



O inženjerstvu

Predmeti i zbivanja, koje nazivamo tehnikom, imaju s prirodom zajedničko to, što ih osjetilno možemo zamijetiti. Prirodi su bliski po tome, što se njihovo pojavljivanje i njihov tok bitno i odlučno veže uz prirodne zakone, a od predmeta i zakona prirode razlikuju se time, što oblik i bivstvo tehničkih predmeta i zbivanja nisu određeni uzročnošću nego svrhovitošću, i to u tolikom stupnju, da vrijednost tehničkih objekata ovisi o tome, u kolikoj je mjeri njihovim oblikom postignuta njihova svrha.

Friedrich Dessauer (1881. – 1963.)

U to što tehnika jest spada izrada i korištenje oruđa, pribora i strojeva, spada samo izrađeno i korišteno, spadaju potrebe i svrhe kojima sve to služi.

Martin Heidegger (1889. – 1976.)

1.1 Osnovni pojmovi

1.1.1 Inženjerstvo i tehnika

Inženjerstvo je djelatnost stvaranja svrsishodnih, umjetnih i opredmećenih objekata – proizvoda (komponenata, tehničkih sustava¹). Sastavni je dio tehnike, u koju se, osim inženjerstva – djelatnosti stvaranja proizvoda – ubrajaju i sve djelatnosti u kojima se primjenjuju proizvodi kao i sami proizvodi².

¹**Tehnički sustav** je skup komponenata koje razmjenjujući međusobno ili s okolinom tvari, energiju i/ili informacije obavljaju željene funkcije. Osnovne funkcije tehničkih sustava su prijenos, skladištenje, preoblikovanje, pretvorba i spajanje ili razdvajanje tvari, energije i/ili informacija.

²Ne postoji opća suglasnost stručne zajednice o tome što je tehnika. U ovom je udžbeniku prihvaćena definicija tehnike prema Heideggeru (aforizam!) i Ropohlu [11]. U izvorniku [11] djelatnostima na stvaranju proizvoda – inženjerstvu – nije dan nikakav poseban naziv.

U engleskom se jeziku, ali i u nekim drugim jezicima, osnovno značenje riječi *technology* podudara sa značenjem riječi *tehnika* u hrvatskom jeziku, što je vjerojatno razlog da se danas u nas, pod utjecajem engleskog jezika, umjesto riječi *tehnika* sve više koristi riječ *tehnologija*. U ovom je udžbeniku zadržano uobičajeno značenje riječi *tehnologija*, tj. da je **tehnologija** skup znanja i vještina o postupcima obrade i prerade sirovina u proizvode.

Opredmećenost i svrsishodnost proizvoda uzrokuju postojanje triju dimenzija tehnike: prirodne, humane i društvene dimenzije [11].

Prirodna dimenzija tehnike proizlazi iz činjenice da su proizvodi fizički objekti i pokoravaju se prirodnim zakonima fizike, kemije i biologije. Zbog toga je za uspješno stvaranje proizvoda – rezultata inženjerstva – potrebno znanje prirodnih znanosti, tehničkih znanosti i ekologije.

Proizvod je umjetan objekt, što znači da ima tvorca i izrađen je svrsishodno, tj. da bi zadovoljio neke specifične potrebe korisnika. Tvorci i korisnici proizvoda su ljudi i iz odnosa pojedinac – proizvod proizlazi humana dimenzija tehnike. To znači da proizvode treba promatrati i sa stajališta humanističkih znanosti: antropologije, psihologije, estetike i etike, ali i sa stajališta jedne od osnovnih bioloških znanosti – fiziologije.

Društvena dimenzija tehnike proizlazi iz činjenice da u praktički svim slučajevima proizvode ne izrađuje i upotrebljava isti pojedinac nego veći broj ljudi. Proizvod ne stoji samo između čovjeka i prirode nego i između čovjeka i čovjeka. Zbog toga proizvode treba promatrati i sa stajališta društvenih znanosti: ekonomije, politologije, sociologije, povijesti i prava [11].

1.1.2 Tehničke znanosti

Tehničke znanosti su skup sređenih i uopćenih znanja utemeljenih na prirodnim znanostima i bitnih za stvaranje proizvoda (komponenata, tehničkih sustava). Osnovne zadaće tehničkih znanosti su:

- izgradnja teorijskih osnova koje omogućuju što točnije predviđanje svojstava i struktura proizvoda koji se projektiraju
- provedba teorijskih analiza načina rada proizvoda i
- reformuliranje i konkretizacija poznatih prirodoznanstvenih zakona za praktične svrhe.

Tehničke se znanosti dijele na tehnička područja (discipline) u skladu s odgovarajućom podjelom prirodnih znanosti na znanstvena područja. Tako npr. termodinamici u tehničkim znanostima odgovara tehnička termodinamika, mehanici tehnička mehanika, a elektricitetu i magnetizmu elektrotehnika. U tom se smislu elektrotehnika definira kao tehnička znanost koja se bavi primjenom elektriciteta i magnetizma na stvaranje proizvoda (komponenata, električkih sustava).

Svrsishodnost proizvoda uvjetuje da u tehničkim znanostima osim prirodoznanstvenih pojmova postoje i važni pojmovi smisleni samo u određenom tehničkom području (tehnički smisleni pojmovi). U elektrotehnici karakterističan je primjer skup pojmova izveden iz pojma snage – trenutna, djelatna, jalova i prividna snaga – od kojih fizički smisao imaju samo pojmovi trenutne i djelatne snage, dok pojmovi jalove i prividne snage imaju samo tehnički smisao.

1.1.3 Inženjer

Inženjer je visokoškolski obrazovana osoba³ koja se bavi inženjerstvom i primjenjuje inženjerske metode u rješavanju problema. Korijen je riječi inženjer u srednjovjekovnoj latinskoj riječi *ingeniare*, što znači *vješto stvarati* kao i *zasnovati*.

Inženjeri se uobičajeno školuju prema tehničkim područjima (strukama). Tako razlikujemo inženjere elektrotehnike, računalstva, strojarstva, kemijske tehnologije i drugih struka. Osnovne inženjerske djelatnosti su razvoj, istraživanje, **projektiranje**, proizvodnja, održavanje, menadžment i prodaja proizvoda⁴.

1.1.4 Projekt i projektiranje

Projekt je svaki cjelovit i složen pothvat čija se obilježja i cilj mogu definirati, a mora se ostvariti u određenom vremenu te zahtijeva usklađene napore nekoliko ili većeg broja ljudi, službi, poduzeća i dr. [3]. Prema [2], projekt je definiran kao sve ono što se izrađuje po planu s vlastitim rokom, opsegom, opisom, sadržajem i organizacijom rada, a projektiranje kao djelatnost na izrađivanju projekata.

U skladu s tim definicijama mnoge se ljudske djelatnosti smatraju projektima. Projektom se u politici smatra, npr. ukupnost djelatnosti potrebnih da bi zemlja pristupila nekoj međunarodnoj asocijaciji; u pravu, priprema i nacrt zakona; u umjetnosti, priprema kazališne predstave ili koncerta; u znanosti, teorijsko i/ili eksperimentalno istraživanje neke pojave i slično.

