

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

**STRUKTURIRANJE BAZE ZNANJA U
PROCESU KONSTRUIRANJA**

Disertacija

Mentor:

Prof.dr.sc. Dragutin Ščap

Mr.sc. Zvonko Herold

Zagreb, 1997.

UDK: 658.512.2:681.3:621

Ključne riječi: struktura konstrukcijskog znanja, teorija konstruiranja, strojni dijelovi, akcijske funkcije

Znanstveno područje: TEHNIČKE ZNANOSTI

Znanstveno polje: Strojarstvo

Institucija u kojoj je rad izrađen: Fakultet strojarstva i brodogradnje

Mentor rada: Dr. sc. Dragutin Ščap, red. prof.

Broj stranica: 120

Broj slika: 33

Broj tablica: 10

Broj korištenja bibliografskih jedinica: 50

Datum obrane:

Povjerenstvo: Dr. sc. Milan Opalić, izv. prof.

Dr. sc. Dragutin Ščap, red. prof.

Dr. sc. Dorian Marjanović, doc.

Dr. sc. Anton Jezernik, red. prof.

Dr. sc. Bojan Jerbić, doc.

Institucija u kojoj je rad pohranjen: Fakultet strojarstva i brodogradnje

Nacionalna i sveučilišna knjižnica

Zahvaljujem mentoru, profesoru dr. sc. Dragutinu Ščapu na podršci i korisnim savjetima.

Posebno bih zahvalio doc. dr. sc. Dorianu Marjanoviću, kao i svim djelatnicima CAD Laboratorija za osnove konstruiranja, na brojnim korisnim raspravama i analizama te nesebičnoj stručnoj i tehničkoj pomoći u izradi ove disertacije.

U grafičkoj opremi i uređenju rada puno mi je pomogao Damir Deković, dipl. inž. strojarstva, te mu ovim putem želim izraziti veliku zahvalnost.

Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske također je potpomoglo izradu ovog rada financiranjem projekta 120-015 "Razvoj modela ICAD sustava".

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	VI
POPIS TABLICA	VII
PREDGOVOR	VIII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY.....	X
1. UVOD	1-1
1.1 Situacija	1-1
1.2 Cilj rada.....	1-2
1.3 Metodologija istraživanja.....	1-3
2. SAGLEDAVANJE SADAŠNJEG STUPNJA RAZVOJA SUVREMENIH MODELA PROCESA KONSTRUIRANJA	2-1
2.1 Opća gledišta.....	2-1
2.2 Obilježja konstrukcijskog procesa.....	2-4
2.3 Metodičko konstruiranje	2-5
2.3.1 Deskriptivni modeli.....	2-5
2.3.2 Preskriptivni modeli	2-6
2.3.3 Računalni modeli.....	2-8
2.4 Teorije, modeli i metode konstruiranja	2-9
2.4.1 Opća teorija konstruiranja	2-9
2.4.2 Opći model konstruiranja	2-15
2.4.3 Rothova kataloška metoda	2-18
2.5 Konstruiranje kao rješavanje zadatka	2-22
2.5.1 Faze rješavanja konstrukcijskog zadatka	2-24
2.5.2 Struktura operacija u procesu konstruiranja.....	2-24
2.5.3 Ograničenja i odluke u procesu konstruiranja.....	2-27

3. TEORIJA TEHNIČKIH SUSTAVA	3-1
3.1 Uvodna razmatranja	3-1
3.2 Zadatak tehničkog sustava	3-3
3.3 Način djelovanja i struktura tehničkog sustava.....	3-4
3.4 Svrstavanje tehničkog sustava.....	3-6
3.5 Svojstva tehničkog sustava	3-7
3.6 Predočavanje tehničkog sustava.....	3-11
3.7 Razvoj tehničkih sustava.....	3-12
4. SAGLEDAVANJE STANJA I ZNAČAJA PRIMJENE UMJETNE INTELIGENCIJE U PROCESU KONSTRUIRANJA	4-1
4.1 Pregled područja AI	4-1
4.1.1 Klasifikacija modela u konstruiranju.....	4-2
4.1.2 Klase konstrukcijskih problema	4-4
4.2 Prikaz i upotreba znanja.....	4-7
4.3 Pregled tehnika prikaza znanja	4-8
4.3.1 Pretraživanje prostora stanja	4-8
4.3.2 Formalna logika	4-8
4.3.3 Proceduralni prikazi	4-9
4.3.4 Semantičke mreže.....	4-10
4.3.5 Producicijski sustavi	4-10
4.3.6 Okviri i "skriptovi"	4-11
5. PRIKAZ PROCESA KONSTRUIRANJA PLANOM	5-1
5.1 Struktura plana.....	5-1
5.2 Sintaksa plana	5-3
5.2.1 Oznaka čvora.....	5-4
5.2.2 Oznaka nadređenog čvora	5-5
5.2.3 Oznake podređenih čvorova.....	5-5
5.2.4 Akcijska funkcija	5-5
5.2.5 Odluke	5-5
5.2.6 Ulazni atributi	5-6
5.2.7 Izlazni atributi.....	5-6
5.2.8 Skup ograničenja	5-7
6. BAZA ZNANJA KAO ELEMENT CAD SUSTAVA.....	6-1
6.1 Struktura ekspertnog sustava	6-1
6.1.1 Korisničko sučelje.....	6-3
6.1.2 Podsustav za komunikaciju	6-3
6.1.3 Podsustav za kreiranje plana	6-3
6.1.4 Podsustav za upravljanje izvođenjem plana	6-4
6.1.5 Podsustav za upravljanje stanjem čvora	6-5
6.1.6 Podsustav za objašnjavanje	6-5

6.2 Način korištenja ekspertnog sustava.....	6-6
6.2.1 Fenomenološki opis rada sustava	6-6
6.3 Baza strukovnog znanja	6-8
6.3.1 Oblici i izvori strukovnog znanja	6-9
6.3.2 Struktura strukovnog znanja.....	6-11
6.3.3 Oblik strukovnog znanja.....	6-14
6.3.4 Generiranje strukovnog znanja	6-19
6.3.5 Valjanost strukovnog znanja	6-19
6.3.6 Razvoj strukovnog znanja.....	6-20
7. STRUKTURIRANJE KONSTRUKCIJSKOG ZNANJA	7-1
7.1 Struktura znanosti o konstruiranju	7-2
7.2 Koncipiranje baze znanja	7-3
7.3 Razvrstavanje akcijskih funkcija.....	7-6
7.4 Razvrstavanje planova i zadataka	7-7
7.5 Primjena prema značajkama i vrsti konstrukcijskog zadatka	7-9
7.6 Svrstavanje sustava strojeva	7-10
7.7 Strukturiranje znanja prema tehničkom principu	7-12
7.7.1 Strukturiranje strojnih dijelova.....	7-12
7.7.2 Strukturiranje znanja pri tehnologičnom oblikovanju.....	7-16
7.8 Mogućnosti daljnog razvoja	7-20
8. VERIFIKACIJA SUSTAVA ZNANJA.....	8-1
8.1 Kreiranje plana konstruiranja navojnog vretena	8-2
8.2 Opis načina rada	8-4
8.3 Upravljanje izvođenjem plana.....	8-5
8.3.1 Opis postupka izvršavanja plana	8-6
8.3.2 Predložak za izvršavanje plana.....	8-7
8.3.3 Predložak za "ručni" unos vrijednosti u tablicu izlaznih atributa čvora.....	8-8
8.4 Izvođenje plana na konkretnim primjerima.....	8-9
9. ZAKLJUČAK.....	9-1
LITERATURA	L-1
KRATKI ŽIVOTOPIS.....	B-1
SHORT BIOGRAPHY	B-1

POPIS SLIKA:

Slika 2.1: Shema preslikavanja unutar prostora GDT	2-10
Slika 2.2: Proces konstruiranja.....	2-11
Slika 2.3: Koncept metamodela.....	2-14
Slika 2.4: Opći model procesa konstruiranja.....	2-15
Slika 2.5: Opći proceduralni model konstruiranja	2-17
Slika 2.6: Faze i radni koraci procesa konstruiranja	2-19
Slika 2.7: Podjela konstrukcijskih kataloga prema području primjene	2-21
Slika 2.8: Struktura mogućih aktivnosti u procesu konstruiranja	2-25
Slika 3.1: Opći model transformacije sustava	3-3
Slika 3.2: Model tehničkog sustava	3-6
Slika 3.3: Odnosi među osobinama unutar tehničkog sustava	3-8
Slika 3.4: Preslikavanja funkcija - struktura	3-9
Slika 3.5: Životni vijek tehničkog sustava	3-10
Slika 5.1: Način korištenja plana	5-2
Slika 6.1: Struktura ekspertnog CAD sustava	6-2
Slika 6.2: Generiranje i izvođenje plana unutar ekspertnog CAD sustava	6-6
Slika 6.3: Opći model građe strukovnog znanja	6-12
Slika 6.4: Principijelna rješenja brtvenja rotacionih dijelova pustenim brtvama	6-16
Slika 6.5: Oblikovanje polumjera zakrivljenja lijevanih stijenki iste i različite debljine	6-16
Slika 6.6: Oblikovanje rasporeda i presjeka rebara u lijevanoj izvedbi	6-17
Slika 7.1: Glavne kategorije znanosti o konstruiranju	7-2
Slika 7.2: Osnovna struktura strojnih dijelova	7-13
Slika 7.3: Struktura znanja tehničkih sredstava za spajanje.....	7-13
Slika 7.4: Struktura znanja tehničkih sredstava okretnog gibanja	7-14
Slika 7.5: Struktura znanja tehničkih sredstava za prijenos snage	7-15
Slika 7.6: Struktura znanja tehničkih sredstava za protok medija	7-15
Slika 7.7: Struktura znanja tehničkih sredstava za brtvenje.....	7-16
Slika 7.8: Spektar potrebnih znanja pri oblikovanju za izmjenjivost	7-18
Slika 8.1: Shematski prikaz procesa projektiranja navojnih vretena	8-2
Slika 8.2: Grafički prikaz plana za projektiranje navojnih vretena	8-3
Slika 8.3: Predložak za izvršavanje plana.....	8-7
Slika 8.4: Predložak za izvršavanje plana u trenutku prekida izvođenja plana.....	8-8
Slika 8.5: Predložak za upis vrijednosti varijabli	8-8

POPIS TABLICA:

Tablica 2.1: Preskriptivni modeli konstruiranja prema različitim autorima.....	2-7
Tablica 2.2: Sredstva združenog djelovanja pri konstruiranju.....	2-20
Tablica 5.1: Ključne riječi zapisa plana	5-3
Tablica 6.1: Opće i specijalizirano znanje i njegova povezanost s primjenom u praksi	6-10
Tablica 6.2: Konstrukcijska situacija i forme objektnog znanja	6-13
Tablica 6.3: Katalog fizikalnih principa: povećanje - smanjenje fizikalnih veličina	6-15
Tablica 6.4: Konstrukcijsko znanje u obliku smjernice za oblikovanje	6-18
Tablica 7.1: Područje primjene strojeva u gospodarstvu.....	7-11
Tablica 8.1: Vrijednosti početnih parametara za testirani primjer.....	8-9
Tablica 8.2: Osnovne dimenzije odabranog navoja	8-10

PREDGOVOR

Izrada ove disertacije potaknuta je višegodišnjim izučavanjem znanosti o konstruiranju, a posebno plodnim radom na razvoju i oblikovanju raznovrsnih konstrukcija za potrebe gospodarstva. Rješavajući konkretne probleme iz područja strojarstva, skupljano je iskustvo i stjecano konstrukcijsko znanje kao i vještina što je neophodno za efikasno provođenje procesa konstruiranja. Kako se javila potreba primjene konstrukcijskog znanja, rutine i iskustava, u sustavima za konstruiranje pomoću računala, pristupilo se ovom istraživanju sa željom podizanja njihove kakvoće i efikasnosti rada.

Postojeći CAD (Computer Aided Design) sustavi koji se danas koriste ograničenih su mogućnosti, te funkcioniraju samo kod precizno definiranih problema uske domene. Međutim, primjena metoda umjetne inteligencije u CAD sustavima može riješiti neke njegove nedostatke, prvenstveno obrade simboličkih i topoloških informacija, ukoliko se u obliku baze znanja pohrane skupovi pravila, postupaka i relacija koja vrijede za određene proizvodne okoline ili vrste proizvoda.

Istraživačkim projektom broj 120-015 "Razvoj inteligentnog CAD sustava" predviđeno je istraživanje mogućnosti kreiranja modela prikaza konstrukcijskog znanja i integriranje tog znanja u postojeće CAD sustave, te je ova disertacija dio cjelokupnih istraživanja unutar navedenog projekta.

SAŽETAK

U radu je izložen prijedlog strukturiranja konstrukcijskog znanja obzirom na mogućnost zapisivanja i provođenja procesa konstruiranja planom. Strukturiranje baze znanja u procesu konstruiranja, temelji se na analizi, te potom sintezi čimbenika bitnih za provođenje i unapređenje konstrukcijskog procesa. Provedena analiza konstrukcijskog procesa i transformacije informacija osniva se na tri, za sustavno istraživanje strukture znanja, relevantna pristupa procesu konstruiranja. Analiziran je i kratko izložen pregled stanja u području primjene metoda umjetne inteligencije u konstruiranju, s osvrtom na tehničke prikaze i uporabe znanja. Izložen je prikaz procesa konstruiranja planom, te struktura i sintaksa zapisa plana, a objašnjeni su i aspekti korištenja plana. Akcijske funkcije, koje su operatori čvorova plana konstruiranja, tretiraju se kao temeljni dijelovi konstrukcijskog znanja, čijim se aktiviranjem transformira skup informacija.

U radu se koncipira i strukturira konstrukcijsko znanje, te predlaže model za gradnju baze strukovnog znanja, utemeljen na sustavu akcijskih funkcija. Za područje strojarskih konstrukcija, poglavito strojnih dijelova i njihovih funkcionalnih sklopova, koncipirana je struktura znanja koja treba činiti osnovu za izradu baze strukovnog znanja. Pri tome je izdvojena svaka grupa strojnih dijelova zasebno po kriteriju osnovnog tehničkog principa i time omogućeno pregledno i brzo pretraživanje područja znanja elemenata strojeva predloženom strukturom jediničnih akcijskih funkcija.

Ključne riječi: struktura konstrukcijskog znanja, teorija konstruiranja, strojni dijelovi, akcijske funkcije

UDK: 658.512.2:681.3:621

SUMMARY

The structure of design knowledge appropriate for the design tree representation of design plan is presented in this thesis. Structuring of the knowledge base during the design process is based on the analysis, and then synthesis of the factors important for the realization and improvement of the design process. The performed analysis of the design process and information transformation is based on three approaches to the design process, relevant for the systematic research of knowledge structure. The paper presents the analysis and a brief overview of the situation in the field of applying the artificial intelligence methods in designing, with reference to the techniques of knowledge presentation and implementation. It also gives a presentation of the design process based on a plan, as well as the structure and syntax of plan notation, and an explanation of the aspects of the plan exploitation. Action functions, which are operators of design plan nodes, are treated as the basic parts of the design knowledge, which, when activated, transforms a set of information.

The paper also provides a concept and structure of design knowledge, and suggests a model for developing a base of technical knowledge, based on the system of action functions. For the field of mechanical engineering design, mainly machine parts and their functional assemblies, the knowledge structure is outlined, which should provide the basis for developing a technical knowledge base. Each group of machine parts is separated according to the criterion of the basic technical principle, thus allowing a systematic and quick search of the field of knowledge regarding machine elements using the suggested structure of the unit action functions.

Key words: design-knowledge structure, design theory, machine parts, action functions

UDK 658.512.2:681.3:621

1. UVOD

1.1 Situacija

Istraživanja, motivirana prvenstveno povećanjem produktivnosti, dovela su do primjene modernih tehnologija, naročito računalnih, u cijelokupnom procesu proizvodnje. Nagli razvoj računalne opreme omogućio je nastajanje i razvoj velikog broja složenih i vrlo zahtjevnih programskih paketa. Kako proces konstruiranja ima najznačajniji utjecaj na troškove proizvodnje [1], [2], dakle i na kompletno poslovanje pa i dobit, većina je istraživanja stoga upravo posvećena području CAD-a. To je u početku rezultiralo razvojem brojnih programskih sustava, neovisno o vrsti proizvoda, sa ciljem automatizacije manualnih radnji u završnoj fazi konstrukcijskog procesa. Komercijalne programske aplikacije ne podržavaju proces konstruiranja u cijelini već samo pojedine njegove dijelove [3] te čine neovisne pasivne alate koji imaju ograničene mogućnosti međusobnog komuniciranja i prijenosa informacija. Međutim, to u potpunosti ne zadovoljava potrebe konstruktora, a parcijalna automatizacija konstrukcijskih aktivnosti manifestira se međusobno odvojenim i nepovezanim segmentima, odnosno samostalnim programskim modulima [4].

Značajan dio istraživanja mogućnosti unapređenja CAD sustava temelji se na ideji da se primjenom metoda umjetne inteligencije omogući modeliranje podrške prirodnom tijeku mišljenja i provedbi obrade informacija u svim fazama konstrukcijskog procesa. Cilj istraživanja takvog modela je što više i bolje približiti računalni sustav za konstruiranje značajkama realnog procesa konstruiranja.

Razvijene metode prikaza konstrukcijskog procesa, koje se koriste u današnjim CAD sustavima ograničenih su mogućnosti i efikasno funkcioniraju samo kod dobro definiranih problema uske domene. Po sadašnjim spoznajama ne može se očekivati da je moguće razviti ekspertni sustav opće namjene koji bi bio u stanju "sam" konstruirati, niti je moguće formalizirati sveukupno znanje struke i postupke koje konstruktor koristi u radu. Primjena ekspertnih sustava, odnosno metoda umjetne inteligencije u CAD sustavima može riješiti neke njegove nedostatke - prvenstveno nedostatak obrade simboličkih i topoloških informacija, ako se u obliku baze znanja pohrane skupovi

pravila, postupaka i relacija koja vrijede za određenu proizvodnu okolinu, odnosno vrstu proizvoda. Međutim, primjena metoda umjetne inteligencije ne rješava nedostatak modela procesa konstruiranja, odnosno nedostatak programske podrške za prikaz, planiranje i kontrolu tijeka procesa konstruiranja.

Potrebno je naglasiti, da za razvoj tako zamišljenog sustava temeljenog na znanju i obradi znanja o konstruiranju ne postoji usaglašenost modela samoga procesa niti načina njihove prezentacije. Jedan od mogućih razloga takvom stanju je činjenica što znanost o konstruiranju predstavlja relativno mladu znanstvenu disciplinu. S druge pak strane, mora se napomenuti, proces konstruiranja je često izuzetno kompleksan, pa je stoga neke njegove značajke teško razjasniti do mjere neophodne za teorijsku formalizaciju mjerljivim metodama.

Naime, jedna od bitnih značajki konstrukcijskih znanja jest, da to znanje dolazi do izražaja, pa i svijesti konstruktora tek u radu, odnosno tijekom konstruiranja. Pri razmatranju parametara samog procesa konstruiranja treba istaći da je to misaoni, stvaralački i intuitivni proces pa je redoslijed pojedinih faza i aktivnosti teško jednoznačno i univerzalno definirati. Konstruktori u načelu više znaju [5] nego što to svoje znanje riječima mogu izraziti, tako da njihov opis nije dovoljno koncivan i sveobuhvatan, jer oni svoje znanje puno bolje izražavaju oblikujući konstrukciju. Zato prikaz toga znanja kroz procedure mora svakako biti ograničen u smislu točnosti i potpunosti u odnosu na realno konstruiranje, tj. znanje koje se pri konstruiranju koristi.

Modeliranjem računalne podrške planiranju i izvođenju konstrukcijskog procesa može se ostvariti samo približan model realnog procesa konstruiranja. Međutim i uz prihvaćeni model prikaza konstrukcijskog procesa [4] potpuno je otvoreno pitanje definiranja, strukturiranja, te formalizacije izvršitelja pojedinih akcija plana - akcijskih funkcija. Jedan od mogućih pristupa modeliranju prikaza tijeka konstrukcijskog procesa je koncipiranje skupa kompatibilnih programskih alata koji čine okruženje za modeliranje prikaza odvijanja konstrukcijskog procesa. U kojoj se mjeri računalni model može približiti realnosti, ovisi prije svega o mogućnostima današnjih informatičkih tehnologija (više programskih nego hardverskih) i metodologiji njihove primjene.

1.2 Cilj rada

Poznato je da se svaki tehnički proces sastoji od slijeda logičnih aktivnosti koje složene u funkcionalnu cjelinu formiraju plan čijim se izvođenjem postiže željeni cilj. Rad se temelji na pretpostavci da jezgru modela tijeka procesa konstruiranja čini računalni zapis plana modeliran hijerarhijskim stablom [3].

Konstruktor tijekom procesa konstruiranja svoje aktivnosti usmjerava ka cilju - rješavanju postavljenog zadatka, aktivirajući akcijske funkcije koje predstavljaju operatore čvorova plana. Pri tome se akcijskom funkcijom smatra svaka programska cjelina čijim se aktiviranjem transformira skup informacija. Konstruiranje se tretira kao skup aktivnosti koje vode od utvrđenog zahtjeva na proizvod do generiranja skupa informacija potrebnih za izradbu proizvoda, tj. kao niz transformacija informacija.

Osnovna je hipoteza istraživanja da se kreiranjem sustava temeljnih akcijskih funkcija može prikazati konstrukcijsko znanje, poglavito elemenata strojeva, koristeći pravila

tehnološkog oblikovanja dijelova. Takav sustav može bitno olakšati kreiranje baze planova, kao temeljnog dijela sustava za modeliranje procesa konstruiranja. Pri tome akcijska funkcija predstavlja djelić konstrukcijskog znanja, u skladu s gore navedenom definicijom. Tako postavljena teza nužno uključuje kreiranje sustava prikaza konstrukcijskih znanja i razvrstavanje akcijskih funkcija čime se može bitno unaprijediti izgradnja domenom određenih ekspertnih CAD sustava, temeljenih na planovima.

Ovim istraživanjem nastojat će se sačiniti prijedlog modela prikaza konstrukcijskih znanja koji integriran u sustav za kreiranja i eksploataciju konstrukcijskih planova omogućuje provođenje procesa konstruiranja. Realizacijom tako zamišljenog modela mogućnosti postojećih CAD sustava podigle bi se na višu - "inteligentniju" razinu.

1.3 Metodologija istraživanja

Radom će se razmotriti proces konstruiranja s aspekta rješavanja zadatka nizom akcijskih funkcija u okviru već prije definiranog plana. Kao prvi korak analize mogućnosti modeliranja računalne podrške planiranju tijeka procesa konstruiranja potrebno je razmotriti značajke procesa konstruiranja, te odrediti zahtjeve koje mora zadovoljiti sustav za prikaz konstrukcijskog znanja.

Svrha ove analize je iznalaženje smjernica za koncipiranje modela, te određivanje mogućnosti i načina približavanja značajkama realnog procesa konstruiranja. Posebno s gledišta: integracije alata koji će podržati rad konstruktora u različitim fazama konstrukcijskog procesa, kreiranja i ažuriranja viševersnih reprezentacija, sugeriranja odgovarajućih (moguće predviđenih) rješenja, manipulacija ograničenjima i bilježenja postupaka. Analizirati će se mogućnosti primjene metoda umjetne inteligencije, u skladu s tezom disertacije.

Koncepcija rada treba proizići iz istraživanja naznačenih sljedećim koracima:

1. Sagledavanje sadašnjeg stupnja razvoja suvremenih modela procesa konstruiranja.
2. Sagledavanje stanja i značaja primjene umjetne inteligencije u procesu konstruiranja.
3. Razvrstavanje znanja kao osnove za razvoj akcijskih funkcija sa stajališta:
 - vrste konstrukcijskih zadataka,
 - faza procesa konstruiranja,
 - stupnja determiniranosti informacija o konstrukciji,
 - vrste objekta procesa konstruiranja,
 - parametrizacije atributa konstrukcije,
 - verifikacije konstrukcije, odnosno donesenih odluka.
4. Verifikaciju sustava razrade akcijskih funkcija na odabranoj konstrukciji.
5. Zaključna razmatranja.

Rad je metodološki podijeljen u četiri dijela. Prvi dio rada, točnije drugo, treće i četvrto poglavlje, prikazuje i analizira stanje i daje trendove dalnjeg razvoja u znanosti o

konstruiranju. Predočeni su modeli, te komparirane metode i postupci metodičkog konstruiranja, a posebno je obrađena teorija tehničkih sustava što čini temelj za gradnju osnovne strukture tehničkog znanja s posebnim osvrtom na strukovno znanje. Iz izlaganja u tom dijelu može se zaključiti da prema do sada dostignutim teorijskim spoznajama, te tehnologiji prikaza i obrade znanja, ne postoji mogućnost primjene realno upotrebljivog općenamjenskog sustava za konstruiranje.

U drugom dijelu rada, sažetom u petom i šestom poglavlju, predočuje se prikaz konstrukcijskog procesa planom preko elemenata strukture i sintakse zapisa plana, [3]. Isto tako ovdje se daje prikaz strukture "inteligentnog" CAD sustava sa ciljem da se predoči način rada, ali i pokaže njegov dio koji bi trebao biti realiziran kao baza strukovnog znanja. Skladno cilju rada predložene su forme i načini strukturiranja raznovrsnog konstrukcijskog znanja, a posebno strojnih dijelova. Postavljene su teorijske osnove za provedbu strukturiranja vodeći računa o izvorima, valjanosti, formi, generiranju i razvoju znanja određene domene.

U trećem dijelu rada (sedmo poglavlje) razrađuje se osnovna teza - strukturira se znanje u procesu konstruiranja kroz formiranje sustava osnovnih akcijskih funkcija, na nivou tehničkih principa, pridružujući im konvencionalna i iskustvena znanja¹, te se kreira baza formalnog modela prikaza strukovnih konstrukcijskih znanja s posebnim osvrtom na tehnološko oblikovanje. Pri tome se pretpostavlja da je okolina koja čini okosnicu za realizaciju računalnog sustava dijelom uređena (baze scenarija, planovi, korisnička sučelja, komercijalni programi, ...).

U četvrtom dijelu rada, kroz osmo poglavlje, na temelju usvojene strukture znanja i slijeda odlučivanja pokazan je plan projektiranja navojnih vretena. Provedena je razrada atributa plana, definirane su tablice ulaznih i izlaznih atributa, tablice ograničenja i tablice odluke akcijskih funkcija koje se izvršavaju u pojedinim čvorovima plana. Pri eksploraciji plana korisniku je omogućeno da na određenoj hijerarhijskoj razini stabla plana odluči kojim čvorom, odnosno granom će se nastaviti izvođenje plana, čime se uvjetno simulira mrežni način korištenja plana. Ovim planom izvršena je verifikacija predloženog sustava kroz razvoj akcijskih funkcija na odabranom primjeru konkretnog konstrukcijskog zadatka.

¹ Znanje stečeno radom u konstrukcijskom uredu (konstruirajući), u najvećem broju slučaja nedostupno mladom inženjeru po završetku studija. Konstruktori to znanje posjeduju i teško ga prenose neiskusnim kolegama jer je to "meko" znanje. Ono što ekspert zna za njega je normalno da se zna (često se radi o podsvjesnom procesu misli) pa i ne pomišlja da veliki broj kolega iz struke to "jednostavno" znanje ne poznaju. Stoga vrlo često dolazi do prešućivanja važnih iskustvenih spoznaja (nenamjerno), čak i u procesu obrazovanja konstruktora.

2. SAGLEDAVANJE SADAŠNJEG STUPNJA RAZVOJA SUVRMENIH MODELA PROCESA KONSTRUIRANJA

2.1 Opća gledišta

Svekoliki razvoj društva u cjelini, neprekidno postavlja sve više kriterije za performanse i kakvoću proizvoda, dok s druge strane traži skraćenje vremena za razvoj i izradu zahtijevajući niže cijene i manje zaposlenih u procesu proizvodnje. Sve je to, između ostalog, potaknulo ubrzani razvoj istraživanja procesa konstruiranja kao samostalne znanstvene discipline.

Praktično znanje o konstruiranju mladi je inženjer konstruktor stjecao uglavnom za crtaćom daskom konstruirajući, uz nadzor i pomoć starijih iskusnijih kolega. Znanje se usvajalo korištenjem uzorka dobro izvedenih rješenja postojećih konstrukcija, kanonskih modela, koje su u pojedinim segmentima bile principijelno slične ili čak potpuno iste problemu pred kojim se početnik našao. Mladi inženjer dolazi u poduzeće s više-manje međusobno nepovezanim znanjem iz različitih područja, a od njega se traži određena nadarenost za konstrukcijsko oblikovanje. U praksi se pokazalo da je primjena ovako nepovezanog znanja, na složenijim zadacima prepuštena inicijativi i umješnosti inženjera konstruktora. Budući da su inicijativa i umješnost subjektivne osobine pojedinca i veoma se razlikuju među ljudima, to su se i uspjesi javljali pojedinačno, pa se često naglašavalo, dobar konstruktor se s tom sposobnošću rađa. Nапослјетку, sve je to dovelo do ozbiljnijeg proučavanja samog problema konstruiranja. Najprije su analizirani poslovi koji se obavljaju tijekom procesa konstruiranja i utvrđena je učestalost svih vrsta radova za određena srodna područja konstrukcijske djelatnosti u postotcima. Istraživan je također misaoni proces pomoću kojeg konstruktor ostvaruje odgovarajuća konstrukcijska rješenja. Utvrđeno je da pri tome postoje intuitivni i diskurzivni načini mišljenja i rješavanja problema. Tako se postepeno počela rađati i razvijati nova znanstvena grana, znanost o konstruiranju¹. Praktična primjena te nove i

¹ Nauka o konstruiranju je znanstvena disciplina, potvrda te činjenice nalazi se u mnogim radovima i komparativnim studijama [6],[7],[10],[11],[12],[13].

opsežne znanstvene djelatnosti provodi se kroz metode metodičkog konstruiranja. Metodičkim se konstruiranjem ne obezvрједује intuicija i iskustvo niti kreativnost darovitih inženjera, već naprotiv, u metodiku konstruiranja treba biti ugrađeno to njihovo iskustvo i kreativnost. Time se već u fazi obrazovanja konstruktora postiže viši nivo znanja, a povećava se i vjerojatnost pronalaženja boljih pa i optimalnih rješenja.

Zadatak nauke o konstruiranju je istraživanje zakonitosti u djelatnosti konstruktora, uz razvoj propisa i postupaka koji omogućuju racionalno savladavanje konstrukcijskih problema. Ovdje je riječ o područjima koja primarno pripadaju razmatranjima vezanim isključivo za razvijanje i razradu konstrukcije. Za konstruktora je prvenstveno interesantan proizvod koji će prema nekom unaprijed zadanim postupku ili prema postupku koji tek treba odrediti, izvršiti određenu promjenu stanja. Objekte nauke o konstruiranju čine ponajprije tehnički proizvodi i sustavi, koje treba razviti kao nove ili ih treba razvijati i dalje usavršavati. Cilj istraživanja je pronalaženje i razvijanje smjernica, postupaka, metoda i operacija kojima su opisane radnje što ih konstruktor mora usvojiti i pri konstruiranju provoditi uz obavezno algoritmiranje procesa konstruiranja radi mogućnosti korištenja računala.

Da bi se proces nastajanja konstrukcije znanstveno obradio i time pridonijelo racionalizaciji misaonog procesa pri nastajanju konstrukcije prema [9], potrebno je:

1. Analizirati misaoni proces konstruktora pri nastajanju konstrukcije.
2. Otkriti opće zakonitosti koje vrijede za proces nastajanja bilo koje konstrukcije, tj. omogućiti rješavanje različitih zadataka identičnim postupcima.
3. Analizirati strukturu i svojstva tehničkog proizvoda.
4. Razraditi metodologiju (opisati operacije koje su potrebne za izvršenje bilo kojeg zadatka).
5. Utvrditi opseg potrebnih informacija koje moraju biti postupno obrađivane od trenutka zadavanja zadatka do njegova konačnog rješenja.

