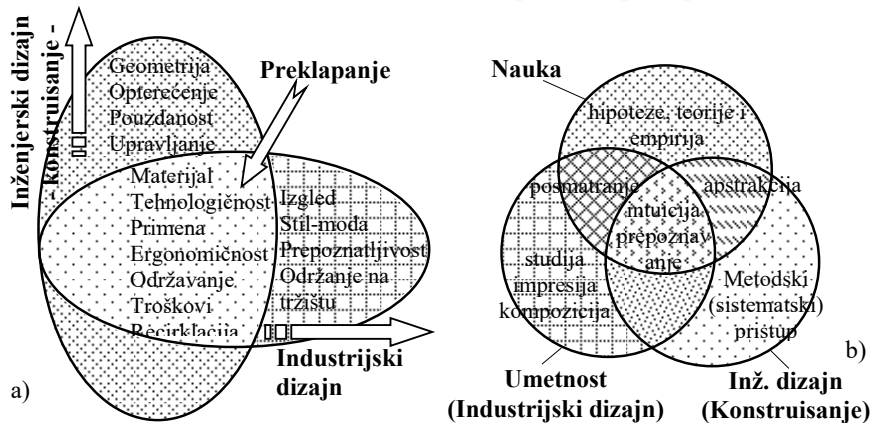


Slika 1. 9
Pet nivoa inovativnosti

Tablica 1.2. Sadržaj pet nivoa inovativnosti

Aspekti problema	Nivoi inovativnosti				
	1. nivo Racionalizacija	2. nivo Modernizacija	3. nivo Novi princip	4. nivo Novo rešenje (pronazak)	5. nivo Otkriće
Polazni uslovi (podsticaji)	Za konkretne zadatke i parametre	Za zadatke definisane sa nekoliko parametara i strukturalnom analogijom	Za skup neusklađenih zadataka primenjujući funkcionalnu analogiju	Mnogi činiooci su nepoznati, bez strukturalnih i funkcionalnih analogija	Primarni cilj je nepoznat i nema analogije sa drugim rešenjima
Resursi za rešenje i osoblje koje problem rešava	Resursi su očigledni i dostupni uz profesionalni pripremu	Resursi nisu očigledni ali postoje u sistemu uz tradicionalnu pripremu	Resursi se mogu izdvojiti iz drugih sistema uz razvojno razmišljanje	Resursi iz različitih područja znanja, asocijativno i kreativne sposobnosti	Resursi su nepoznati, motivacija nije stereotipna
Nivo složenosti i teškoća	Zadatak bez konflikta (kontradikcija)	Uobičajeni problemi	Neuobičajeni problemi	Ekstremni problemi	Naročit problem
Nivo transformacije znanja u tehničko rešenje	Optimizacija postojećeg rešenja	Rešenje zasnovano na tipičnoj analogiji	Rešenje dobijeno kombinacijom inovativnih metoda	Pronalazak dobijen integracijom potrebnih tehnič. efekata	Naučni i tehnički pronalazak
Nivo inovativnosti	Mala promena u parametrima	Inicijalna promena u strukturi i funkciji bez promene u funkc. principu	Promena principa rada - Novi princip	Suštinska promena postojećih sistema - Pronalazak	Suštinska promena baznih efekata koja vodi civilizacijskim promenama

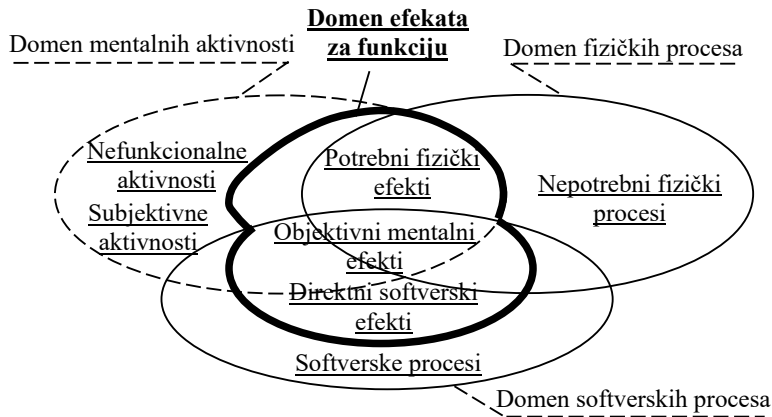
Razvoj tehničkih rešenja sve do sredine 20. veka zasnivao se na individualnim kreativnim sposobnostima pojedinaca pri čemu je korišćen empirijski (iskustveni) pristup. Ovi kreativno nadareni ljudi su izdvajani u posebne timove koji su se bavili osmišljavanjem (projektovanjem i konstruisanjem), a izrada je prepuštena proizvodnim timovima. Crtež je postao sredstvo komunikacije, a kasnije je standardizovan. Potreba za tržišnom konkurencijom navela je na stvaranje sistematskog pristupa, a zatim i na ekspanziju metoda i alata u razvoju novih proizvoda koji je trebao da značajno uveća produktivnost u razvoju i tehničkim inovacijama. Sposobnosti pojedinca su u ranijim periodima bile jedina osnova inženjerskog dizajna. Na slici 1.14 prikazana je ilustracija konstrukcionog biroa iz vremena isključivo empirijskog pristupa u ovoj oblasti.



Slika 1.15

Inženjerski i industrijski dizajn: a) sadržaj, b) pristup

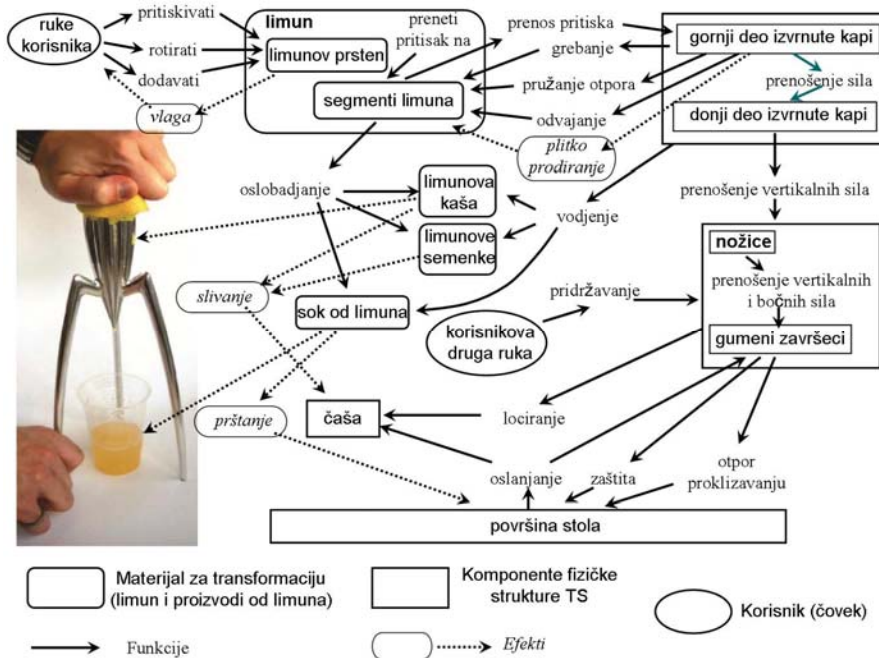
U nastojanju da se za tržište obezbedi što više tehničkih rešenja koja će se na njemu što duže održati, izdvojila su se dva osnovna pristupa. To su Inženjerski dizajn (projektovanje i konstruisanje) i Industrijski dizajn sa različitim orijentacijama i pristupima. Inženjerski dizajn koristi metodologiju i procedure orijentisane dostizanju što višeg nivoa radnih karakteristika i pokazatelja kvaliteta i ponašanja sistema u eksploataciji. Industrijski dizajn je orijentisan prema tržištu, s ciljem da postigne što bolje tržišne efekte i duže održanje na tržištu (sl.1.15a). Za tu svrhu koristi pristup zasnovan na osećaju i na kreativnosti koji se sistematski razvijaju kod pojedinca. I jedna i druga oblast u razvoju proizvoda rešava neka ista (zajednička) pitanja, ali primenom različitih pristupa (sl. 1.15b). I jedan i drugi pristup se zasniva na korišćenju dostignutog nivoa naučnih i tehnoloških znanja i tržišnih uslova. Inženjerski dizajn se zasniva na apstrakciji i primeni pristupa zasnovanog na odgovarajućim procedurama, metodama i alatima. Industrijski dizajn se zasniva na posmatranju, studiji, impresiji, kompoziciji, nadahnuću i empiriji pojedinca.