1.1.5 Inženjersko projektiranje

Inženjersko projektiranje je postupak zasnivanja proizvoda kojima bi se zadovoljile željene potrebe. U nastavku teksta razmatrat ćemo inženjersko projektiranje u elektrotehnici na primjeru projektiranja električnih uređaja. Ostala područja inženjerskog projektiranja u elektrotehnici, kao što su npr. projektiranje razdjelnih mreža, energetskih prijenosnih mreža, instalacija, žičnih i bežičnih veza u telekomunikacijama, ne ćemo razmatrati.

³Prema *Zakonu o akademskim i stručnim nazivima i akademskom stupnju* od 2012. godine sve osobe koje u Republici Hrvatskoj završe studij tehničkih znanosti na sveučilišnim odnosno stručnim studijima dobivaju zvanje magistar inženjer uz naznaku struke, npr. magistar inženjer elektrotehnike i slično, odnosno zvanje stručni prvostupnik inženjer uz naznaku struke, npr. stručni prvostupnik inženjer strojarstva i slično. U ovom se udžbeniku sve te osobe nazivaju inženjeri.

⁴Interesantan je podatak da se u SAD-u od ukupnog broja osoba koje su završile studij tehničkih znanosti, dakle osoba sa zvanjem inženjera, njih oko 60 % bavi osnovnim inženjerskim djelatnostima, oko 30 % se bavi poslovima koji su povezani s inženjerstvom (obrazovanje, vojska, neprofitne organizacije itd.) a oko 10 % se uopće ne bavi inženjerstvom [1]. Takvi podaci ne postoje za inženjere u Republici Hrvatskoj.

1.1.6 Električki uređaj, sklop, komponenta

Električki uređaj svrsishodno je izrađen proizvod, sastavljen od više sklopova, čiji se rad osniva na zakonima elektriciteta i magnetizma. Tipični primjeri električkih uređaja su mobilni telefon, perilica rublja i punjač akumulatorskih baterija.

Sklop ili funkcionalna cjelina dio je uređaja, sastavljen od više komponenata (naprava), koje spojene zajedno obavljaju neku funkciju u uređaju. Tipični primjeri sklopova su oscilator, impulsni generator i izlazno pojačalo.

Komponenta ili naprava najjednostavniji je električki fizički objekt funkcionalno nerastavljiv na sastavne dijelove. Tipični primjeri komponenata su kondenzator, otpornik, osigurač, dioda i transformator.⁵

1.1.7 Električki sustav

Električki sustav skup je električkih uređaja koji iskazuje neka posebna svojstva neostvariva s pomoću pojedinačnih električkih uređaja od kojih je sastavljen. Tipičan primjer električkog sustava je transformatorska stanica⁶.

1.2 Inženjerski problemi

1.2.1 Vrste inženjerskih problema

Osnovni inženjerski zadaci su rješavanje problema⁷ i donošenje odluka. Inženjerski se problemi odnose na proizvode i to ne samo na njihovo zasnivanje (projektiranje) i ostvarenje (proizvodnju i implementaciju) nego i na njihov utjecaj na humanu i društvenu komponentu ljudske okoline. Osnovne vrste inženjerskih problema su:

- **Istraživački problem** – zahtijeva se da postavljena hipoteza (ili skup hipoteza) bude potvrđena ili odbačena. Blizak je znanstvenom problemu.

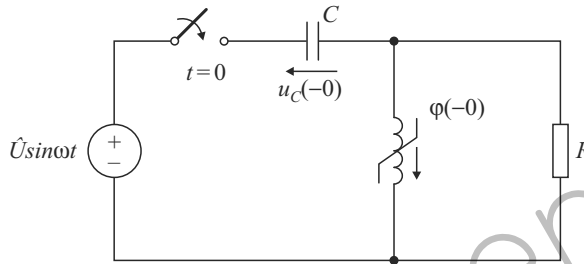
Primjer: Utječu li početni uvjeti, napon kapaciteta $u_C(-0)$ i tok nelinearnog

⁵Navedena je najjednostavnija hijerarhijska struktura uređaja. Složeniju hijerarhijsku strukturu čini niz: **uređaj**, grupa, jedinica, **sklop**, podsklop, **komponenta** [4].

⁶Uočimo relativnost pojmova uređaj i sustav. Naime, što je uređaj, a što sustav ovisi o cilju projekta. Tako je sa stajališta projektiranja gradskog prometa tramvaj uređaj, dok je sa stajališta proizvođača odnosno projektanta tramvaja tramvaj sustav, sastavljen od više uređaja. Očigledno, isto vrijedi za sklopove kao i za komponente. Za proizvođača komponente svaka je komponenta itekako složen sustav.

⁷**Problem** je stanje ili pitanje s kojim je suočen pojedinac ili skupina ljudi, a za koje ne postoji očigledno rješenje, odgovor ili ishod.

induktiviteta $\varphi(-0)$ u nelinearnom neautonomnom titrajnom krugu, prikazanom na slici 1.1, na pojavu ferorezonancije?



Slika 1.1 Shema spoja titrajnog kruga u kojem je moguća ferorezonancija

- **Problem znanja** – suočenje sa situacijom koja se ne razumije.
Primjer: Zašto su rashladna tijela poluvodičkih ventila u industrijskim uređajima uglavnom nebojena (bijele boje), dok su u komercijalnim uređajima ili uređajima za samogradnju uglavnom crne boje?
- **Matematički problem** – za zadani matematički model pojave treba odabrati prikladnu metodu analize⁸.
Primjer: Može li se uređaj modelirati linearnom električkom mrežom? To je bitno pitanje jer se tada analiza rada uređaja može provesti analizirajući posebno svaki od sklopova uređaja.
- **Problem otkrivanja i otklanjanja grešaka** – uređaj se ponaša na neočekivan način, radi pogrešno ili uopće ne radi.
Primjer: Uređaj povremeno radi pogrešno nakon uklopa, njemu fizički bliskog, drugog uređaja. Treba istražiti kolika je otpornost uređaja na elektromagnetske smetnje stvorene radom drugog uređaja kao i to jesu li smetnje koje stvara drugi uređaj veće od dopuštenih.
- **Društveni problem** – proizvod je po nekom kriteriju neprilagođen tehničkoj kulturi, jeziku ili navikama korisnika.
Primjer: Je li naziv proizvoda koji se plašira u stranu zemlju prilagođen jezičnom sustavu govornika zemlje uvoznice?
- **Problem raspoloživih izvora (resursa)** – nastupa u praksi kad god nema dovoljno vremena, ljudi, novca i opreme da se obavi postavljeni zadatak.
Primjer: Treba organizirati profitabilnu proizvodnju uređaja uz zadane ljudske i materijalne resurse.
- **Projektantski problem** – nastupa kad je potrebno stvoriti proizvod (komponentu, uređaj, sustav) kojim bi se zadovoljile neke specifične ljudske potrebe. Vrlo je često povezan s problemom raspoloživih izvora.
Primjer: Treba osigurati neprekidno napajanje električnom energijom osjetljivih trošila na aerodromu.

⁸O tome više u odsječku 4.3.4.