Za uspješno savladavanje zadatka nije dovoljno samo temeljito provođenje radnji i koraka predviđenih naukom o konstruiranju. Isto je tako neophodno provoditi i one djelatnosti koje su vezane za područja prirodnih kao i osnovnih znanosti, a to znači sveobuhvatno sagledavanje problema u procesu njegovog rješavanja.

Tu treba naglasiti da ispravno funkcionalno rješenje tehničkog problema često ne mora biti cijelovito i u potpunosti zadovoljavajuće rješenje, ali konstruktor ponajprije mora ispravno funkcionalno oblikovati. Naime, pri konstrukcijskom oblikovanju proizvoda, između ostalog treba sagledati i sljedeće zahtjeve:

- tehnologičnost izrade,
- ekonomičnost izrade,
- eksploracijske uvjete,
- pouzdanost dijelova i komponenti,
- ekološke zahtjeve,
- sociološke zahtjeve.

Svaki tehnički proizvod u svom životnom vijeku prolazi područje razvoja, izrade, primjene i reciklaže u većem ili manjem obimu. Razvoj uopće, a posebno razvoj konstrukcije mora voditi računa o skladu interesa proizvodnje i potrošnje. Proizvodnja obuhvaća ono područje konstrukcijskog procesa u kojem se osnovni materijal korištenjem tehničkih sredstava i metoda prerađuje i pretvara u tehnički proizvod. Sam proces proizvodnje mora prije realizacije biti detaljno pripremljen i razrađen. Za tu pripremu potrebne su ekonomski, organizacijske, proizvodne i tehničke aktivnosti tima stručnjaka u poduzeću.

Unutar znanosti o konstruiranju razvija se niz teorijskih pravaca od kojih su dva značajna za ovaj rad:

TEORIJA PROIZVODA - kao znanstveno izražavanje pojava koje obilježuju cilj svakog proizvodnog sustava - **proizvod**. Razvoj teorije proizvoda naznačen je danas s tri osnovna segmenta [14] koji proizlaze iz istraživanja:

- proizvoda kao sustava, s izvorima u teoriji sustava,
- proizvoda kao podsustava, na koji utiču nadređeni sustavi : priroda, društvo, gospodarstvo, proizvodnja,
- razvoja proizvoda, čime se uvodi vrijeme kao jedan od parametara, te proizvod razmatra tijekom vijeka trajanja.

TEORIJA KONSTRUIRANJA - koja istražuje konstruiranje kao kreativnu aktivnost. Sadašnje se stanje razvoja teorije konstruiranja može podijeliti na tri područja:

- razmatranje procesa konstruiranja (aktivnosti koje se izvode tijekom konstruiranja),
- razmatranje prikaza konstrukcije,
- razmatranje metoda konstruiranja.

Kako se radi o relativno novim područjima tehničkih znanosti ne postoje jasne granice između navedenih teorija. Za razliku od tradicionalnih znanstvenih područja, u znanosti o konstruiranju nije usuglašena metodologija, prioritetni smjerovi razvoja, pa čak ni ciljevi istraživanja nisu posve jasno definirani [6],[7]. Ilustraciju ove tvrdnje nalazimo u literaturi, ako pogledamo samo neke od pristupa konstruiranju, kroz sažete iskaze :

- konstruiranje je tehnološka aktivnost,
- konstruiranje je ne-racionalni proces,
- konstruiranje je proces obrade informacija,
- konstruiranje je optimalizacijski problem,
- konstruiranje je problem zadovoljavanja ograničenja.

Nasuprot ovim gledištima je stav po kojem je znanost o konstruiranju u početnoj teorijskoj fazi, te da osnovni cilj istraživanja treba biti postavljanje opće teorije misaonog procesa. Stoga se često u radu primjenjuje eksperiment kao znanstveno priznata metoda testiranja hipoteza u takovim istraživanjima. Razvoj računalne tehnologije, odnosno CAD sustava, [15] sasvim sigurno je ubrzao istraživanja u ovom

području, što je dovelo do veoma jasne podjele u efikasnosti primjene konstrukcijskog znanja, pa se javilo logično pitanje: "Što u konstruiranju razumijemo dovoljno dobro da to možemo automatizirati?". Odgovor na ovo formalno pitanje kazuje nam koja obilježja konstrukcijskog procesa možemo definirati, a koja ne.

Različita mišljenja među istraživačima, već u pogledu temeljnih definicija, sasvim sigurno doprinose određenom stupnju nesređenosti u istraživanjima kao i literaturi, ali predstavlja i poticaj dalnjim istraživanjima.

Unutar ovog pregleda stanja istraživanja znanosti o konstruiranju razmatrano je samo područje strojarskih konstrukcija, i to prikazom modela procesa konstruiranja, kao i pregleda izdvojenih teorija konstruiranja koje autor smatra da bi mogle biti pogodne za implementaciju i strukturiranje znanja u proces konstruiranja.

2.2 Obilježja konstrukcijskog procesa

Kao jedno od polazišta za daljnja razmatranja, navode se obilježja procesa konstruiranja i konstrukcijskog rada općenito, prema [2]:

1. Konstrukcijski proces je u prvom redu proces prerade informacija, pri čemu se na temelju ulaznih zahtjeva generira skup informacija koje opisuju proizvod.
2. Konstrukcijski proces je sinteza relativno dobro poznatih elemenata u jednu jedinstvenu, otprije nepoznatu cjelinu s određenim zahtjevanim svojstvima. Ta sinteza iziskuje kreativan, stvaralački rad. Iz toga proizlazi važna značajka procesa konstruiranja - čovjek mora kontrolirati proces, odnosno imati presudan udio u obavljanju potrebnih radnji.
3. S filozofskog gledišta proces konstruiranja je također i spoznajni proces: sustav na početku nepoznat - spoznaje se, odnosno postaje poznat. Na temelju toga može se reći da je spoznajna teorija također jedan izvor općih zakonitosti za proces konstruiranja.
4. Konstruiranje se može promatrati i kao proces učenja.
5. Svaki konstrukcijski zadatak može se riješiti na različite načine, odnosno može egzistirati s različitim strojnim sustavima ili sklopovima. Ta karakteristična viševeznačnost rješenja uvjetovana je količinom svojstava proizvoda koji se trebaju odrediti u postupku konstruiranja.
6. Svaki proces konstruiranja može se razložiti u manje cjeline (faze, dijelove procesa, etape, operacije) koje čine strukturu procesa.
7. Velika kompleksnost međusobno proturječnih zahtjeva dovodi do potrebe za višestrukim ponavljanjem određenih faza nakon početnog poopćenja i postavljanja prepostavki - dok se ne odrede potrebne vrijednosti. Iterativni postupak je jedna od tipičnih značajki konstruiranja.
8. Do sada pretežno samostalna djelatnost (u okviru zadatka), sve više se pretvara u timski rad u kojem se koriste prednosti većeg informacijskog kapaciteta i međusobne razmjene ideja i postupaka.

9. Proces konstruiranja je vrlo zahtjevna kreativna djelatnost, ali se ne može promatrati kao umjetnička kreacija, već kao znanstveno stvaralački rad, iako određeni misaoni postupci (intuicija, nastajanje ideje) koji se ne mogu racionalno objasniti imaju obilježja umjetničke kreativnosti. Ti se postupci ne mogu formalizirati u svrhu stvaranja cjelovitog teorijskog prikaza konstrukcijskog procesa.

S gledišta teorije proizvoda, prema [8], mogu se navesti sljedeća obilježja procesa konstruiranja:

- nagli porast potreba uvjetovan tržišnim zakonitostima,
- period razvoja proizvoda je sve kraći,
- trajanje proizvoda je sve kraće,
- javlja se pojam kritične brzine konstruiranja,
- raste količina proizvoda u serijskoj i masovnoj proizvodnji,
- zahtjevi za kakvoćom također rastu,
- troškovi se moraju svoditi na minimum,
- najveći utjecaj na strukturu troškova ima konstrukcijsko rješenje proizvoda,
- produktivnost tehnologije raste daleko brže od produktivnosti konstruiranja.

Iz navedenih obilježja može se uočiti kompleksnost procesa, višestrukost utjecaja na proces konstruiranja, širenje potrebnog znanja, što čini zadatkom modeliranja procesa konstruiranja vrlo zahtjevnim.

2.3 Metodičko konstruiranje

Prema [9], metodičkim se konstruiranjem nastoji pomoći znanstvenih metoda razviti proces konstruiranja kao metodu koja omogućuje da se problematika konstruiranja rješava općenito, a ne kao problematika konstruiranja sasvim određenog stroja ili uređaja. Riječ je, zapravo o tome da se konstruiranje shvati kao proces u kojem se jednakim postupcima mogu rješavati različiti zadaci. U ovom poglavlju dan je skraćeni pregled modela procesa konstruiranja prema [6] kao jedna od smjernica koncipiranja sustava za računalnu podršku konstruiranju.

2.3.1 Deskriptivni modeli

Deskriptivni modeli opisuju tijek procesa konstruiranja. Osnova razvoja deskriptivnih modela je proučavanje procesa kojima ljudi kreiraju konstrukcije, te koje strategije i metode koriste pri rješavanju zadataka. Najveći dio istraživanja temelji se na metodama iz područja umjetne inteligencije kao što su na primjer protokolarne analize kojim se sistematski prikupljaju podaci od konstruktora. Ova istraživanja su u suprotnosti s ranijim metodama kojima je osnovni cilj bio unaprijediti razvoj kreativnih tehniki. Razvoj deskriptivnih modela može se razvrstati na sljedeći način:

- protokolarne studije,
- kognitivne modele,

- studije slučajeva ("case studies").

Cilj *protokolarnih studija* je sustavno prikupljanje podataka o tome kako rade konstruktori, kao pojedinci ili u grupama. Naime, pri provođenju ovakvih studija konstruktori trebaju glasno objašnjavati što rade, to jest opisivati svoj način razmišljanja. Problem takvih studija je što na određeni način ometaju konstruktora u radu, pa se na taj način ometa i "snimak". Konstruktori su pri tome od strane ispitivača često prekidani u razmišljanju kako bi odgovorili na nesporazume nastale stručnim izražavanjem s jedne strane, a s druge kako bi se prikupile informacije u skladu s protokolom istraživanja. Verbalno izražavanje geometrijskog promišljanja konstruktora predstavlja poseban problem. Podatke o podsvjesnom promišljanju skoro je nemoguće prikupiti.

Kognitivni modeli opisuju procese koji su osnova skupa ponašanja koji tvori vještina. Takav se model određuje skupom mehanizama s definiranom funkcionalnošću i interakcijama. Najčešći je cilj istraživanja kognitivnih modela razvoj analognih računalnih modela procesa konstruiranja, to jest kognitivnih sustava. Kognitivni sustavi opisuju, odnosno emuliraju vještinu koju koriste ljudi pri rješavanju zadataka. Vještina se ljudi u takovim sustavima opisuje na razini funkcionalnih mehanizama, s mogućnošću objašnjavanja i predviđanja ponašanja pri rješavanju zadataka.

Studije slučajeva, analiziraju proces konstruiranja u realnim okolnostima, na odabranim primjerima koji se razmatraju cijelovito - od zadatka, kroz realizaciju do gotovog proizvoda. Poteškoće u provođenju ovakvih studija proizlaze iz složenosti procesa konstruiranja kako tehničke tako i organizacijske prirode. Takve studije proučavaju osim tehničkih i sociološke aspekte konstruiranja. Rezultati takovih istraživanja pokazuju da konstruktori često ne razmatraju različite koncepte potencijalnih rješenja zbog različitih razloga, kao npr.:

- subjektivna sklonost vodi k određenom rješenju,
- nisu svjesni drugih mogućih rješenja,
- nisu u mogućnosti razmatrati nekoliko alternativa unutar raspoloživog vremena.

U radu [16] se, kao jedan od zaključaka, navodi da konstruktori nanovo koriste bliska im rješenja, te nisu spremni razmatrati alternative i nove ideje, osim ukoliko korišteno rješenje ne zadovoljava zahtjeve koji se nikakvim prilagođivanjem ne mogu zadovoljiti.

2.3.2 Preskriptivni modeli

Preskriptivni modeli procesa konstruiranja mogu se podijeliti u dvije skupine:

- modele koji opisuju kako se treba provoditi proces konstruiranja,
- modele koji opisuju atribute koje konstrukcijska tvorevina treba posjedovati.

U prvu se skupinu mogu svrstati modeli koji propisuju kako treba konstruirati - kanonski modeli i morfološki modeli. *Kanonski* se modeli primjenjuju najčešće u obrazovanju konstruktora. U literaturi koja obrađuje kanonske modele često se polazi od implicitne pretpostavke da će primjena propisanog postupka dovesti do boljeg

rješenja konstrukcije, što je vrlo teško uvijek postići. *Metode morfološke analize* često se koriste u preskriptivnim modelima, a osnivaju se na sljedećim pretpostavkama:

- svaki se složeni konstrukcijski zadatak može podijeliti na konačan broj podzadataka,
- svaki se podzadatak može razmatrati izolirano, uz privremeno zanemarivanje međudjelovanja s ostalim podzadacima,
- svi se podzadaci i prateća rješenja mogu prikazati u morfološkoj tablici,
- cijelokupno rješenje zadatka može se naći kombinacijom rješenja pojedinih podzadataka,
- način kombiniranja rješenja podzadataka u cijelokupno rješenje nije ograničen.

Drugu skupinu *preskriptivnih modela* procesa konstruiranja čine modeli koji opisuju atribute konstrukcije, te time propisuju svojstva koja treba posjedovati oblikovana tvorevina, a ne postupak kojim se tvorevina formira. Ovi se modeli baziraju na aksiomatskim teorijama i svaki je model samostalna cjelina (npr. General Design Theory - Yoshikava [15] ili Axiomatic Design - Suh [17]).

Tablica 2.1: Preskriptivni modeli konstruiranja prema različitim autorima [20]

ROTH (1960) polazište: ZADATAK	PAHL/BEITZ (1977) polazište: ZADATAK	VDI 2222 list 1 polazište: PLANIRANJE	KOLLER (1976) polazište: PLANIRANJE PROIZVODA
<i>FORMULIRANJE ZADATKA</i>	<i>RAŠČIŠĆAVANJE ZADATKA</i>	<i>ODREĐIVANJE KONCEPCIJE</i>	<i>SINTEZA FUNKCIJA</i>
• određivanje funkcija • izrada liste zahtjeva	• raščišćavanje zadatka • izrada liste zahtjeva	• raščišćavanje zadatka • izrada liste zahtjeva <i>rastavljanje glavne funkcije na parcijalne</i> • kombiniranje i variranje • tehn.-ekonomsko vrednovanje	• postavljanje zadatka <i>ukupna funkcija parcijalne funkcije</i> • elementarne funkcije • struktura osnovnih operacija
<i>FUNKCIONALNA FAZA</i>	<i>KONCIPIRANJE</i>		
• opća funkcionalna struktura • fizičke i logičke funkcije	• funkcionalna struktura • principi rješenja • tehn.-ekonomsko vrednovanje		
<i>FAZA OBLIKOVANJA</i>	<i>PROJEKTIRANJE</i>	<i>PROJEKTIRANJE</i>	<i>KVALITATIVNA SINTEZA</i>
• geometrijsko i materijalno oblikovanje • tehn.-ekonomsko vrednovanje	• grubo oblikovanje • fino oblikovanje • vrednovanje • završno oblikovanje	• projektiranje u mjerilu • tehn.-ekonomsko vrednovanje • optimalizacija	• varijacija efekata • varijacija nosilaca efekata • principijelna rješenja • variranje sklopova • variranje sustava • variranje konfiguracije
	<i>RAZRADA</i>	<i>RAZRADA</i>	<i>KVANTITATIVNA SINTEZA</i>
• tehničko-tehnološko oblikovanje • tehn.-ekonomsko vrednovanje	• upotpunjavanje tehničke dokumentacije • upute za montažu i transport • kontrola podloga	• oblikovanje pojedinačnih dijelova • kontrola troškova	• konačni projekt • crteži • tehnološka dokumentacija
<i>IZVEDBENA TEHNIČKA DOKUMENTACIJA</i>			

Zajednička je osobina svih modela formalni matematički aparat kojim se vrednuje dobrota rješenja. Može se razmatrati teza po kojoj konstrukcija, koja se osniva na matematičkom obrascu, nasljeđuje svojstva obrasca. Stoga je moguće i formalno dokazivati neka svojstva tako određene konstrukcije, kao što su optimalnost ili izvedivost. Ipak postoje i ograničenja takovih obrazaca: ovaj način konstruiranja nije

blizak načinu rada klasično školovanog konstruktora, a pri konstruiranju postoji određeni dio rješenja koji se ne može formalizirati u matematičkom obliku, već je simboličke (često i subjektivne) prirode. Stoga se insistiranje na potpunoj formalizaciji procesa konstruiranja, prema [10], ne može prihvati kao poticaj stvaralaštvu konstruktora.

2.3.3 Računalni modeli

Računalni modeli procesa konstruiranja podrazumijevaju programske metode kojima računalo može riješiti određene zadatke. Računalni modeli mogu dijelom biti razvijeni na temelju promatranja ljudskog načina promišljanja zadatka, ali takova sprega nije uvijek nužna. Uspješni računalni modeli mogu ponekad i sugerirati postupke inženjerskog načina izvođenja procesa konstruiranja.

U području računalnih modela treba razlikovati metode koje služe u projektiranju (prvenstveno sa ciljem odlučivanja), metode koje analiziraju, tj. daju informacije koje su podloga za donošenje odluka, te konvencionalne CAD sustave.

Sustavi za projektiranje temelje se na ideji da se funkcionalni zahtjevi koji se postavljaju na proizvod i sam oblik proizvoda mogu povezati. To vrijedi za dobro definirane zadatke s uskim područjima primjene. Optimalizacijski sustavi su jedan od primjera metoda koje se u općim slučajevima mogu primjeniti za odlučivanje.

Konstruiranje pomoću računala, odnosno CAD, podrazumijeva primjenu računala i odgovarajuće programske podrške pri konstruiranju, tj. u svim fazama razvoja proizvoda. Međutim ne postoji niti jedan jedinstveni programski sustav koji bi podržavao sve aspekte procesa konstruiranja. Postoji mnogo programskih alata koji se rabe pri konstruiranju, a svaki od njih ima svoje mogućnosti i ograničenja kojima zadovoljava (više ili manje) zahtjeve pojedinih faza procesa. To može biti završna faza - razrada, odnosno izrada dokumentacije, ili jedan od alata koji se koristi pri provjeri, tj. analizi, koja se redovito provodi u numeričkoj domeni.

Nagli razvoj CAD područja od elementarnih grafičkih sustava šezdesetih godina, koji su u stvari snažno motivirali primjenu računala u konstruiranju, rezultirao je zamjenom klasičnih crtačih alata konstruktora s računalnom opremom. Sadašnje stanje karakterizira opće prihvaćena primjena 3D CAD sustava kao alata za modeliranje proizvoda.

Računalni modeli mogu se razvrstati prema primjeni za sljedeće klase konstrukcijskih problema (i/ili zadataka):

- parametarsko konstruiranje,
- određivanje konfiguracije sklopova,
- koncipiranje na temelju funkcionalnih zahtjeva,
- rješavanje distribucijskih zadataka.

Konvencionalni CAD sustavi mogu se obzirom na namjenu i stupanj postignute automatizacije podijeliti na sustave opće namjene i sustave ograničenog područja primjene (za razvoj određene vrste proizvoda). Zajedničko obilježje obje navedene

vrste sustava je glomaznost programskog koda pa je održavanje takvih sustava vrlo složeno. Također niti jedna vrsta postojećih sustava ne podržava sveobuhvatan proces konstruiranja, odnosno sve faze tog procesa. Između ostalog nedostaju i kvalitativni aspekti (nepotpuna kontrola grešaka, strukturiranje, estetika, inovacija, ...). Iz ovoga proizlazi da je u biti nedostatak "inteligencije" najveći nedostatak tih sustava, što je posljedica:

- nemogućnosti simboličke obrade konstrukcije,
- nemogućnost prezentacije znanja o konstruiranju i nepostojanje mehanizama zaključivanja,
- nepoznavanja formalnih zakona procesa konstruiranja, odnosno relacija između zahtjeva i konstrukcijskog rješenja.

U znanosti o konstruiranju istražuje se i problem prikaza konstrukcije. Pored činjenice da je to jedan od temeljnih problema spomenutog područja znanosti, te velikog broja objavljenih radova može se ustvrditi da ne postoji metoda prikaza kojom bi se odredio jednoznačan, jedinstven i potpun opis strojarskog proizvoda - tvorevine. Pri razmatranju prikaza možemo razlikovati prikaz geometrijskih informacija i oblika, prikaz ponašanja proizvoda, te prikaz fizikalnih i funkcionalnih atributa proizvoda.

2.4 Teorije, modeli i metode konstruiranja

U proteklih pedeset godina, koliko se sustavno istražuje i proučava fenomen konstruiranja, razvijeno je i prezentirano mnogo različitih stajališta o toj kreativnoj ljudskoj djelatnosti. Stoga se iz područja znanosti o konstruiranju, u literaturi, može naći široki spektar radova [1],[8],[15],[18],[19],[20],[21],[22], s opisima razvijenih teorija i metoda, kao i s metodama traženja principa rješenja za pojedine parcijalne funkcije.

U ovom poglavlju su izložena tri karakteristična pristupa procesu konstruiranja: Opća teorija konstruiranja od Yosikawe, Opći model konstruiranja od Hubke i Rothov algoritamski postupak konstruiranja pomoću kataloga, koji su po mišljenju autora relevantni za sustavno istraživanje u ovom radu.

2.4.1 Opća teorija konstruiranja

Konstruiranje je intelektualni proces koji zahtjeva sagledavanje logičnog i fizikalnog aspekta postupka konstruiranja i njegova okoliša. Među problemima u primjeni inženjerskog znanja suštinsku poteškoću čini predstavljanje znanja. Kako bi to riješili mora se razjasniti sveukupno gledište na konstruiranje, tj. treba usvojiti teoriju kao vodeći princip za strukturiranje znanja o konstruiranju, za uređenje znanja i za korištenje znanja, tako efikasno kao što je uporaba simbola.

Opća teorija konstruiranja (General Design Theory - GDT, Yoshikawa [15]) počiva na tri hipoteze utemeljene na abdukciji iz kojih su izvedena tri osnovna aksioma. Od njezine prezentacije 1981. godine u Engleskoj ova teorija, bazirana na matematičkoj osnovi, doživljuje razvoj i proširenje unutar GDT, te se 1986. godine pojavljuje kao "Extendent General Design Theory" potpisana od dvojice autora Tomiyame i Yoshikawe. Teoremi,

definicije i pravila ove teorije grade se na formalnom aparatu aksiomatske teorije skupova.

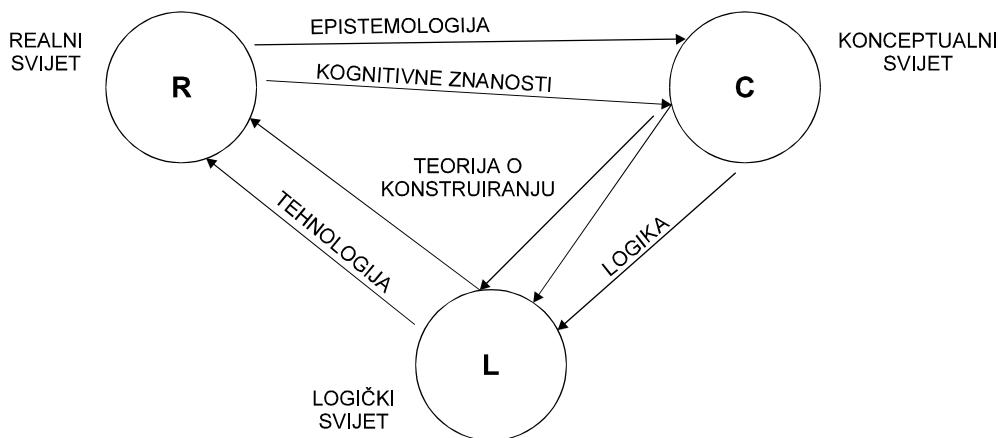
Ciljevi opće teorije konstruiranja su:

- utemeljiti proces konstruiranja na znanstvenoj osnovi,
- formalizirati praktično upotrebljivo znanje o metodologiji konstruiranja,
- konstrukcijsko znanje prezentirati u formi prikladnoj za implementaciju na računala.

Pri tome se teorija cijelo vrijeme sagledava s tri različita psihofilozofska stajališta, odnosno teorija se izvodi u kontekstu poimanja tri različita svijeta:

- realnog **R** - gdje egzistiraju konkretni entiteti,
- konceptualnog **C** - gdje egzistiraju zamišljeni entiteti iz realnog svijeta, svaki pojedinac posjeduje svoj vlastiti konceptualni svijet,
- logičkog **L** - kao svijet simbola, logike, matematike, filozofije, itd.

Tako su npr. fizika, kognitivne znanosti, logika, znanost o konstruiranju i tehnologija definirane kao neka od preslikavanja između tih svjetova, slika 2.1.



Slika 2.1: Shema preslikavanja unutar prostora GDT [11]

Neobično važna osobina konstruktora u procesu konstruiranja je sposobnost formiranja koncepta o nepostojećim stvarima, apstrakcija drugim riječima, sposobnost koncipiranja nužna je osobina za stvaranje konstrukcije.

Stoga je konstruiranje niz preslikavanja iz konceptualnog svijeta **C** u realni svijet **R**, preko logičkog svijeta **L**. Konstruiranje se ovdje shvaća kao aktivnost za kreiranje entiteta u realnom svijetu, od prvobitne ideje o konstrukciji stvorenoj u konceptualnom svijetu, preko logičkog svijeta gdje postoje samo simboli (npr. sređena specifikacija i tehnički crteži).

Fizika je prikazana kao preslikavanje **R** → **C** → **L**, gdje je prvi dio preslikavanja *promatranje fenomena* koje je vođeno epistemologijom, a druga polovina preslikavanja

je primjena matematike ili logičkih operacija koje služe da bi se fizikalni fenomeni opisali na objektivan i znanstveni način.

Proces konstruiranja se često ilustrira, kako prikazuje slika 2.2, pri čemu je ulaz specifikacija konstrukcije², koja uključuje potrebe i nužne pojmove o konstrukciji, a izlaz je konačno rješenje.



Slika 2.2: Proces konstruiranja

Specifikacija konstrukcije treba biti napisana funkcionalnim jezikom uključujući simbole, brojeve, postojeće dijelove itd. Konstrukcijsko rješenje treba biti predočeno skicama, crtežima, a ponekad i tehničkim opisom. Gledajući na njihov informacijski sadržaj ulaz i izlaz egzistiraju i realiziraju se u logičkom svijetu **L**.

Prema prethodno izloženom, konstrukcijski se problemi mogu formulirati kroz sljedeću terminologiju i definicije:

DEFINICIJA 1: *Skup entiteta* je skup koji uključuje sve entitete kao svoje elemente. Pod svim entitetima podrazumijevaju se svi prošli, sadašnji i budući entiteti. Taj se skup označava sa **S'**.

DEFINICIJA 2: *Atribut entiteta* je neko fizikalno, kemijsko, mehaničko, geometrijsko ili neko drugo svojstvo koje se može promatrati sa znanstvenog stajališta³.

DEFINICIJA 3: Kad je entitet izložen određenim okolnostima, on manifestira svojstveno ponašanje koje odgovara tim okolnostima. To se ponašanje naziva *vidljiva funkcija*. Pod nekim drugim okolnostima entitet manifestira neko drugo ponašanje. Skup svih tih ponašanja naziva se *latentna funkcija*. Pod općenitim pojmom *funkcija* podrazumijevaju se obje navedene funkcije⁴. *Polje* je realna okolina koju neka funkcija prikazuje.

DEFINICIJA 4: *Koncept entiteta*⁵ je koncept koji se formira u skladu s postojećim iskustvom o entitetu. Taj koncept se razlikuje od apstraktnog koncepta, npr. koncepta atributa ili funkcije koji su izvedeni iz entiteta.

Do sada iznesene definicije bazirane su na pojedinim entitetima i njihovom prikazivanju, a sljedećim definicijama uvodi se važan koncept klasifikacije.

² U našoj terminologiji to je LISTA ZAHTJEVA.

³ Treba nastojati da atribut i svojstvo unutar GDT nisu sinonimi, da atributi entiteta imaju vrijednost, tj. da su mjerljivi.

⁴ Funkcija u GDT je funkcionalni opis entiteta.

⁵ Prikaz (prezentacija) entiteta.

DEFINICIJA 5: *Apstraktni koncept* (T) je izведен iz klasifikacije koncepta entiteta sukladno s njihovim značenjem ili vrijednošću. Kao rezultat klasifikacije dobivamo podjele, pri čemu svaki skup uključuje entitete koji nose neko zajedničko svojstvo i odgovaraju određenom apstraktnom konceptu.

DEFINICIJA 6: *Koncept atributa* (T_0) je jedan od apstraktnih koncepata. Ovaj koncept omogućuje prepoznavanje entiteta i nema direktnu povezanost s vrijednostima, odnosno pri podjeli entiteta ne uzimaju se u obzir kvantitativni podaci.

DEFINICIJA 7: *Morfološki koncept* (T_2) je podskup koncepta atributa. Ovaj se koncept koristi kada se velika pažnja posvećuje obliku.

DEFINICIJA 8: *Koncept funkcije* (T_1) je podskup apstraktnih koncepata. Kada neki entitet posjeduje svojstvenu latentnu funkciju i u stanju ju je manifestirati kao vidljivu funkciju u zadanim poljima, tada se taj entitet klasificira u skup koji je formiran pod imenom te funkcije.

Svi ovi koncepti pripadaju konceptualnom svijetu **C**. Jednom kad su opisani, sintaktički opis pripada logičkom svijetu **L**, dok sam koncept želi biti semantički u konceptualnom svijetu.

Koristeći se navedenim definicijama izvedena su tri osnovna aksioma na kojima počiva opća teorija konstruiranja:

AKSIOM 1: (*Aksiom prepoznavanja*): Svaki entitet može biti prepoznat i opisan pomoću atributa i/ili drugih apstraktnih koncepata.

Ovaj aksiom garantira mogućnost promatranja entiteta, ali ne daje tumačenje kako prepoznati ili promatrati sam atribut u definiciji 6. U nastojanju da se to riješi, prvo se mora objasniti što je *entitet* i na koji način ga treba prikazati i opisati. U stvari, ovaj aksiom koji izgleda trivijalan, sakriva implikaciju da način opisa entiteta mora biti denotativan, a ne konotativan. To zahtjeva fleksibilnost prikaza entiteta, ali iziskuje i potrebu da entiteti budu opisani s velikim ili čak beskonačnim⁶ brojem atributa, kako bi se omogućilo prepoznavanje.

AKSIOM 2: (*Aksiom korespondencije*): Skup entiteta **S'** i skup koncepata idealnih entiteta **S** imaju obostrano - jednoznačno preslikavanje.

Aksiom pokazuje da je dovoljno razmišljati o skupu koncepata entiteta **S** umjesto o skupu entiteta **S'** jer između stvarnog svijeta **R** i logičkog svijeta **L** postoji savršeno preslikavanje, slika 2.1. U tom kontekstu ovaj aksiom zahtjeva postojanje "superčovjeka" koji zna sve, drugim riječima, pokazuje idealan i stvaran nivo našeg znanja, odnosno slikovito predočuje da konstrukcijsko znanje s kojim se služimo u radu nije savršeno.

AKSIOM 3: (*Aksiom o operacijama*): Skup svih apstraktnih koncepata je topologija skupa koncepata entiteta⁷.