Slika 1.28

Interakcija područja efekata u tehničkim sistemima

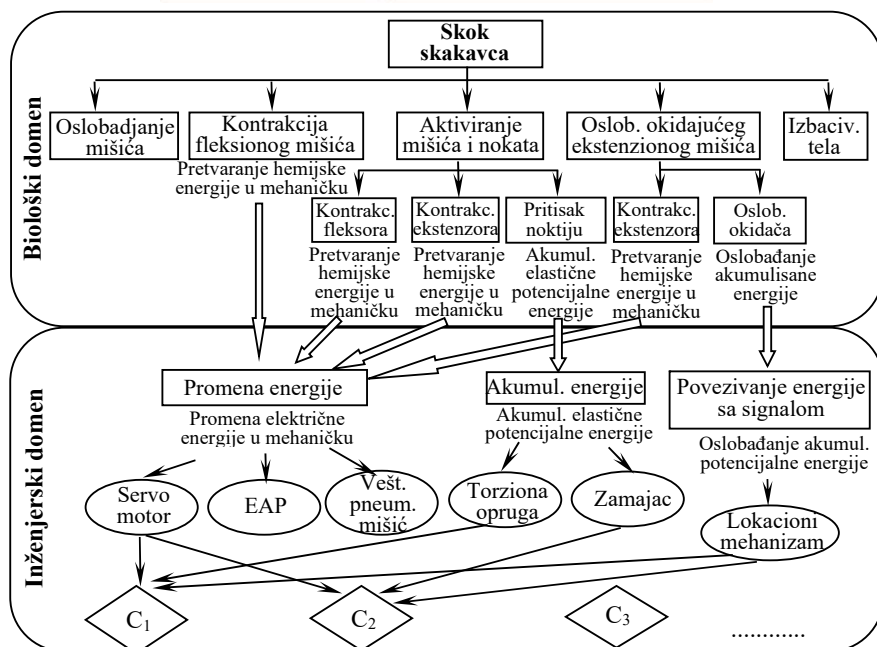
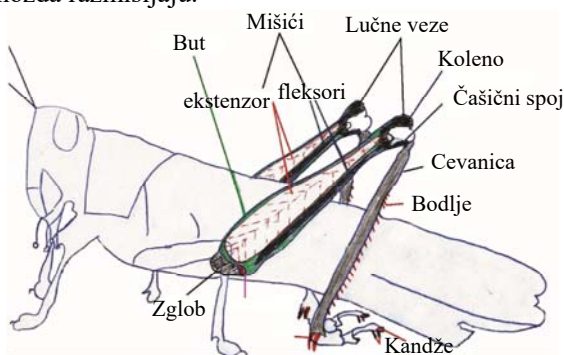
Na slici 1.29 dat je primer korelacije fizičkih i mentalnih funkcija čoveka u odvijanju tehničkog procesa. Izabran je jednostavan primer upotrebe sprave za ceđenje soka od limuna da bi se sagledala ova kompleksna interakcija.



Slika 1.29

Funkcije u procesu ceđenja limuna – interakcija funkcija TS korisnika [C3]

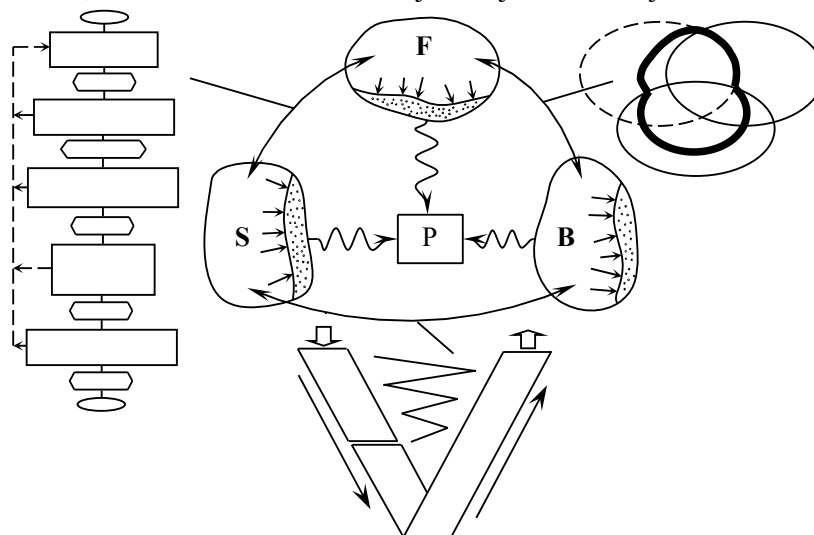
Insekti čine izuzetno veliki skup živih bića koja su zaostala u svom razvoju usled ograničenja koja su u tom smislu bila verovatno prisutna. Nama su ta bića neprijatna i svrstavamo ih u jednu kategoriju iako je reč o širokom spektru principa. Kao takvi oni mogu predstavljati neiscrpn rezervoar različitih mogućih funkcija i principa njihovog izvršavanja. Pčele i mravi, na primer, žive u kolonijama i mogu predstavljati društvena bića. Žive u prostorima (saću ili mravljim hodnicima) koji su izuzetno savršeni sistemi, skupljaju i čuvaju hranu za period kada je nema. Nepoznat je odgovor na pitanje dali to rade po instinktu (nagonu) ili možda razmišljaju.



Slika 1.32

Transformacija principa iz biološkog domena u inženjerski domen [C7]

Proces inženjerskog dizajna (i ne samo inženjerskog) podrazumeva usklađivanje funkcije proizvoda **F**, sa strukturom izvršilaca tih funkcija **S**, i ponašanjem proizvoda odnosno TS **B**. Dakle proizvod **P** je rezultat postignutog sklada funkcije, ponašanja i strukture koji definiše **F-S-B** model prikazan na slici 1.10a, a na slici 2.2 koristi se za dalji razvoj ove korelacije.



Slika 2.2.