1.2.2 Opći uvjeti rješenja projektantskog problema

Nužan uvjet rješenja svakog projektantskog problema, kao što je npr. projektiranje električkog uređaja, jest da je rješenje **tehnički izvedivo**. Dakle, da se projektirani uređaj može proizvesti i da će u primjeni raditi onako kako je to zahtijevao ili očekivao korisnik.

No taj uvjet nije i dovoljan. Tehnička izvedba uređaja definira u velikoj mjeri proizvodnu cijenu projektiranog uređaja. Zbog toga projektirani uređaj mora biti i **ekonomski izvediv**, tj. očekivana dobit od projektiranog uređaja treba premašiti ukupne troškove, koje čine troškovi projekta, proizvodna cijena uređaja, pogonski troškovi i životni troškovi uređaja. O ekonomskoj izvedivosti uređaja projektant tijekom projektiranja mora stalno voditi računa.

Troškovi i dobit nastaju u različito vrijeme. Zbog toga je za projektanta bitno da projekt bude i **financijski izvediv**, tj. da se novčana sredstva za projekt mogu osigurati u trenutku kad je to potrebno, kao što je i za proizvođača uređaja bitno da proizvodnja uređaja bude financijski izvediva.

Bitan razlog zašto mnogi veliki projekti, iako tehnički, ekonomski i financijski izvedivi, nisu ostvareni jest taj što ih nije podržala javnost, političari ili zbog prevelikog utjecaja projektiranog objekta na okoliš. Dakle, od projekta se traži da bude i **društveno prihvatljiv**. Ako to nije, tehnički i ekonomski razlozi postaju manje važni. Karakterističan je primjer projektiranje nuklearnih elektrana [7].

Projektant ima odlučujući utjecaj na tehničku izvedivost uređaja, a u nešto manjoj mjeri na ekonomsku izvedivost uređaja kao i na financijsku izvedivost projekta. Na financijsku izvedivost uređaja, a pogotovo na društvenu prihvatljivost projekta, projektant ima malen ili gotovo nikakav utjecaj.

U nastavku teksta pretpostavit će se da je projekt električkog uređaja tehnički, ekonomski i financijski izvediv te društveno prihvatljiv.

1.3 Inženjerske metode

1.3.1 Opća inženjerska metoda

Zbog raznovrsnosti inženjerskih problema metode rješavanja pojedinih vrsta problema međusobno se razlikuju ako se promatraju kao slijed djelatnosti koje inženjer – rješavač problema uobičajeno obavlja da bi riješio postavljeni problem. U tom smislu treba razlikovati inženjersku metodu u projektiranju (projektantsku metodu) od npr. inženjerske metode otkrivanja i otklanjanja grešaka ili od inženjerske metode rješavanja problema znanja i ostalih metoda.

No svim inženjerskim problemima, ma kako oni na prvi pogled izgledali različito, zajedničko je jedno osnovno obilježje: **moraju biti riješeni u zadanom roku**,

uz zadana ograničenja odnosno raspoložive resurse, a rješenje mora biti primjereno stanju tehnike⁹ u trenutku kad se problem rješava.

Podaci s kojima inženjer – rješavač problema raspolaže najčešće su nepotpuni ili nekonzistentni, a katkad i proturječni, pa stručno znanje inženjera, tj. poznavanje činjenica, pojmova, procesa, načela i postupaka relevantnih u konkretnom inženjerskom problemu nije dovoljno za rješenje problema i donošenje ispravne odluke. Zbog toga se inženjeri u takvim, za njih, nejasnim ili neizvjesnim situacijama služe heuristikama. Pri tome se pod **heuristikom** (*ad hoc* pravilom, pravilom od palca, provizornim pravilom) smatra sustavan postupak utemeljen na iskustvu, a ne znanstvenom znanju, koji izgleda obećavajuće jer je u nekim prethodnim slučajevima bio uspješan. Heuristika dakle ne jamči uspjeh, tj. njezina primjena nema opću valjanost, ali ako se pokaže uspješnom, bitno skraćuje vrijeme potrebno za rješenje problema.

Intenzivna upotreba heuristika tipična je za sve inženjerske djelatnosti i smatra se **općom inženjerskom metodom** [8]. Svako područje inženjerske djelatnosti ima svoje heuristike kao što se i svaki inženjer pridržava nekih heuristika koje ovise o njegovom stručnom znanju, iskustvu i sklonostima. Primjerice, većina odluka koje tijekom projektiranja donosi projektant električkog uređaja, a odnose se na izbor između jednakovrijednih ili sličnih rješenja (odabir sheme spoja sklopa ili uređaja, odabir proizvođača komponenata i slično), utemeljena je na osobnim heuristikama projektanta.

Ne postoji i skup heuristika prihvaćenih od cjelokupne inženjerske zajednice. U elektrotehničkoj praksi to je elektrotehnička regulativa (norme, kodeksi dobre prakse, tehničke specifikacije i tehnički propisi), koja se može shvatiti kao skup heuristika koje se odnose na sigurnost primjene električne energije za ljude i imovinu. Primjena elektrotehničke regulative ne daje potpunu sigurnost nego samo visoku vjerojatnost da će upotreba električne energije biti bezopasna za ljude i imovinu.

1.3.2 Inženjerska metoda u projektiranju – projektantska metoda

Polazna točka svih djelatnosti u inženjerstvu je projektiranje proizvoda. Većina ostalih djelatnosti u inženjerstvu dobrim je dijelom određena projektantskim rješenjima. Zbog toga je važno znati specifičnosti inženjerske metode u projektiranju – projektantske metode.

Projektantsku metodu karakteriziraju, u općem slučaju, ovi koraci (faze):

- identifikacija potreba i definiranje problema
- usporedbena analiza sličnih proizvoda na tržištu
- identifikacija svih vrsta ograničenja (zakonska, ekonomska, kadrovska i druga) te utvrđivanje kriterija vrednovanja rješenja

⁹Pod **stanjem tehnike** razumijeva se razina stanja tehničkih mogućnosti u danom trenutku, koja se odnosi na proizvode, procese i usluge, utemeljena na provjerenim znanstvenim, tehničkim i iskustvenim spoznajama [13].

- konceptualizacija proizvoda (izrada interne tehničke specifikacije proizvoda)
- generiranje skupa mogućih rješenja
- analiza tehničke izvedivosti (izrada idejnog projekta)
- izrada prethodnog projekta i
- izrada detaljnog projekta.

U nastavku teksta opisan će se projektantska metoda na primjeru projektiranja električkih uređaja.

1.4 Osnovne projektantske djelatnosti

Električki uređaj je svrshodno izrađen proizvod. Time je istaknuto da električki uređaj promatran kao fizički objekt mora biti projektiran tako da svojim električkim, toplinskim i mehaničkim karakteristikama omogući da se zadovolje neke specifične potrebe ili očekivanja korisnika. Električki je uređaj i komercijalan proizvod, što znači da tijekom projektiranja projektant mora uzimati u obzir ne samo ograničenja nametnuta uvjetima okoline u kojoj će uređaj raditi ili svojstvima elektrotehničkih materijala nego i zakonska, ekonomska, kadrovska i druga ograničenja koja utječu na proizvodnu cijenu, a time i na dostupnost uređaja korisniku.