⁶ Prepoznavanje uključuje razlikovanje. Za implementaciju u računalu ovo je izvor kombinatoričke eksplozije.

⁷ Skup svih apstraktnih koncepata topologije utječe i na strukturu entiteta i na moguće operacije nad entitetima.

Ovaj aksiom pokazuje da je moguće provoditi logičke operacije na apstraktnom konceptu kao da se radi o običnim matematičkim skupovima (moguće je npr. koristiti skup operacija kao što su presjek, unija, negacija itd.).

Da sumiramo, prate se pretpostavke stvarnog svijeta, a logičke operacije nisu iste kao one iz prirodne dedukcije. Umjesto toga mora se koristiti intuicijska logika ili konstruktivna matematika gdje zakon isključne sredine ne vrijedi; ili bar treba koristiti trosložnu vrijednosnu logiku, odnosno uz vrijednost ***istina*** ili ***neistina***, treba dodati i vrijednost ***nepoznat***. Ti zaključci su dragocjeni pri razmišljanju kamo širiti GDT i kako je ukomponirati u CAD sustave.

Na osnovu ova 3 aksioma izvodi se niz definicija i teorema o idealnom⁸ i realnom znanju (da bi se opisalo preslikavanje $\mathbf{L} \rightarrow \mathbf{R}$). Pri tome za skraćeni prikaz treba još posebno istaći:

1. Konstruiranje se definira kao preslikavanje neke točke iz funkcionalnog prostora u točku prostora atributa.
2. Budući je metrika prostora funkcije i prostora atributa obično nekompatibilna, uveden je koncept metamodela (**M**), kao međuprostora u tom preslikavanju, slika 2.3.
3. Pokazano je da se u prostoru metamodela entiteti (**S ∈ M**) mogu opisati konačnim brojem atributa.
4. Dokazano je, ako je jednoznačno preslikavanje iz prostora metamodela u prostor funkcije kontinuirano, onda je i jednoznačno preslikavanje iz prostora atributa u prostor funkcije kontinuirano.
5. Funkcionalni element je metamodel, odnosno funkcionalni element je koncept entiteta koji materijalizira neke fizikalne fenomene, uzrokovane fizikalnim zakonima. Dodatno, ako izaberemo funkcionalni element kao metamodel, možemo opisati specifikaciju konstrukcijskih zahtjeva pomoću topologije metamodela, a također i njihovo konstrukcijsko rješenje koje je element tog metamodela.
6. Specifikacija konstrukcije određuje funkciju traženog entiteta apstraktnim konceptima. Stoga je konstrukcijsko rješenje ono, koje je sadržano u specifikaciji i sadrži tehničke informacije, a konstruiranje završava kada se postignu zahtjevane specifikacije.
7. Realno znanje je normalan prostor.
8. U realnom znanju postoji udaljenost između dva različita entiteta pri čemu postoji kontinuirana funkcija $f: \tilde{S} \rightarrow [0, 1]$ za svaka dva odvojena, zatvorena podskupa **A** i **B** (\tilde{S} - skup mogućih koncepcata entiteta) takva da:

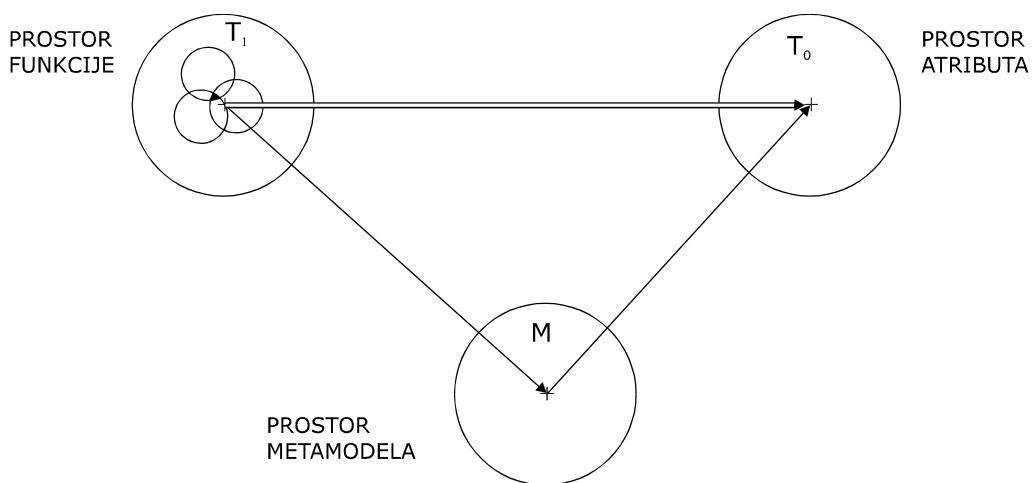
⁸ Idealno znanje je ono koje omogućuje raspoznavanje svih entiteta i koje opisuje svaki element apstraktnim konceptima jednoznačno. Ovo je dodatno ograničenje. Stoga je uveden AKSIOM 4: *aksiom separacije* koji nije obuhvaćen ovim izlaganjima. Za olakšavanje do sada nametnutih ograničenja uveden je pojma realnog znanja (koje je određeno stavkama 6. i 7. Autori koji obrađuju GDT često dijele Ideal GDT od Real GDT. Realno znanje relaksira prijašnje definicije na deskriptivnost entiteta s konačnim brojem pojmova, te stoga ne može biti strukturirano kao idealna topologija.

$$\begin{aligned}\forall x \in A \Rightarrow f(x) &= 0 \\ \forall x \in A \Rightarrow f(x) &= 1\end{aligned}$$

tada za 2 različita koncepta entiteta s_1 i s_2 , i dva različita realna broja a i b , vrijedi:

$$d(s_1, s_2) = |f(s_1) - f(s_2)| = a - b$$

9. Fizikalni zakoni određeni su kao opisi odnosa između svojstva objekta i njegovog okoliša.
10. U realnom znanju konstrukcijsko rješenje može sadržavati i funkcije koje nisu sadržane u specifikaciji⁹.



Slika 2.3: Koncept metamodela [11]

Bitna je razlika između dijelova teorije koji opisuju idealno i realno znanje, što se kod njih entiteti mogu međusobno razlikovati i ako su opisani s konačnim brojem pojmovev. Pri razmatranju mogućnosti implementacije GDT treba uočiti da konstruiranje započinje specifikacijom (lista zahtjeva), a završava realizacijom specifikacije (konstrukcijskim rješenjem). Teorijom se ne razmatra kako se dolazi do zahtjeva, tj. do specifikacije nove, željene konstrukcije. Teorija prepostavlja da su zahtjevi uređeni. U stvarnosti su zahtjevi često nepotpuni i neprecizni, ili čak kontradiktorni. Stoga se GDT bez ograničenja ne može primjeniti¹⁰ na realne problema. GDT modelira proces konstruiranja implicitno prepostavljajući preslikavanje funkcije u attribute topologije uz zadovoljavanje ograničenja. Sveukupno se preslikavanje realizira kao niz inkrementalnih preslikavanja unutar prostora metamodela.

Stoga se može prigovoriti da GDT predstavlja "preidealni" model za konstruiranje, ali ona je ipak prikladan okvir za računalnu implementaciju. Naime teorija razmatra tri

⁹ Rješenje sadrži i funkcije koje nisu očekivane.

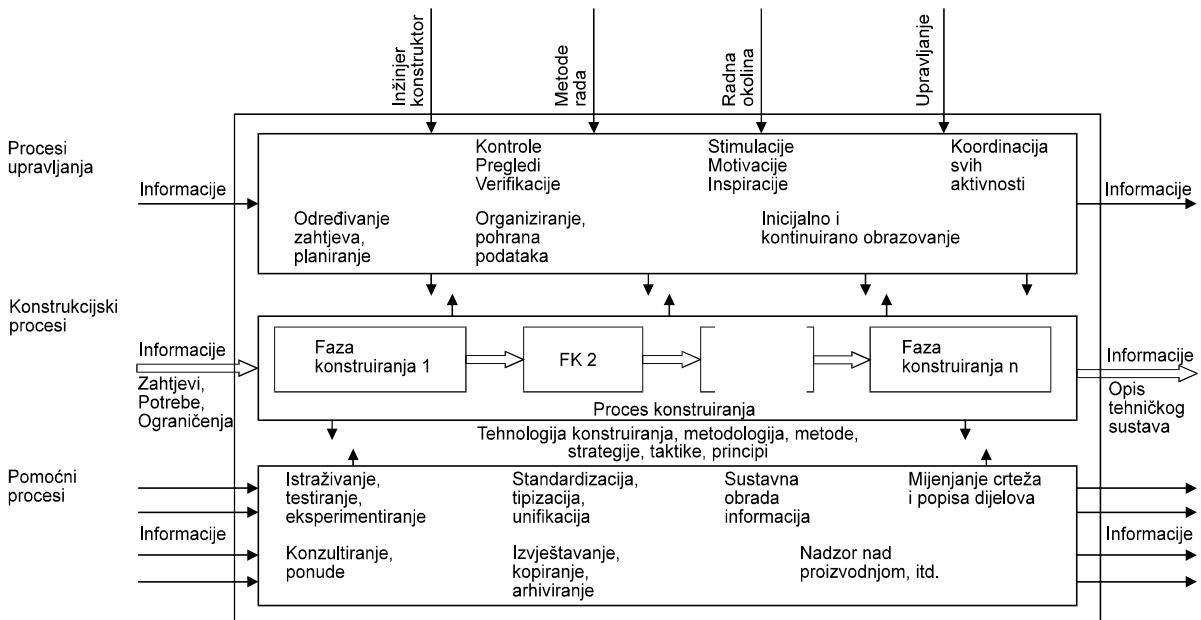
¹⁰ Što ne podrazumijeva da se temeljem GDT ne mogu realizirati kvalitetni programski sustavi, za određene vrste problema već egzistiraju, kao npr. sustavi za konstruiranje pomoću kataloga.

segmenta znanosti o konstruiranju: teoriju konstruiranja, teoriju objekata konstruiranja i teoriju znanja.

Vidljivo je da GDT ne može adekvatno predstavljati stvarno konstruiranje, ali uvođenjem prihvatljivih ograničenja i ublažavanjem prestrogih zahtjeva formalnog modela, zastupljenog pogotovo u "idealnom" dijelu, GDT teorija može poslužiti kao smjernica za gradnju efikasnijih CAD sustava.

2.4.2 Opći model konstruiranja

Opći model konstruiranja postavio je Hubka još 1973. godine [2], gdje sustavno iznosi pristup i način razmišljanja grupe srednjoeuropskih autora čiji je interes zaokupljen razvojem znanosti o konstruiranju. Praktično provedbeni pristupi teoriji među autorima se razlikuju, ovisno o iskustvu i području njihova djelovanja. Te se razlike mogu uočiti iz usporednog prikaza izabranih proceduralnih modela predočenih tablicom 2.1. Razvojem općeg modela konstruiranja autor je tijekom vremena postavio teoriju tehničkih sustava, te unutar nje noviji "Opći proceduralni model konstruiranja" [23].



Slika 2.4: Opći model procesa konstruiranja [18]

Opći model procesa konstruiranja, (slika 2.4) omogućuje sljedeću interpretaciju:

- konstruiranje je proces transformiranja informacija od zahtjeva kupca do potpunog opisa predloženog tehničkog sustava,
- prikazuje se osnovna struktura procesa; uključujući pomoćne, kontrolne i regulacijske procese,
- konstruktori i njihova sredstva za rad izvode pretvorbene djelatnosti na skupu operanada konstrukcijskog procesa,
- prikazuje se utjecaj različitih faktora koji djeluju na proces konstruiranja.

S ciljem da se predloženi model konstruiranja osuvremeni, te omogući primjena računala, teorija je tijekom godina evoluirala, pa je opći model konstruiranja transformiran u "Opći proceduralni model konstruiranja" [23]. Pri razvoju toga modela autori (Hubka i Eder) su nastojali zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

- struktura procesa konstruiranja treba omogućiti svjesne i pregledne korake u smjeru rješenja,
- model treba biti neutralan (neovisan o području primjene), s mogućnošću konkretizacije,
- preduvjeti modela jasno su specificirani,
- jasan odnos prema drugim teorijama unutar znanosti o konstruiranju,
- predloženi koraci trebaju se moći obrazložiti,
- uzeti u obzir i rezultate drugih modela,
- model treba biti razumljiv konstruktorima u praksi,
- model treba biti primjenjiv za različite tehnike konstruiranja, bez obzira na: vrstu proizvoda, vrstu konstrukcijskog zadatka, složenost proizvoda, te organizacijsko ustrojstvo okoline.

Na slici 2.5 vidi se podjela procesa konstruiranja na četiri osnovne cjeline:

1. Elaboriranje odnosno pojašnjavanje zadane specifikacije¹¹.
2. Razrada koncepta (postavljanje koncepta i funkcionalne strukture).
3. Iznalaženje rješenja (preliminarno i konačno projektno rješenje).
4. Razrada rješenja i elaboriranje.

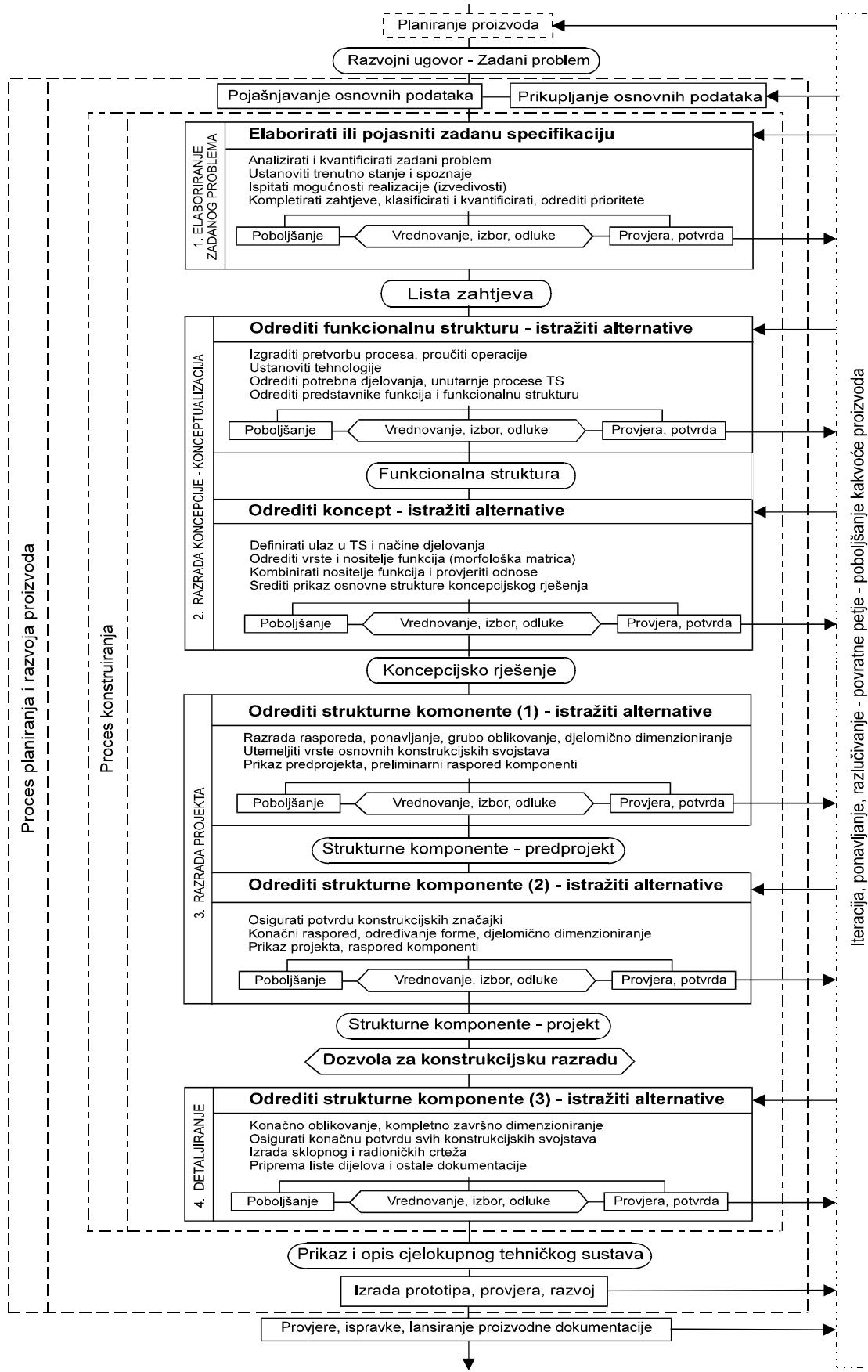
Svaki od navedenih dijelova procesa konstruiranja raščlanjuje se dalje na faze procesa konstruiranja i provedbene korake, s potrebnim brojem prolaza (iteracija) do postizanja željenog cilja (konstrukcijskog rješenja).

Za ovako koncipiranu teoriju karakteristično je da je većina pojnova sistematizirana i opisana, te je teorija lako razumljiva, edukativna i pregledna. Neki autori navode da je osnovni nedostatak što se teorija osniva na fenomenološkom opisu, bez egzaktnog aparata, što onemogućuje formalizaciju teorije kao korak prema automatiziranju procesa konstruiranja [26].

Zajednička je značajka različitim modelima koji se mogu svrstati u tu skupinu da se cjelokupni proces konstruiranja provodi na različitim logičkim razinama:

- **razini apstrakcije** na kojoj se razmišlja pomoću funkcija i simbola,
- **provedbenoj razini** na kojoj konstruktor utvrđuje oblikovno rješenja svake funkcije.

¹¹ Termin "zadana specifikacija" ovdje obuhvaća poznate podatke na samom početku konstruiranja, često nazivana preliminarna lista zahtjeva.



Slika 2.5: Opći proceduralni model konstruiranja [23]

Kako je već prije navedeno, tijekom konstruiranja, ukupna funkcija se razlaže na parcijalne funkcije, biraju se fizikalni principi rješenja parcijalnih funkcija (*apstraktna razina*), te oblikuje projektno rješenje koje se dorađuje tijekom konstrukcijske razrade (*provedbena razina*). Takvim se pristupom konstruiranje tretira "slaganjem elemenata rješenja" na dvije razine, *apstraktnoj* i *funkcionalnoj*. Prešutno se prepostavlja kako je uvjek moguće preslikavanje¹² između tih razina, da su funkcionalni principi a priori poznati, a osnovna funkcija rastavljiva. Najvažnije obilježje teorije te škole je implicitna prepostavka da za svaki problem postoji rješenje. Ukoliko se u radu uvaže i usvoje sve navedene prepostavke moguće je realizirati kvalitetan CAD sustav.

2.4.3 Rothova kataloška metoda

Rothov algoritamski postupak konstruiranja, uočava nekoliko glavnih faza tijekom procesa konstruiranja, od kojih svaka ima pojedinačne radne korake, njih se prolazi određeni broj puta, dok se ne postigne rješenje koje zadovoljava sve postavljene zahtjeve na proizvod, slika 2.6.

U prvoj fazi postupka provodi se analiza problema čiji rezultat daje precizno formulirani zadatak. Ovako formulirani zadatak sadrži potrebnu funkciju, tehničke zahtjeve i potrebne troškove. Zahtjevi tvore kriterije pomoći kojih se u kasnijoj fazi može izvršiti izbor iz kataloga. Nakon toga funkcionalna koncepcija se razrađuje u dva radna koraka.

Za utvrđivanje opće funkcionalne strukture pridružuju se svakom dijelu precizno formuliranog zadatka opće funkcije, gdje se variranjem spajanja mogu postići različite alternative. Opće funkcije su pri tome funkcije općeg karaktera koje određuju tehničku sliku¹³. Stoga, opća funkcionalna struktura, na kraju, dijeli funkcionalne veze na takve parcijalne zadatke koji se kao temeljni zadaci kataloški mogu obuhvatiti. Radni korak utvrđivanja fizičke i logičke strukture zahtjeva za rješavanje ovih parcijalnih zadataka fizikalne jednadžbe¹⁴.

Katalozi su zbirke poznatih i isprobanih rješenja za određene konstrukcijske zadatke ili parcijalne funkcije. Mogu pružiti informacije raznovrsnog sadržaja i rješenja različitog stupnja konkretizacije, kao što su:

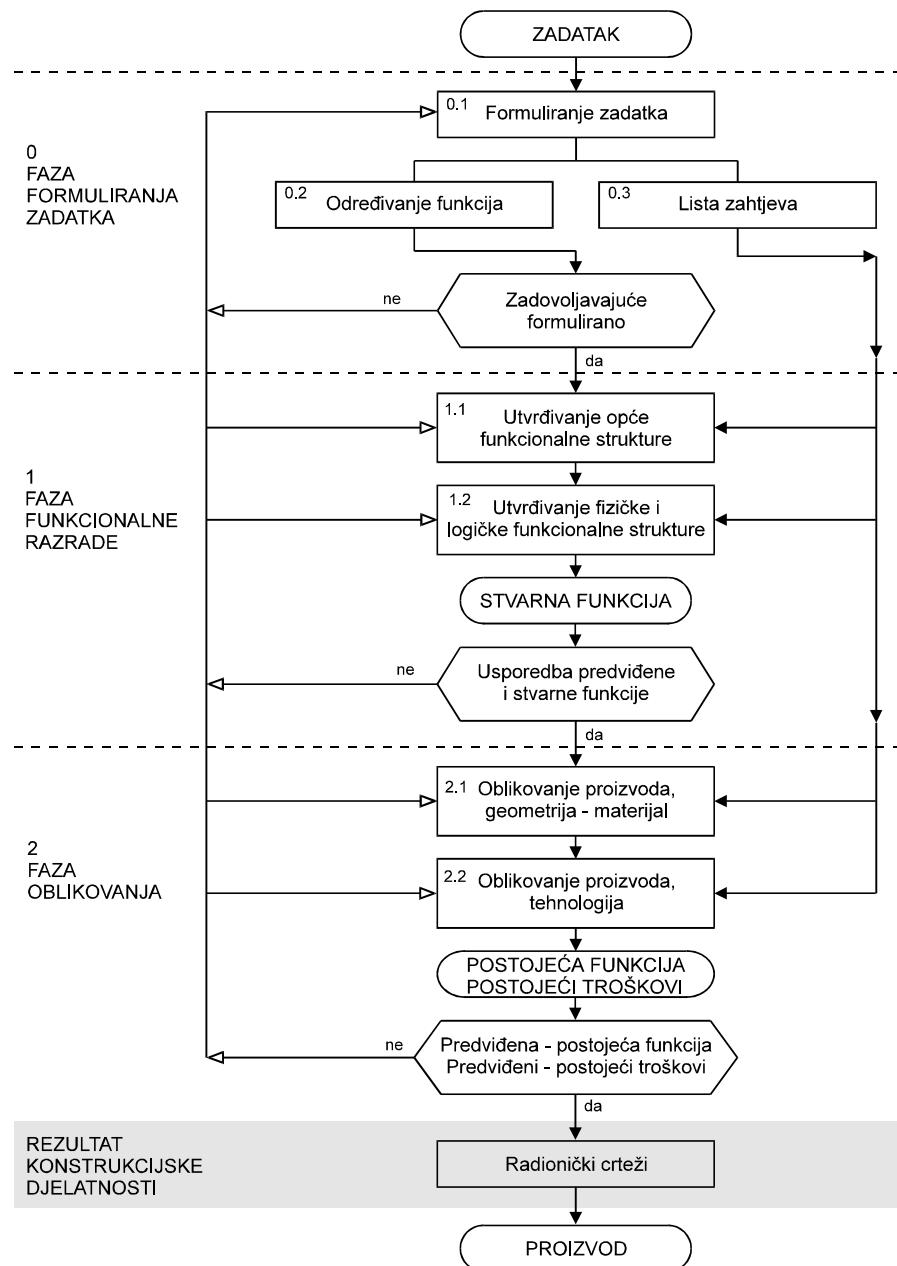
- akumulirani fizikalni efekti,
- principi rješenja,
- koncepcije rješenja za kompleksne zadatke,
- strojne dijelove,
- normirane dijelove,
- materijale,
- gotove dijelove itd.

¹² Što je jedna od bitnih razlikovnih značajki naznačenog pristupa u odnosu na anglosaksonske pristupe gdje je preslikavanje eksplícito istaknuto.

¹³ Odnosno, one koje materijal, energiju i informacije: povezuju, mijenjaju, akumuliraju, vode itd.

¹⁴ Potrebne fizikalne efekte za rješavanje problema, po mogućnosti, matematički formulirati.

Izvori navedenih informacija uglavnom su stručne knjige, priručnici, katalozi proizvođača, zbirke propisa, norme i sl. Osim podataka o samom objektu, neki od njih sadrže i prijedloge rješenja, podatke o postupcima proračuna, metodama rješavanja kao i posebna pravila konstruiranja.



Slika 2.6: Faze i radni koraci procesa konstruiranja [20]

Konstrukcijski katalog koristan je pri konstruiranju, jer bez potrebe pamćenja, najčešće u obliku tablice, akumulira potrebno znanje, a složen je na principima metodičkih postavki u okviru određenog stručnog područja, što je više moguće cjelovito i sistematski strukturirano. Katalog omogućuje usmjereno korištenje sadržajem, a sastoji se od podjele, glavnog dijela i načina korištenja.

Kako bi katalozi bili općevažeći i višestruko primjenjivi moraju ispunjavati sljedeće zahtjeve prema [20]:

- omogućiti brzo i lako dobivanje potrebnih informacija koje omogućuju lagano rukovanje, a imaju važnost za široko područje;
- biti prilagođeni tijeku procesa konstruiranja, uzimati u obzir pravila metodičkog konstruiranja i osigurati potpunost unutar postavljenih područja;
- omogućiti proširenja, promjene detalja i uočavanje kriterija podjele;
- upotrebljivost u klasičnim i računalnom tijeku procesa konstruiranja.

Konstrukcijski katalozi kao zbirke rješenja mogu se vrlo uspješno primijeniti pri konstruiranju, jer često koriste malo poznate znanstvene izvore, a radi racionalizacije tijeka konstrukcijskog procesa omogućuju i nove spoznaje. Naime, katalozi prije svega omogućuju i olakšavaju sintezu konstrukcije. Ovo se, između ostalog, temelji na tome da nakon potpuno sređenih gledišta ostaje malo parcijalnih funkcija koje nisu cijelovito riješene, a da se ne bi moglo složiti i oblikovati ukupno rješenje tehničkog problema. Čim su parcijalna rješenja elementarnija, tim su poznatija i isprobanija, pa je i njihov broj pri izboru rješenja za određenu funkciju manji. Stoga se pruža mogućnost da se elementarna rješenja koja se ponavljaju, sustavno skupljaju i na jednostavan način prikažu i opišu, pregledno u obliku kataloga.

Elementarna rješenja nisu u ovom slučaju ništa drugo nego osnovno združivanje funkcionalnih skupova prema potrebnim funkcijama, potrebne funkcije prema efektima, efekte prema strukturnim elementima i nosiocima efekta, strukture prema konkretnim elementima i konačno združivanje dijelova prema određenom načinu izrade (tablica 2.2).

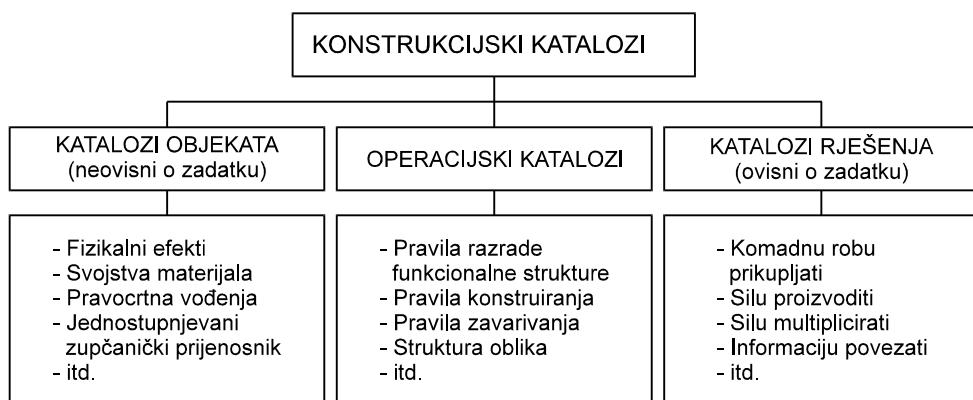
Tablica 2.2: Sredstva združenog djelovanja pri konstruiranju

ZDRUŽIVANJE PRI PRODUKCIJSKOJ KONKRETIZACIJI	KONSTRUKCIJSKE FAZE	POMOĆNA SREDSTVA ZA ZDRUŽIVANJE	
Zadatak Skup funkcija	Formuliranje zadatka	Upitnici Matrice traženja	Ostale zbirke rješenja
Potrebna funkcija Efekt	Funkcionalna faza		
Strukturni element Pojedinačni elementi	Projektno - tehnička faza		
Pojedinačni dijelovi Postupak izrade	Geometrijsko - materijalna faza		

Međutim, ako nismo sigurni da je odabранo pridruživanje ispravno ili ako nam izgleda nesigurno, pomažemo si upitnim listovima. Treba naglasiti da postoje katalozi za *planiranje proizvodnje*, *formulaciju zadatka* (zadatak, lista zahtjeva), *funkcionalnu fazu* (opća funkcionalna struktura, specijalna, vektorska, geometrijska i logička).

Podjela kataloga osniva se na formalnim stajalištima, tako da kataloge glede sadržaja dijelimo (slika 2.7) prema području primjene na:

- *kataloge objekata* - to su katalozi koji neovisno o zadatku sadrže osnovne fizikalne, geometrijske, materijalne i tehnološke prirodne konstrukcijske potrebe;
- *operacijske kataloge* - to su konstrukcijski katalozi koji sadrže operacije (postupke) interesantne za djelatnost metodičkog konstruiranja, te objedinjuju još i uvjete primjene kao i kriterije njihove uporabe;
- *kataloge rješenja* - to su konstrukcijski katalozi koji određenim zadacima pridružuju funkcije, određenim funkcijama efekte, efektima odgovarajuće nosioce efekta, a određenim nosiocima efekta odgovarajuće obrise dijelova, ovima opet postupke izrade pomoću kojih mogu biti proizvedeni. Tako da ti katalozi sadrže uvjete rješavanja zadatka u sklopu određenoga konstrukcijskog područja.



Slika 2.7: Podjela konstrukcijskih kataloga prema području primjene

Poseban utjecaj na konstruiranje pomoću kataloga pridaje se kriterijima na osnovu kojih su izvršena sređivanja. Oni utječu na rukovanje i brzi izbor informacija, a ravnaju se prema stupnju konkretizacije i kompleksnosti spremljenih rješenja, kao i prema konstrukcijskoj fazi za koju je predviđena uporaba kataloga. U fazi koncipiranja poželjno je podjelu izvesti prema funkcijama, jer koncepcijska faza polazi od parcijalnih funkcija. Obilježja ove podjele trebaju biti opće primjenljive funkcije, kako bi se zavisno od proizvoda, mogla dobiti prihvatljiva rješenja.

U rubrici stvarnih rješenja mogu prema stupnju konkretizacije i stupnju kompleksnosti kataloga biti dodane i fizikalne jednadžbe, principi rješenja u obliku principijelnih skica, konstrukcijski crteži, nazivi materijala, fotografije itd.

Veliku važnost na odabir rješenja moraju imati izborne značajke, pri tome značajke izbora mogu imati različita svojstva, kao npr. karakteristične dimenzije, utjecaj odnosno nastajanje smetnji, elastično ponašanje, broj elemenata itd. One služe konstruktoru za predizbor i ocjenu rješenja, a mogu kod kataloga pohranjenih u računalu služiti za izbor i vrednovanje.

Pored toga jedan od dalnjih zahtjeva za izradu kataloga je primjena jedinične i jednoznačne definicije i simbolike za prikaz informacije.