Sinteza TS – Oblasti inženjerskog dizajna

Razvoj inženjerskog dizajna u oblasti sinteze tehničkog sistema počeo je razvojem metodologije za transformaciju funkcije u strukturu TS (F-S na sl.2.2), koja je definisana i VDI normama u vidu linijskog modela za ovu transformaciju (Function Based Design), koji je predmet razmatranja u nastavku ovog poglavlja. Radi postizanja željenog ponašanja strukture sistema razvijen je skup metoda čiji je cilj da konstrukcijski parametri i svojstva komponenta u strukturi sistema **S** obezbede željeno ponašanje sistema **B** (Property Based Design). Primenu ovih metoda simbolički ilustruje V- model inženjerskog dizajna prikazan na slici 2.2 u **S-B** relaciji, a prikaz samih metoda dat je u poglavlju 3 o metodama u inženjerskom dizajnu. Aktuelni razvoj metodologije orijentisan je prema dobijanju hibridnih TS (mehatroničkih, softverski podržanih i inteligentnih) kako bi se postigao što viši nivo i kvalitet ponašanja i izvršavanja funkcija. Za tu svrhu proširuje se područje funkcija sa izvršiocima koji su u fizičkoj i principskoj kontradikciji (mehaničke, elektronske, softverske, mentalne) i koji se moraju spregnuti tako da obezbede odgovarajuće ponašanje TS (F-B na sl.2.2) (Behavior Based Design). Neke od integrisanih metoda prikazane su u poglavlju 4, a odnose se na korišćenje izabranih svojstava za ovu svrhu.

2.3 Izbor dimenzija MD i sklopova

Mašinski deo je definisan svojstvima koja se mogu svrstati u četiri grupe, a to su svojstva vezana za funkciju, svojstva u vezi sa oblikom, svojstva u vezi sa materijalom i svojstva u vezi sa načinom izrade. Mašinski deo je u potpunosti definisan ako su definisana sva ova svojstva. Osim toga, između svojstava unutar jedne grupe i između grupa mora postojati potpuna korelacija. Jedno svojstvo je uslovljeno drugim svojstvima i ne može se izabrati nezavisno od drugih. To znači da je svako od svojstava određeno drugim svojstvima koja su već izabrana odnosno koja su poznata.

Prema Polazeći od	FUNKCIJI	OBLIKU	MATERIJALU	POSTUPKU IZRADE
FUNKCIJE	Odluke	1 Heuristika oblika, pravci opterećenja, kretanja i sl	2 Čvrstoća, masa, korozione osobine, osetljivost na uticaje i sl.	3 Ograničenja funkcije korišćenim metodom
OBLIKA	10 Eksploatacija Proveriti da li oblik, materijal i postupak izrade zadovoljavaju funkciju		4 Dimenzije, kompleksnost, površine koje će se dobiti	5 Kompleksnost, simetričnost, zaobljenost, dimenzije, tačnost
MATERIJALA		7 Heuristika oblika, karakte- ristike materi- jala i korišće- nog oblika	Tehno- logičnost	6 Metod izrade odgovora primenjenom materijalu
POSTUPKA IZRADE		8 Karakteristike postupka izrade	9 Pogodnost za oblikovanje u delove	

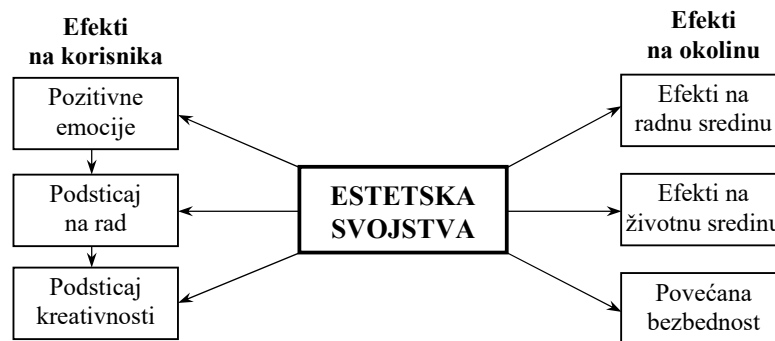
Slika 2.37

Korelacija funkcije, oblika, materijala i načina izrade mašinskih delova

Korelacija funkcije, oblika, materijala i načina izrade mašinskog dela prikazana je na slici 2.37. Funkcija, oblik, materijal i način izrade uređeni su kao vrste i kolone u matrici. Polazeći od funkcije mašinskog dela treba doneti odluku o obliku (1), odluku o materijalu (2) i odluku o načinu izrade (3). Polazeći od

2.9.1. Uloga i značaj estetskih svojstava

Tehnički sistem svojim estetskim svojstvima deluje na emocije korisnika i ostvaruje odgovarajuće efekte na okolinu. Estetska svojstva tehničkog rešenja definiše širok spektar činilaca te je i način delovanja na emocije kompleksan. Cilj je da ovi efekti deluju podsticajno na korisnike i da unapređuju životnu i radnu sredinu. Razvijanjem pozitivnih emocija kod korisnika mašinskih sistema oslobađa se radna energija, podstiče preduzimljivost, kreativnost, povećava produktivnost i ostvaruju drugi efekti od značaja za eksploataciju tehničkog sistema. Osim toga estetska svojstva tehničkog sistema ostvaruju efekte na okolinu na taj način što neće doprinositi stvaranju nepovoljnog ambijenta u estetskom smislu. Svojim izgledom (oblik, boja,) treba da se uklope u ambijent ili da ga oplemene. Radna sredina, u fabrici, na gradilištu i sl., treba da deluje estetski podsticajno. U životnoj sredini (komunalna, prostor za odmor, ishranu i sl.), tehnički sistemi su po pravilu estetski detalji od posebne važnosti.

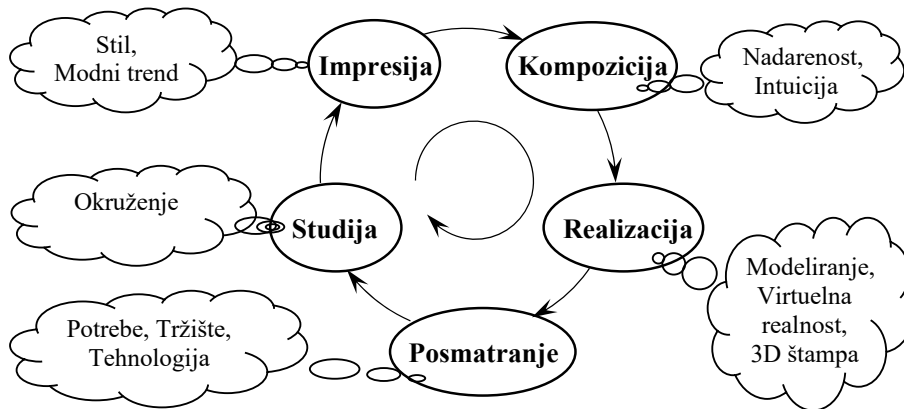


Slika 2.125.

Efekti estetskih svojstava na korisnike mašinskog sistema i na okolinu

Razvoj pristupa u estetskom oblikovanju ne odlikuje se kontinualnošću. Prvi pokušaji oplemenjivanja tehničkih rešenja nastali su u manufakturi kada su majstori u pojedinačnoj, najčešće ručnoj proizvodnji ukrašavali svoje proizvode. Unikati kao što su časovnici, vozila i slični proizvodi ukrašavani su odgovarajućim ornamentima značajne umetničke vrednosti. Ulaskom serijske proizvodnje u primenu potisnute su estetske vrednosti proizvoda. U izmenjenom vidu i sa drugim ciljevima estetske vrednosti proizvoda ponovo dobijaju na značaju. Zajedno sa serijskom proizvodnjom počelo je da deluje i tržište sa konkurencijom koje nije prihvatilo proizvode nižih estetskih vrednosti. Estetski parametri prilagođeni serijskoj proizvodnji počeli su svoj razvoj iz generacije u generaciju novih proizvoda.

nivou razvoja dimenzija i oblika delova, kao i na nivou konstrukcijske razrade. Na svakom od nivoa definišu se i estetska svojstva. Propusti i nedostaci učinjeni kod koncipiranja mogu imati posledice na konačna estetska svojstva. Stoga se kod kompleksnih tehničkih sistema i estetska svojstva razvijaju u fazama uz učešće članova tima orijentisanih prema ovom aspektu. Ako se to ne učini tokom razvoja sistema, obrnut pristup podrazumeva redizajn. To se po pravilu ne svodi samo na estetske izmene samo spoljašnjih kontura već konstrukcijske zahvate do nivoa koncepcije (rasporeda i sastava delova i sklopova). Postavlja se pitanje da li treba delove i strukturu pokriti "sakriti" od pogleda ili ih učiniti estetski prihvatljivim ili znatno više od toga.