Projektiranje je najčešće iterativan proces. Tijekom projektiranja mogu se dogoditi različiti, za projektanta, nepredvidljivi događaji, kao što su promjena projektnih zahtjeva od strane korisnika uređaja, promjena dobavljača komponenata, promjena proizvođača uređaja i slično. Isto tako projektanti često odabiru pojedina rješenja za koja se u kasnijim fazama projektiranja može pokazati da nisu bila najbolja. U svim takvim slučajevima neke se od faza projektiranja moraju ponoviti. Također, katkad se pojedini koraci unutar neke faze moraju tijekom projektiranja ponoviti zato što ulazni podaci za neki od koraka mogu biti poznati tek nakon što je obavljen neki kasniji korak.

U prethodnom su potpoglavlju navedene sve faze projektiranja, tj. slijed svih osnovnih djelatnosti projektiranja od početka do završetka projekta. U stvarnosti će, ovisno o konkretnom projektu, neke od djelatnosti obaviti druge službe, npr. identifikaciju potreba i definiranje problema. Katkad projektanti dobivaju od naručioca projekta potpune projektne zahtjeve u obliku interne tehničke specifikacije uređaja ili čak i prijedlog idejnog rješenja uređaja. Jedine djelatnosti kojima će se projektanti baviti u svakom projektu su izrada prethodnog projekta i izrada detaljnog projekta. U tim se fazama projektiranja prvenstveno bave:

- a) provedbom električkih proračuna** koji obuhvaćaju
 - analizu mreža kojima je modeliran električki dio uređaja
 - proračun strujnog opterećenja komponenata
 - proračun naponskog opterećenja komponenata

- odabir materijala i komponenata uređaja s obzirom na zadane radne uvjete
 - proračun gubitaka komponenata
 - proračun elektromagnetske kompatibilnosti
- b) **provedbom toplinskih proračuna** koji obuhvaćaju
- odabir osnovnog načina hlađenja uređaja (prirodno, prisilno)
 - proračun nadtemperatura komponenata na osnovi poznatih gubitaka
 - proračun temperatura komponenata za odabrani razmještaj komponenata u uređaju
 - odabir izolacijskih materijala i njihove temperaturne klase
- c) **provedbom mehaničkih proračuna** koji obuhvaćaju
- proračun nosivih dijelova konstrukcije
 - odabir materijala i mehaničkih komponenata
 - proračun mehaničkih opterećenja komponenata i nosivih dijelova konstrukcije za poznate narinute poticaje (vibracije, udari)
- d) **predviđanjem (proračunom) pouzdanosti** i
- e) **izradom tehničke dokumentacije.**

Već iz tog navođenja samo osnovnih projektantskih djelatnosti proizlazi da je za praktički svaki uređaj, a pogotovo za složenije uređaje, potrebno stvoriti projektantski tim koji se sastoji od specijalista s potrebnim znanjima pojedinih tehničkih disciplina, prvenstveno elektrotehnike, tehničke termodinamike, tehničke mehanike i računalstva.

1.5 Potrebna projektantska znanja

Tehnička kompetentnost projektanata nužan je uvjet uspješnog projekta svakog električkog uređaja. To znači da projektanti moraju posjedovati stručno znanje – deklarativno, proceduralno i uvjetno znanje – iz područja svoje specijalnosti i to na odgovarajućim razinama.

1.5.1 Vrste znanja

Deklarativno znanje ili *znati što* odnosno *znati o čemu* obuhvaća **činjenično znanje** (znanje činjenica i terminologije) i **konceptualno znanje** (znanje procesa, načela i postupaka). Projektanti uglavnom rade u timu, sudjeluju u tehničkim dogovorima, stručnim raspravama, ugovaranju, javnom predstavljanju projekata, izrađuju tehničku dokumentaciju uređaja, objavljuju stručne i znanstvene radove te vode i

nadziru mlađe suradnike. Zbog toga nije dovoljno da projektanti posjeduju samo deklarativno stručno znanje nego moraju posjedovati i deklarativno znanje iz pojedinih humanističkih i društvenih znanosti (ekonomije, sociologije, psihologije), trgovačkog prava, tehničke regulative (propisi, norme) i stila pisanja tehničkih tekstova na hrvatskom jeziku. Deklarativno stručno znanje, relevantno za inženjersko projektiranje, stječe se prvenstveno školovanjem, a povećava se praksom i stalnim praćenjem stručne literature.

Projektant mora *znati kako* upotrijebiti deklarativno znanje. To se znanje naziva **proceduralno znanje**. Sastoji se od pravila o uvjetima i načinu djelovanja tipa: *Ako X, onda Y*. Osobitost te vrste znanja je postupnost, teže se iskazuje riječima, lakše provedbom. Samo se manji dio proceduralnog znanja stječe školovanjem, ostalo se stječe projektantskom praksom.

Prethodna znanja projektantu ne vrijede mnogo ako ne *zna kad* i u kojoj situaciji mora nešto učiniti ili postupiti na ispravan način, tj. primijeniti deklarativno i proceduralno znanje. To se znanje naziva **uvjetno znanje** i obično se smatra dijelom tzv. metakognitivnog znanja, koje još obuhvaća i znanje o metodama učenja i spoznaje općenito. Uvjetno se znanje stječe samo projektantskom praksom.

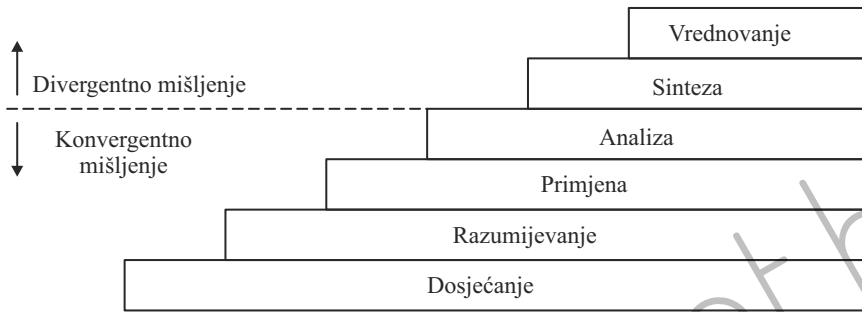
1.5.2 Razine znanja

Ovisno o tome što se znanjem želi postići, postoji više načina kako se znanje može strukturirati hijerarhijski, tj. po razinama. Najpoznatija je klasifikacija (taksonomija) koju je o ciljevima obrazovnog procesa u spoznajnom području 1956. godine objavio američki psiholog Benjamin Bloom. Inženjersko je projektiranje po svojim osnovnim značajkama – rješavanje problema, donošenje odluka – tipičan primjer spoznajnog procesa¹⁰ i Bloomova taksonomija ciljeva obrazovnog procesa (razina znanja) dobro odgovara razinama znanja koje su potrebne u inženjerskom projektiranju [5, 6].

Prema Bloomu postoji šest razina znanja podijeljenih, prema načinu mišljenja kojim se pojedinac (projektant) služi rješavajući postavljeni mu problem, u dvije osnovne vrste – konvergentno i divergentno mišljenje¹¹, slika 1.2.

¹⁰ **Spoznajni (kognitivni) procesi** obuhvaćaju procese stjecanja znanja (odnosno različitih spoznaja) kao i rezultate tih procesa, tj. ono što je spoznato.