Dio teze ovog rada je, da se izložena koncepcija kataloga¹⁵ može računalno modelirati u obliku baze znanja, koja bi trebala biti koncipirana tako da se može koristiti u tijeku generiranja plana kao i provođenja konstrukcijskog procesa kroz sve njegove faze.

2.5 Konstruiranje kao rješavanje zadatka

Važan dio obilježja pri koncipiranju i strukturiranju "baze znanja" treba obaviti kroz analiziranje i razvrstavanje postupaka koje konstruktor koristi u tijeku rješavanja konstrukcijskog zadatka. Skladno cilju rada, nameću se glede toga sljedeća temeljna pitanja:

Kako konstruktor rješava zadatak, kako razmišlja, koje znanje i postupke koristi, kako konstruira?

Prije razrade tih pitanja navedimo samo neke postavke Ullmana [1], koji uz zaključak da ne postoji univerzalni "recept" rješavanja konstrukcijskog zadatka, navodi:

1. Jedini način da se nauči konstruiranje jest - konstruirati.
2. U tijeku rješavanja zadatka konstruktor upotrebljava tri vrste znanja:
 - znanje za generiranje ideja,
 - znanje za procjenu, prosuđivanje ideja,
 - znanje za strukturiranje procesa konstruiranja.

Sposobnost generiranja ideja dolazi s iskustvom, ali je potreban i talent. Za prosuđivanje ideja koristi se iskustveno znanje i znanje stečeno obrazovanjem. Znanje potrebno za generiranje i prosuđivanje (razmatranje) ideja ovisno je o domeni konstrukcijskog zadatka, dok je znanje o strukturiranju procesa konstruiranja većinom neovisno o domeni zadatka.

3. Konstruirati kvalitetne proizvode može se naučiti, pod uvjetom da postoje određene predispozicije uz dovoljno iskustva za generiranje i prosudbu ideja.
4. Konstruiranje treba učiti paralelno u akademskoj i industrijskoj okolini.

Što je proces konstruiranja?

Prema [2],[23] može se sažeti, proces konstruiranja je pretvorba postavljenih i opisanih zahtjeva i želja u konkretno oblikovano rješenje (tehničko-tehnološko) strojnog sustava. Drugim riječima potrebno je potpuno definirati i opisati strojni sustav (proizvod) koji će proizvoditi željene učinke i pri tome ispunjavati zahtijevana svojstva. Osim postavljenih zahtjeva potrebno je voditi računa i o ostalim aspektima tehničke i ekonomске naravi - npr. tehnički propisi, ekologija, tehnologičnost, troškovi, itd. - što vrijedi i za sam proizvod, i za njegovo funkcioniranje u životnom vijeku.

Stoga je poželjno razjasniti moguću dvomislenost, odnosno poistovjećivanje pojmove problema i zadatka. Pojam rješavanja problema trebalo bi vezati za situacije u kojima na početku nije poznata metodologija rješavanja. U procesu rješavanja zadatka metodologija je poznata, odnosno korištenjem poznatih metoda napreduje se od

¹⁵ Što se u okviru projekta 120-015 "Razvoj inteligentnog CAD sustava" i istražuje.

početnog stanja prema cilju, odnosno rješenju. Riješiti neki novi tehnički problem, zahtjeva prvo istraživanjem¹⁶ definirati metodologiju¹⁷, jer se način rješavanja (a često i sam uzrok problema) ne može odmah nazrijeti. U literaturi [1],[9],[24] većinom nema jasne distinkcije između procesa rješavanja zadatka i rješavanja problema - pretežno se to svodi na analizu i različita razvrstavanja konstrukcijskog procesa, obzirom na količinu poznatih početnih strukturnih komponenti i njihovih relacija u tehničkom sustavu kojeg treba definirati. Kako je cilj ovog rada klasifikacija i strukturiranje konstrukcijskog znanja u cilju podrške planiranja procesa konstruiranja, usmjeriti ćemo se na razmatranje procesa rješavanja zadatka jer su u procesu rješavanja problema dominantni intuitivni misaoni postupci koje je vrlo teško ili nemoguće algoritmizirati. Može se prepostaviti da pretežan dio djelatnosti većine konstruktora čini rješavanje zadataka, ali za temeljitu klasifikaciju konstrukcijskih znanja moraju biti sagledani i obrađeni točno usmjereni¹⁸ postupci razmišljanja.

Ovdje bi svakako trebalo napomenuti da se u praksi često javljaju situacije da zadatak, odnosno lista zahtjeva nisu točno ili potpuno definirani što može rezultirati nesporazumima i posljedično povećanim troškovima i rokovima. Za ilustraciju navesti ćemo strukturu definicije zadatka prema [8].

- definiranje ciljeva - ima prije svega strateški smisao, a daljnja razrada ima taktički smisao,
- opis problema na slobodniji način,
- navesti što su nužni zahtjevi, a što željeni,
- definiranje uvjeta za realizaciju zadatka uz provjeru da li su predviđeni uvjeti točni,
- razmatranje kakve su mogućnosti dalnjeg razvoja rješenja (da li se zadatak izvršava kao nešto konačno ili u prijelaznom obliku),
- definirati koja svojstva rješenje mora imati,
- definirati koja svojstva rješenje ne smije imati,
- raščišćavanje zadatka - provjera da li je sve jasno i potpuno, da li je nešto inkompatibilno.

Ako se zadatak definira u fazi nuđenja proizvoda, najčešće treba još uključiti i izradu predprojekta kao i izračunavanje cijene koštanja. Međutim, prema polazištu zahtjeva koji definiraju zadatak, zadaci se mogu razlučiti na:

- "interne" razvojne zadatke koji su potaknuti unutar samog proizvodnog okruženja - najčešće temeljem povratnih sprega u informacijskim tokovima,
- zadatke potaknute indirektnim zahtjevima tržišta - temeljem praćenja stanja tržišta i konkurenциje,
- zadatke potaknute direktnim zahtjevima tržišta odnosno narudžbom.

¹⁶ Koje je u velikom broju slučaja provedeno heuristički, odnosno intuicijom.

¹⁷ Što zahtjeva postavljanje prepostavke i njenu verifikaciju.

¹⁸ Diskurzivan način mišljenja egzistira pri svjesnom analiziranju i kombiniranju različitih ideja te se kreira određeni lanac, odnosno složena mreža misli.

2.5.1 Faze rješavanja konstrukcijskog zadatka

Zadatak koji se prenosi konstruktoru, je pored ostalog, rezultat izbora koji tim planera (rukovodioci, prodaja, razvoj, proizvodnja) određuje prema raznim kriterijima - tržiste, želje kupaca, troškovi, kapaciteti, rokovi, rizik, itd. Prema [9] proces konstruiranja može se podijeliti na faze od kojih prva počinju definiranjem zadatka, preko izrade liste zahtjeva.

Koncipiranje predstavlja onaj dio procesa konstruiranja pri kojem se nakon raščišćavanja svih zahtjeva vezanih za zadatak, traženjem i pronalaženjem odgovarajućih metoda i principa rješenja, utvrđuje principijelno rješenje zadatka. Pri tome se koristi fizikalnim principima u pronalaženju mogućih varijanti rješenja. Tako dobivena rješenja vrednuju se prema kriterijima danim u listi zahtjeva.

Projektiranje je faza procesa konstruiranja u kojoj se utvrđuje funkcionalno, strukturno i ekonomsko rješenje zadatka u takvom opsegu da je moguća daljnja konstrukcijska razrada. Definiranost projekta treba biti takva da se može izvršiti kalkulacija i izrada ponude. Projekt treba objediniti sve što sustav sadrži, ali bez detalja i odgovora na pitanje kako to treba izraditi. Pošto se iz projektnog rješenja odstrane slaba mjesta, pristupa se tehničkom i ekonomskom vrednovanju i nakon toga optimiranju projektnih detalja i izradi sklopnog projektnog crteža optimalnog rješenja.

Konstrukcijska razrada ima zadatak definirati informacije kako treba fizički izgledati gotov proizvod, odnosno kako treba proizvodno realizirati konstrukciju. U toj fazi detaljno se razrađuje sva potrebna tehnička i tehnološka dokumentacija za odabranu varijantu rješenja.

U procesu rješavanja zadatka konstruktor ne postavlja uvijek jasne granice između navedenih faza, a isto tako često može i naizmjence obavljati aktivnosti iz različitih faza. Određene vrste operacija, odnosno aktivnosti, mogu se na isti način odvijati u svim fazama. Iz tih razloga sustav strukture baze znanja treba pokušati modelirati na taj način da se može primijeniti u svim fazama procesa konstruiranja, odnosno sintaksa i elementi zapisa znanja ne smiju ovisiti o fazi procesa konstruiranja u kojoj se primjenjuju.

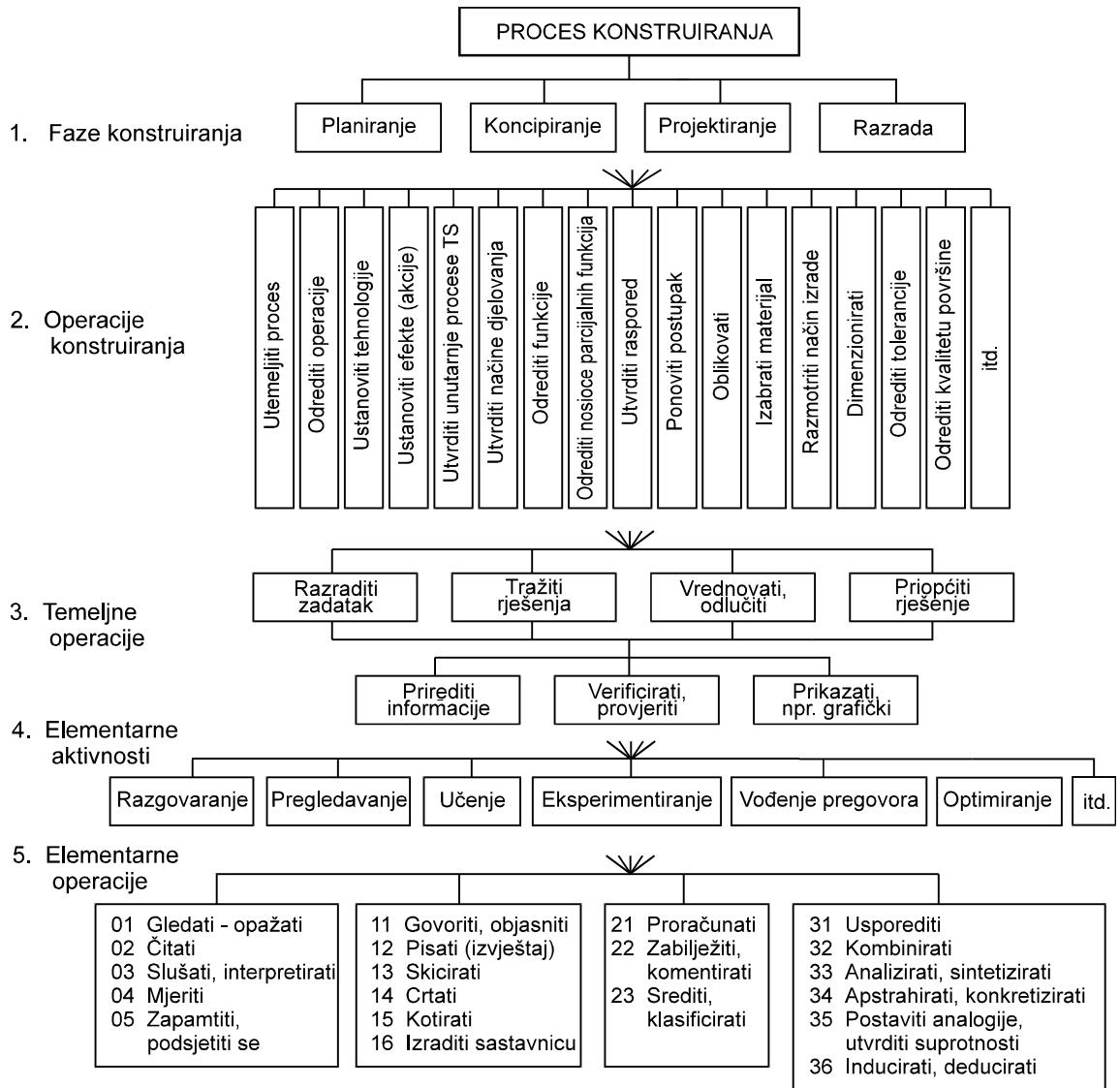
2.5.2 Struktura operacija u procesu konstruiranja

Svaki konstrukcijski proces može se raščlaniti na nekoliko kompleksnih faza, odnosno na operacije i korake. Struktura konstrukcijskog procesa može se prikazati kao niz strukturnih elemenata koji leže na različitim hijerarhijskim razinama. Pravila strukturiranja mogu poslužiti kao polazišta za upravljanje i vođenje, kao i planiranje konstrukcijskog procesa. Obzirom na temu i cilj ovog rada, posebno je interesantno razmotriti operacije koje konstruktor provodi u tijeku rješavanja zadatka. Prikaz strukture procesa konstruiranja u kojem su raščlanjene operacije i aktivnosti dan je prema [23], slika 2.8.

Prikaz strukture konstrukcijskog procesa može se promatrati na dva načina:

- kao hijerarhija kompleksnosti u aktivnostima konstrukcijskog procesa - gledano po vertikali, svi elementi (operacije) iz nižih nivoa sadržani su u svakom od elemenata u višim nivoima,

- kao grupe (blokovi) aktivnosti (glezano po horizontali) koji se ciklički ponavljaju do postizanja cilja.



Slika 2.8: Struktura mogućih aktivnosti u procesu konstruiranja [23]

Razmatranjem prikaza strukture operacija nameće se ideja o razvoju skupa programskih alata za podršku obavljanju onih operacija (između navedenih) koje se mogu algoritmizirati, a nisu (kao cjelina) podržane današnjim CAD sustavima. Naravno, takvi programski alati trebali bi omogućiti obavljanje operacija na poopćenom nivou apstrakcije, tj. neovisno o vrsti proizvoda i konstrukcijskog zadatka, uz mogućnost prilagodbe uvjetima okruženja u kojem se koriste. Razvoju takvih vrlo složenih programskih alata treba prethoditi razvoj integrirane programske okoline za modeliranje planiranja, praćenja i kontrole tijeka odvijanja akcija, odnosno skupa procedura koje obavljaju operacije [3]. Pri tome se može pretpostaviti da se poopćeni računalni model određene operacije može sastojati od niza programskih procedura - odnosno da se može graditi od elemenata sustava za podršku planiranja procesa konstruiranja.

Sa stanovišta računalnog modeliranja, elementi od kojih se gradi model određene operacije mogu biti bilo kakvi programi koji na bilo koji način izvode pretvorbu podskupa informacija o proizvodu. Na temelju prethodnih postavki može se zaključiti da pojam programske procedure (uz njenu funkciju i attribute) treba biti osnovni element odnosno entitet sustava za podršku planiranju i izvođenju konstrukcijskog procesa. Pri tome osnovna obilježja (svojstva kao objekta - entiteta) svake programske procedure trebaju biti njena funkcija, odnosno namjena, te skup ulaznih i izlaznih atributa. U dalnjem tekstu uvodi se stoga naziv "**akcijska funkcija**" za programsку proceduru kao entitet sustava za podršku planiranju i izvođenju konstrukcijskog procesa. Na temelju ovih razmatranja dalje će biti iznesen prijedlog jedne od mogućih koncepcija modeliranja podrške planiranju i izvođenju konstrukcijskog procesa pomoću računala.

Modeliranje poopćenih operacija može se realizirati uzastopnim pozivanjem niza akcijskih funkcija. Upotrebom postojećih programskih procedura (kao akcijskih funkcija) ili razvojem novih, uz osiguranje integralnog sučelja za prijenos podataka između procedura, može se modelirati računalna podrška izvođenju određene konkretne operacije, koja vrijedi za određeni zadatak ili klasu zadataka, odnosno konstrukciju, i to u uvjetima okruženja u kojem se odvija konkretan konstrukcijski proces.

Konstrukcijske operacije (na razini 2 prema slici 2.8) općenito sadrže u sebi sve temeljne operacije s razine 3 i nižih razina 4 i 5. One operacije i aktivnosti sa nižih razina koje se mogu algoritmizirati odnosno podržati računalom na bilo koji način, mogu se računalno modelirati izvođenjem jedne ili niza od nekoliko akcijskih funkcija. Kao akcijske funkcije mogle bi se dakle koristiti sve vrste komercijalnih ili aplikativnih programa koji se koriste u okruženju izvođenja konstrukcijskog procesa.

Naravno, uvjek je potrebno odrediti i redoslijed izvođenja akcijskih funkcija - što je zapravo definicija plana [27]. Cilj procesa rješavanja zadataka je definiranje kompletne konstrukcije odnosno skupa svih informacija o proizvodu. Svaki složeniji zadatak može se razložiti na više podzadataka, od kojih će svaki imati svoj parcijalni cilj. To znači da se za svaki podzadatak može postaviti redoslijed, odnosno plan izvođenja akcijskih funkcija čije će izvođenje rezultirati pretvorbom početnog stanja određenog podskupa informacija o proizvodu u željeno stanje. Drugim riječima može se postaviti hijerarhija planova i podplanova koji čine ukupnu strukturu konstrukcijskog zadataka.

Za modeliranje računalne podrške planiranju nije nužno uvjek postavljati kompletan plan rješavanja zadataka na najvišem nivou apstrakcije, jer taj nivo kontrole može preuzeti sam konstruktor na način da određuje redoslijed izvođenja planova (odnosno podplanova) koji mu služe kao podrška u procesu rješavanja podzadataka. Način strukturiranja hijerarhije planova i podplanova bitno ovisi o složenosti konstrukcijskog zadataka, znanju i iskustvu konstruktora kao i o raspoloživim programskim alatima (u konkretnom okruženju) koji se mogu koristiti kao akcijske funkcije. Ovdje se pretpostavlja da konstruktor sam treba modelirati podršku (planove) za rješavanje nekog zadataka ili klase zadataka iz svog djelokruga. Da bi to mogao efikasno napraviti mora imati na raspolaganju integriranu programsku okolinu koja treba sadržavati sljedeće elemente:

- definiranu sintaksu plana,

- skup akcijskih funkcija odnosno programa koje će koristiti u tijeku rješavanja zadatka, sa definicijama namjene, te skupova ulaznih i izlaznih podataka,
- programski alat za generiranje planova,
- programski alat za upravljanje izvođenjem plana,
- fleksibilnu bazu znanja,
- skup sučelja i programske alata za prijenos podataka između dijelova sustava,
- skup sučelja i programske alata za komunikaciju konstruktora i računala.

U radu je razmotrena potreba uključivanja i drugih elemenata pri osnivanju baze znanja uzimajući u obzir značajke procesa konstruiranja, (poglavlje 6.).

2.5.3 Ograničenja i odluke u procesu konstruiranja

Proces napredovanja od početne specifikacije (definicije zadatka ili problema) do rješenja, odnosno kompletног skupa informacija o željenom proizvodu može se promatrati kao niz koraka u kojima se izmjenjuju procesi obrade informacija i donošenja odluka. Svaki od koraka može se naznačiti nekom odlukom koja na bilo koji način mijenja stanje unutar skupa informacija o proizvodu. Skup informacija o proizvodu čine svi generirani crteži, modeli, analize, bilješke i prikupljeno znanje tijekom procesa konstruiranja.

Prema [1] mogu se razlučiti dva različita gledišta o tome kako proces konstruiranja napreduje po koracima, odnosno od nekog određenog stanja do sljedećeg u nizu.

Po jednom pristupu, opis proizvoda (konstrukcija) evoluira tijekom kontinuiranog (cikličkog) procesa usporedbe između trenutnog stanja definiranosti skupa informacija o proizvodu i **cilja**, tj. skupa zahtjeva na konstrukciju definiranih konstrukcijskim zadatkom. Takav pristup implicira točno poznavanje svih zahtjeva na početku rješavanja zadatka kako bi se jasno mogla definirati razlika u odnosu na trenutno stanje definiranosti konstrukcije. Razlika tih dvaju stanja tada kontrolira proces konstruiranja. Međutim, za većinu konstrukcijskih zadataka i/ili problema, takav pristup je previše jednostavan, jer u početku procesa nisu svi zahtjevi precizno definirani, odnosno mogu se u tijeku procesa modificirati, pa ciljno stanje konstrukcije ne može na početku biti potpuno poznato.

Po drugom pristupu, na početku rješavanja zahtjevi na konstrukciju ograničavaju skup mogućih rješenja na podskup svih mogućih rješenja. Kako proces konstruiranja napreduje, nova ograničenja se dodaju da bi dalje reducirala moguća rješenja, koja se kontinuirano eliminiraju do jednog konačnog rješenja. Drugim riječima, konstruiranje je sukcesivno razvijanje i primjena ograničenja dok ne preostane samo jedno rješenje.

Ograničenja koja se oblikuju u tijeku procesa konstruiranja proizlaze iz općeg stručnog znanja konstruktora, kao i znanja vezanog za domenu rješavanja zadatka. Kako svaki konstruktor raspolaze s različitim znanjem, primjenjivati će i različita ograničenja, pa će svaki riješiti zadatak na svoj, jedinstveni način.

Drugi tip ograničenja koja se primjenjuju u tijeku konstrukcijskog procesa proizlazi iz odluka koje se donose u procesu konstruiranja. Odluke definiraju ograničenja i na taj način mogu utjecati na slijedeće odluke u dalnjem tijeku procesa. Može se reći da se većina ograničenja temelji na rezultatima konstrukcijskih odluka. Zbog toga je jedna od esencijalnih osobina konstruktora sposobnost donošenja odluka, ali na temelju dobro razrađenih kriterija i u trenutku kad raspolaže s dovoljnom količinom informacija.

Na osnovu prethodnih razmatranja može se uočiti nekoliko osnovnih entiteta (objekata) u promatranju proceduralne prirode konstrukcijskog procesa: operacije, odnosno akcije, ograničenja, odluke i ciljevi. Jedan od mogućih načina modeliranja tijeka odvijanja je u obliku niza akcija (operacija) koje se izvode planiranim redoslijedom, uz definiranu strukturu plana. Izvođenje svake operacije u pravilu mijenja stanje unutar skupa informacija o proizvodu koji se konstruira, pa nakon izvođenja akcije treba provjeriti definirana ograničenja i donijeti odluke o dalnjem tijeku procesa. Pri tome se redoslijed izvođenja treba usmjeravati ka postizanju unaprijed definiranog cilja koji može biti krajnje rješenje zadatka ili jedno od parcijalnih rješenja.

3. TEORIJA TEHNIČKIH SUSTAVA

Teorija sustava kao interdisciplinarna znanstvena disciplina omogućuje primjenu metoda i postupaka za analizu, planiranje i izbor optimalnog rješenja kompleksnog sustava. Stoga se u ovom poglavlju obrađuju teorijske osnove i postavke sustava na kojima se moraju osnivati glavne faze svake razvojne djelatnosti. Posebna pažnja posvetiti će se tehničkim sustavima i njihovom oblikovanju, te strukturiranju znanja u prikladnoj formi za modeliranje konstrukcije. Teorijom tehničkih sustava deskriptivno se definiraju metode koje određuju transformacijske procese tijekom životnog vijeka tehničkih sustava (TS).

3.1 Uvodna razmatranja

Pojedina područja znanosti o konstruiranju [25] trebala bi opisati, objasniti i opravdati svrhu i zadatak konstruiranja sa svih točaka gledišta važnih za proces konstruiranja. Tako *predočene teoretske konstatacije* prvenstveno imaju utjecaj na transformaciju i efekte tehničkog sustava: na operative, način djelovanja (unutarnje operacije tehničkog sustava), strukturne komponente (građu) i konstrukcijske elemente (strojne dijelove), na njihove karakteristike, uz različite mogućnosti modeliranja tehničkog sustava, ali također i na njihovo stvaranje i razvoj. Važnost i značenje svih tih termina biti će prikazana kroz izlaganje u ovom poglavlju.

Stručna literatura, ovog znanstvenog područja, koja obuhvaća različite tehničke discipline može se podijeliti u tri karakteristične grupe [23], prema obilježjima:

- *teorije primjenjene na strojeve* naučno analiziraju zakone transformacije unutar stroja (tehničkog sustava) i također neka sredstva i stanja za njihovu realizaciju.
- *opći opisi strojeva* predstavljaju dostupne opise strojeva i njihovih familija pokušavajući prikazati njihovu svrhu i namjenu. Prikazani su kao različite vrste i klase konstrukcija, te kao različiti putovi gradnje i posebne izvedbene cjeline.

- rješenja "know-how" prikazuju znanje o različitim područjima tehničkog sustava. Korisniku nije potrebno neko prethodno specijalističko ("duboko") znanje, već je sve ovdje prikazano na jednostavan i razumljiv način, s ciljem iznalaženja praktičnog rješenja konkretnog problema.

Za nas je zanimljivo koji od gore navedenih razreda je pogodan za uporabu kao sistemsko znanje pri konstruiranju. Posebno je važno izdvojiti, označavanje i prikupljanje teorijskih znanja koja se primjenjuju u gradnji strojeva (korisna u analizi tehničkih problema), kao prioritetnu obvezu i posao konstruktora, ali to ne smije spriječiti ulazak stručnjaka iz drugih područja u projektну realizaciju. Djelomično, opće tehničke diskusije o različitim uređajima i strojevima mogu rezultirati značajnim stručnim informacijama za konstruiranje, posebno zbog raznolikosti konstrukcijskih vrsta, a često i vrlo dobro oblikovanih konstrukcijskih rješenja.

Prema gore izloženom, možemo tvrditi da postojeća dostupna sistemska znanja (posebno knjige), u vezi konstruiranja (procesa i tehničkih sustava), većinom obrađuju usko specijalizirana područja tehničkih znanosti, asocirajući nas na mogući plan rješenja problema koji se može lako percipirati.

Gradnja apstraktnih sustava započinje s teorijom strojeva i mehanizama od Artobolevskog [28],[29], koja se bazira na radovima Willisa, Chebycheva i Reuleauxa nastali u drugoj polovici 19. stoljeća. Od tog vremena teorija strojeva i mehanizama razvija se kroz tri karakteristična područja:

- sinteza mehanizama,
- dinamika strojeva,
- teorija automata.

Iz gore nabrojanih podjela kao i njihova sadržaja vidljivo je da teorija daje potrebno stručno znanje i informacije u fragmentima, jer se odnosi samo na probleme iz uske domene. Autori ističu, bez sumnje, da kinematika i veze među strojnim elementima predstavljaju glavni problem tehnike, kao što s vremenom i općim razvojem problem prelazi na dinamiku i automatizaciju. Međutim, oni ne daju odgovore na složenije konstrukcijske probleme, jer ustvari te strojarske discipline ne pripadaju direktno znanosti o konstruiranju, već se priklanjaju tehničkim znanostima. Iako granice između te dvije znanstvene grane, znanosti o konstruiranju i tehničke znanosti nisu potpuno oštro razlučene, opseg problema ukazuje na kompleksnost građe obuhvaćene konstruiranjem.

Sadržaj opće teorije strojeva bio bi nepotpun ako ne istaknemo neke pokušaje u pravcu temeljitog i cjelovitog promišljanja "stroja", ali ih u ovom radu nećemo detaljnije izlagati, već ćemo se isključivo zadržati na teoriji sustava. Naime, karakteristične su tri činjenice u cjelovitom sagledavanju opće teorije strojeva:

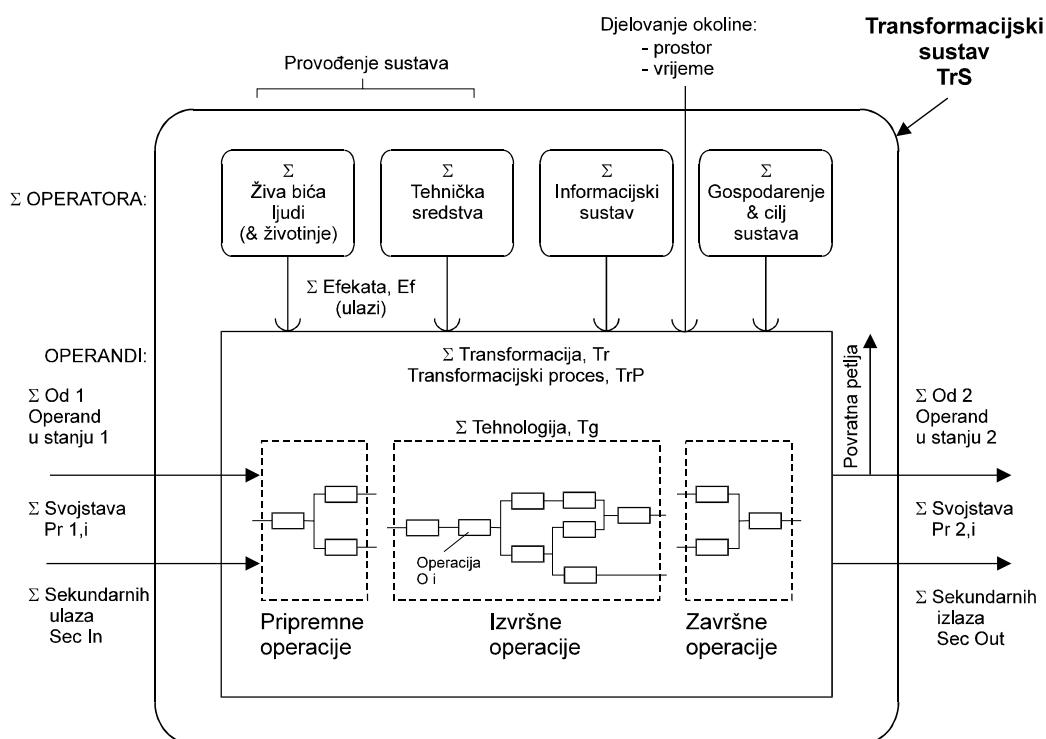
- veza s kibernetikom, a posebno s teorijom sustava,
- pokušaj stvaranja novih termina za "apstraktni stroj",
- kreiranje konstrukcijskih kombinacija.

U svojim prikazima, gore spomenuta teorija strojeva, ograničila se na terminologiju, osnovnu sistematizaciju glavnih ideja, te prikazivanje i modeliranje sustava¹.

3.2 Zadatak tehničkog sustava

Svrha i zadaci tehničkog sustava vidljivi su iz "modela transformacije sustava" (slika 3.1), gdje su definirani osnovni termini polazeći od sljedećih premsa:

1. Šire društvene potrebe zadovoljene su određenim stanjem osoba, stvari, energije, i informacija (unutar danog okoliša);
2. Željeno stanje nije odmah dostupno i postiže se transformacijskim procesima iz postojećih (početnih) stanja. Naš život obilježen je bezbrojnim transformacijama.



Slika 3.1: Opći model transformacije sustava

Te transformacije imaju svoje mjesto u velikom broju transformacijskih procesa². Takvi transformacijski procesi mogu biti "razbijeni" i razlagani do **operacija**, tako da njihova daljnja podjela niti je moguća, niti je korisna. Operacije mogu napredovati u sekvencama (serijski) ili simultano (paralelno), te sa svojim različitim vezama oblikuju strukturu procesa. Izlazne operacije (ili grupe operacija) su u isto vrijeme ulazi sljedećih operacija, a materija i energija u procesu transformacije podložni su zakonu o održanju. Iz te uređenosti izdvaja se nekoliko tipova transformacijskih operacija (ili grupa operacija):

¹ Uključujući algebarske i topološke modele.

² Koji su često komplikirani i veoma složeni.

a) radne sekvence:

- pripremanje (priprema faza),
- izvršenje (izvršna faza),
- dovršenje (završna faza);

b) uz radne procese (zahtjevana glavna transformacija):

- regulacijske i kontrolne operacije,
- pomoćne operacije,
- propulzivne operacije,
- vezne i sporedne operacije.