Slika 2.129

Aktivnosti članova tima koji razvijaju estetska svojstva TS

Članovi tima orijentisani razvoju estetskih svojstava tehničkih sistema, za razliku od inženjera, svoje aktivnosti zasnivaju na osećaju koji je u prvom redu rezultat prirodne nadarenosti, a zatim razvijan tokom obrazovnog procesa i stican sopstvenim iskustvom. Prva i permanentna aktivnost je posmatranje postojećih TS, a zatim TS koji se razvija i njegovih komponenata i doživljavanje njihovih detalja sa odgovarajućim emocijama. Posmatranje se ostvaruje u relaciji sa tržištem, mogućim potrebama, raspoloživim i mogućim tehnologijama i dr. Sledi zatim druga aktivnost u vidu studije i dolaženje do ključnih detalja koji su do takvih emocija doveli. Ovi detalji i emocije su svakako u strogoj korelaciji sa okruženjem, geografskim, ekonomskim, vremenskom epohom i sl. Impresija nastaje kao reakcija na shvatanje odgovora i rezultata ostvarene studije, a u vezi sa stilom i modnim trendom koji je trenutno aktuelan, bio u prošlosti ili se očekuje u budućnosti. U skladu sa naraslim osećajem formira se kompozicija detalja vezanih za činioce koji definišu estetska svojstva (oblik, boju, materijal,). Iza toga sledi realizacija u vidu razvoja tog oblika. Njegovim posmatranjem započinje se novi ciklus tj. kružni tok prikazan na slici 2.129 i iteraciono ponavljanje po potrebi.

2.9.6. Vrednovanje estetskih svojstava tehničkih sistema

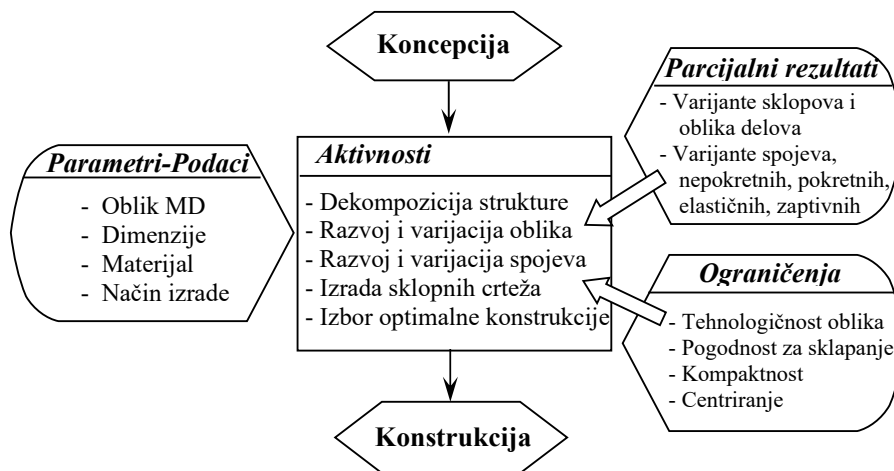
Relacija estetskih svojstava tehničkih sistema i korisnika identifikuje se ličnim osećajem, personalizacijom proizvoda – „Product personality“. Ovaj pojam svodi se na konstataciju kao što je „Ova krigla je baš slatka – This is a cute mug“ ili „Ova kola deluju agresivno – This is an aggressive car“ [C13]. Neka od svojstava koja učestvuju u personalizaciji TS su: jednostavnost, harmonija, balans, jedinstvenost, dinamičnost, inovativnost, modni stil i dr. Personalni doživljaj TS odnosno proizvoda uopšte, može biti sa osećajem prijateljstva, nežnosti, elegancije, agresivnosti, sporta, velikodušnosti, iznenađenja, sreće, smirenosti i dr. Radi se o subjektivnim osećajima koji se mogu vrednovati kvalitativnim i kvantitativnim merama. Kvalitativne podrazumevaju opisno i nedovoljno precizno ocenjivanje i rangiranje dok kvantitativno podrazumeva numeričko ocenjivanje na osnovu odgovarajuće procedure i kriterijumima.

Tablica 2.21. Dvadesetpet pozitivnih emocija koje mogu podstaći ili stvoriti TS

	Naziv	Objašnjenje
1	Agilnost	Stanje duha visoke energičnosti i vitalnosti
2	Čežnja	Doživljaj snažne privlačnosti da se uživa ili poseduje nešto
3	Divljenje	Doživljaj želje i osećaj potrebe da se nagradi
4	Euforija	Biti nošen neodoljivom radošću
5	Fasciniranost	Potreba da se pažnja usredsredi na nešto
6	Inspiracija	Nagli doživljaj neodoljivog kreativnog impulsa
7	Isčekivanje	Očekivanje poželjnog događaja sa nestrpljenjem
8	Iznenađenost	Zadovoljstvo nečim što se dogodilo neočekivano
9	Ljubav	Doživljaj nežnosti i brige za nekoga
10	Ljubaznost	Tendencija da se doprinese dobrobiti nekome
11	Ležernost	Mirno stanje oslobođeno mentalne i fizičke napetosti
12	Nadanje	Uverenje da se nešto dobro ili poželjno može dogoditi
13	Obožavanje	Potreba i čast da se bude posvećen nekome
14	Olakšanje	Doživljaj nedavnog otklanjanja stresa i nelagodnosti
15	Očaranost	Doživljaj velike prijatnosti
16	Ponos	Doživljaj sopstvene vrednosti ili ostvarenja
17	Poverenje	Mentalna ili moralna snaga da izdrži i nosi se sa situacijom
18	Radost	Zadovoljstvo nečim ili nekim poželjnim događajem
19	Radoznalost	Doživljaj potrebe da se istražuje ili razume nešto
20	Sanjarenje	Uživanje u mirnom stanju i razmišljanju
21	Saučešće	Potreba da se saoseća sa nečijom nesrećom ili bedom
22	Uvažavanje	Doživljaj smatranja nekog dobrim i vrednim
23	Zabava	Uživati u razonodi i humoru
24	Zadovoljstvo	Uživanje u ispunjenim potrebama i željama
25	Žudnja	Doživljaj apetita i žalbe

3.2 Transformacija koncepcije u konstrukciju

Rezultat faze koncipiranja idejnog rešenja je koncepcija koju treba u okviru faze razvoja oblika i dimenzija (sl.2.4) transformisati u konstrukciju. U odeljku 2, kroz izbor parametara i dimenzija mašinskih delova, uključujući i tehnološki oblik, prikazani su delovi procedure ove transformacije u vidu prikaza procedure inženjerskog dizajna. Sama transformacija koncepcije u konstrukcijsko rešenje podrazumeva skup aktivnosti povezanih u proceduru koja vodi prema konstrukcijskom rešenju čiji je rezultat preliminarni sklopni crtež TS. U skladu sa prikazom na slici 3.2, aktivnosti, polazni podaci, parcijalni rezultati i ograničenja navedena su na slici 3.3.