¹¹ Bloomova je taksonomija ciljeva obrazovnog procesa kasnije revidirana [9]. Jednodimenzionalnost Bloomove taksonomije zamijenjena je dvodimenzionalnošću, tj. matricom ciljeva. Jednu dimenziju čine vrste znanja (činjenično, konceptualno, proceduralno i metakognitivno), dok drugu dimenziju čine spoznajni procesi (dosjećanje, razumijevanje, primjena, analiza, vrednovanje i kreiranje). Najsloženijim spoznajnim procesom smatra se kreiranje (sinteza), a ne vrednovanje kao u originalnoj Bloomovoj taksonomiji.



Slika 1.2 Razine znanja i načini mišljenja

Konvergentno mišljenje

Konvergentno mišljenje je način mišljenja u kojem pojedinac primjenjuje postojeće znanje za rješavanje problema, tj. znanje koje je već sadržano u polaznim informacijama.

Najniža razina znanja je **dosjećanje**. Ono se ogleda u sposobnosti da se prepozna, opiše, označi ili definira kakva činjenica, informacija ili teorija u približno onakvom obliku u kakvom je naučena. Primjerice, znati kako glasi Kirchhoffov zakon napona.

Sljedeća, viša razina znanja je **razumijevanje**. Ono se ogleda u sposobnosti promišljanja o značenju usvojenih činjenica kao i u sposobnosti da se stečeno znanje upotrijebi u tipičnim primjerima. Primjerice, za zadanu shemu spoja mreže, primjenjujući Kirchhoffov zakon napona, znati odrediti napone na elementima mreže. Razumijevanje se pokazuje i interpretacijom naučenih činjenica na drukčiji način od naučenog, sažimanjem, objašnjavanjem ili predviđanjem učinaka ili posljedica.

Sljedeća, još viša razina znanja je **primjena**. Ona se ogleda u sposobnosti upotrebe naučenih pravila, zakona, metoda ili teorija u novim (netipičnim) situacijama i time dovede do njihovog poopćenja. Primjerice, znati pod kojim uvjetima vrijedi Kirchhoffov zakon napona, tj. da je Kirchhoffov zakon napona poseban slučaj Faradayeva zakona indukcije.

Najvišu razinu znanja, koja pripada konvergentnom mišljenju, predstavlja **analiza**. Ona se ogleda u sposobnosti da se nešto složeno rastavi u jednostavne cjeline koje se razumiju kao i da se razumije organizacijska struktura nekog sustava. Primjerice, moći "rastaviti" u mislima električki uređaj na dijelove i pokazati za koje dijelove uređaja (ako uopće) vrijedi Kirchhoffov zakon napona odnosno za koje dijelove uređaja ne vrijedi. Na toj je razini znanja pojedinac (projektant) u stanju uspoređivati, suprotstavljati, prepoznati prešutne pretpostavke, razlikovati uzroke od posljedica odnosno premise od zaključaka. Isto tako, pojedinac je u stanju riješiti i jednostavnije probleme u drugim, njegovoj specijalnosti bliskim, područjima.

Divergentno mišljenje

Divergentno mišljenje je način mišljenja u kojem je pojedinac u stanju stvoriti novo znanje, tj. znanje koje nije sadržano u polaznim informacijama.

Prva razina znanja koja pripada divergentnom mišljenju je **sinteza**. Ona se ogleda u sposobnosti spajanja jednostavnijih fizičkih ili misaonih cjelina u nove složenije smislene cjeline. Sintezu odlikuje sposobnost kombiniranja, postavljanja hipoteza, planiranje i reorganizacija kao i sposobnost povezivanja znanja iz različitih područja. Primjerice, znanje na razini sinteze znači znati zašto je i u kojoj primjeni nužno minimalizirati površinu petlje koju tvore spojni vodovi. Ili ako nas zanimaju samo pojedini naponi u sklopu (uređaju), znati zašto nije potrebno definirati na koju se petlju sklopa (uređaja) odnosi Kirchhoffov zakon napona.

Druga razina znanja koja pripada divergentnom mišljenju, i ujedno je i najviša razina znanja, jest **vrednovanje**. Ono se ogleda u sposobnosti procjene dobivenog rezultata ili zaključka s obzirom na neki poseban kriterij. Primjerice, za najvišu razinu znanja Kirchhoffova zakona napona to bi značilo znati pod kojim se uvjetom može dvama voltmetrima koji mjere efektivne vrijednosti napona istodobno izmjeriti efektivne vrijednosti napona u petlji koju čine tri naprave.

1.5.3 Funkcionalno znanje projektanta

Projektiranje električkih uređaja tipičan je primjer primjene divergentnog mišljenja. Uspješan projektant posjeduje stručno znanje (deklarativno, proceduralno i uvjetno znanje) na razini sinteze odnosno vrednovanja iz područja svoje specijalnosti. Za elektroinženjere to su, npr. znanja o električkim strojevima ili energetskej elektronici ili digitalnoj elektronici ili nekom drugom specijalističkom području. Za takvog se projektanta, a slično vrijedi i za druge inženjerske djelatnosti, tada kaže da posjeduje **funkcionalno znanje**.

Funkcionalno se znanje ne može steći samo školovanjem na sveučilišnim ili stručnim tehničkim studijima. Ono počiva na iskustvu stečenom u radu na stvarnim projektima. Nisu provedena istraživanja, pa se ni ne zna, koliki je dio funkcionalnog znanja projektanata električkih uređaja stečen iskustvom, tj. primjenom heuristika, a koliki dio čini znanje stečeno formalnim školovanjem. Takva su istraživanja provedena u SAD-u i to samo za građevinske inženjere – projektante visokogradnja (mostova, vijadukata, nebodera i sličnih objekata). Rezultati istraživanja pokazali su da je najmanje dvije trećine njihovog funkcionalnog znanja kojim se koriste u svakodnevnom poslu stečeno iskustvom, a ne formalnim školovanjem ili pridržavanjem kodeksa dobre prakse ili norma. U projektiranju električkih uređaja

taj je udio vjerojatno znatno manji¹².

Najvažniji način stjecanja i očuvanja funkcionalnog znanja jest analiziranje prošlih slučajeva, najčešće u razgovoru s drugim projektantima iz projektantskog tima, čime se stvaraju, ali i prenose, nove heuristike. Anegdotalnost prošlih slučajeva omogućuje lakše pohranjivanje i organiziranje velikog broja informacija, a time i lakšeg prisjećanja relevantnih heuristika u potrebnom trenutku.

1.5.4 Očekivana stručna znanja projektanta početnika

Od projektanta početnika, tj. onog koji je tek završio sveučilišni ili stručni studij, očekuje se znanje na razini primjene iz područja svoje specijalnosti. Jasno je da specijalistička znanja elektroinženjera kao bitan preduvjet pretpostavljaju znanje osnova elektrotehnike na razini primjene. Isto tako očekuje se znanje na razini razumijevanja za pojedine grane matematike, kao što su matematička analiza, statistika i približni račun, zatim znanje računalstva te znanja iz nespjecijalističkih područja. Za elektroinženjere to je prvenstveno znanje tehničke mehanike kao i poznavanje načina prijelaza topline.