Kao što je predočeno na slici 3.1 tehnički sustavi oblikuju odnose među operatorima transformacija u spremi s ljudima, tehničkim sredstvima, informacijama u sustavu, gospodarstvom i okolišem. U skladu s našim načinom modeliranja i sposobnosti oblikovanja, da bi postigli željenu transformaciju, koristimo operative izvan tehničkog sustava. Kao efikasan dio sustava transformacije pri oblikovanju, tehnički sustav djeluje na operative u smislu izbora potrebne tehnologije izrade, oslobađajući tako potrebne efekte za postizanje određene pretvorbe.

Svaki tehnički sustav stoga ima zadatak da realizira zahtjevane zadaće (kao izlaze) u zadanim vremenima, i u danim okolnostima, s dovoljnim smanjenjem osjetljivosti prema drugim ulazima (smetnje) i s jednim prihvativim minimumom drugih izlaza. Taj pogled, da se tehnički sustav promatra kao spremnik efekata, donosi nove bitne prednosti za modeliranje i konstruiranje.

3.3 Način djelovanja i struktura tehničkog sustava

Kod tehničkog sustava, stoga sigurno računamo s ponašanjem koje je u skladu sa svim očekivanim efektima: gibanja, zaštite, grijanja itd. Upotrebom određenih nužnih *prirodnih procesa*, koji se obavljaju unutar tehničkog sustava, izvodi se transformacija efekata prema zadanim zahtjevima.

Efekti su izlazi prirodnih procesa³, a procesi daju objektima tehničkog sustava cjelinu i jedinstvenost, te određuju principe njihove organizacije. Efekti mogu biti ostvareni različitim prirodnim procesima, npr. toplina, ne samo kroz transformaciju iz električne energije (elektroprocesi), već i izgaranjem ugljena ili plina (kemijski procesi), ili kroz biološke procese. Isti efekt (izlazna funkcija) može biti realiziran na više različitih načina, što nazivamo *način djelovanja* tehničkog sustava. Svaki način djelovanja zahtjeva određenu strukturu koja garantira potrebne unutarnje transformacije. Prema tim organizacijskim principima (konstrukcijski principi), za nekoliko vrsta razvijenih struktura konstrukcije, moraju se postići isti funkcionalni izlazi.

Još jednom vidimo da veza između funkcije i strukture predstavlja centralni problem tehničkog znanja. Konstruktori definiraju način djelovanja i principe organizacije, stoga

³ Kao što je npr. grijanje - transformacija električne energije u toplinu.

oni odlučuju i o strukturi sustava. Iz tog razloga, znanost o konstruiranju mora osigurati potrebno znanje u prikladnoj formi za konstruiranje s posebnim naglaskom na njegovo strukturiranje i sadržaj. U konstrukcijskim procesima ti efekti smatraju se **ciljevima**, a strukture **sredstvima** za ostvarenje cilja.

Povezano sa strukturu treba razjasniti sljedeće pitanje: *Koje vrste struktura tehničkog sustava možemo razlikovati?* Iz prethodno izloženog mogu se naslutiti sljedeće strukture:

- *struktura procesa* - koji transformacijski procesi imaju mjesto *unutar* tehničkog sustava; elementi strukture su unutarnji procesi TS,
- *funkcionalna struktura* - koje unutarnje sposobnosti ima TS (koristi te sposobnosti kada stvarno radi); elementi strukture su funkcije,
- *organska struktura* - kako radni smještaj implementira sposobnosti; elementi strukture su organske grupe i/ili organi kao nosioci funkcija,
- *strukturne komponente* (morfološka ili strukturalna građa) - koji fizički (materijalni) dijelovi implementiraju organe; elementi strukture su ugradbene grupe, komponente (strojni dijelovi).

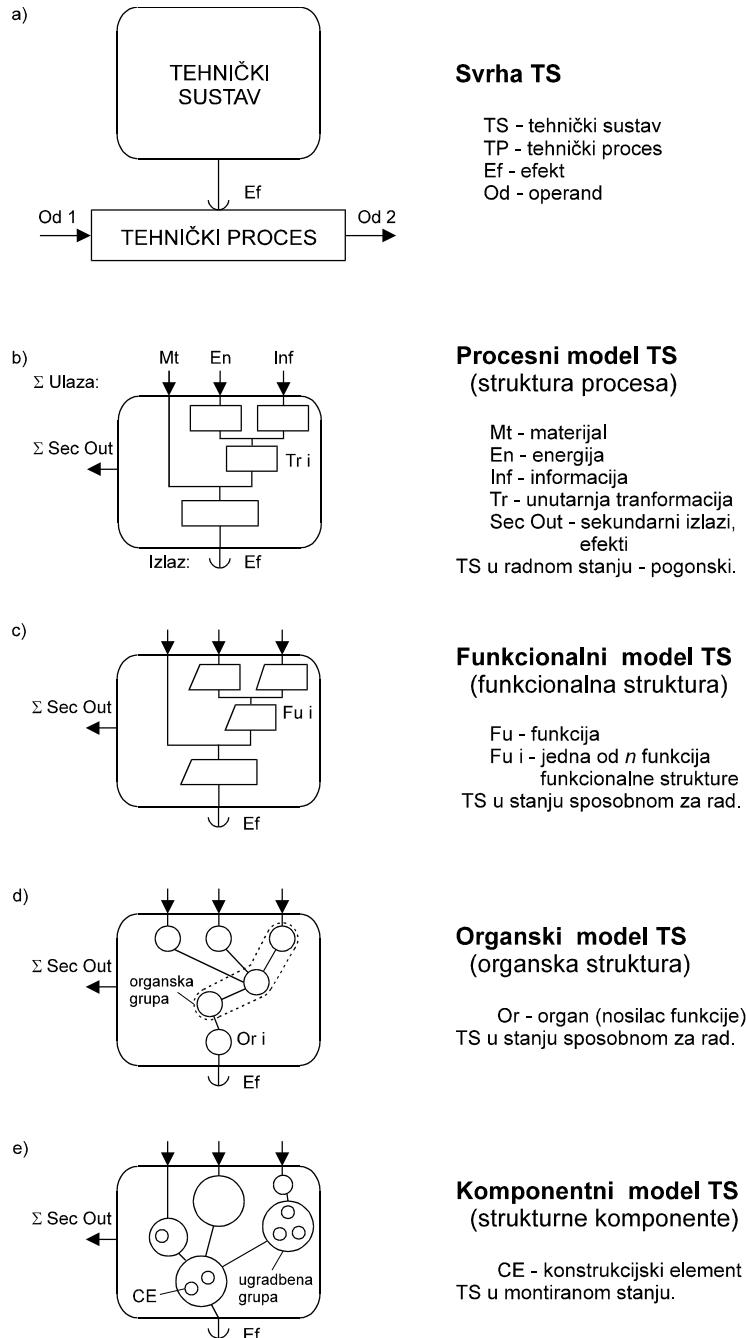
Te četiri strukturne grupe važne su za predstavljanje svakog tehničkog sustava. Strukture, sa stanovišta stvaranja tehničkog sustava, su u isto vrijeme karakteristike nastajanja pojedinačne etape razvoja, tj. stanja (postojanja) tehničkog sustava, naročito za vrijeme konstruiranja.

Postoje odnosi između ta četiri tipa strukture, kao što je normalna koincidencija između unutarnjih procesa TS i funkcija (sposobnosti) TS. Funkcije mogu biti složene ili pojedinačne, po želji. Više ili manje složene funkcije (kao cilj) mogu biti realizirane od jednog ili više organa, jer više različitih organa može zadovoljiti tu funkciju. Svaki organ (nosilac funkcije) obično je realiziran s više dijelova, odnosno od nekoliko fizičkih komponenti.

Sva ta stanja tehničkog sustava koja prate tijek od konstrukcijskog zadatka do realizacije TS (veza *cilj - sredstvo*), su predstavljene na slici 3.2 kao korespondencija TS-modela. Taj tijek, obično je opisan kao postupak pretvorbe od apstraktnog do konkretnog, koja predočava prirodu procesa u vrlo grubim crtama, i nije dostatna kao uputa (instrukcija) za konstruiranje.

Ako pokušamo pronaći vezu znanosti o konstruiranju spram drugim znanstvenim područjima, onda se ovdje moramo obavezno obratiti morfološkim metodama. Naime, morfologija je nauka koja se bavi proučavanjem oblika, rasporeda, obilježja, principa organizacije, naročito živih bića, ali i drugih sustava općenito⁴. Ona, također djelomično oblikuje biološka područja, kroz poznavanje okruženja konstrukcije (figura, oblik, organizacija), strojeva i njihovih dijelova u svrhu daljnog razvoja. Morfologija tehničkih sustava (slijedeći Zwicky-ja [30]) mora biti integralni element znanosti o konstruiranju.

⁴ Npr. povjesnih, društvenih i tehničkih fenomena i objekata.



Slika 3.2: Model tehničkog sustava

3.4 Svrstavanje tehničkog sustava

Pod svrstavanjem tehničkog sustava podrazumijeva se grupiranje sustava po klasama prema različitim tehničko-tehnološkim značajkama i svojstvima.

Zahtjevi za svrstavanje:

- treba biti sačinjeno potpuno svrstavanje sustava,
- svako svrstavanje mora obuhvatiti - redanje principa (stvarajući uređeni niz),

- c) pojedinačni razredi (procjene) moraju biti međusobno isključeni,
- d) podjela mora biti kontinuirana, prekide i razmake treba izbjegavati što je više moguće.

Kod klasifikacije se treba koristiti povećanom sličnosti elemenata i njihovom jasnom međusobnom povezanošću kao i transferom znanja o tim elementima. Sistematisacija i klasifikacija su važne djelatnosti svake znanosti. Sveobuhvatnu klasifikaciju tehničkog sustava, u svrhu porasta iskoristivosti, posebno je bitno provesti u metodologiji konstruiranja ili u eksperternim sustavima, kao npr. katalog konstruiranja [20].

Brojne su i raznolike mogućnosti klasifikacije tehničkih sustava, posebno zbog velikog broja dostupnih obilježja, svojstava i karakteristika sustava. Tako na primjer klase mogu biti određene s obzirom na funkciju, kompleksnost, princip djelovanja, stupanj apstrakcije, strukturalna obilježja, originalnost itd., ali također i za obim proizvodnje ili vrstu reciklaže.

3.5 Svojstva tehničkog sustava

Svojstva (atributi) tehničkog sustava su sva obilježja koja stvarno pripadaju objektu⁵. Vrijednost svojstva predstavlja mjerljivost osobine (veličina, stanje, oblik ideje) u konkretnim slučajevima. Vrijednosti mogu biti prikazane kvantitativno (u mjernim jedinicama) ili samo kvalitativno (veliko, malo).

Skala vrijednosti formira slijed kontinuiranih ili diskretno određenih vrijednosti. Kontinuirane mjerne skale mogu biti absolutne s određenom nultočkom, ili relativne, s pomičnom nultočkom, ili nijedna od njih. Postojanje skala s određenim veličinama postavlja zahtjev za kvantitativne izvještaje. Neka *ukupna vrijednost*, sastavljena je od više parcijalnih vrijednosti kako bi se olakšala sveobuhvatna prosudba svojstava (kao npr. uporabna vrijednost).

Jedan od najvažnijih dijelova teorije tehničkih sustava je **teorija svojstava**. Svaki tehnički sustav je izgrađen samo zbog određenih zahtjevanih, upotrebljivih i korisnih svojstava⁶ (uključujući i ponašanje). Dodatni su zahtjevi da ima i zadovoljavajuću pojavu i oblik, da zadovolji tehničke propise i standarde, te da posjeduje i seriju drugih svojstava. Zadaća da se stvori kompletna i opća lista svih svojstava je stara, ali nije je lako zadovoljiti. Neki pokušaji stvaranja takvih lista su poznati, ali nisu bili baš previše uspješni (vidi npr. VDI R2225). Jedna od procjena sugerirala je nekoliko stotina točaka na listi. Tako veliki broj pojedinosti predstavlja bi nepraktičnu rang listu, koja nije upotrebljiva za konstruiranje. Pravi put, za postizanje cilja, leži u čistom ispitivanju cjelovitog i općeg skupa *različitih svojstava*. Te vrste kao i podvrste onda mogu biti konkretizirane za pojedinačne problemske domene.

Ove vrste svojstava mogu biti određene, počevši od samog modela transformacijskog procesa. Svaki proces u životnom vijeku tehničkog sustava je tijek transformacija

⁵ Objekt sadrži to svojstvo; to je osobno svojstvo objekta.

⁶ Na primjer općenito; uređeni sustav čeličnih profila koji oblikuju most za prijelaz preko rijeke.

vođenih od operatora, slika 3.1. Stoga, bi tehnički sustav trebao posjedovati svojstva koja omogućuju da bude prikladan za svakog operatora u bilo kojoj svojoj životnoj fazi.

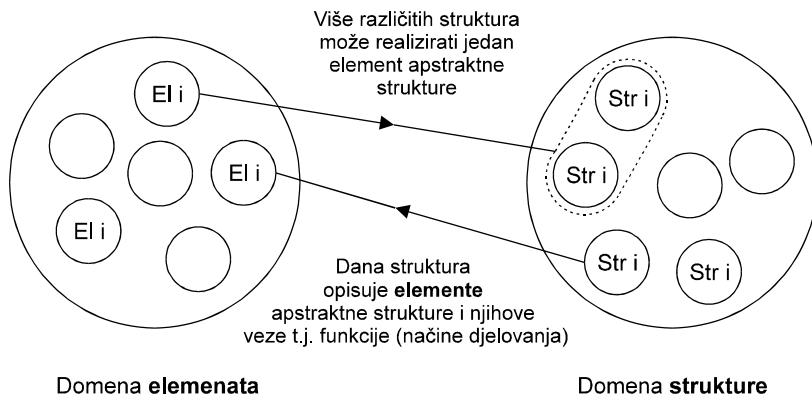
Teorija predočava i objašnjava da svaki tehnički sustav nosi sve vrste svojstava (slika 3.3), posebno ona koja čine taj sustav pogodnim za njegovu svrhu. Uočavamo i pravimo razliku između unutarnjih i vanjskih svojstava sustava. Realizirani tehnički sustav posjeduje sva svojstva, bilo da su ona svjesno planirana ili se o njima nije vodilo računa.



Slika 3.3: Odnosi među osobinama unutar tehničkog sustava

Ta svojstva (kao npr. ispunjenje potreba, potražnja, zahtjevi i ograničenja) moraju biti određena konstruiranjem. Kako je to moguće? Osnovno i važno znanje skriveno je u obostranoj i uzročnoj povezanosti između svojstava. Naime, vrijednost kakvoće unutarnjih konstrukcijskih svojstava, kreira i oblikuje kakvoću vanjskih svojstava sustava (slika 3.3). Kao posljedica te povezanosti konstruiranje se može promatrati kao **traženje prikladnih konstrukcijskih svojstava**. Prije svega, moraju biti utvrđena svojstva **"strukture"**, što je vidljivo usporedbom slika 3.1 i 3.2). Ponašanje tehničkog sustava (uključujući performanse) određeno je konkretnom strukturu TS. Svi sustavi s identičnom strukturu posjeduju istu vrstu elemenata apstraktnije strukture, a pojedinačno ponašanje generalizirano je strukturnim elementima. Povezanost

(preslikavanje) **funkcija - struktura** (češći termin je *element - struktura*) predstavljen je na slici 3.4, i puno puta se ponavlja. Način rada TS isključivo ne određuje strukturu, stoga ponašanje (funkcija i/ili funkcionalna struktura) može biti realizirano s nekoliko različitih organa ili strukturnih komponenti. Općenito gledano, to vrijedi za svaki element apstraktnije strukture u vezi s njegovom konkretnijom strukturu, stoga isto tako i za varijante u pojedinim konstrukcijskim svojstvima unutar strukturnih komponenti. Ta veza osnova je **zakona oblikovanja varijanti**.



Slika 3.4: Preslikavanja funkcija - struktura

Karakteristična svojstva mogu se ujediniti u četiri kolektivna razreda, slika 3.3 :

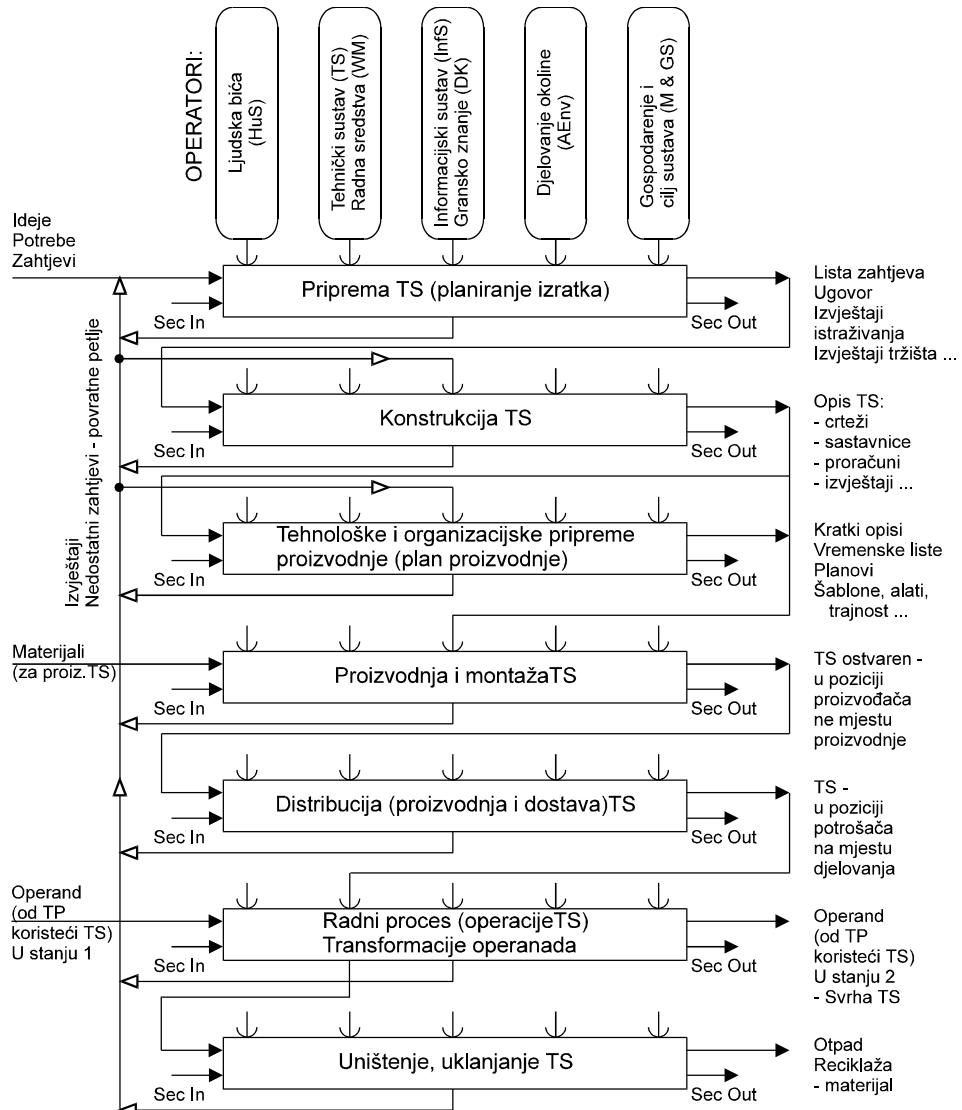
- razredi koji se odnose na svrhu TS, na životni vijek u fazi uporabe (eksploatacija) TS, (svojstva 1 do 2),
- razredi koji direktno prekrivaju druge životne faze (svojstva 3 do 7),
- razredi koji se odnose na humanost i društvo (svojstva 8 do 11),
- konstrukcijski povezani razredi (unutarnja svojstva 12).

Slika 3.3, pokazuje svih dvanaest razreda osobina, kao i primjere svojstava sadržanih u njima. Granice između tih svojstava nisu striktno određene, svaka osobina može utjecati na jedan ili nekoliko razreda. Bilo koji razred svojstava, zajedno s njegovim dijagonalnim redom veza s drugim razredima, predstavlja sumu znanja koja omogućavaju oblikovanje za tu osobinu⁷. Tako da jedan inicijalni utjecaj djeluje i na proizvođača proizvoda, a neki se utjecaji javljaju i na kupca u distribucijskom procesu. Zatim, osjeća se utjecaj korisnika čak i za vrijeme provođenja radnog procesa. Osim toga, ljudi koji nisu direktno povezani s proizvodom, promatrači kao dijelovi okoline, također mogu doći pod njegov utjecaj.

Elementi s kojim TS proizvodi transformaciju mogu biti ponovo uočeni iz modela transformacijskog sustava jer su pojedinačne životne faze također transformacije. Svi elementi individualnih transformacija su važni za kvalitetu proizvoda i moraju biti sadržani u konstrukcijskom procesu.

⁷ Na primjer, osobina sustava "ljepota" (dio je estetskih svojstava) ili sigurnost (dio je operacijskih svojstava) direktno utječu na operatora "čovjeka".

Upotrebljavajući transformacijski model kao uzorak - nastajanje, razvoj i život tehničkog sustava može biti predstavljen kao sustav transformacija, prikazano na slici 3.5.



Slika 3.5: Životni vijek tehničkog sustava

Međutim, aktualna svojstva izabrane strukture manifestiraju se kao mjerljive veličine ili procjenljive kvalitete jedino u pojedinačnim životnim fazama tehničkog sustava. Štoviše, konstruktor mora utvrditi ta svojstva dok konstruira, unaprijed što prije je moguće, točno i pouzdano, i usporediti pretpostavljene vrijednosti s potrebama, potražnjom, zahtjevima i s obvezama, slika 3.3.

To neophodno "kvalitetno" znanje, o povezanosti između bitnih svojstava, njihovih veličina i vrijednosti, treba biti utvrđeno konstruiranjem (unutarnja svojstva, razred 12), kao i traženim svojstvima za proizvod (vanjska svojstva, razredi 1 do 11). Na primjer, "ljepota" kao skladna vanjština proizvoda, ili "sigurnost" kao zaštita od opasnih elemenata i ponašanja, moraju biti "ukonstruirani" određivanjem oblika, površinske

obrade, točnosti i drugih konstrukcijskih osobina stvarnih komponenti. To tehničko znanje dijelom direktno počiva na zakonima znanosti i struke, statističkim istraživanjima, ili vrlo često samo na iskustvu konstruktora i njegovih konzultanata (uključujući baze znanja ili ekspertne sustave).

3.6 Predočavanje tehničkog sustava

Osnovni zahtjevi prema [23]:

1. Model bi trebao služiti svim neophodnim svrhama pri konstruiranju, kao što su komunikacija, informacija, eksperiment, proračun, pomoć pri razmišljanju.
2. Model bi trebao podržati metodičku i sistematsku proceduru kao i mogućnost primjene računala.
3. Predočenje modela bi trebalo garantirati jednoznačnost interpretacije⁸ i efikasno "čitanje".
4. Prikaz modela treba posjedovati djelotvornost i ekonomičnost procesa modeliranja i prikazivanja.

Poznato je da se u strojarskoj praksi upotrebljava tehnički jezik, koji je često nedovoljno razumljiv radi neusuglašene stručne terminologije. Iz znanstvenog razloga potreban nam je jezik s točnom i jednoznačnom terminologijom, što na isti način vrijedi i za našu specijalnost u području konstruiranja, gdje su relevantne situacije često nezadovoljavajuće objašnjene i prikazane.

U strojarskoj praksi crtež ili skica budućeg tehničkog sustava (komponente ili sklopa) je dokument koji mora sadržavati sve neophodne informacije o tehničkom sustavu potrebne za proizvodnju. Stoga, praktičari često nisu ni svjesni da oni stvarno rade s modelom, a pri tome zaboravljaju da opis modela može biti ostvaren na različite načine.

Zbog toga termin "model" mora biti dan tako da specificira vjeran sadržaj prikazivanja, a to onda definira i sam model. Stoga, model tehničkog sustava je potpuna ili djelomična slika originala (prototip) koji postoji u stvarnosti ili je još ideja. Stupanj sličnosti (analogije) između originala i modela može se protezati od sličnosti u samo jednoj osobini pa sve do identičnosti (potpuna sličnost).

Koliko god glagol, "modelirati" donosi komplikacije, upotrebljavamo ga, uglavnom, da označimo proizvodnju modela. Prema našem stajalištu "modelirati" mora uključiti sve aktivnosti u razvoju modela, a isto tako i razvoj vizualizacije i predodžbe.

Posebno, kibernetски pogled na modeliranje približava se temeljnim gledištu jer pokušava točno specificirati pojам "model" i razlučiti njegove dvije osnovne vrste:

- modeli ponašanja (djelovanja),
- strukturni modeli.

⁸ Bez nejasnog i dvosmislenog predstavljanja.

Za potrebe konstruiranja važne su nam obje vrste: *modeli djelovanja* (dinamički modeli) korisni su za simulaciju, ispitivanje funkcija, proračun dinamičkog ponašanja itd. Djelovanje sustava je istraženo u modelima ponašanja prema ulazima⁹, dok su struktura, svojstva elemenata i pravila djelovanja prepostavljena.

Strukturni modeli nalaze širu primjenu, oni su često zastupljeni u tehničkom crtanju. Tehničko crtanje isključivo se bavi prikazom strukturnih komponenti, u radioničkom i sklopnom crtežu, ali isto tako i shematskim predočavanjem složenih struktura uporabom simbola normiranih elemenata. Radi komparacije, važan zadatak u znanosti o konstruiranju je prikladno predočiti modele drugih struktura (struktura procesa, funkcionalna struktura i organska struktura, vidi sliku 3.2), te omogućiti i podržati uzajamnu transformaciju među tim strukturama.

U odnosu na modelirane sustave strukturni modeli mogu biti izomorfni (istog oblika) ili homomorfni (izvorno slični). Stoga, svaki model i prikaz treba poduprijeti metodičkim i planskim načinom rada, a posebno pažnju usmjeriti na tijek kretanja od apstraktnog prema konkretnom¹⁰.

Važno mjesto među modelima pripada razredu *idealnih modela*. Cilj tog razreda je stvaranje jednog tipičnog uzorka, originala koji se može usporediti sa savršenim, a idealiziranje oslobođa sustav od nepotpunosti, te ga približava idealnom s obzirom na postavljeno gledište. Stoga se, veliki broj idealnih modela koristi svojim elementima i idealnim vezama da ilustriraju nivo problema određenog područja. Drugo područje primjene idealnih modela su tako zvani "Masters" (matrice, uzorci, prototip, arhetip itd.) i oni predstavljaju idealne modele tražene strukture, odnosno strukture proizvoda.

Općenito modeli služe različitim svrhama, a za konstruiranje su posebno korisne sljedeće:

- predstavljanje svojstava TS (karakteristike, djelovanje),
- optimalizacija organizacije (npr. apstraktna struktura),
- testiranje (verifikacija) hipoteza (odnosno stvaranje konstrukcijskih rješenja strukture),
- konkretno planiranje, projektiranje (konstrukcijski plan).

Modelom su predočene slikovito i jasno osobine tehničkih sustava, a kompletan reprezentacija TS proizlazi iz detaljnih opisa (oslikavanja) svih konstrukcijskih svojstava, slika 3.3.

Konstrukcijska praksa upotrebljava različite prikaze i modele. Neki od njih često su nazivani "prezentacija" ili "projekcija", a druge "model", kao na primjer matematički model, grafički model, izometrijska ili perspektivna projekcija, slikovna prezentacija, konstrukcijski ili funkcionalni modeli itd.

⁹ Što je predstavljeno nizom varijabli u danom vremenu ili vremenskom intervalu.

¹⁰ Kao što su kretanja: od mogućeg prema optimalnom, od nedovršenog prema kompletnom, od provizornog do konačnog stanja modela (modeliranog proizvoda).

3.7 Razvoj tehničkih sustava

Razvojni procesi neprestano proizvode nova i raznovrsna oblikovna rješenja strojnih dijelova, sklopova ili cijelih tehničkih sustava. Radi toga provodimo istraživanja među zakonitostima u području razvoja s ciljem povećanja kakvoće budućih sustava.

Cilj teorije razvoja tehničkog sustava jeste, stvaranje općeg razvojnog modela u kojem novo razvijeni oblici iz postojećih sustava i postrojenja generiraju rast i usavršavanje tehničkog sustava. Razvoj tehničkog sustava temelji se na sazrijevanju njegovih individualnih svojstava. To bi trebalo voditi povećanju opće kvalitete sustava, s posebnim naglaskom prema potrebama i sniženju cijene koštanja¹¹.

Povijesni razvoj tehničkog sustava¹² mora pružiti važan izvor saznanja konstrukcijskim i informacijskim sustavima. Razvojne serije raznih tipova tehničkih sustava odražavaju ideje, tendencije, ali na isti način i suprotnosti, te podupiru formiranje kvalitetnih prognoza budućeg razvoja. Pored toga, opće razvojne tendencije upravljuju s razvojem i utječu na porast sigurnosti tehničkog sustava. Naime, stupnjevi znanstveno-tehničkih promjena, donose nove zahtjeve i impulse na postojeće tehničke sustave i potiču uvođenje novih sustava u uporabu. Primjeri za takve razvojne tendencije jesu:

- *mehanizacija* - prijenos energije oslobođen od čovjeka prema TS,
- *instrumentacija* - povećana primjena instrumenata i mjernih naprava, baždarenja,
- *automatizacija* - prijenos regulacije i kontrole funkcija od čovjeka do TS:
 - upotrebom mehaničkih sredstava kontrole,
 - upotrebom računala - prijenos nekih već prihvaćenih odluka od čovjeka prema TS, koje mogu biti proširene na automatizirane fleksibilne sustave.

Drugi utjecaji, kao što su praćenje rada relevantnih familija tehničkog sustava, uključujući nove tehnologije, nova radna sredstva, nove materijale, nova sredstva regulacije i upravljanja u konstrukcijskim procesima mogu povoljno djelovati i potaknuti buduće razvojne procese.

¹¹ Uključujući potrebe stvaraoca kao i cijenu proizvođača.

¹² Posebno relevantan za konstruiranje familija tehničkih sustava.

4. SAGLEDAVANJE STANJA I ZNAČAJA PRIMJENE UMJETNE INTELIGENCIJE U PROCESU KONSTRUIRANJA

U konstruiranju se posebne nade polažu u razvoj i primjenu metoda umjetne inteligencije. Umjetna inteligencija je područje znanosti u kojem se istražuju i proučavaju metode kreiranja inteligentnog ponašanja računalnih sustava. Metode umjetne inteligencije, do sada, uglavnom se koriste za konstruiranje samo određenih tipiziranih proizvoda, a pokušaji implementacije navedenih metoda neovisno o području primjene, temelje se ponajprije na egzaktnim matematičkim modelima.

Danas je to područje s naglim porastom broja aktivnih istraživačkih timova i veoma propulzivnim razvojem, međutim, postojeće metode umjetne inteligencije imaju stanovita ograničenja iz kojih proizlazi primjena na relativno dobro definirane probleme uske domene.