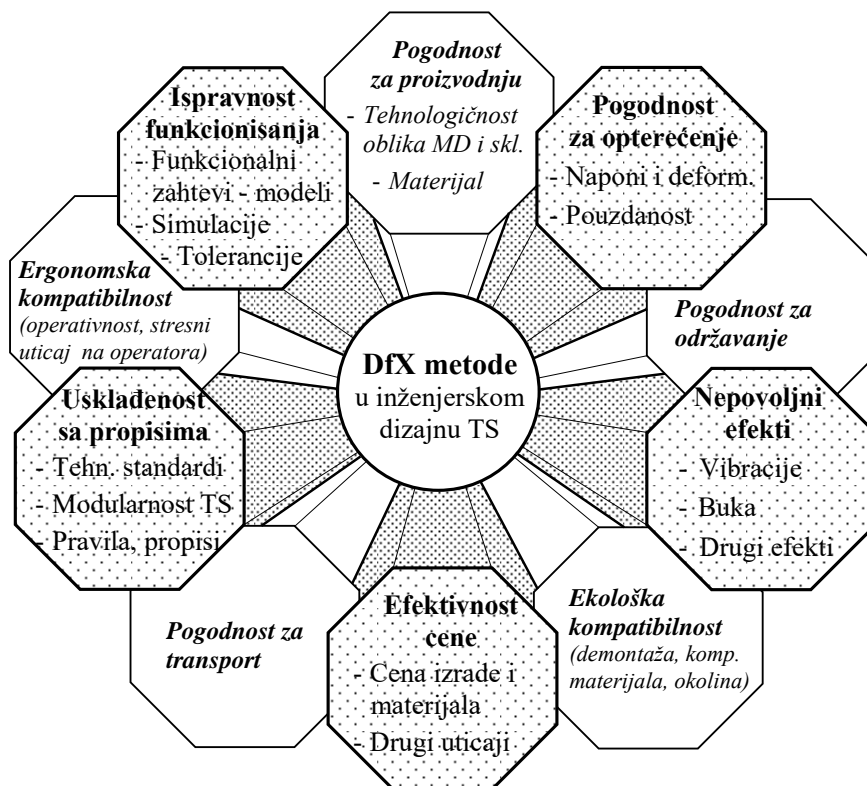


Skika 3.3

Struktura metode transformacije koncepcije u konstrukciju

Prva aktivnost se sastoji u dekomponovanju koncepcione strukture u celine koje su pogodne za dalju razradu (sl.3.4). Izdvajaju se glavni izvršiooci funkcija, kao na primer kućište mešalice 1, spoj kućišta i poklopca 2, zatim rotor mešalice 3, pogonska grupa 4, pumpa 5, regulacioni ventil 6 i dr. U nastavku se mogu identifikovati i izvršiooci pomoćnih i sporednih funkcija kao što su raspršivači gasa, spojevi cevi i kućišta (posude pod pritiskom), oslonci posude i pogonske grupe i dr. Sledi dalje razvoj i varijacija oblika kako izvršilaca glavnih tako i izvršilaca pomoćnih funkcija. Polazi se od polaznih oblika definisanih koncepcijom i od dimenzija određenih na osnovu polaznih kriterijuma

Sama ova struktura ukazuje na činjenicu da je područje DfX metoda izuzetno široko i omogućuje separatu analizu odnosno rešavanje određenih zadataka u inženjerskom dizajnu. Ovo je pristup orijentisan prema određenom cilju, a takvih potreba i ciljeva u inženjerskom dizajnu ima veoma mnogo. Pristup je suprotan sveobuhvatnom (holističkom) pristupu koji je značajan pri definisanju ideje za inovativno tehničko rešenje kada treba sagledati sve aspekte i mogućnosti. Osim toga separatne DfX metode orijentisane su na sagledavanje i najsitnijih detalja dok holistički pristup obuhvata samo globalne aspekte.



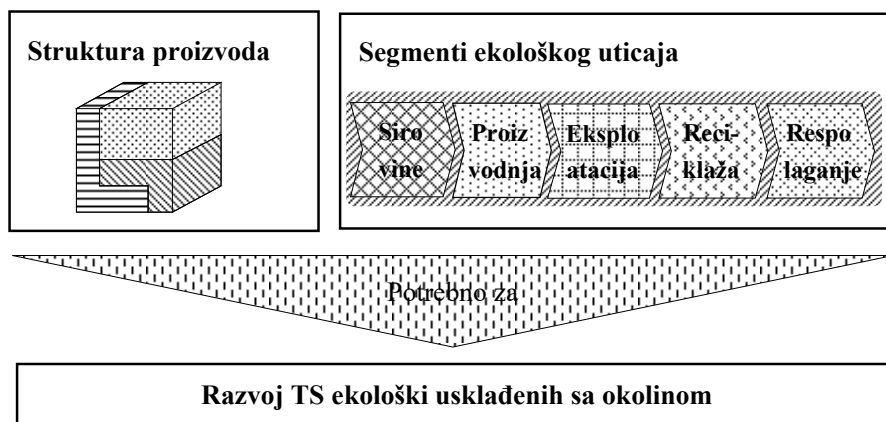
Slika 3.24

DfX metode u inženjerskom dizajnu, orijentisane prema svojstvima TS (napred), prema fazama životnog ciklusa TS (u pozadini)

Svaka od DfX metoda iz niza podskupova datih na slici 3.24, u opštem slučaju realizuje se na način i po opštoj proceduri koja je prikazana na slici 3.25. Ulazni podaci za realizaciju metode dolaze iz razvijenog ili postojećeg konstrukcijskog rešenja ili faze životnog ciklusa TS. Realizacija DfX metode odvija se po određenoj proceduri koja je specifična za svaku od njih. Odvija se uz

3.3.4 Dizajn za okolinu (Design for Environment)

Tehnički sistemi sami po sebi po pravilu ne moraju biti remetilački činilac u odnosu na prirodno okruženje stvoreno evolucijom. Ipak kada se u razmatranje uključi sve ono što učestvuje u njihovom stvaranju do uništenja, svaki TS u većem ili manjem stepenu doprinosi narušavanju ekološkog sistema. Poremećaj nastaje počev od sirovina upotrebljenih za njegovu izradu (sl. 3.32). Za dobijanje sirovina, na primer metala, potrebna je ruda kao i prerada rude, te ekološke poremećaje koje izaziva ova industrija, jednim delom preuzima i TS koji se razmatra. Proizvodnja TS podrazumeva potrošnju energije, proizvodnju otpadnih materijala i otpadne energije. Eksploatacija (upotreba) TS obuhvata trošenje prirodnih resursa, zauzeće prostora, emisiju nečistoća i dr. Reciklaža takođe ostavlja posledice na ekološki sistem, kao i raspolaganje (upotreba) materijala dobijenog recikliranjem. Ovako široko sagledavanje relacija TS sa okruženjem i ekološkom ravnotežom, mora biti realizovano tokom njegovog razvoja primenom DfE (Design for Environment) metode. Na slici 3.32 u međusobnu korelaciju stavljen je proces razmatranja (razvoja) proizvoda sa segmentima procesa koji mogu imati posledice na okruženje i koji su potrebni za razvoj TS ekološki usklađenih sa okolinom. Pod pojmom usklađenosti podrazumeva se minimizacija svih negativnih negativnih efekata.