1.6 Načela projektiranja električkih uređaja

Tijekom projektiranja projektant sukcesivno rješava probleme i donosi odluke. Osim stručnog znanja u rješavanju problema bitnu ulogu igraju heuristike. Jedinstvenog rješenja problema u pravilu nema. Postavi li se isti problem pred pet projektanata, najvjerojatnije će se dobiti barem tri različita rješenja. To međutim ne znači da je projektant potpuno slobodan u odabiru rješenja. U svakom slučaju on mora voditi računa ne samo o ograničenjima (zakonskim, ekonomskim i dr.) i projektnim zahtjevima specifičnim za projektirani uređaj nego se i pridržavati pravila, zvati ćemo ih načelima projektiranja, koja vrijede neovisno o postavljenom problemu i projektiranom uređaju. To su načelo sigurnosti, načelo svrsishodnosti i načelo jednostavnosti. Dodatno, da bi projektirani uređaj bio tehnički i komercijalno uspješan proizvod, bitno je postići globalni optimum svojstava uređaja.

¹²U većini slučajeva prije izrade konačnog (detaljnog) projekta električkog uređaja izrađuje se i ispituje neskalinani fizički model projektiranog uređaja, što omogućuje da se pravodobno otkrije većina projektantskih pogrešaka i otklone eventualne dvojbe oko pojedinih projektantskih rješenja. Sve je to u projektiranju visokogradnja teško izvedivo. Zbog toga iskustvo projektanata visokogradnja u odabiru ispravnih projektantskih rješenja igra mnogo važniju ulogu nego što je to slučaj u projektiranju električkih uređaja.

1.6.1 Načelo sigurnosti

Električka, konstrukcijska i tehnološka rješenja uređaja moraju biti takva da jamče najveću moguću sigurnost uređaja¹³ za ljude i imovinu tijekom proizvodnje uređaja, njegove ugradnje, normalnih uvjeta rada, kvarova i održavanja u očekivanom radnom vijeku uređaja¹⁴ kao i nakon prestanka upotrebe uređaja i njegove razgradnje. Osnovne vrste sigurnosti uređaja su električka, toplinska, energijska i funkcionalna sigurnost¹⁵. Zbog svoje važnosti zahtjevi na sigurnost “pokriveni” su elektrotehničkom regulativom [14, 15, 16].

Uređaj je **električki siguran** ako su poduzete sve nužne mjere da se korisnici uređaja (namjerni i nenamjerni) zaštite od električnog udara i/ili elektrostatičkog pražnjenja. Tako je u svakom slučaju potrebno spriječiti električni udar koji se može dogoditi ili dodiranjem dijelova uređaja koji su u normalnom radu pod naponom (zaštita od direktnog dodira) ili dodiranjem vodljivih dijelova uređaja koji u normalnom radu uređaja nisu pod naponom, ali mogu doći pod napon zbog kvara izolacije uređaja (zaštita od indirektnog dodira).

Uređaj je **toplinski siguran** ako su poduzete sve nužne mjere da se korisnici zaštite od štetnih posljedica zagrijavanja uređaja. Toplinska se sigurnost uređaja obično postiže tako da se odaberu materijali koji ne gore ili ne podržavaju gorenje, ne razvijaju dim i otrovne plinove, da se uređaj isključi ako se komponente uređaja počnu pregrijavati, da se smanji temperatura dostupnih dijelova zbog opasnosti od opekline i slično.

Uređaj je **energijski siguran** ako su poduzete sve nužne mjere da se korisnici zaštite od električne i mehaničke energije uskladištene u uređaju. Kvar bilo koje komponente ne smije osloboditi toliko energije da dovede u opasnost osoblje (korisnike) u blizini uređaja [14]. Primjerice, elektrostatička energija u kondenzatoru može izazvati njegovu eksploziju, ali izbačeni materijal ne smije ozlijediti korisnike. Također, korisnike treba zaštititi od kinetičke energije pokretnih dijelova uređaja.

Uređaj je **funkcionalno siguran** ako su primijenjena takva sklopovska i konstrukcijska rješenja da je rizik, zbog pogrešaka u dokumentaciji, izvedbi i ugradnji uređaja, kvarova uređaja, razumno predvidljivih pogrešaka u rukovanju i razumno

¹³Navedimo definicije nekih osnovnih pojmova koji se odnose na sigurnost uređaja [17]. **Sigurnost** je nepostojanje neprihvatljiva rizika. **Rizik** je kombinacija vjerojatnosti pojave ozljede/štete i ozbiljnosti te ozljede/štete. **Dopustivi rizik** je opasnost koja je prihvatljiva u danome kontekstu na temelju trenutanih društvenih vrijednosti. Dopustivi se rizik određuje traženjem optimalne ravnoteže između praktički neostvarive apsolutne sigurnosti, zahtjeva koje mora zadovoljiti uređaj i faktora kao što su probitak korisnika, prikladnost svrsi, isplativost i društvene konvencije. Proizlazi da treba neprekidno preispitivati razinu dopustivog rizika.

¹⁴Radni vijek uređaja definiran je u potpoglavlju 2.8.

¹⁵Noviji je pristup problemu sigurnosti uređaja širi. Tako su u normi koja se odnosi na uređaje i postrojenja energetske elektronike zahtjevi na sigurnost prošireni i na područja akustičke buke, ožičenja, spojna mjesta i kućišta uređaja [16].

predvidljive pogrešne upotrebe uređaja, sveden na dopustivu razinu. Tipičan je primjer sklopovskog rješenja u sustavu funkcionalne sigurnosti sklop za toplinsku zaštitu namota transformatora koji se sastoji od senzora, smještenog u namot transformatora, procesora koji uspoređuje vrijednost temperature namota izmjerene senzorom s referentnom vrijednosti i aktuatora (davača) koji daje ili signal upozorenja ili isključuje transformator iz pogona prije nego što se pregrije¹⁶. Tipičan je primjer zajedničkog (sklopovskog i konstrukcijskog) rješenja u sustavu funkcionalne sigurnosti električka i/ili mehanička blokada komanda uređaja da bi se smanjila mogućnost neispravnog upravljanja uređajem.

O svakom uređaju moraju postojati sigurnosne informacije lako dostupne korisniku. U njima mora biti na nedvosmislen način navedeno što korisnik treba poduzeti da bi minimalizirao rizike za sebe i okolinu tijekom normalne ili razumno predvidljive upotrebe uređaja kao i način odlaganja (razgradnje) uređaja na kraju životnog vijeka¹⁷.

Potpuno siguran uređaj praktički je nemoguće projektirati, a da se i može, bio bi preskup, prevelik i pretežak. Zbog toga projektant treba projektirati uređaj tako da zadovolji važeće tehničke propise i norme o sigurnosti. Tim se normama utvrđuju minimalni zahtjevi na sigurnost uređaja. U odabiru rješenja bitno je znati jesu li ti zahtjevi dovoljni ili postoje stroži zahtjevi na sigurnost uređaja.