4.1 Pregled područja AI

Problem konstruiranja zajedno uključuje kvantitativne i kvalitativne aspekte, a to se naročito ističe u zadacima sinteze u kojima izbor topologije i parametarskih veličina zahtijeva kvalitativno znanje o konstrukcijskim alternativama, kao i kvantitativne modele koji predodređuju performanse sustava. Stoga se može očekivati da kombinacija metoda umjetne inteligencije i optimalizacije može osigurati okvir za prikaz i rješenje problema u konstruiranju. Međutim, kvalitativna i kvantitativna priroda ovih problema ne daje uvijek najbolje formulacije i jasna rješenja. Nadalje, problem se može komplikirati zbog činjenice da vrlo različite metode rješavanja mogu biti primijenjene na isti konstrukcijski problem. U nekoliko posljednjih godina poraslo je zanimanje za razvoj pristupa rješavanju problema konstruiranja udruživanjem umjetne inteligencije i optimizacijskih metoda. Ovo je nastojanje motivirano činjenicom da veliki udio procesa u konstruiranju i sintezi ima utjecaja na razvoj numeričkih metoda koje se oslanjaju samo na tehnike umjetne inteligencije (obični ekspertni sustavi) ili samo na optimizacijskim tehnikama (tehnike linearног i nelinearnог programiranja). Evidentno

je da postoji nekoliko nedostataka u pristupu sintezi problema samo s jednom metodologijom. Glavni problem metoda zasnovanih na umjetnoj inteligenciji jest poteškoća u integriranju kvalitativnog znanja i analize modela unutar interaktivnog odlučivanja u procesu konstruiranja. Dok je osnovni problem optimizacijski baziranih metoda korištenje inženjerskog znanja za pretraživanje prostora konstrukcijskih alternativa i ograničenja u rješavanju složenih problema¹.

Osnovna teza ovih istraživanja [34] je: "Kako je priroda problema konstruiranja simbolička i numerička, povezivanje umjetne inteligencije i optimizacijskih tehniki, imat će snažan utjecaj na sposobnost numeričkih konstrukcijskih alata". Prvi je zadatak simboličko prikazivanje i svrstavanje konstrukcijskih modela i njihova povezanost s umjetnom inteligencijom i metodama optimizacija (ili općenitije operativnim istraživanjima). Moguće je pokazati da se široka klasa konstrukcijskih problema može formulirati kao problem umjetne inteligencije, problem operativnih istraživanja ili kao kombinacija ovih metoda.

4.1.1 Klasifikacija modela u konstruiranju

Razvoj numeričkih modela u konstruiranju općenito je veoma složena aktivnost, te normalno uključuje procedure koje su dio sljedećih iterativnih procesa:

1. Definicija prostora pretraživanja za konstrukcijske varijante. Ovo može biti zasnovano na prethodnom iskustvu, kvalitativnom znanju ili na potpuno definiranom prostoru pretraživanja.
2. Formulacija problema koji uključuje razvoj numeričkih modela.
3. Rješavanje problema primjenom odgovarajućih tehniki.
4. Verifikacija i kritika sa ciljem utvrđivanja da li rješenje zaista zadovoljava konstrukcijske zahtjeve. Ako to nije slučaj iteriraju se koraci 1 ili 2.

Prostor pretraživanja se može definirati i na odgovarajući način prikazati² prema prvom koraku, te su dva ključna koraka u ovoj proceduri i to: razvoj numeričkog modela, i njegovo rješavanje kroz odgovarajuće tehniki. Svrha je takvih istraživanja integracija umjetne inteligencije i optimizacijskih tehniki unutar navedena dva koraka numeričkog procesa konstruiranja.

Problem konstruiranja se može prikazati kao logičan problem, problem zadovoljavanja ograničenja ili problem simboličke reprezentacije koji se može riješiti umjetnom inteligencijom ili optimizacijski problem koji se može riješiti tehnikama operativnih istraživanja. Međutim, kombiniranjem simboličkih i numeričkih modela, ne mogu se općenito postojećim metodama riješiti problemi konstruiranja.

Kao prvo korisno je karakterizirati numerički model preko četiri elementa:

- varijable ili nepoznanice,
- parametri ili ulazni atributi,

¹ Problema u kojim se očekuje informacijska eksplozija.

² Na primjer dijagramom ili mrežom.

- relacije, jednadžbe ili nejednadžbe,
- ciljevi ili svrha.

Prema tipovima varijabli, numeričke modele se može svrstati kao:

- kontinuirane,
- diskretne,
- miješane diskretno/kontinuirane,

Kontinuirani model sadrži kvantitativne varijable kao površine, sile, naprezanja, protoke ili napone. Diskretan model sadrži simboličke varijable kao izbor ponuđenih stavki (npr. odluka 0 – 1) ili kvantitativne varijable koje su ograničene na konačne vrijednosti (npr. standardna veličina). Miješani model sadrži oba tipa varijabli.

Prema tipu parametara, numerički model može biti:

- *deterministički* – ako su ulazne veličine točno određene,
- *stohastički* – ako su ulazne veličine promjenljive.

Prema prirodi relacija ili jednadžbi numerički model može se klasificirati na tri različita načina:

1. a) *numerički* - ako su jednadžbe matematičke prirode (npr. algebarske, diferencijalne) i to linearne ili nelinearne,
b) *simbolički* - ako su relacije izražene računom predikata,
2. a) *statički* - ako su jednadžbe vremenski nepromjenjive,
b) *dinamički* - ako su jednadžbe vremensko promjenljive,
3. a) *prostorni* - ako ovisi o fizikalnim dimenzijama,
b) *ne-prostorni*.

Mnogi konstrukcijski problemi mogu sadržavati mješavinu klasa jednadžbi (npr. numeričke i simboličke). Većina numeričkih modela u konstruiranju, međutim, imaju tendenciju biti numerički u prirodnom smislu jednadžbi koje koriste za modeliranje fizikalnih zakona i specifikacije kojima procesi ili artefakti moraju udovoljiti.

Prema tipu zadatka, konstrukcijski model može biti:

- *zadovoljavanje ograničenja* - ako je zahtjev naći bilo koju vrijednost varijable koja zadovoljava relacije ili jednadžbe,
- *optimiranje* - ako je zahtjev naći ne samo one vrijednosti koje zadovoljavaju relacije ili jednadžbe, već one koje maksimiziraju ili minimiziraju jednu od više zadanih funkcija. Ovo predstavlja jednokriterijsku optimizaciju dok se dalje proširenje može izvesti u višekriterijsku optimizaciju.

Pojmovno, numerički model se može prikazati na sljedeći način. Neka je *kontinuirana* varijabla x i *diskretna* varijabla y . Parametar koji pokazuje konstantnu vrijednost je ϑ .

Jednadžba i uvjet nejednakosti mogu se prikazati kao vektorske funkcije h i g koje moraju zadovoljiti:

$$\begin{aligned} h(x, y, \vartheta) &= 0 \\ g(x, y, \vartheta) &\leq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Važno je uočiti da prikaz prema (1) može ekspandirati od vrlo jednostavnog modela do vrlo složenog modela koji nastoji zadržati toliko detalja koliko je potrebno da se može shvatiti fizika sustava. Rješenje jednadžbe iz (1) nije uvijek jednoznačno ukoliko je sustav s više stupnjeva slobode.

Logičke relacije koje definiraju simboličke relacije moraju sadržavati istinitost tj.:

$$L(x, y, \vartheta) = \text{TRUE} \quad (2)$$

Konačno, konstrukcijski zadatak (ili zadaci) mogu biti izražena kao funkcija cilja $F(x, y, \vartheta)$. Funkcija može biti skalarna za jednokriterijsku optimizaciju ili vektorska pa predstavlja višekriterijski optimizacijski problem.

Prema navedenim definicijama modela, općeniti numerički problem konstruiranja može se formulirati kako slijedi: dan je ϑ , s opisom fluktuacije (npr. distribucijska funkcija), traže se vrijednosti x i y koje zadovoljavaju:

$$\begin{aligned} h(x, y, \vartheta) &= 0 \\ g(x, y, \vartheta) &\leq 0 \\ L(x, y, \vartheta) &= \text{TRUE} \end{aligned} \quad (3)$$

s mogućim ciljem ili ciljevima optimizacije danim funkcijom cilja $F(x, y, \vartheta)$.

4.1.2 Klase konstrukcijskih problema

Problem formuliran prema (3) može se uzeti kao osnova za prikaz glavnih klasa konstrukcijskih problema. Neka je kontinuirana varijabla x u stanju z varijable, a konstrukcijsku varijablu u treba izabrati. Prostor konstrukcijskih alternativa može biti prikazan skupovima Y i U , pri čemu prvi predstavlja prostor alternativnih topoloških konfiguracija, dok drugi predstavlja prostor konstrukcijskih parametara.

Skupovi Y i U , jednadžbe h , g i L , te varijable y , u , x , dane su eksplicitno i zajedno s konstrukcijskom funkcijom cilja sadržanoj u F , daju *deklarativni* model. Suprotno tome, koristi li se vrlo detaljan model (npr. zasnovan na konačnim elementima), dat će implicitne ili *proceduralne* modele. Tipično, ovaj se numerički model zasniva na zadavanju varijabli y i u (varijable odlučivanja ili stupnja slobode) za konstantan ϑ , sa stanjem z koje se proračunava kao implicitna funkcija tj.:

$$h(u, z, y, \vartheta) = 0 \rightarrow z = z(u, y, \vartheta) \quad (4)$$

To ima za posljedicu da nejednakosti, logičke relacije i ciljevi postaju implicitne funkcije:

$$\begin{aligned} g(u, z(u, y, \vartheta), y, \vartheta) &\leq 0 \\ L(u, z(u, y, \vartheta), y, \vartheta) &= \text{TRUE} \\ F(u, z(u, y, \vartheta), y, \vartheta) \end{aligned} \tag{5}$$

Konačno, skupovi Y i U mogu biti implicitno definirani. Ovo je uobičajeno u slučaju diskretnog konstrukcijskog problema u kojem je skup $Y = \{y_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ generiran kao rekurzivno stablo za pretraživanje u formi:

$$y_{i+1} = f(y_i, y_{i-1}, \dots, y_1), \quad u \in U(y_{i+1}) \tag{6}$$

Prema ovome, mogu se klase konstrukcijskih problema prepoznati kao:

Heurističko konstruiranje

Eksplisitno zadani Y i U , konstantan ϑ , naći y, u, z tako da širok podskup

$$L(u, z, y, \vartheta) = \text{TRUE} \tag{7}$$

bude zadovoljen. Jedan mogući pristup rješavanja ovog problema je korištenje ekspertnih sustava, najčešće temeljenih na simbolički kodiranim pravilima³.

Superstruktturna optimizacija

Dani su Y i U u eksplisitnoj formi kao dio superstrukture alternativa, uz konstantan ϑ , naći y, u, z tako da bude:

$$\begin{aligned} \min \quad & F(x, y, \vartheta) \\ & h(x, y, \vartheta) = 0 \\ & g(x, y, \vartheta) < 0 \end{aligned} \tag{8}$$

Jedan od mogućih pristupa rješavanja ovog problema je kroz cijelobrojno nelinearno programiranje. Također, ako su diskrete varijable y konstantne, ovo može prerasti u optimiziranje i parametarsko konstruiranje koje se kosi s tehnikama nelinearnog programiranja.

Implicitno generiranje konstrukcija

Dani su Y i U u implicitnoj formi kao u (6) i za konstantan ϑ , naći podskup svih mogućih kombinacija diskretnih varijabli y s pripadajućim u i z tako da je:

$$\begin{aligned} h(u, z, y, \vartheta) &= 0 \\ g(u, z, y, \vartheta) &\leq 0 \\ L(u, z, y, \vartheta) &= \text{TRUE} \end{aligned} \tag{9}$$

Jedan od mogućih pristupa rješavanja ovog problema je pretraživanje stabla temeljenog na hijerarhijskoj dekompoziciji. Drugi je upotrebom slučajnih tehnika pretraživanja

³ U literaturi su opisani i pristupi koji se temelje na neuralnim mrežama, ali je njihov osnovni nedostatak (za konstrukcijsku namjeru) nemogućnost obrazlaganja puta odlučivanja simboličkim aparatom.

implicitnih prikaza prostora konstrukcijskih alternativa. U načelu se problem prema (9) može proširiti i na izvođenje optimizacije.

Navedena podjela iako je općenita može služiti kao jedinstveni okvir za prikaz konstrukcijskih problema. Dodatno, ona omogućuje identifikaciju brojnih poteškoća koje se susreću pri modeliranju konstrukcijskih zadataka. Na primjer u prethodnim modelima, pretpostavlja se da je ϑ konstanta iako je u praksi najveći problem naći konstrukcije koje efikasno rješavaju problem nepreciznosti tih parametara. Isto tako, izvorni problemi u izrazu (3) kao i u nekim specifičnim varijantama tog problema npr. u izrazu (9) vode k složenim mogućnostima rješavanja problema koje barataju s kvantitativnim i kvalitativnim informacijama. Konačno, jedno od glavnih pitanja koje se može postaviti: Kako riješiti problem kada je on formuliran npr. kao u izrazu (3)?

Moguće je razlikovati pet osnovnih tehnika rješavanja problema:

1. Rješavanje jednadžbi - za dani ϑ i y naći x koji zadovoljava $h(x, y, \vartheta) = 0$.
2. Simbolička analiza - za dani ϑ naći x i y koji zadovoljavaju $L(x, y, \vartheta) = \text{TRUE}$.
3. Matematičko programiranje - za dani ϑ naći x i y minimizirajući $F(x, y, \vartheta)$ s težnjom da bude $(x, y, \vartheta) = 0$ i $g(x, y, \vartheta) \leq 0$.
4. Heurističko pretraživanje - najčešće se koristi za rješavanje diskretnih optimalizacijskih zadataka.
5. Metode bazirane na računu vjerojatnosti - koriste se za probleme kod kojih parametri nisu točno determinirani.

Svaka od navedenih tehnika predstavlja zasebno područje znanosti, no daljnja diskusija izvan je okvira ovog rada.

Sa gledišta metoda umjetne inteligencije, prikazanoj klasifikaciji modela konstruiranja, moguće je pristupiti i razlikovanjem modela na slijedeći način:

- numerički, odnosno simbolički,
- strukturirani, odnosno nestrukturirani,
- specifični, odnosno opći.

Osnovne značajke numeričkih i simboličkih modela prethodno su već navedene. Simbolički modeli mogu se nazvati još i logičkim modelima. Ovakvu klasifikaciju treba samo uvjetno prihvatići, jer ovisi i o alatima implementacije. Stoga su numerički modeli prvenstveno oni kod kojih su numeričke vrijednosti atributa od vitalnog značaja, dok su logički oni kod kojih je značajna obrada simbola.

Iako je teško precizno odrediti što se podrazumijeva pod izrazom *strukturirani model* taj se pojam često susreće u teoriji modeliranja. U općem slučaju modeli npr. linearog programiranja ne moraju biti strukturirani, međutim, problemi pridruživanja koji se rješavaju linearnim modelima, najčešće su slične strukture. Strukturirani modeli imaju dvije prednosti:

1. Zbog relativne jednostavnosti lakši su za razumijevanje.

2. Strukturirani modeli se relativno jednostavnije rješavaju, naime, ukoliko se problem može svrstati u klasu nekog strukturiranog modela, tada je najčešće poznat i način njegova rješavanja.

Specifični modeli najčešće su primjenjivi u uskim domenama, može se čak reći da specifični modeli prepostavljaju "strukturu problema". Stoga se može isto tako razmatrati dali su strukturni problemi zaista problemi ili zadaci koje treba riješiti.

4.2 Prikaz i upotreba znanja

Pojam *prikaza znanja* u području umjetne inteligencije definira se kao kombinacija struktura podataka i procedura za izvođenje plana, koje ako se upotrebljavaju na ispravan način vode k "znalačkom" (*knowledgeable*) ponašanju sustava. Dosadašnji rad na ovom području razvio je različite klase struktura podataka kao i procedura koje omogućuju "inteligentno" manipuliranje tim podacima u svrhu donošenja zaključaka. Prikaz znanja jedno je od najaktivnijih područja u umjetnoj inteligenciji. U ovom poglavlju dan je skraćeni pregled razmatranja o vrstama znanja i uporabi znanja prema [35].

Može se razlučiti nekoliko tipova znanja koji bi se trebali prikazati u sustavima umjetne inteligencije:

- znanje, odnosno činjenice o objektima,
- znanje o događajima, te relacije uzroka i posljedica,
- znanje o ponašanju, vještinama i postupcima,
- meta znanje - znanje o znanju, odnosno znanje o tome što znamo.

U razmatranju uporabe znanja mogu se razlučiti tri faze :

- stjecanje, odnosno akumuliranje (*prikupljanje*) znanja,
- izbor relevantnog znanja za dani problem (*dohvaćanje znanja*),
- zaključivanje (*rezoniranje*).

Za neki određeni model prikaza znanja, potrebno je razmotriti koje vrste i načini zaključivanja stoje na raspolaganju:

1. Formalno zaključivanje obuhvaća sintaktičko manipuliranje strukturama podataka da bi se izveli novi podaci, i to slijedeći specificirana pravila zaključivanja.
2. Proceduralno zaključivanje koristi simulaciju da bi odgovorilo na pitanja i riješilo probleme.
3. Zaključivanje po analogiji jedan je od prirodnih "ljudskih" načina promišljanja, ali ga je vrlo teško implementirati u programe umjetne inteligencije.
4. Poopćenje i apstrakcija su također prirodni načini promišljanja i zaključivanja, koje je još teže algoritmizirati na način da bi se mogli implementirati u programe.
5. Zaključivanje na "meta-razini" obuhvaća znanje o "granicama" vlastitog znanja i o važnosti određenih činjenica. Istraživanja u psihologiji iniciraju da ova vrsta zaključivanja možda ima centralnu ulogu u ljudskom kognitivnom procesu.

Iz ovih razmatranja slijedi da u toku postupka stjecanja, odnosno akumuliranja znanja svakako treba voditi računa o tome kako će se znanje dohvaćati i upotrebljavati kasnije u procesu zaključivanja. U razmatranju efikasnosti do sada razvijenih sustava koji koriste baze znanja nisu još iznađeni kriteriji na temelju kojih bi se moglo tvrditi zašto su neke sheme prikaza znanja dobre za određene zadatke, a za druge nisu.

4.3 Pregled tehnika prikaza znanja

U nastojanju da razviju programe koji se "inteligentno" ponašaju, istraživači razvijaju sheme za uključivanje (implementiranje) znanja u svoje programe. Takove tehnike prikaza znanja obuhvaćaju procedure za manipuliranje specijaliziranim strukturama podataka u svrhu donošenja inteligentnih zaključaka. Radi ilustracije pojma prikaza znanja u ovom poglavlju dane su kratke skice opisa pojedinih tehnika prema [35]. U istraživanjima ovoga područja pretpostavlja se da je a priori poznato **što** treba prikazati, samo je pitanje **kako** te informacije zapisati u obliku struktura podataka i procedura.

4.3.1 Pretraživanje prostora stanja

Pretraživanje prostora stanja je jedan od najranijih formalizama, razvijen u programima za rješavanje problema i programima za igranje igara. Prostor pretraživanja zapravo i nije prikaz znanja jer se - u stvari radi o prikazu strukture problema u smislu raspoloživih alternativa u svakom od mogućih stanja problema. Osnovna je ideja da se polazeći od danog stanja problema, može odrediti sva moguća slijedeća stanja na osnovu relativno malog skupa pravila. Takav skup pravila naziva se operatori tranzicije (npr. generatori dozvoljenih poteza u šahu). Pronalaženje npr. najboljeg mogućeg poteza (ili najprikladnijeg operatora) pretraživanjem prostora stanja dovodi najčešće do tzv. kombinatoričke eksplozije - postoji previše mogućih kombinacija da bi se mogle pretražiti u razumnoj vremenu. Kombinatorička eksplozija se često javlja kao općeniti problem u mnogim sustavima umjetne inteligencije. Razvojem algoritama za biranje najboljih mogućnosti nastoji se smanjiti broj alternativa. Da bi mogao odrediti koje su alternative najbolje, program mora zaključivati na temelju znanja o domeni rješavanja problema. Znanje stoga mora biti prikazano u takvom obliku da ga program može koristiti.

4.3.2 Formalna logika

Formalna logika (logičke sheme) prikazuje znanje u obliku postavki, odnosno rečenica koje se mogu matematički formalizirati. Prednost formalnog prikaza je u postojanju skupa pravila zaključivanja, pomoću kojih se iz činjenica za koje se zna da su istinite, mogu izvoditi druge činjenice, koje također moraju biti istinite. Najvažnije svojstvo formalne logike je da se baza znanja može održati logički konzistentnom i da su svi izvedeni zaključci garantirano točni. Ostale sheme prikaza znanja još uvijek samo teže takovoj definiciji i garanciji logičke konzistencije. Logičke sheme prikaza znanja su dosta korištene i stoga što se izvođenje novih činjenica može automatizirati. Ispravnost nove postavke u bazi znanja provjerava se tako da se pokušava dokazati na temelju postojećih postavki, korištenjem tzv. tehnika dokazivanja teorema (*theorem proving techniques*). Međutim, ako se radi o velikom broju činjenica (postavki) u bazi znanja,

doći će do kombinatoričke eksplozije zbog velikog broja mogućnosti primjene pravila u svakom od koraka dokazivanja teorema. To znači da bi u bazu znanja trebalo uključiti i znanje o tome koje su činjenice relevantne za koje situacije, što je i predmet trenutnih istraživanja.

Logičke sheme prikaza znanja su precizne, fleksibilne i modularne, ali glavni nedostatak im je razdvajanje prikaza i procesiranja baze znanja. Problemi razvoja sustava umjetne inteligencije prvenstveno su u određivanju kako upotrijebiti činjenice iz pohranjenih struktura podataka, a ne u tome kako ih prikazati, odnosno pohraniti. Rješavanje ovih problema dovelo je do razvoja proceduralnih prikaza i prikaza pomoću "okvira" (*frames*) gdje se pokušava formalizirati kontrola procesiranja znanja uz zadržavanje logičke preciznosti prikaza.

4.3.3 Proceduralni prikazi

Proceduralni prikazi sadrže znanje u procedurama - malim programima koji znaju kako obavljati specifične akcije, odnosno kako treba napredovati u određenim dobro specificiranim situacijama. Razlikovanje između deklarativnog i proceduralnog prikaza znanja imalo je jednu od ključnih uloga u dosadašnjem razvoju metoda umjetne inteligencije. Deklarativni prikazi imaju naglasak na statičkim aspektima znanja - činjenicama o objektima, događajima i njihovim relacijama, te o stanjima promatranih sistema. Glavna postavka u razvoju proceduralnih prikaza je da sustav mora znati kako da upotrebljava svoje znanje, odnosno kako pronaći relevantne činjenice i kako doći do zaključaka. Autori proceduralnih prikaza smatraju da se taj aspekt "intelligentnog" (*knowledgeable*) ponašanja može najbolje prikazati kroz procedure.

Prednosti prvo razvijenih proceduralnih prikaza bile su u tome da nisu upotrebljavali irelevantno znanje ili slijedili neprirodne tokove zaključivanja. Za razliku od proceduralnih prikaza, deklarativni sustavi pokušavali su "naslijepo" primjenjivati sve što znaju o problemu. Takovo neefikasno ponašanje kod proceduralnih prikaza je eliminirano specijaliziranim procedurama za zaključivanje. Međutim, kad proceduralni sustav postane jako kompleksan, postaje izuzetno težak za razumijevanje i modificiranje. Pošto oba načina prikaza znanja (deklarativni i proceduralni) imaju i prednosti i nedostatake, novi pristupi nastojali su ih spojiti. Bit tih novih pristupa bila je u prikazu deklarativnog znanja (zapisanog u logičkim izrazima) zajedno s instrukcijama za njegovu uporabu.

Drugi način uporabe proceduralnog znanja je u pokušaju specificiranja koje znanje će biti relevantno za postizanje određenog cilja. Time se ukazuje sustavu kako i kada da koristi znanje kojim raspolaze, odnosno unaprijed se kontrolira proces zaključivanja. Isprobane su tri metode specificiranja kontrole:

- kontrola načina postavljanja činjenica,
- omogućavanje pristupa korisnika u mehanizme specificiranja procesa zaključivanja,
- definiranje dodatnog jezika za specificiranje kontrole, koji je spregnut s jezikom prikaza znanja.

Jedna od glavnih prednosti uporabe procedura za prikaz znanja je u mogućnosti prikaza heurističkog znanja, i to posebno informacija specifičnih za određenu domenu, koje mogu pridonijeti usmjeravanju procesa zaključivanja. U odnosu na strože formalne prikaze, proceduralni prikaz nema istu razinu kompletnosti i konzistentnosti.

4.3.4 Semantičke mreže

Semantičke mreže predstavljaju cijelu klasu formalizama prikaza znanja. Ta vrsta formalizama grupirana je u jednu klasu zbog zajedničkog sustava notacije. Sustav notacije sastoji se od čvorova i veza ("linkova"). Pri tome čvorovi obično predstavljaju objekte, koncepte ili situacije u domeni, a "linkovi" predstavljaju relacije između čvorova. Treba napomenuti da je sustav notacije jedino što neki sustavi semantičkih mreža imaju zajedničko. Istraživači iz područja psihologije razvili su sustave semantičkih mreža kao modele ljudske memorije, dok su istraživači iz područja računalskih znanosti razvijali funkcionalne prikaze za razne tipove znanja potrebne u njihovim sustavima. Zbog ovih različitih ciljeva, teško je iznaći principe unifikacije koji bi se mogli primijeniti na sve sustave semantičkih mreža.

Jedan od pravaca istraživanja semantičkih mreža obuhvaća strukturiranje čvorova i veza u mreži i povezan je s radovima na sustavima prikaza znanja pomoću "okvira" (*frames*). Npr. Myopolous i suradnici [36] razvili su sustav za grupiranje srodnih dijelova semantičke mreže u cjeline koje nazivaju scenarijima.

Korištenje semantičkih mreža također ima svojih nedostataka - javljaju se računalni problemi kod kojih baze podataka postaju dovoljno velike da bi sadržavale netrivijalne količine znanja. Osim toga, postoji još i niz otvorenih pitanja, kao npr.: Koje je zapravo značenje čvora? Postoji li općeniti način prikaza ideje? Koja su pravila nasljeđivanja svojstava u mrežama? Sadašnja istraživanja mrežnih shema prikaza znanja bave se navedenim ili sličnim temama.

4.3.5 Producijnski sustavi

Producijnski sustavi pojam su za označavanje nekoliko različitih sustava temeljenih na ideji parova "**uvjet - akcija**", tzv. *producijskih pravila* ili samo *produkcija*. Producijnski sustav sastoji se od tri dijela :

- a) baza pravila (sadrži skup producijskih pravila),
- b) specijalna struktura podataka (slično "buffer-u"), nazvana kontekst,
- c) interpreter koji kontrolira aktivnost sustava.

Producijnsko pravilo je postavka (izjava) zapisana u obliku "Ako je ovaj **uvjet** ispunjen, onda je odgovarajuća ova **akcija**". Tijekom izvođenja producijskog sustava, produkcija čiji uvjet je ispunjen može se "okinuti", tj. njenu akciju može izvesti interpreter. Kontekst, za koji se koristi i naziv "short-term memory buffer", predstavlja fokus pažnje za producijska pravila. Dio pravila koji predstavlja uvjet mora biti prisutan u strukturi podataka konteksta prije nego što se pravilo može "okinuti" (izvesti). Pri tome akcije producijskih pravila mogu mijenjati kontekst da bi se uvjeti drugih pravila ispunili. Posao interpretera je odlučivanje o tijeku izvođenja, odnosno najčešće odlučivanje o tome koje pravilo će se slijedeće izvesti.

Produkcijski sustavi rade u ciklusima. U svakom ciklusu interpreter prvo pretražuje produkcije da bi našao odgovarajuće koje se mogu izvesti. U sljedećoj fazi ciklusa izabire se jedno pravilo, ukoliko je pronađeno više odgovarajućih. Na kraju ciklusa izvodi se odabранo pravilo. Za izbor pravila koje će se izvesti razvijeno je nekoliko različitih strategija.

Jedna od očitih kvaliteta ove sheme prikaza znanja je **modularnost** - pravila se mogu dodavati, brisati i mijenjati nezavisno jedna od drugih. Također se kao prednosti mogu navesti uniformnost strukture baze znanja, te prirodnost izražavanja znanja u obliku pravila. Ovakve sustave teško je učiniti efikasnim u slučajevima reagiranja na unaprijed određene sljedove (nizove) situacija ili u slučajevima kad situacija zahtjeva velike korake u zaključivanju. Nedostatak je i vrlo teško praćenje tijeka (kontrole) rješavanja problema. Navest ćemo domene koje se smatraju pogodnjima za primjenu ove metode:

- domene u kojima je znanje difuzno - sastoji se od mnogo činjenica⁴,
- domene u kojima se procesi mogu prikazati kao skupovi nezavisnih akcija⁵,
- domene u kojima se znanje može jednostavno razdvojiti, od načina na koji ga treba upotrebljavati.

4.3.6 Okviri i "skriptovi"

Okviri i "skriptovi" (frames and scripts) sheme su za prikaz znanja koje se fokusiraju na znanje o objektima i događajima *tipičnim* za određene situacije. Okviri su strukture podataka koje sadrže deklarativne i proceduralne informacije u prethodno definiranim internim relacijama. "Skriptovi" su strukture slične okvirima, razvijene za prikaz slijeda događaja. Obje strukture upućuju na metode organiziranja prikaza znanja na način koji usmjerava pažnju te olakšava zaključivanje i ponovnu uporabu (ili opoziv).

Okviri predstavljaju okosnicu u kojoj se novi podaci interpretiraju u smislu koncepta stečenog (naučenog) kroz prethodno iskustvo. Nadalje, ovakva organizacija znanja omogućuje procesiranje temeljeno na očekivanjima, odnosno traženje činjenica koje su očekivane u određenom kontekstu. Mehanizam prikaza koji omogućuje takav način rezoniranja je "slot" - unaprijed predviđeno mjesto u koje se znanje (podatak) uklapa unutar šireg konteksta definiranog okvirom. Npr. jednostavan okvir za pojam stolice može imati "slotove" za broj nogu, materijal i stil izrade. Osiguranjem mjesta za upis znanja, mehanizam "slotova" daje i mogućnost nedostajućeg ili nekompletno specificiranog znanja. Na taj način dozvoljava se rezoniranje temeljeno na traženju potvrda očekivanja, tj. "popunjavanja slotova".

Između različitih okvira može se postaviti hijerarhija nasljeđivanja svojstava, također koristeći mehanizam "slotova". Posebne vrste "slotova" mogu sadržavati tzv. "pridružene procedure" koje se mogu upotrebljavati za određivanje vrijednosti sadržaja "slota" ako je to potrebno. U razvijenim sustavima koriste se i razne druge vrste "slotova" koji na različite načine upravljaju podacima. Pridružene procedure predstavljaju proceduralni aspekt prikaza znanja pomoću okvira. U nekim sustavima

⁴ Nasuprot domena s konciznom i unificiranom teorijom.

⁵ Nasuprot domenama sa međusobno zavisnim podprocesima.

pridružene procedure su glavni mehanizam za upravljanje procesom zaključivanja, a aktiviraju se kod popunjavanja "slotova" ili nakon što je "slot" popunjen.

Nakon što je određeni okvir ili "script" odabran za prikaz trenutnog konteksta ili situacije, primarni proces u sustavu zaključivanja temeljenom na "okvirima" često je samo popuna detalja koje traže "slotovi". Naslijedene vrijednosti ili vrijednosti koje se podrazumijevaju (default) ne zahtijevaju složeni proces zaključivanja, u čemu se ogleda velika prednost metode okvira. Naime, novi okviri mogu upotrebljavati vrijednosti određene prethodnim iskustvom. Drugim riječima, općenite metode rješavanja problema mogu se proširivati sa znanjem ovisnim o domeni, odnosno o tome kako postići specifične ciljeve (na razinama "slotova"). Pored usmjeravanja sakupljanja daljnjih informacija, proces popunjavanja "slotova" također omogućava i potvrdu pogodnosti odabranog okvira za trenutni kontekst ili situaciju. Procedure koje se aktiviraju u trenutku kad se sadržaj "slot-a" odredi ili promijeni, predstavljaju implementaciju procesiranja "upravljanog događajima", odnosno podacima. Takove procedure upotrebljavaju se za donošenje odluka u slučajevima kad odabrani okvir ne odgovara trenutnoj situaciji.