Slika 3.32

Segmenti ekološkog uticaja TS koji se uključuju u njegov razvoj

DfE ne predstavlja proceduru koja se realizuje u nekoj fazi procesa razvoja TS. To je skup aktivnosti koje se preduzimaju u okviru svake od ovih faza, s ciljem da se u što višem stepenu umanje negativni efekti na okruženje. Na slici 3.33 prikazan je proces razvoja (inženjerskog dizajna) TS u skladu sa VDI 2221 preporukom i uporedo pregled mogućih aktivnosti koje se u ovom pogledu realizuju u okviru svake od faza razvoja. Sa napredovanjem procesa razvoja,

3.5 Znanje, podaci, odlučivanje

Inženjerski dizajn (konstruisanje) je jedan od procesa pomoću kojeg se znanje i podaci transformišu u tehnički sistem. Znanje je većim delom koncentrisano u ljudima, a zatim u proizvodima i na kraju u nosiocima informacija kao što su knjige, časopisi, dokumentacija, baze znanja i podataka i dr. Ono znanje koje nije aktivno, koje se samo čuva, tokom vremena gubi svoju vrednost. Baze znanja i podataka prvenstveno su namenjene organizaciji i pripremi za jednostavnije i efikasnije korišćenje. Znanje je jedino bogatstvo koje se uvećava ako se deli sa drugima i ako se stalno koristi. S tim u vezi, na slici 3.41 prikazan je ciklus aktivnosti koje se mogu realizovati s ciljem da se do znanja dođe, obradi, sačuva i stalno uvećava. Prepoznavanje – identifikacija znanja podrazumeva shvatanje i razumevanje određenog procesa ili pojave. Prvi ko dođe u posed tog znanja i iskoristi ga, u značajnoj je prednosti u odnosu na druge. Istraživanje, posebno prirodnih i bioloških procesa i podsticanje onih koji mogu da stvore i primene nova znanja, je značajna organizaciona i društvena aktivnost. Akvizicija, obrada i razvoj podrazumevaju prikupljanje, razradu i unapređenje stečenog znanja. Ono se mora na odgovarajući način pripremiti i unaprediti. Ako se to znanje ne podeli sa drugim subjektima ono ostaje nepoznato i neiskorišćeno – kao i da ga nema. Deoba sa drugima izaziva pozitivnu ili negativnu reakciju, dalji razvoj, primenu odnosno realizaciju u tehničkim rešenjima. Stoga je podsticanje deljenja znanja sa drugima isto tako važna društvena aktivnost kao i podsticanje istraživanja.



Slika 3.41

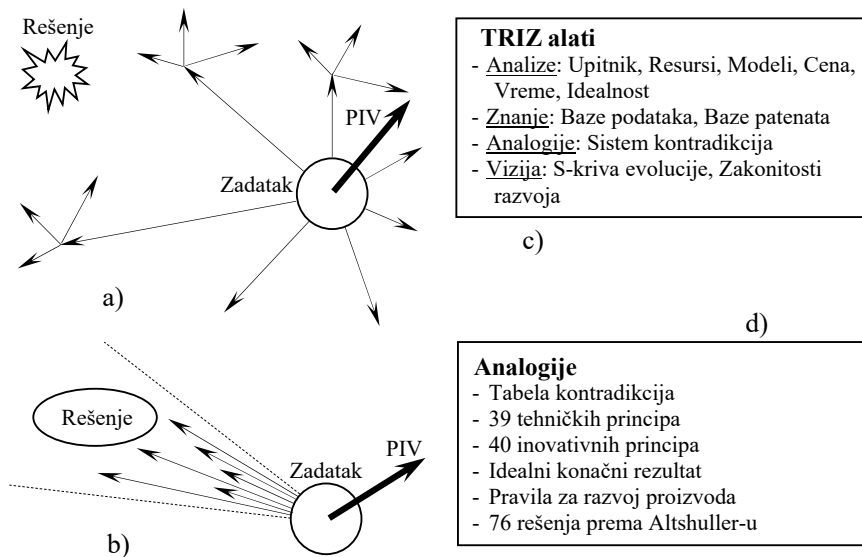
Ciklus od prepoznavanja do primene novih znanja

3.6.4 Inovacione tehnike

Počeci razvoja metoda traganja za idejama i rešenjima obeleženi su nastojanjem da se dođe do procedure koja će dovesti do inovacije, a kasnije sa ubrzanim razvojem kompjutera i softverskih sistema ova očekivanja su transformisana u nastojanje i predviđanje mogućnosti da metode i alati mogu sa minornim učešćem mentalnih aktivnosti, dovesti do inovacija tj. da „mašine stvaraju mašine“. Iako ovakve mogućnosti nikada nisu bile ni blizu realnosti, krajem dvadesetog veka se i od pomisli da je tako nešto moguće, odustalo. To je bila prilika da inovacione tehnike dobiju na značaju. One se nisu tada pojavile već su dobile na aktuelnosti. Ove tehnike polaze od toga da je proces dolaženja do inovativnih rešenja mentalni (kognitivni), ali pritom ne isključuju primenu metoda i alata koji ovaj proces mogu da učine efikasnijim i efektivnijim. Tako se za inovacione tehnike može reći da usmeravaju razmišljanje kako doći do inovacije ali ga ne zamenjuju. Aktuelizovane su TRIZ i WOIS tehnika koje su u narednom tekstu kratko predstavljene.

Inovaciona tehnika TRIZ nastala je takođe sredinom dvadesetog veka ali u to vreme, kada su okolnosti bile drugačije, nije bila od posebnog značaja. Sama skraćena je iz Ruskog jezika i označava teoriju rešavanja konstrukcijskih zadataka (Teorija Razrešenjija Izobraziteljnih Zadač). Posle navedenih promena u pristupu kreativnom stvaralaštvu, njen razvoj i širenje, uključujući i oblasti izvan tehnike, postao je ubrzan. Osnovna postavka TRIZ-a je da usmerava razmišljanje ali da ga ne zamenjuje već podstiče i usmerava prema dolaženju do pronalazaka – inovacija i nadalje prema oblikovanju budućnosti. Ovako visoko postavljeni cilj može se ostvariti polazeći od trendova i procesa koji su se odvijali u prošlosti i koje treba nastaviti ili preusmeriti u budućnosti, kao i na kontradikcijama koje treba prevazići. Prema TRIZ-u, nema ograničenja u tehničkom i društvenom razvoju, a procedura po kojoj se to postiže sastoji se u „presuđivanju i u greškama“ koje usmeravaju razmišljanje. Pronalasci, prema ovoj teoriji su rezultat uspešno otklonjenih kontradikcija, a same kontradikcije su nastale usled nekoegzistentnog razvoja nekih oblasti ili komponenata. U operativnom smislu rešavanje problema identifikovane kontradikcije vodi prema inovaciji. U taktičkom smislu problem kontradikcije se rešava na osnovu procedure koja nastaje analizom i analogijom sa nastankom važnih pronalazaka. U stratejskom smislu inovacije odnosno pronalasci moraju biti zasnovani na prirodnim zakonima i pravilima razvoja TS.