1.6.2 Načelo svrsishodnosti

Uređaj se mora prvenstveno promatrati sa stajališta korisnika. Da bi se uređaj smatrao svrsishodnim (funkcionalnim) nije dovoljno ako tijekom rada u zadanim uvjetima okoline radi ono za što je namijenjen. Potrebno je i da korisnikov konceptualni model uređaja¹⁸ bude jednak ili što sličniji projektantovom konceptualnom modelu uređaja [10]. Nije li tako, korisnik će imati ozbiljnih poteškoća u razumijevanju rada uređaja, upotrebi uređaja kao i u svim situacijama kad se uređaj ne će ponašati na željeni način.

Projektira li se uređaj za poznatog korisnika, sukladnost konceptualnog modela uređaja korisnika i konceptualnog modela uređaja projektanta postiže se od-

¹⁶Štetne posljedice zbog prekomjernog zagrijavanja mogle bi se izbjeći i odabirom više toplinske klase izolacije namota transformatora. Ta mjera povećava sigurnost rada, ali ne spada u sustav funkcionalne sigurnosti transformatora.

¹⁷**Životni vijek uređaja** je vrijeme proteklo od trenutka kad je uređaj proizveden do trenutka odlaganja (razgradnje) uređaja.

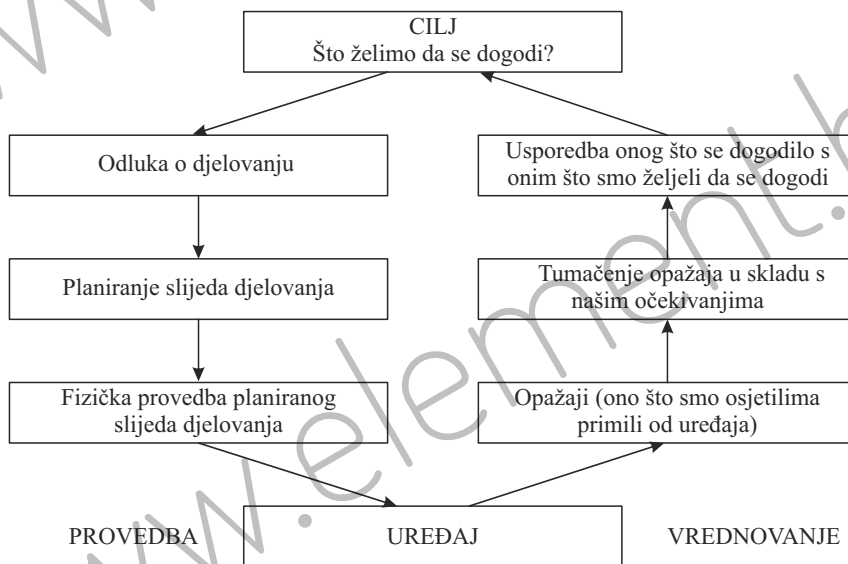
¹⁸**Konceptualni modeli uređaja** je generički termin koji opisuje načine kako različite kategorije ljudi konceptualiziraju i shvaćaju uređaj. Osnovni konceptualni modeli uređaja su korisnikov konceptualni model uređaja i projektantov konceptualni model uređaja. Pod **konceptualizacijom** razumijevamo u općem slučaju sposobnost osmišljavanja i formiranja neke ideje, pojma ili skupine pojmova.

govarajućom obukom korisnika. Poteškoće nastupaju ako se uređaj projektira za nepoznatog korisnika. U tom se slučaju korisnik može upoznati s projektantovim konceptualnim modelom uređaja jedino promatrajući ponašanje uređaja u radu, razumijevanjem sučelja¹⁹ uređaja i razumijevanjem korisničke dokumentacije.

Uređaj je to svrsishodniji što je sučelje uređaja više prilagođeno prethodnom znanju, navikama i očekivanjima korisnika uređaja. Primjerice, djelovanje upravljačkih dijelova uređaja mora se podudarati s “normalnim” očekivanjima korisnika uređaja. Tako se zakretanjem potenciometra u smjeru kazaljke na satu “normalno” očekuje povećanje odgovarajućeg signala. Projektira li se suprotno, povećava se vjerojatnost pogrešnog rukovanja uređajem.

Korisnik uređaja mora moći u svakom trenutku upotrebe uređaja eksplicitno (nedvosmisleno) odrediti vezu između

- svojih namjera i mogućih djelovanja na uređaj
- svojih djelovanja i njihovih posljedica na uređaj
- stvarnog stanja rada uređaja i onoga što o uređaju opaža osjetilima i
- onoga što opaža osjetilima i onoga što su korisnikove potrebe, namjere i očekivanja, slika 1.3.



Slika 1.3 Slijed događaja pri djelovanju na uređaj [10]

¹⁹**Sučelje uređaja** je fizički dio uređaja (obično na prednjoj ploči uređaja) koji korisniku služi za upravljanje uređajem, daje povratne informacije o stanju uređaja i omogućuje komunikaciju s drugim uređajima.

Zbog toga je potrebno osigurati što bolju vidljivost i preglednost komanda uređaja. Njihovo označivanje i aktiviranje treba uskladiti s očekivanjima korisnika te osigurati stalnu povratnu informaciju (vizualnu, zvučnu) o stvarnom stanju rada uređaja. To je posebno važno pri projektiranju uređaja kojima se koriste nedovoljno tehnički obrazovane osobe. Tipičan primjer takvih uređaja su elektronički uređaji široke potrošnje.

1.6.3 Načelo jednostavnosti

Strukturna i interakcijska jednostavnost

Uređaj treba projektirati tako da bude strukturno i interakcijski što jednostavniji. Uređaj je **strukturno jednostavan** ako su sve funkcije uređaja ostvarene najmanjim mogućim brojem funkcionalnih cjelina (sklopova) ili komponenata u pojedinoj funkcionalnoj cjelini. Uređaj je **interakcijski jednostavan** ako ponašanje jedne funkcionalne cjeline ili komponente utječe na ponašanje drugih funkcionalnih cjelina ili komponenata na predvidljiv način. Idealna interakcijska jednostavnost uređaja postignuta je ako ponašanje jedne funkcionalne cjeline ne utječe na ponašanje drugih funkcionalnih cjelina ili komponenata.

Strukturnu jednostavnost slikovito opisuje projektantski aforizam: “**Ne kvari se ono čega nema.**” Manji broj komponenata povećava pouzdanost i smanjuje cijenu uređaja. Ali ni upotreba većeg broja komponenata od najmanjeg mogućeg broja nije projektantska pogreška ako se time povećava sposobnost uređaja da “preživi” neke od mogućih kvarova. Primjerice, tako da se uvišestruči zaštita vitalnih sklopova ili komponenata ili da se smanji naponsko ili strujno opterećenje komponenata serijskim ili paralelnim spajanjem više komponenata.

Interakcijska jednostavnost na razini funkcionalnih cjelina često se postiže tako da se uređaj izgradi od više mehanički i električki odvojenih cjelina (modula), od kojih se svaka može nezavisno od drugih funkcionalnih cjelina ispitati i podesiti. To se kosi s načelom strukturne jednostavnosti pa je u takvim slučajevima nužan kompromis između ta dva, u tom slučaju, međusobno proturječna načela.