Razvojem metoda "okvira" i "skriptova" nastoji se iznaći način za organiziranje velikih količina znanja potrebnog za izvođenje kognitivnih zadataka. Većina istraživanja u tom području temelji se na naslučivanjima, a postoje i mnoge fundamentalne razlike u pristupima. Potrebno je riješiti brojne probleme prije nego se realiziraju obećavajuće prednosti i mogućnosti ove metode.

Analiza mogućnosti implementacije metoda umjetne inteligencije, odnosno ekspertnih sustava u proces konstruiranja tema je rada [3]. Postojeći sustavi umjetne inteligencije još uvijek nisu efikasni u području konstruiranja. Takvo stanje proizlazi iz značajki i složenosti konstrukcijskog znanja, ali i nedostataka primjenjenih metoda prikaza znanja koje ne mogu ispuniti sve zahtjeve za prikaz konstrukcijskih znanja. Jedna od ideja koja se nameće je kombiniranje razvijenih metoda prikaza znanja i zaključivanja. Ljuske za razvoj ekspertnih sustava druge generacije sadrže više integriranih metoda prikaza znanja i zaključivanja, kao i implementaciju objektnog programiranja. Pri razvoju ekspertnih sustava za konstruiranje, trebalo bi nastojati zahtjeve koji proizlaze iz značajki procesa konstruiranja, kontinuirano usklađivati s trenutnim mogućnostima umjetne inteligencije.

5. PRIKAZ PROCESA KONSTRUIRANJA PLANOM

Kako je već navedeno u predgovoru, ovaj je rad dio ukupnih istraživanja na projektu razvoja modela CAD sustava čije karakteristike se trebaju približiti ideji "inteligentnog" CAD sustava. Postavke na kojima se osniva način gradnje plana za opis procesa konstruiranja proizile su iz smjernica prikazanih u [3]. Struktura programskog alata za generiranje planova, odnosno koncepcija baze scenarija i sam postupak generiranja plana detaljno su opisani i primijenjeni u radu [27]. Elementi strukture i sintaksa zapisa plana preuzeti su iz [3], a temelje se na istraživanjima opisanim u [31],[32],[33].

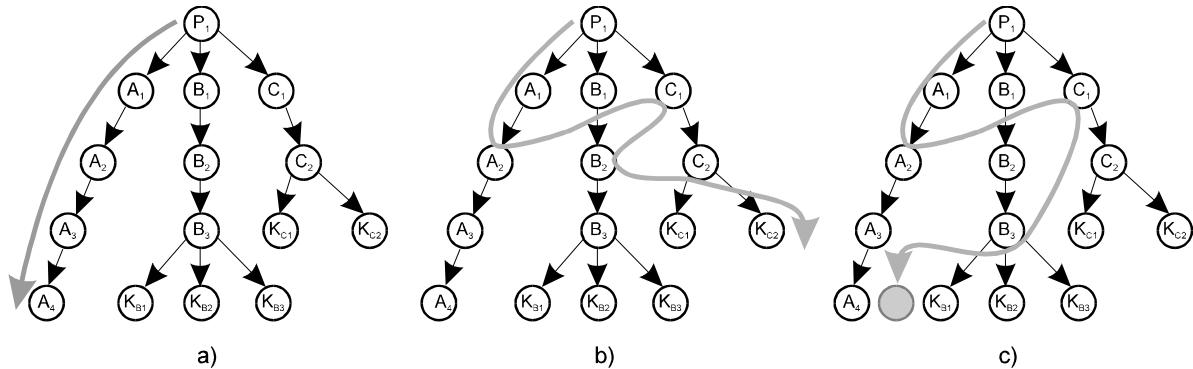
5.1 Struktura plana

Za model prikaza tijeka procesa konstruiranja odabранo je opće stablo u kojem čvorovi predstavljaju operatore plana. Korištenjem hijerarhijske mreže može se realnije modelirati tijek konstrukcijskog procesa, međutim i uz usvojeni način zapisa procesa postoji mogućnost da konstruktor tijekom eksploracije plana aktivira čvorove plana po svom nahođenju. Osnovni način izvođenja plana je slijedni - po predviđenim putanjama, međutim posredstvom modula za kontrolu izvođenja, konstruktor može u svakom trenutku prekinuti takav proces i aktivirati neki od čvorova koji nisu na istoj putanji. Na taj način plan zabilježen kao stablo može biti eksploriran kao mreža, slika 5.1. Naime, moguć je i poseban način korištenja plana procesa konstruiranja prikazan na slici 5.1c, uz generiranje novog konstrukcijskog rješenja, jer plan zapisan kao stablo pruža mogućnost eksploracije u obliku općeg grafa.

Eksploracija tako zapisanog plana podrazumijeva da se iz zadovoljenih početnih uvjeta (u korijenskom čvoru) izvodi plan koji će rezultirati stanjem zadovoljenog cilja. Pri tome taj cilj može biti samo jedan od podciljeva u ukupnoj strukturi konstrukcijskog zadatka. U drugom poglavlju već je napomenuto da nije uvijek nužno postavljati plan rješavanja na najvišem nivou apstrakcije zadatka jer se zadatak može podijeliti na hijerarhiju planova i podplanova, sa svojim parcijalnim ciljevima.

Izvođenjem, odnosno eksploracijom plana upravlja poseban programski modul koji je također sastavni dio ekspertnog CAD sustava, poglavljje 6. Kontrola i upravljanje

izvođenjem plana koncipirani su tako, da ovdje treba naglasiti da samo unaprijed predviđene situacije u planu određuju način izvođenja plana.



Slika 5.1: Načini korištenja plana

Svaki čvor u stablu plana jednoznačno je opisan svojim atributima. Pod pojmom atributi čvora podrazumijevaju se sve one oznake, veličine ili skupovi koji jednoznačno opisuju čvor u strukturi plana konstrukcijskog procesa. Za svaki pojedini čvor u strukturi plana potrebno je, u potpunosti, definirati sve njegove atribute.

Definirani atributi čvorova plana su:

- akcija,
- ulazne informacije,
- izlazne informacije,
- relacije ograničenja kojima su podvrgnute izlazne informacije,
- relacije odlučivanja za odabir putanje nastavka procesa.

Pojam čvora u planu zapravo označava mjesto primjene operanda, odnosno izvođenja operacije koja se realizira pozivom određene akcijske funkcije.

Pojam akcijske funkcije je glavni element strukture plana - ona predstavlja operaciju pretvorbe informacija na nekom podskupu skupa informacija o proizvodu koji se konstruira. Zbog toga su uz svaku akcijsku funkciju vezani skupovi ulaznih i izlaznih atributa koji pridruživanjem akcijske funkcije čvoru postaju atributi čvora. U trenutku izvođenja određenog čvora u planu, skupovi ulaznih i izlaznih atributa pripadne akcijske funkcije postaju podskupovi cijelokupnog skupa informacija o proizvodu koji se konstruira.

Proces konstruiranja, odnosno rješavanja zadatka, napreduje kroz postavljanje i provjeru ograničenja, te donošenje odluka. Strukturom plana predviđeno je za sada postavljanje ograničenja unaprijed (ne i u tijeku izvođenja plana), a isto tako unaprijed se određuju i pravila na temelju kojih se donose odluke¹. Nakon izvođenja akcijske

¹ Već je ranije napomenuto da samo unaprijed predviđene situacije u planu određuju način izvođenja plana, ali to je i jedan od važnih uvjeta generiranja novog plana.

funkcije, sljedeća operacija unutar jednog čvora je provjera predviđenih ograničenja na skupu izlaznih atributa. Promjena ili dodavanje ograničenja za sada nije predviđeno, s time da konstruktor može naložiti sustavu za izvođenje plana da određena ograničenja ignorira. Nakon provjere ograničenja, sljedeća operacija u čvoru je donošenje odluke koji će se od čvorova neposrednih sljedbenika dalje izvesti, odnosno bira se daljnja putanja u stablu plana. Detaljniji opis procesa izvođenja plana dan je u šestom poglavlju.

5.2 Sintaksa plana

U ovom će se poglavlju izložiti sintaksa plana konstruiranja razvijena i definirana u sklopu projekta razvoja modela "inteligentnog" CAD sustava [3]. Temeljem predložene sintakse može se realizirati podsustav za upravljanje planom, a time indirektno i svi ostali podsustavi.

Zapis cijelog plana [3],[31] predstavlja niz slogova varijabilne dužine koji se zapisuju u obliku sekvencijalne ASCII datoteke. Temeljni elementi strukture plana opisani su ključnim riječima, koje služe za prepoznavanje.

Atributi čvora zapisani su u obliku slogova koji slijede iza odgovarajuće ključne riječi. Zapis svake vrste atributa sastoji se od predviđenih elemenata odvojenih odjeljnim znakovima.

Osnovna sintaksa slogova s ključnom riječi je:

\$KLJUČNA_RIJEČ: sadržaj

- gdje sadržaj predstavlja informacije koje ovise o ključnoj riječi.

U tablici 5.1 pregledno su dane do sada predviđene ključne riječi s njihovim značenjem.

Tablica 5.1: Ključne riječi zapisa plana

KLJUČNA RIJEČ	ZNAČENJE
\$NODE_ID:	oznaka čvora
\$PARENT_ID:	nadređeni čvor
\$CHILDREN:	oznake čvor/ov/a neposrednih sljedbenika trenutnog čvora
\$ACTION_FUNCTION:	naziv izvršne funkcije čvora
\$INPUT_SET_TABLE:	označuje niz slogova ulaznih atributa
\$OUTPUT_SET_TABLE:	označuje niz slogova izlaznih atributa
\$DECISION_TABLE:	označuje niz slogova koji sadrže relacije temeljem kojih se izabire sljedeći čvor između više nasljednika
\$CONSTRAINT_SET_TABLE:	označuje niz slogova koji sadrže relacije ograničenja na skupu izlaznih atributa

Poziciju čvora unutar plana procesa konstruiranja određuje oznaka čvora, oznaka pripadnog prethodnika (nadređenog čvora) i oznake neposrednih sljedbenika.

Naziv izvršne (akcijske) funkcije pridružuje se oznaci čvora. Akcijska funkcija može biti bilo kakav programski alat koji na temelju skupa ulaznih informacija (preuvjeta) generira skup izlaznih informacija odnosno efekata.

Skupovi ulaznih i izlaznih atributa, te relacije odluka i ograničenja također se pridružuju čvoru. Navedeni skupovi atributa strukturirani su u obliku tablica, odnosno niza slogova koji sadrže predviđene elemente odvojene odjelnim simbolima. Time su određeni svi potrebni atributi čvora u planu konstruiranja.

Zapis plana u obliku sekvenčalne ACSCII datoteke mora se prije samog izvođenja plana prevesti u binarni oblik koji će biti učitan u memoriju zajedno s programskim modulom koji kontrolira izvođenje plana. Iz tog razloga skupovi atributa čvorova strukturirani su u obliku tablica. U prvoj fazi prevođenja ("parsiranja") plana rezervira se memorijski prostor za zapis čvorova i tablica njihovih atributa, a u drugoj fazi kreiraju se strukturne veze među čvorovima plana. Odjelni simboli, ključne riječi i redoslijed elemenata sintakse određeni su tako da omogućuju "parsiranje" plana sekvenčalnim čitanjem slogova ASCII datoteke.

Datoteka zapisa plana sadrži tri vrste slogova:

- slogove koji sadrže samo jednu od ključnih riječi,
- slogove koji sadrže ključnu riječ i samo jedan atribut,
- slogove koji sadrže niz atributa odvojenih odjelnim simbolima.

Ključne riječi koje se koriste u sintaksi zapisa plana obavezno počinju znakom "\$". Slogovi datoteke koji sadrže samo ključnu riječ, mogu ali i ne moraju iza ključne riječi sadržavati znak ":". Ako slogovi s ključnom riječi sadrže i naziv atributa, moraju sadržavati i znak ":" , jer je to odjelni simbol potreban za izdvajanje naziva atributa iz sloga. Slogovi koji ne sadrže ključne riječi, već samo jedan ili više atributa, moraju sadržavati "," kao odjelni simbol između atributa.

Svaki od tri navedene vrste slogova može sadržavati i komentar koji se piše iza odjelnog simbola "!".

Između slogova koji sadrže ključnu riječ može se nalaziti varijabilni broj slogova. Maksimalna dužina sloga je 1024 znaka, a svaki slog mora završavati sa znakom ";".

U nastavku je iznesen opis strukture pojedinih skupova atributa čvora po redoslijedu kojem se za svaki čvor navode u zapisu plana.

5.2.1 Oznaka čvora

Oznaka čvora je simbolička oznaka - znakovni niz, maksimalne dužine 16 znakova. Oznaka čvora dolazi iza ključne riječi \$NODE_ID. Nedozvoljeni znakovi u oznaci čvora su "/" i prazno mjesto, odnosno "blank". U planu konstrukcijskog procesa svaka se oznaka čvora smije pojaviti samo jednom. Namjena svakog čvora u planu može se opisati komentarom koji slijedi iza oznake čvora.

5.2.2 Oznaka nadređenog čvora

Za svaki čvor potrebno je naznačiti oznaku nadređenog čvora kako bi se mogla formirati struktura stabla plana u toku prevođenja plana u binarni oblik. Oznaka nadređenog čvora slijedi iza ključne riječi \$PARENT_ID. Struktura stabla formira se pomoću liste pokazivača ("pointera"). Za svaki čvor treba definirati pokazivač na nadređeni čvor i niz pokazivača na sve podređene čvorove. U slučaju korijenskog čvora iza ključne riječi \$PARENT_ID piše se oznaka samog korijenskog čvora, odnosno njemu se postavlja pokazivač ("pointer") na samog sebe.

5.2.3 Oznake podređenih čvorova

Oznake podređenih čvorova pišu se kao niz slogova koji slijedi iza ključne riječi \$CHILDREN. Pri tome treba napomenuti da se ne navode svi podređeni čvorovi određenog čvora, nego samo neposredni potomci. Za krajnje čvorove u strukturi stabla ne piše se iz ključne riječi ništa, a njima se pokazivači definiraju kao NULL pokazivači (NULL pointers). Potrebno je naglasiti da se oznaka bilo kojeg čvora iz plana smije pojaviti *najviše jednom* u zapisu plana kao oznaka podređenog čvora. Kada ne bi bio ispunjen taj uvjet, to bi značilo da plan više nema strukturu stabla, nego hijerarhijske mreže jer bi neki čvorovi imali više od jednog nadređenog čvora.

5.2.4 Akcijska funkcija

U planu konstrukcijskog procesa potrebno je, za svaki čvor, zapisati naziv funkcije koja će se izvoditi u tom čvoru. Naziv akcijske funkcije je maksimalne duljine 32 znaka, a navodi se iza ključne riječi \$ACTION_FUNCTION. Naziv akcijske funkcije može, ali i ne mora biti isti kao ime datoteke koja sadrži izvršni programski kod akcijske funkcije. Iza naziva akcijske funkcije može slijediti komentar sa opisom namjene akcijske funkcije.

5.2.5 Odluke

U tablice odlučivanja zapisuje se skup pravila na temelju kojih se vrši izbor sljedećeg čvora za izvršavanje, između sljedbenika trenutno aktivnog čvora. Tablica odlučivanja atribut je čvora koji može biti prazan skup u slučajevima kada određeni čvor ima samo jedan ili niti jedan podređeni čvor.

Iza ključne riječi \$DECISION_TABLE. slijede uređeni nizovi sljedeće forme:

TV, AV, OP, DG, GG, OZN, OPIS,

gdje su:

TV	tip variabile (I-integer), (D-double float), (C-character string),
AV	adresa variabile,
OP	operator (<, <=, ==, >, >=, !=, range (interval)),
DG	donja granica (konstanta ili adresa variabile),
GG	gornja granica (0 - za sve vrste operatara osim range),
OZN	oznaka čvora koji će se slijedeći izvesti ako je uvjet istinit,
OPIS	komentar, opis pravila.

Kao varijabla u tablici odlučivanja može se koristiti bilo koja od varijabli iz tablica izlaznih atributa nadređenih čvorova (po putanji do korijena) trenutno aktivnog čvora (kojem pripada tablica odlučivanja). Isto tako mogu se koristiti i varijable iz tablice ulaznih ili izlaznih atributa trenutno aktivnog čvora. Zbog toga se adresa varijable zapisuje u obliku **naziv_čvora / broj_sloga / X**. Broj sloga je redni broj varijable u pripadnoj tablici čvora, a **X** može biti "I" ili "O", tj. označava da li se radi o tablici izlaznih ili ulaznih atributa.

5.2.6 Ulazni atributi

Skup ulaznih atributa sadrži podatke o varijablama čije vrijednosti će se predati akcijskoj funkciji u trenutku poziva. To u pravilu ne mora biti kompletan skup ulaznih podataka koji akcijska funkcija kao programska procedura zahtijeva, naime preostale ulazne podatke može osigurati u interakciji s korisnikom.

Članovi skupa ulaznih atributa slijede kao niz slogova iza ključne riječi \$INPUT_SET_TABLE. Skup ulaznih atributa sastoji se od sljedećih elemenata:

TV, AV, SI, OPIS,

gdje su:

TV	tip varijable (I-integer), (D-double float), (C-character string),
AV	adresa varijable,
SI	simbolička oznaka varijable,
OPIS	pojam koji predstavlja varijabla.

Sve varijable u tablicama ulaznih atributa svih čvorova osim korijenskog moraju biti adresirane. Adresa je zapravo pokazivač na određenu varijablu iz tablice izlaznih atributa nekog od nadređenih čvorova. Pri tome dolaze u obzir nadređeni čvorovi po putanji od onog kojem tablica pripada, do korijena. Adresa varijable zapisuje se u obliku **naziv_čvora / redni broj_sloga** u tablici izlaznih atributa navedenog nadređenog čvora. Tablica ulaznih atributa korijenskog čvora plana je prazan skup.

5.2.7 Izlazni atributi

Skup izlaznih atributa sadrži podatke o varijablama koje predaje akcijska funkcija nakon izvršenja kao izlazne podatke. Skup izlaznih atributa u pravilu ne mora biti kompletan skup izlaznih podataka akcijske funkcije. U skupu izlaznih atributa čvora moraju se navesti oni izlazni podaci akcijske funkcije koji će biti potrebni podređenim čvorovima kao ulazni atributi ili podaci za odluke i ograničenja. Osim tih izlaznih podataka mogu se dalje navesti podaci koji su od prioritetskog značenja za opis konstrukcijskog rješenja zadatka odnosno podzadatka, što je ciljno stanje koje se treba postići planom. Naime pregled kompletnih skupova izlaznih podataka svih izvedenih akcijskih funkcija moguće je i korištenjem modula korisničkog sučelja.

Članovi skupa izlaznih atributa slijede kao niz slogova iza ključne riječi \$OUTPUT_SET_TABLE. Skup ulaznih atributa sastoji se od sljedećih elemenata:

TV, RB, SI, OPIS,

gdje su:

TV	tip varijable (I-integer), (D-double float), (C-character string),
RB	redni broj varijable u tablici,
SI	simbolička oznaka varijable,
OPIS	pojam koji predstavlja varijabla.

5.2.8 Skup ograničenja

U toku izrade plana mogu se unaprijed postavljati relacije i uvjeti ograničenja za pojedine varijable iz skupova ulaznih i izlaznih atributa. Zadani uvjeti ograničenja provjeravaju se nakon izvršenja akcijske funkcije. Ukoliko neki od uvjeta nije zadovoljen, korisnik će biti upozoren, uz mogućnost da prekine ili nastavi izvođenje plana.

Iza ključne riječi \$CONSTRAINT_SET_TABLE. slijede uređeni nizovi sljedeće forme:

TV, AV, OP, DG, GG, OPIS,

gdje su:

TV	tip varijable (I-integer), (D-double float), (C-character string),
AV	adresa varijable,
OP	operator (<, <=, ==, >, >=, !=, range (interval)),
DG	donja granica (konstanta ili adresa varijable),
GG	gornja granica (0 - za sve vrste operatara osim range),
OPIS	komentar, opis ograničenja.

Provjeri ograničenja mogu se podvrgnuti varijable iz tablica izlaznih atributa nekog od nadređenih čvorova (po putanji do korijena). Adresa varijable zapisuje se u obliku **naziv_čvora / redni_broj_sloga** u tablici izlaznih atributa navedenog nadređenog čvora. Ukoliko se radi o istom čvoru, tj. onom kojem tablica ograničenja pripada, naziv čvora u adresi može se ispuštiti. Tablica ograničenja može biti i prazan skup.

6. BAZA ZNANJA KAO ELEMENT CAD SUSTAVA

U ovom poglavlju dan je prikaz strukture cijelog ekspertnog sustava prema radovima i istraživanjima [3], [31], [37] koja su dijelovi projekta modeliranja i razvoja "inteligentnog" CAD sustava. Pri tome se uporaba baze znanja može promatrati kao prva faza u procesu eksploracije "inteligentnog" CAD sustava - odnosno faza generiranja plana, nakon čega slijedi faza izvođenja plana u kojoj se koriste svi ostali moduli ekspertnog CAD sustava. Pri generiranju plana, bitnu ulogu imaju strukovna znanja kao i znanje pohranjeno u akcijskim funkcijama, međutim prije svega, treba voditi računa o tome kako plan izvoditi unutar okruženja "inteligentnog" CAD sustava. Standardna računalna okolina treba biti koncipirana tako da pomaže konstruktoru u procesu uočavanja problema, pri njegovu rješavanju i vrednovanju. Dok su alati za provođenje konstrukcijskog procesa realizirani kao zasebni programi¹ koje s ostatkom sustava komuniciraju porukama. Struktura "inteligentnog" CAD sustava i zamišljeni algoritam izvođenja plana imaju višestruke utjecaje na način generiranja i strukturiranja plana. Način strukturiranja planova (u smislu podjele na podplanove i razvrstavanja prema zadacima) može imati veliki utjecaj na efikasnost primjene cijelog "inteligentnog" CAD sustava u određenom okruženju.

Baza strukovnog znanja² je sastavni dio ekspertnog CAD sustava, te će u ovom poglavlju biti obređene teoretske podloge za provedbu strukturiranja, uzimajući u obzir izvore, valjanost, formu, generiranje i razvoj znanja određene domene.

6.1 Struktura ekspertnog sustava

Osnovu sustava čini prikaz procesa konstruiranja planom koji je opisan u petom poglavlju, prema [3]. Pri tome, struktura plana ovisi o domeni, odnosno području primjene i načinu implementacije modela, dok sintaksa i semantika plana moraju biti

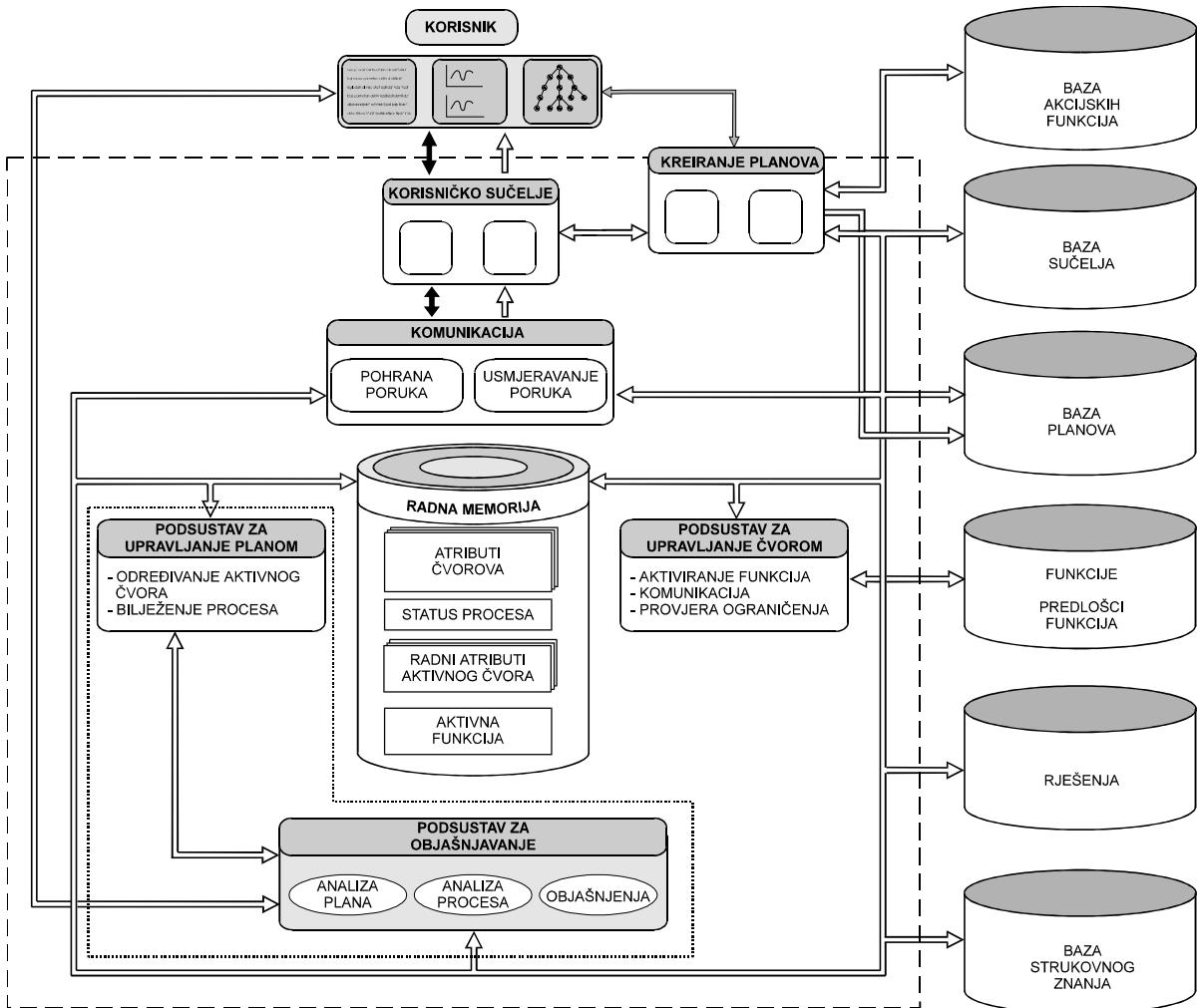
¹ Kao primjeri alata mogu se navesti: klasični programi za proračun, programski sustavi za izbor normiranih vrijednosti ili slično.

² Naime strukturiranje znanja s posebnim osvrtom na domenu strojnih dijelova je tema ove disertacije.

nezavisne. U ovom poglavlju bit će dani samo kratki prikazi podsustava koji su od temeljnog značenja za pokazivanje mogućnosti i načina korištenja zamišljenog modela ekspertnog CAD sustava s posebnim osvrtom na bazu strukovnog znanja.

Iz prikaza strukture ekspertnog CAD sustava (slika 6.1) mogu se uočiti sljedeće osnovne funkcionalne cjeline:

- Korisničko sučelje,
- Podsustav za komunikaciju,
- Podsustav za kreiranje plana (baze scenarija),
- Podsustav za upravljanje izvođenjem plana,
- Podsustav za upravljanje stanjem čvora,
- Podsustav za objašnjavanje.



Slika 6.1: Struktura ekspertnog CAD sustava

Treba napomenuti da je prikazani model strukture još u vijek u razvoju, odnosno pojedine module treba detaljno razraditi, što može eventualno dovesti i do manjih promjena u strukturi sustava.

6.1.1 Korisničko sučelje

Korisničko sučelje je za korisnika najviše eksponirani podsustav svakog programskega sustava, pa tako i ovog. Razvoj sučelja nije dio ovog rada, a dosadašnji rezultati na razvoju ovog sučelja objavljeni su u radovima [33],[38]. Ovdje se stoga iznose samo funkcionalne značajke sustava, kojemu je temeljna zadaća komunikacija korisnika i sustava. Osnovni dijelovi korisničkog sučelja podijeljeni su na dvije razine koje čine :

- moduli za prikaze i interpretaciju podataka, te komunikaciju s korisnikom³,
- modul za komunikaciju sa sustavom⁴.

Baza sučelja modula sadrži definicije raspoloživih sučelja pojedinih modula (alata). Tijekom rada, ovisno o raspoloživim podacima i trenutnoj funkciji modula, iz baze sučelja se na temelju poruke podsustava za upravljanje stanjem čvora aktivira sučelje potrebno za rad korisnika. Korisničko sučelje prema tome omogućuje korisniku uvid u izvođenje plana kao i upravljanje njegovim izvođenjem.

6.1.2 Podsustav za komunikaciju

Podsustav za komunikaciju [33] osigurava pohranu i razmjenu informacija između svih ostalih elemenata sustava. To uključuje i kontrolu prioriteta razmjene informacija, te raspodjelu informacija od izvora poruke do cilja. Svi podsustavi ekspertnog CAD sustava razmjenjuju informacije porukama kroz ovaj podsustav. Koncepcijski ovaj se podsustav sastoji od modula za prihvatanje i raspodjelu poruka, te modula za pohranu poruka. To je programski najsloženiji i najzahtjevniji podsustav jer nadgleda rad cijelog sustava i u vijeku sadrži potrebne podatke za rad slijedećeg podsustava koji treba aktivirati. Podsustav za komunikaciju je još u fazi razvoja, dok je jedna od prototipnih varijanti strukture ovog podsustava, u obliku modela, obrađena u radu [38].

6.1.3 Podsustav za kreiranje plana

Podsustav za kreiranje planova rezultat je istraživanja provedenih u [27], kao i predradnji koje treba poduzeti tijekom koncipiranja buduće baze znanja o akcijskim funkcijama.

Podsustav za kreiranje planova (u [27] nazivan "baza scenarija") mora svojom koncepcijom odgovoriti na osnovni zahtjev kod kreiranja planova. Kreirani plan projektiranja mora zadovoljiti odabrani način prikaza i sintaksu zapisa plana što je temelj nadogradnju svih ostali podsklopova cjelokupnog "inteligentnog" CAD sustava. Isto tako, potrebno je voditi računa o problemu pohrane i organizacije velikog broja informacija kao i potrebi za brzim pretraživanjem i izdvajanjem određenih skupova

³ Zadužen je za primanje poruka korisnika, te predaju poruka podsustavu za komunikaciju.

⁴ Zadužen je za komunikaciju između korisničkog sučelja i podsustava za komunikaciju.

podataka. Osim toga potrebno je krajnjem korisniku omogućiti brzu i jednostavnu izradu plana.

Prema [27] baza scenarija je realizirana od sljedećih osnovnih elemenata:

- baza akcijskih funkcija,
- radna baza za generiranje novih planova,
- baza gotovih planova.

Baza akcijskih funkcija je osnovna baza cjelokupnog "inteligentnog" CAD sustava, jer sadrži sve osnovne elemente koji će se koristiti u procesu generiranja plana. Pretpostavka je da će korisnici prije eksploracije sustava popuniti bazu akcijskih funkcija sa svim potrebnim podacima o aplikacijama koje se koriste za rješavanje problema u čvorovima plana. Akcijske funkcije se razvrstavaju u kategorije što omogućuje lakše snalaženje i traženje potrebnih akcijskih funkcija. Struktura podataka koje sadrži baza akcijskih funkcija odgovara atributima čvorova plana.

Radna baza služi za generiranje novog plana ili doradu postojećeg. Osnovni elementi radne baze su aplikacije potrebne za generiranje plana zajedno s predlošcima koji su sučelja za korištenje aplikacija i unos podataka. Korisnik u ovoj bazi najprije definira čvorove te svakom čvoru pridružuje određenu akcijsku funkciju koja rješava problem koji je vezan uz taj čvor. Tako se generiraju tablice čvorova. Nakon toga korisnik postavlja relacije između tablica čvorova određujući koji čvor je kojem prethodnik, a kojem sljedbenik definirajući tako stablo plana. Tako definiran plan potpuno je određen te se iz njega formira tablični zapis gotovog plana. Kompletan tablični zapis plana pohranjuje se kao posebna baza podataka (i posebna datoteka) čije ime je zapisano u bazi gotovih planova.