Na slici 3.65 prikazani su osnovni činioci na kojima se zasniva inovaciona tehnika TRIZ. Šema na sl. 3.65a pokazuje da je znanje, koje može biti naučeno ili individualno stečeno, u osnovi ovog pristupa. Vizije pojedinca, tima i šireg okruženja su usmeravajuća vodilja prema inovacijama. Analize, i kao



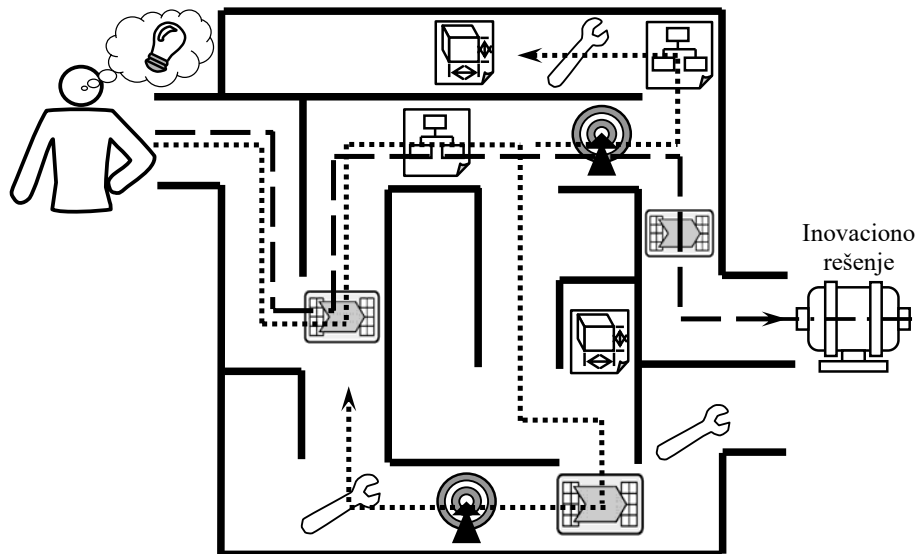
Slika 3.66

Rešavanje inovacionih zadataka primenom TRIZ tehnike

Pošto se rešavanje inovacionih zadataka zasniva na „presuđivanju i na greškama“, na slici 3.66a strelicama su prikazani pravci i koordinantni sistemi u kojima se mogu tražiti rešenja. Podebljanom strelicom PIV označen je, prema Altshuller-u vektor psihološke inercije i predstavlja pravac u kojem pronalazač najpre polazi i po pravilu to nije smer prema ispravnom rešenju najvišeg stepena idealnosti. Neki od razloga za to su što se pronalazač plaši da krene, odnosno uđe na „nepoznatu teritoriju“ tj. u drugu oblast, da ne ispadne „smešan“ ili da predloži „divlje“ rešenje. Pod takvim psihološkim ograničenjima predlaže rešenja niskog stepena idealnosti koje sam odbacuje, tragajući u različitim pravcima što se odražava na snižavanje stepena efikasnosti. Potrebno bi bilo postaviti granice (isprekidane linije na slici 3.66b) između kojih treba tražiti rešenje. Postavljanje ovih granica koje mogu da obezbede visok stepen efikasnosti, nije jednostavno, kada se zna da su česta razmišljanja u inženjerskom dizajnu „Sve je proizvoljno“, ili „Sve zavisi od znanja i sposobnosti“, ili „Sve dolazi od prirodne nadarenosti“. Sve je ovo donekle tačno, ali savremeni TRIZ nudi alate (sl. 3.66c) koji u dobroj meri mogu da obezbede stanje prikazano na slici 3.66b. Ovi alati, u vidu softvera za analize, na primer u formi upitnika, zatim baze патената, analogije, vizije i dr., u značajnoj meri menjaju orijentaciju u odnosu na PIV vektor i vode prema inovativnom rešenju visokog stepena idealnosti. Visok stepen konkretizacije u ovom smislu nude TRIZ analogije od kojih su najvažnije date na slici 3.66d. Tu su najvažniji tehnički i inovativni principi i rešenja po Altshuller-u, prema kojima treba predlagati nova.

3.7 Navigacija u traganju za idejama

U opštem slučaju pojam navigacije podrazumeva određivanje položaja i pravca kretanja. Položaj se određuje u odnosu na poznate lokacije primenom odgovarajuće procedure, pravac kretanja na osnovu cilja kojem se teži. U odnosu na navigaciju radi orijentacije u prostoru, ovaj pojam je proširen na orijentaciju u internet pretraživanju, na orijentaciju u naučnim istraživanjima, pa i na orijentaciju u traganju za idejama i rešenjima u inovacionom razvoju TS. Polazni položaj je stanje na tržištu, stanje u industriji, sopstvenom preduzeću i sl., a pravac određuju ciljevi i strategija koji su takođe predmet procesa navigacije. Ne postoji definisana metodologija kako povezati raspoložive podatke i informacije, raspoložive metode, modele i alate koji nisu međusobno usaglašeni niti usklađeni. Takvo stanje se može prikazati lavirintom kao na slici 3.71 u kome je potrebno povezati raspoložive činioce donošenjem odluka o njihovom rasporedu i redosledu imajući u vidu karakteristike proizvoda koji treba razvijati.

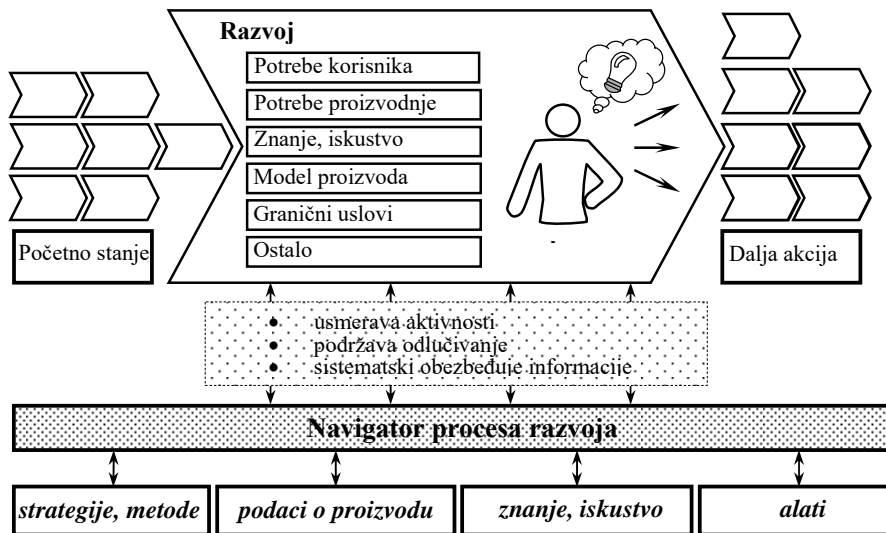


Slika 3.71

Stanje raspoloživih resursa pri generisanju ideje i procedure za razvoj inovacionih tehničkih rešenja [Meerkamm]

3.7.2 Sistem navigacije – navigator

Sistem navigacije definiše rukovodilac tima pre ulaska u proceduru traganja za idejom odnosno rešenjem unutar „lavirinta“ fragmenata i mogućnosti (sl.3.71). Navigator definisan za ove potrebe (sl.3.75) se zasniva na **strategijama i metodama** koje će biti primenjene u daljem razvoju proizvoda, na **podacima, znanju i iskustvu** kao i na **alatima** koji će biti korišćeni. Drugim rečima, tim koji definiše ideju za proizvod biće rukovođen ovim činjenicama koje će voditi prema novm proizvodu. One će **usmeravati aktivnosti**, na osnovu njih će se **donositi odluke** i na osnovu toga će se sistematski **prikupljati informacije** kojim će upotpuniti i zaokružiti ideju za proizvod koji bude predložen.