Interakcijsku jednostavnost na razini komponenata zadovoljava svaki sklop odnosno uređaj koji se sastoji od linearnih i vremenski nepromjenljivih komponenata. Analize rada tih sklopova odnosno uređaja su jednostavne i za poznate poticaje lako se određuju odzivi.

Često je nemoguće istodobno postići strukturnu i interakcijsku jednostavnost. Karakterističan je primjer ferorezonantni stabilizator koji je strukturno jednostavan – ima samo tri osnovne komponente: nelinearni transformator, linearnu prigušnicu i kondenzator – a interakcijski je ekstremno složen. Suprotan je primjer, na razini sustava, sustav za napajanje trošila korisnika u većoj stambenoj zgradi koji je

strukturno složen, ali je interakcijski vrlo jednostavan.

Zbog čestih iteracija tijekom projektiranja, projektiranje najjednostavnijeg mogućeg uređaja za zadanu svrhu obično traje duže i košta više od projektiranja odgovarajućeg manje jednostavnog uređaja. Korist se očituje tek kasnije u manjim troškovima proizvodnje, rada i održavanja uređaja.

Načelo jednostavnosti kao projektantski aksiom

Američki profesor Nam P. Suh formulirao je načelo jednostavnosti u dva iskaza kojima je dao status projektantskih aksioma [12].

Sa stajališta projektiranja električkih uređaja, prvi aksiom – **aksiom nezavisnosti** – izriče da ako postoje dva ili više funkcionalnih zahtjeva na uređaj, projektantsko rješenje mora biti takvo da svaki od funkcionalnih zahtjeva može biti zadovoljen, a da to ne utječe na zadovoljavanje bilo kojeg drugog funkcionalnog zahtjeva. To je najjednostavnije izvedivo ako se svaki funkcionalni zahtjev ostvari posebnom funkcionalnom cjelinom, a promjena parametara unutar jedne funkcionalne cjeline ne utječe na ponašanje drugih funkcionalnih cjelina. Dakle, ako je ostvarena idealna interakcijska jednostavnost uređaja.

Drugi aksiom – **informativski aksiom** – izriče da između projektantskih rješenja koja zadovoljavaju aksiom nezavisnosti treba odabrati ono s minimalnim informativskim sadržajem. Pri tome se informativski sadržaj j -tog rješenja definira izrazom

$$I_j = \sum_{k=1}^n \log_2 \left(\frac{1}{p_{jk}} \right)$$

gdje je n broj funkcionalnih zahtjeva koji moraju istodobno biti zadovoljeni, a p_{jk} je vjerojatnost da će u j -tom rješenju k -ti funkcionalni zahtjev biti zadovoljen odgovarajućom funkcionalnom cjelinom. Očigledno, vjerojatnost p_{jk} bit će to veća, a time će biti i to manji informativski sadržaj, što je odgovarajuća funkcionalna cjelina strukturno jednostavnija, a odabrane komponente unutar funkcionalne cjeline pouzdanije.

1.6.4 Načelo globalnog optimuma svojstava uređaja

Tijekom projektiranja treba nastojati maksimalizirati, tj. postići najveću moguću sigurnost uređaja za ljude i imovinu te najveću moguću svrsishodnost i jednostavnost uređaja. U tom je nastojanju projektant prvenstveno ograničen stanjem tehnike u danom trenutku, ali i činjenicom da navedena načela projektiranja nisu međusobno nezavisna. Tako npr. strukturno jednostavniji uređaj može biti funkcionalno nesigurniji, ali i svrsishodniji i slično. Zbog toga je potrebno naći najbolji mogući kompromis između projektantskih rješenja koja bi proizašla iz maksimaliziranja svakog od načela projektiranja posebno.

Uređaj se, dodatno, mora sagledati ne samo kao fizička cjelina nego i kao komercijalan proizvod. Potrebno je postići najbolji mogući kompromis između električkih, mehaničkih i toplinskih svojstava uređaja u odnosu na zadanu ili željenu proizvodnu cijenu uređaja.

Zbog toga je bitno da projektanti specijalisti za pojedina područja rade na projektu zajedno (istodobno) već od početka. Primjerice, u okviru električkog projekta uređaja energetske elektronike potrebno je da u svim fazama zajedno rade projektanti specijalisti za energetske sklopove, elektroničke sklopove, automatsko upravljanje i elektromagnetsku kompatibilnost. U protivnom, rade li sekvencijalno, tj. jedan nakon drugoga, može se dogoditi da će svaki od specijalista pronaći lokalni optimum svojstava uređaja, ali unutar ograničenja proizašlih iz rješenja koje je odabrao projektant specijalist u prethodnom koraku.

Također, potrebno je stalno voditi računa o tržišnoj prihvatljivosti uređaja, što je posebno važno za uređaje široke potrošnje. Tako se od većine uređaja široke potrošnje očekuje cijena prihvatljiva ciljanoj skupini korisnika, laka i intuitivno jasna upotreba kao i da u očekivanom radnom vijeku, a svakako u jamstvenom roku, uređaji uopće ne trebaju ili trebaju samo minimalno održavanje.

Literatura

- [1] Adams, J. L., *Flying buttresses, entropy and O-rings*, Harvard University Press, Cambridge USA, 1993.
- [2] Anić, V., *Rječnik hrvatskoga jezika*, Novi Liber, Zagreb, 1998.
- [3] Anić, V., Goldstein, I., *Rječnik stranih riječi*, Novi Liber, 1999.
- [4] Begović, M., *Održavanje tehničkih sustava*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2003.
- [5] Chowdhury, B. H., Learning to learn – Concepts in a first power engineering course, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, No. 1, February 2004, pp. 31–39.
- [6] Eide, A. R., Jenison, R. D., Mashaw, L. H., Northup, L. L., *Engineering fundamentals & problem solving*, McGraw Hill, Boston, 2002.
- [7] Holtzapple, M. T., Reece, W. D., *Foundations of engineering*, McGraw Hill, Boston, 2003.
- [8] Koen, B. V., *Discussion of the method*, Oxford University Press, New York, Oxford, 2003.

- [9] Kratwohl, D. R., A revision of Bloom's taxonomy: An overview, *Theory into Practice*, Vol. 41, No. 4, 2002, pp. 212–218.
- [10] Norman, D. A., *The design of everyday things*, The MIT Press, London, 1990.
- [11] Ropohl, G., *Allgemeine Technologie*, Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 2009.
- [12] Suh, N. P., *The principles of design*, Oxford University Press, New York, Oxford, 1990.
- [13] HRN EN 45020:2007, *Normizacija i srodne djelatnosti – Rječnik općih naziva*
- [14] HRN EN 61800-5-1:2008, *Elektromotorni sustavi prilagodljive brzine – Dio 5-1: Zahtjevi na sigurnost – Električni, toplinski i energijski*
- [15] HRN EN 61800-5-2:2008, *Elektromotorni sustavi prilagodljive brzine – Dio 5-2: Zahtjevi na sigurnost – Funkcionalni*
- [16] HRN EN 62477-1:2013, *Zahtjevi na sigurnost sustava elektroničkih energetskih pretvarača i opreme – 1. dio: Općenito*
- [17] ISO/IEC Guide 51 (hr):2010, *Sigurnosni aspekti – Smjernice za njihovo uključivanje u norme*