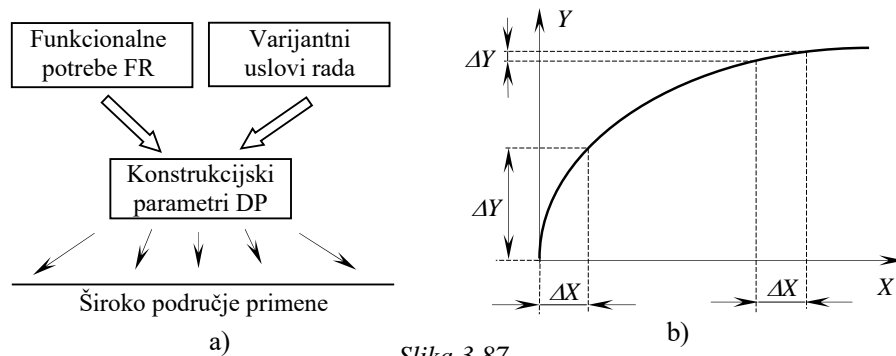
Slika 3.75

Navigacija procesa usklađivanja činilaca koji definišu ideju za novi proizvod
[Meerkamm, Lindeman]

Razvoj proizvoda odnosno traganje za idejama za proizvod i rešenjima podrazumeva bavljenje *potrebama korisnika* (pronalaženjem i razvijanjem), zatim *potrebama proizvodnje* tj. industrije za koju se proizvod razvija, a oslanja se na *znanje i iskustvo*, na korišćenje *modela* i poštovanje *graničnih uslova* (sl.3.75). Potrebe korisnika se pronalaze, definišu sinhronizovano sa definisanjem funkcije proizvoda, kao i pri definisanju graničnih uslova koje treba da zadovolji proizvod. Potrebe korisnika mogu biti identifikovane i razvijene samo preko funkcije tehničkog sistema. Ovaj pojam podrazumeva odgovarajuću namenu TS tj. svrhu kojoj je namenjen i mora biti svojoj „funkciji orijentisan“ – sl. 3.76. To prema ovom prikazu znači da se ponašanje TS mora

3.8.3 Robusni i aksiomatski dizajn zasnovan na svojstvima

Primenom metode robustnog dizajna dobijaju se konstrukcijska rešenja odnosno konstrukcijski parametri koji nisu osetljivi na varijaciju uslova rada. Termin „robustni“ u ovom smislu znači „neosetljiv“. Na slici 3.87 navedene su grafičke ilustracije ovoga pojma. Metodom robustnog dizajna treba za određene funkcionalne potrebe razviti konstrukcijsko rešenje koje je moguće koristiti u različitim uslovima rada (sl.3.87a). Na slici 3.87b su prikazana dva područja varijacije konstrukcijskog parametra Y za isto područje varijacije funkcionalnog parametra X . Veća vrednost ΔY ukazuje na veću osetljivost a manja na robusnost parametra Y u području većih vrednosti parametra X . Tipičan primer robustnog konstrukcijskog rešenja je menjački prenosnik za ugradnju kod privrednih (teretnih) motornih vozila. Određeni tip ovog prenosnika može biti ugrađen u različita vozila. Samo vozilo i isti tip vozila se eksploatiše u promenljivim uslovima, različitim konfiguracijama terena i kvaliteta puta. Osim toga zavisno od tipa vozila za i zavisno od očekivanih uslova eksploatacije, isti tip prenosnika može se deklarirati za različite nosivodti. Tako se isto konstrukcijsko rešenje izrađuje u povećanom broju komada za relativno široko područje primene.



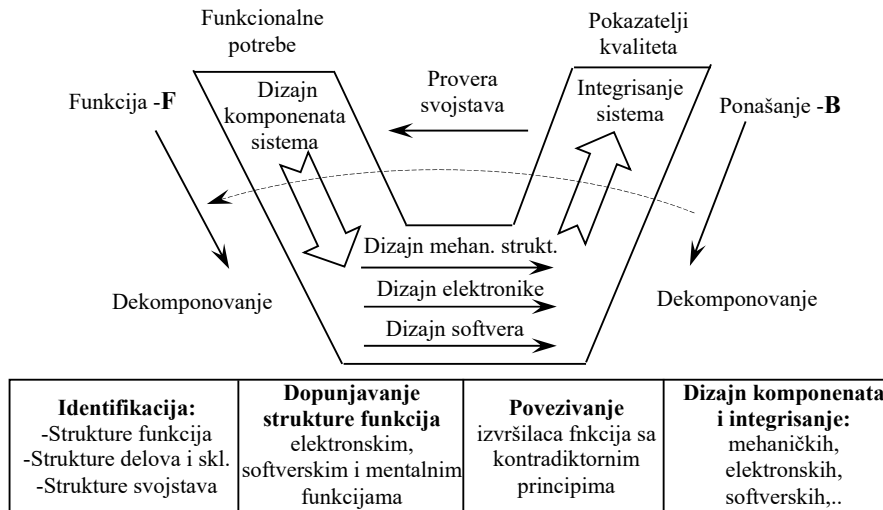
Slika 3.87

Robusnost (neosetljivost) konstrukcijskih parametara DP na varijaciju uslova rada

Funkcija promene konstrukcijskih parametara Y , zavisno od uslova rada i funkcionalnih potreba, može biti složena zavisno od predvidljivosti ovih promena. Ona se može predstaviti u obliku

$$Y = g(M, Z, R) + e(X, M, Z, R)$$

gde funkcija g obuhvata predvidljive, a funkcija e nepredvidljive promene. One su u zavisnosti od ulaznih vrednosti M , kontrolnih vrednosti Z i od razmere ovih uticaja R . Kod različitih primena metode robustnog dizajna iznalaze se mogućnosti da se obuhvate efekti predvidljivih i nepredvidljivih uticaja i varijacija ΔY (osetljivost) smanji.



Slika 3.93

*Procedura povratnog (Reverse) inženjerstva
za transformaciju postojećih mehaničkih u hibridne tehničke sisteme*

U povratnoj proceduri polazi se od željenog ponašanja TS (B) koje se dekomponuje paralelno sa dekomponovanjem strukture TS i njegovih funkcionalnih potreba. Dekomponovanjem strukture identifikuje se struktura funkcija i struktura svojstava postojećeg TS. Na osnovu željenog ponašanja dopunjuje se postojeća struktura funkcija dodatnim funkcijama koje treba da poboljšaju i podignu nivo ponašanja TS. Ove funkcije se po pravilu mogu realizovati korišćenjem elektronskih komponenta ili softvera koji podržava ili oponaša principe identifikovane u biološkim sistemima. Uvođenjem ovakvih izvršilaca u postojeći TS sa mehaničkom strukturom izvršilaca, otvara problem povezivanja izvršilaca koji funkcionišu na različitim principima i imaju ulazno-izlazne veličine u fizičkoj kontradikciji. Ove veličine u isto vreme treba da odgovaraju i jednom i drugom izvršiocu koje treba povezati. Oni nisu međusobno „valentni“. Da bi se veza ipak uspostavila razvijaju se „valence“ kod izvršilaca na taj način što se uvode sekundarne funkcije za međusobno prilagođavanje izvršilaca kako bi se ova veza uspostavila. Za tu svrhu razvijaju se posebni pristupi i metode zasnovane na principima inovacionih tehnika. Podrazumeva se traganje za mogućnostima međusobnog usklađivanja ulazno-izlaznih veličina kako bi se izvršio funkcija mogli povezati. Na osnovu ovako transformisane strukture funkcija i strukture izvršilaca (organa TS) pristupa se inženjerskom dizajnu dodatnih komponenta i po potrebi izmenama konstrukcijskih parametara postojećih komponenta (Dizajn mehaničke strukture), elektronskih komponenta (Dizajn elektronike) i softvera (Dizajn softvera). Sledi integriranje komponenta i njihovih svojstava u novi TS.