Baza gotovih planova služi za pohranu dijela tabličnog zapisa svakog plana i to tablice čvorova i tablice relacija. To omogućuje korisniku pregled i pretraživanje gotovih planova što olakšava eventualnu kasniju ponovnu upotrebu gotovog plana ili korekciju nekog plana za sličan zadatak. Rad s bazom planova je jednostavan i svodi se na izbor željenih podataka pomoću kontrola na predlošku što na jednostavan način omogućuje efikasno korištenje.

Korištenjem gore opisanog podsustava za kreiranje planova, kreiran je plan konstruiranja navojnih vretena, za verifikaciju predočenog sustava znanja, ali uz velika pojednostavljenja jer baza znanja o akcijskim funkcijama koja je ovdje korištena relativno je "siromašna", jer je u fazi izrade i nije dovršena.

6.1.4 Podsustav za upravljanje izvođenjem plana

Ovaj podsustav upravlja izvođenjem plana i predstavlja središnji dio sustava za korištenje plana. Rad ovog podsustava temelji se na informacijama sadržanim u planu i porukama koje generiraju podsustav za upravljanje čvorom, te korisnik. Nadzor integriteta podataka važna je zadaća ovog podsustava. Naime, ovdje se ustanovljuju greške ili neodređenosti u akcijama ostalih izvršnih članova sustava: korisnika i podsustava čvora. Greškom korisnika smatrati će se zahtjev za aktiviranjem čvora za kojeg vrijednosti ulaznih atributa nisu određene. U tom slučaju čvor se neće aktivirati,

već će se konzultirati korisnik. Greškom podsustava čvora smatramo situaciju kada iz poruke podsustava čvora proizlazi da funkcija nije obavljena, o čemu će se također proslijediti poruka korisniku. Detaljniji opis upravljanja izvođenjem planom, kao i sam postupak izvršavanja plana opisan je u poglavlju 8.3. Algoritam upravljanja planom prikazan je u [31].

6.1.5 Podsustav za upravljanje stanjem čvora

Ovaj podsustav služi za komunikaciju između podsustava za upravljanje planom i akcijske funkcije koju treba aktivirati u čvoru. Zadaće ovog podsustava su :

- manipulacija porukama,
- aktiviranje predloška s opisom akcijske funkcije⁵,
- generiranje informacija za korisničko sučelje,
- transformacija atributa čvora u ulazne podatke potrebne za aktiviranje funkcije,
- aktiviranje funkcije,
- provjera ograničenja,
- konzultacija korisnika, ako nisu zadovoljena ograničenja,
- transformacija izlaznih podataka akcijske funkcije u ulazne podatke čvorova sljedbenika.

Predložak s opisom akcijske funkcije omogućuje relaksaciju krute forme atributa čvora, a zamišljen je i kao baza podataka koji su potrebni za aktiviranje određenog programskega alata. Takvi predlošci zapravo trebaju biti dio baze akcijskih funkcija i trebaju se popunjavati u isto vrijeme kad i sami skupovi atributa akcijskih funkcija. Koncepcijom cijelog sustava predviđeno je da se kao akcijske funkcije mogu upotrebljavati bilo kakve programske aplikacije što implicira veliku raznorodnost načina izvođenja te učitavanja i ispisa podataka. Zbog toga je definiranje unificiranih predložaka za opis akcijske funkcije dosta zahtjevan zadatak, a većina smjernica koncipiranja proizlazi iz koncepcije podsustava za komunikaciju i podsustava korisničkog sučelja.

6.1.6 Podsustav za objašnjavanje

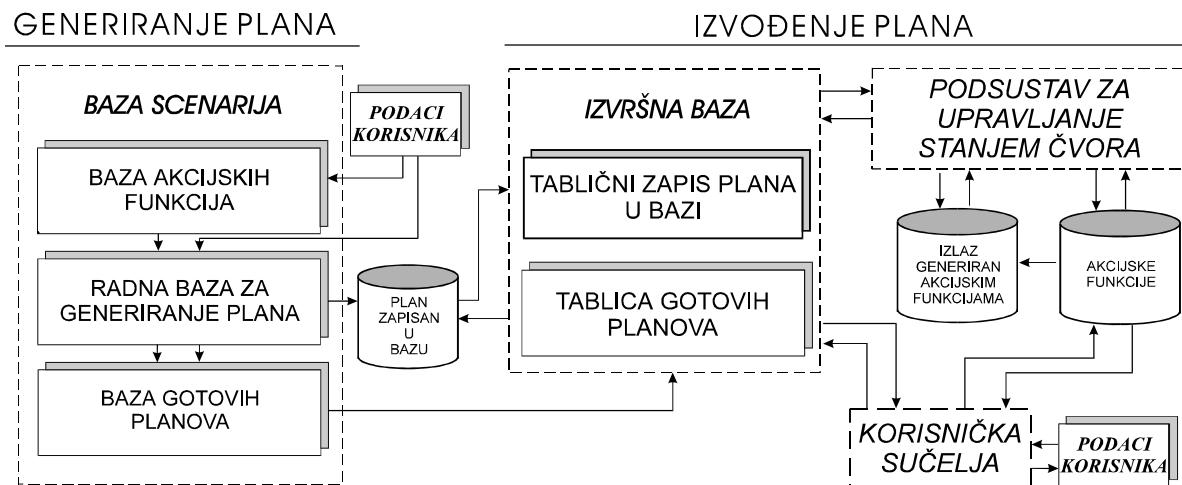
Objašnjenje procesa konstruiranja, odnosno objašnjavanje izvršenih akcija od bitnog je značenja za kvalitetu eksploatacije plana i nivo pouzdanosti korištenja. Podsustav za objašnjavanje koncipiran je kao ekspertni sustav, a detaljno je razrađen i opisan u [3]. Objašnjavanje se promatra kao problem rješavanja složenog zadatka prezentacije izvedenog procesa konstruiranja. Osnova ovog pristupa proizlazi iz koncepcije prikaza procesa konstruiranja planom. Plan služi kao okolina za eksploataciju različitih programskih alata koji, pojedinačno, služe za rješavanje parcijalnih konstrukcijskih

⁵ To jest s opisom programskega alata.

zadataka u okviru cjelokupnog zadatka. Stoga je zadatak sustava za objašnjavanje interpretacija odvijanja konstrukcijskog procesa, s iznošenjem parametara odlučivanja koji su korišteni tijekom procesa.

6.2 Način korištenja ekspertnog sustava

Zamišljena koncepcija korištenja ekspertnog CAD sustava može se podijeliti na fazu generiranja plana i fazu izvođenja plana. Pri tome se korisnik u svakoj od faza koristi različitim skupovima programskih alata.



Slika 6.2: Generiranje i izvođenje plana unutar ekspertnog CAD sustava [39]

Ostvareni podsustav za upravljanje izvođenjem plana u istom programskom okolišu u kojem je ostvarena i baza scenarija, ne zahtjeva prevođenje gotovog plana iz ASCII zapisa u binarni oblik, kao što je to bilo riješeno u radu [27]. Plan koji se spremi u obliku tablice i relacija u bazi scenarija odmah služi i kao osnova podsustava za upravljanje izvođenja plana. Takav koncept tijeka podataka prikazan je na slici 6.2. Bitna stvar je i unificiranost sučelja koje je s ovim rješenjem slično sučelju koje je ostvareno u bazi scenarija, što krajnjem korisniku omogućava lakše prilagođivanje i jednostavnije korištenje cjelokupnog sustava.

6.2.1 Fenomenološki opis rada sustava

U ovom poglavlju dan je prikaz rada sustava u fazi izvođenja plana, prema [3], uz neka razmatranja upliva određenih situacija na proces kreiranja plana u smislu efikasnosti i upotrebljivosti plana. Treba naglasiti da u procesu kreiranja plana stalno treba voditi računa o načinu (algoritmu) izvođenja plana, odnosno, o načinu rada cjelokupnog sustava. U postupku kreiranja treba pokušati strukturirati plan na taj način da se u fazi izvođenja mogu eventualno prebroditi i neke planom neočekivane situacije. Neke od takvih nepredviđenih situacija vjerojatno bi se mogle rješavati prijelazom na prekidni način izvođenja plana, a upravo struktura stabla čvorova plana, te struktura skupova ulaznih i izlaznih atributa čvorova mogu u takvim situacijama biti od velikog značaja.

Ovdje se u opisu rada sustava, prepostavlja da je plan kreiran. Korisnik, unutar korisničkog sučelja izabire i aktivira plan. Uz izbor plana korisnik može pokrenuti njegovo izvođenje u cjelini, ili samo za neke čvorove. Nakon odabira plana, upravljanje preuzima podsustav za upravljanje planom.

Za svaki čvor plana koji je na redu za aktiviranje, podsustav plana predaje upravljanje podsustavu za upravljanje čvorom.

Postoje dva temeljno različita načina izvođenja plana:

- sekvenčijalna izvedba,
- izvedba s od korisnika zahtjevanim prekidom.

Sekvenčijalna izvedba znači da se plan izvodi kao cjelina, po putanjama određenim relacijama između čvorova. Upravljanje je potpuno pod nadzorom podsustava plana i čvora. Izvođenje s prekidom događa se kada korisnik kroz korisničko sučelje prekine sekvenčijalnu izvedbu, te inicira koji čvor želi aktivirati⁶. Korisnik može mijenjati načine izvođenja po svojoj želji.

Ovdje treba naglasiti da mogućnost prekidanog izvođenja plana ima veliki utjecaj na moguće načine promišljanja i koncipiranja u tijeku generiranja plana. Prekidanim načinom izvođenja može se u nekim slučajevima osigurati ponavljanje, nizom pokušaja što približava postupak izvođenja plana realnom procesu konstruiranja, ako se to strukturonim čvorova i atributa plana predviđi u tijeku generiranja plana. Prijelaz iz sekvenčijalnog u prekidani način rada vjerojatno bi se najčešće događao u situacijama kad nije zadovoljen niti jedan od uvjeta u tablici odlučivanja ili kada nisu zadovoljena ograničenja. Predviđanje takvih situacija također utječe na strukturiranje plana tijekom generiranja, a može se prepostaviti da to može biti i ključno za efikasnost i "eksploataabilnost" kreiranog plana. Takvo promišljanje mogli bi naznačiti i kao strukturiranje plana na taj način da bi se u tijeku izvođenja u slučaju potrebe mogao na eventualno predviđeni način simulirati prikaz konstrukcijskog procesa mrežom čvorova, pomoću prekidanog načina rada.

Čvor se aktivira⁷ ako su određene vrijednosti ulaznih atributa čvora. Na ovoj razini provodi se i provjera ograničenja atributa za koje su postavljena.

Nakon provjere nadzor nad upravljanjem preuzima podsustav za upravljanje čvorom plana. Korisnik se obavještava o dalnjoj obradi, a u slučaju greške upravljanje se predaje korisniku kroz korisničko sučelje.

U slučaju prekida podsustav za upravljanje planom mora odrediti nastalu situaciju u odnosu na do sada prijeđeni put. U slučaju sekvenčijalnog prekida (skoka), podsustav za upravljanje planom pohranjuje trenutno stanje, odnosno značajke provedenog procesa do trenutka prekida tj. putanju i vrijednosti atributa aktiviranih čvorova. Ovdje se razlikuju dvije moguće situacije: prvi pokušaj aktiviranja čvora i bilo koji drugi pokušaj u nizu.

⁶ Skakanjem će se nazivati nesekvenčijalno aktiviranje bilo kojeg čvora inicirano od korisnika.

⁷ Izvršava se akcijska funkcija.

U potonjem se slučaju restauriraju vrijednosti atributa čvora u posljednjem pokušaju, te se određuje status izvođenja i vrijednosti atributa.

Ako su vrijednosti atributa određene, zahtjeva se potvrda korisnika za aktiviranje funkcije. Upravljanje se prepusta podsustavu za upravljanje čvorom s odgovarajućom porukom.

Ako vrijednost nekog (ili nekih) ulaznog atributa nije određena, traži se od korisnika da odredi vrijednost atributa. Proces se nastavlja kao i u prijašnjem slučaju.

Proces završava kada korisnik to odredi. U slučaju sekvencijalnog izvođenja podsustav plana prekida izvođenje (predaje upravljanje korisniku) u sljedećim situacijama:

- kada se dostigne krajnji čvor,
- kada je vrijednost atributa izvan područja ograničenja,
- kada nije u stanju jednoznačno odrediti smjer grananja.

Ovdje ćemo navesti neke od mogućih grešaka koje se mogu napraviti u tijeku kreiranja plana, a da njihove posljedice budu uočene tek u tijeku izvođenja plana (ako uzrokuju neku od situacija prekida) :

- pogrešno upisani atributi u bazi akcijskih funkcija,
- pogrešno adresirani podaci (veze između atributa čvorova) u tijeku generiranja plana,
- pogrešno upisani podaci u predlošcima za opis akcijskih funkcija,

Na žalost uvjek postoji i mogućnost da neke od spomenutih grešaka ne budu uočene niti u tijeku izvođenja plana⁸. Stoga o tome treba posebno voditi računa pri testiranju kreiranih planova, u čemu veliki doprinos može imati podsustav za objašnjavanje.

Za vrijeme koncipiranja i razvoja modela "inteligentnog" CAD sustava uočena je potreba za zapisivanjem i dohvaćanjem znanja potrebnog u tijeku procesa kreiranja plana. Iz tih razloga u sljedećem poglavlju izložit će se teoretske osnove za strukturiranje baze znanja.

6.3 Baza strukovnog znanja

Teoretska razmišljanja izložena kroz deskriptivne prikaze u okruženju znanosti o konstruiranju potrebno je usmjeriti prema području *preskriptivnih prikaza* koji su usko povezani sa strojarskom praksom. Preskriptivna područja⁹, trebaju obuhvatiti praktično znanje koje će dati brze i direktnе odgovore na sva ona pitanja koja se javljaju od strane konstruktora u različitim fazama konstrukcijskog procesa. Analogno teorijskim, preskriptivno tehničko znanje može se podijeliti na dva karakteristična područja:

1. strukovno znanje (usmjereni znanje, znanje o specifičnim tehničkim sustavima),
2. procesno konstrukcijsko znanje (znanje o konstruiranju).

⁸ Ako ne uzrokuju situaciju prekida ili "nemoguće" izlazne rezultate.

⁹ Zajedno ih nazivamo jednim imenom *preskriptivno konstrukcijsko-tehničko znanje*.

Raznolikost i višestrukost problema s kojim se svakodnevno susrećemo isto tako odgovara širokom opsegu mogućih konstrukcijskih aktivnosti (slika 2.8 u poglavlju 2.5.2). Radi toga, neophodno tehničko znanje, ne samo da treba biti dostupno, već mora biti brzo i lako pronađeno, odnosno treba davati direktne odgovore na postavljena pitanja¹⁰, kao što je to uobičajeno za vrijeme konstruiranja. Posebno u realizaciji individualnih zahtjeva tehničkog sustava svi utjecajni faktori, kao i njihove međusobne veze, trebaju biti poznati i dostupni, ako je moguće u kvantitativnoj formi.

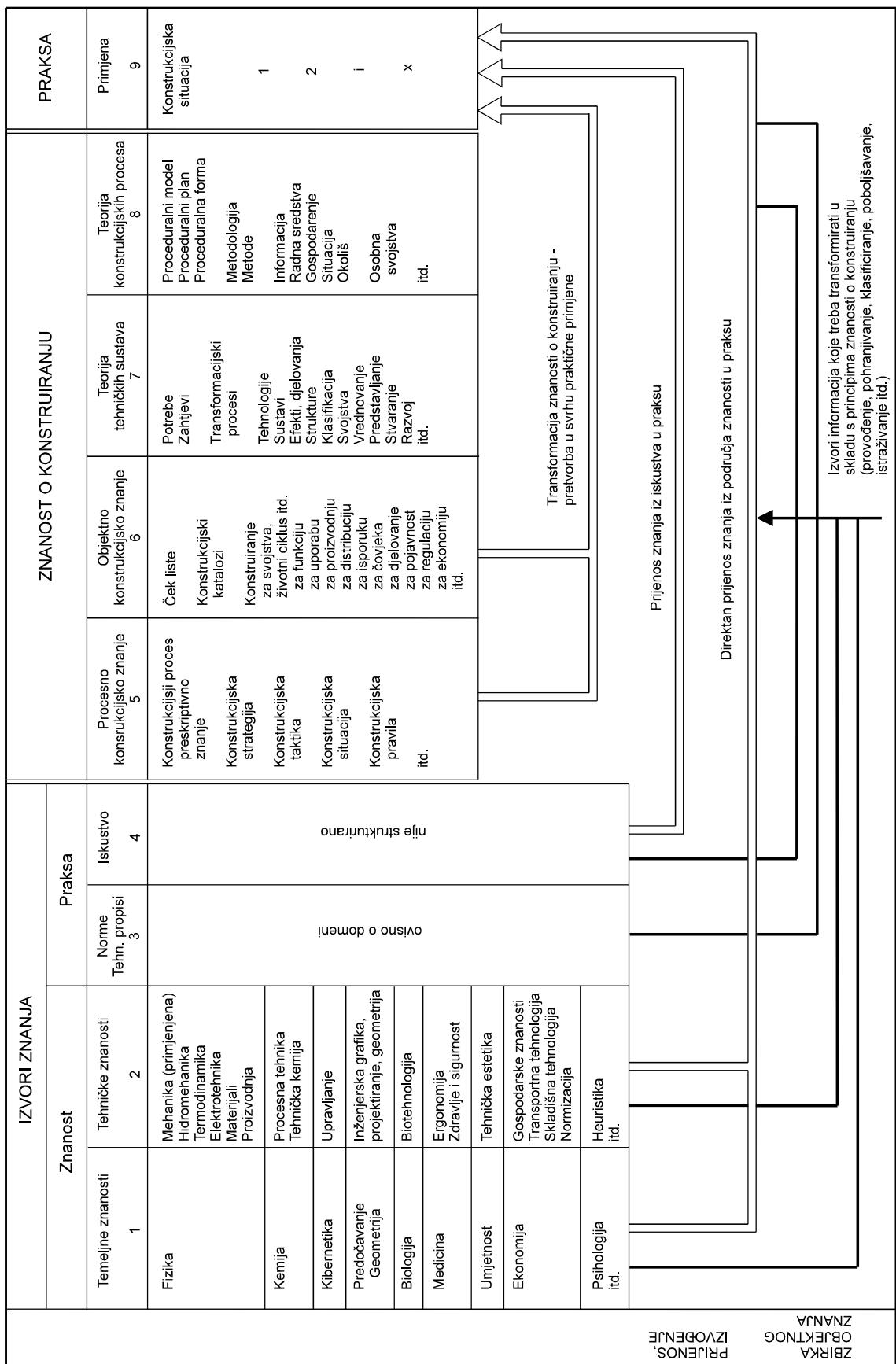
6.3.1 Oblici i izvori strukovnog znanja

Potpun i cjelovit sustav znanja za konstruiranje, kao samostalno tehničko područje ne postoji, već se dostupno znanje javlja većinom u fragmentiranom obliku isto kao i brojna nastojanja istraživača, iz različitih znanstvenih područja, da ta znanja približe korisnicima. Znanje koje konstruktor danas treba i koje će koristiti u budućnosti, uglavnom je već otkriveno znanje, često i rabljeno u ranijem vremenu, ali je ono uglavnom pohranjeno na raznim mjestima, te raspršeno u relevantnim znanstvenim disciplinama. U velikom broju slučaja, to je nejasno formulirano tehničko znanje, veoma često tek puko osobno "iskustvo" pojedinih konstruktora, koje nije bilo integrirano u tehnički sustav. Stoga je napredak i transfer znanja u druge specijalnosti bio izuzetno rijedak i komplikiran, jer su spoznaja i iskustvo pojedinca bili glavni izvor znanja. Kasnije, oko 1920. godine, tehničke znanosti postaju izvor tog tako potrebnog znanja, tablica 6.1.

Konstruktorima je to značilo da konkretna i specifična znanja, koja su im potrebna u različitim specijalnostima, trebaju izvesti i usvojiti, iz općeg tehničkog znanja. U područjima, gdje se teorijski nisu razvile tehničke nauke, proširila su se istraživanja sa ciljem pronalaženja tehničkih znanja kroz "čisto" prirodne nauke (fizika, kemija, biologija). Područja istraživanja konstruktora temelje se stoga na dva hijerarhijska znanstvena nivoa prikazana na slici 6.4 (u stupcu 1 i 2), a isto tako na iskustvenom znanju (stupac 4) i normama (stupac 3). Također treba naglasiti da neka obilježja ili svojstva tehničkog sustava (slika 3.3) ne mogu biti sadržana i obuhvaćena samo s jednim znanstvenim područjem.

Pošto se spoznalo, da se ogroman transfer znanja, koji treba izvršiti između različitih domena, može postići, samo ako se informacije pohranjene u tehničkim naukama uporabe pri oblikovanju strojarskih konstrukcija, razvoj konstrukcijskih znanja je krenuo bržim koracima. Područje realizacije tehničkih sustava pokazuje neophodne buduće razvojne smjernice, gdje se formira tehnička kreativna disciplina *konstruiranje za proizvodnju* [40],[41], što omogućuje, na određeni način, stvaranje temelja za to parcijalno područje preskriptivnog strukovnog znanja (smješteno u stupcu 6, tablica 6.1). Za konstrukcijsku praksu taj sustav znanja je veoma važan i treba služiti kao pouzdan rezervoar potrebnog znanja pri oblikovanju izratka. Prema tome, tehnološki oblikovanje mora predstavljati okosnicu, ali i sponu između različitog znanja potrebnog u procesu konstrukcijskog definiranja forme budućeg proizvoda.

¹⁰ Kako u području objektnog konstrukcijskog znanja, isto tako i u području procesnog konstrukcijskog znanja.

Tablica 6.1: Opće i specijalizirano znanje i njegova povezanost s primjenom u praksi

6.3.2 Struktura strukovnog znanja

Strukturni elementi strukovnog znanja trebaju se prilagoditi željenom stanju, naime s jedne strane situaciji u konstrukcijskom procesu, a s druge strane vrsti operanda¹¹, shodno teoriji tehničkih sustava.

Izvori znanja, razvoj u vremenu, te taksonomija tehničkih sustava ostaju prilično nepromijenjeni, bez obzira u kojoj konstrukcijskoj fazi o tome raspravljali. Stoga ona mogu formirati samostalna područja koja se u potpunosti slažu sa odgovarajućim područjima *teorije tehničkih sustava*. Bitna razlika naprosto uvijek postoji u vrsti znanja, bilo deskriptivnog ili preskriptivnog.

Znanja o efektima, prirodi, načinu djelovanja i strukturi tehničkih sustava, nalaze se u specifičnoj suprotnosti i ovise o domeni ili užoj specijalnosti, radnom stupnju i vrsti konstrukcijske aktivnosti. Bitno različita informacija traži se za sintezu cjelokupnog sustava u fazi koncipiranja, a drugačija u fazi projektiranja, te napose različit skup informacija za vrednovanje predloženog ili realiziranog sustava. Naime, kako potreba za znanjem postaje konkretnija ulazi se sve dublje i šire u usku domenu strukovnog znanja koje poprima kvantitativne veličine i stvarne oblike u konačnici konstrukcijskog procesa, slika 6.3.

Slijedeći ta saznanja, strukovna znanja trebaju biti svrstana prema:

- *vrsti konstrukcijske aktivnosti*¹²,
- *proceduralnom djelovanju*.

Prenošenje relevantnog strukovnog znanja na individualne konstrukcijske aktivnosti može biti provedeno na mnogo različitim načina, ovisno o važnosti individualnih značajki u konkretnoj situaciji. Prvo treba pronaći koje će značajke imati presudan utjecaj na svrstavanje znanja, pa tek nakon toga, tako odabrane primarne značajke mogu biti primijenjene. Ako, na primjer treba biti utvrđen oblik komponente, tada je sasvim jasno da proces proizvodnje ima primarni utjecaj na tehnologičnost forme. Stoga proces proizvodnje može biti izabran kao ključni indikator za svrstavanje znanja o formi.

Ali isto tako izbor konstrukcijske aktivnosti, kao ključnog pokazatelja za kategorizaciju znanja, nije ni jednostavan, a ni bez problema, jer konstrukcijske aktivnosti ne smiju biti postavljene, ni preširoko, ni preusko. Tako se selektivno dolazi do prevladavajućih planova, odnosno *konstrukcijskih operacija* i *osnovnih operacija*¹³, kao glavnih kategorizacijskih prikaza za konstrukcijske aktivnosti.

U području operanda¹⁴, prva ključna karakteristika je industrijska grana¹⁵ u kojoj se može realizirati nekoliko hijerarhijskih planova. Slijedeći navedeno, drugi ključni indikator je stupanj originalnosti sustava, gdje treba uzeti u obzir i nivo kompleksnosti

¹¹ Odnosno tipu tehničkog sustava koji treba biti konstruiran, s obzirom na različite aspekte tehničkog sustava.

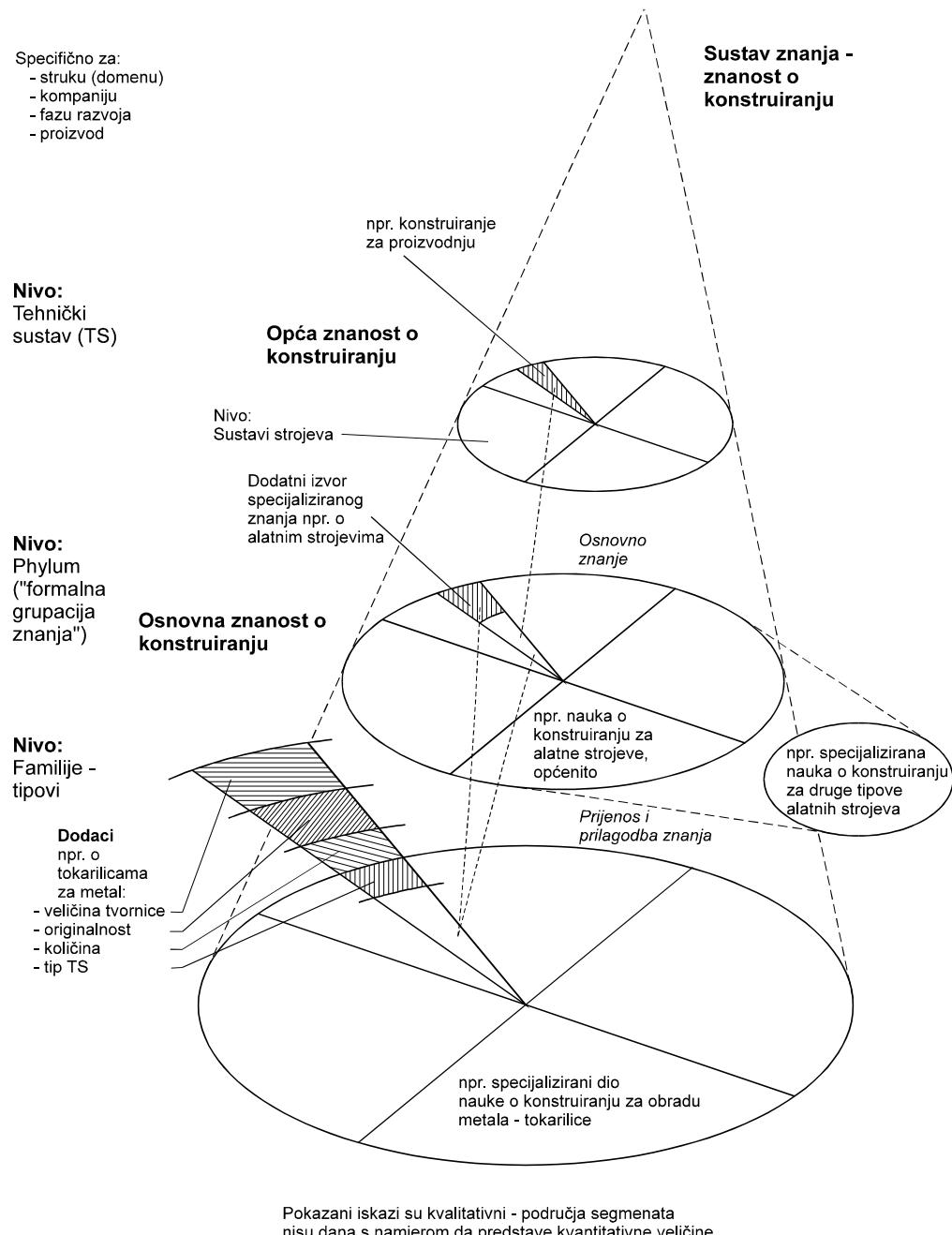
¹² Znanja vezana uz proces konstruiranja - *procesna konstrukcijska znanja*.

¹³ Kako savladati problem - kroz razmišljanje i akcijsko djelovanje.

¹⁴ Sustava kojeg treba oblikovati.

¹⁵ Odnosno funkcioniranje relevantne grupe tehničkog sustava, kao što su npr., turbine, alatni strojevi, dizala i slično (poglavlje 7.7).

između te dvije karakteristike, što zajedno definira i oblikuje specijalnu grupu elemenata¹⁶.



Slika 6.3: Opći model građe strukovnog znanja [23]

Konstrukcijska situacija nudi daljnje mogućnosti za definiranje kategorija znanja, a moguće podijele konstrukcijske situacije i udruženih elemenata strukture vidljive su iz tablice 6.2.

¹⁶ Što se u praktičnoj izvedbi podudara s konvencionalnim strojnim dijelovima.

Ako je strukovno znanje neovisno o konstrukcijskim operacijama, tada aspekt operanda može postati ključni indikator kategorizacije. Područje (B) iz tablice 6.2 sadrži takve slučajevе. Tako određeni elementi strukovnog znanja mogu biti izvedeni uz pomoć opće teorije stvaranja¹⁷ (životni vijek proizvoda, slika 3.5). Svrstavanje povezanosti unutar tehničkih sustava razvija se također iz stupnja složenosti. Postrojenja, strojevi, ugradbene grupe i pojedinačni strojni dijelovi prekrivaju četiri razine strojnih sustava, gdje svaka razina posjeduje neka svoja pojedinačna obilježja. Posebno zadnje dvije razine sadrže konstrukcijske jedinke koje općenito mogu biti primjenjive u različitim specijalnostima (domenama). Zbog toga, ne bi bilo poželjno strukovno znanje o konstrukcijskim jedinkama svrstati s obzirom na konstrukcijske aktivnosti. Bolji oblik svrstavanja izvodi se u literaturi iz organa tehničkog sustava, tako da su elementi strukovnog znanja raspoređeni prema elementarnim organima ili organskim grupama. Takovo svrstavanje omogućuje posjedovanje kompletног znanja o tim specifičnim konstrukcijskim jedinkama na jednom mjestu. Konstrukcijska situacija primjenjiva za takve elemente strukovnog znanja može biti opisana na sljedeći način:

Organska struktura je utvrđena za sustav koji treba konstruirati, pa sada treba utvrditi konkretne komponente buduće strukture.

Tablica 6.2: Konstrukcijska situacija i forme objektnog znanja

KONSTRUKCIJSKA SITUACIJA				OBJEKTNO KONSTRUKCIJSKO ZNANJE	
Konstrukcijske aktivnosti		TS koji treba konstruirati			
Konstrukcijske operacije	Osnovne operacije	Struka, domena	Daljnji aspekti, karakteristike		
A	Određivanje forme djelovanja	Ili sve (kad je optimirano) ili individualno	Za svaku struku ili domenu	Katalogi načina djelovanja	
	Određivanje funkcije	Elaborirati doznačenu specifikaciju		Lista zahtjeva (glavna ček-lista)	
	Određivanje nosioca funkcije, organ	Tražiti solucije		Katalogi rješenja, izvedbi	
	Određivanje materij. + Dimenzije + Oblikovanje + ...	Određivanje poretka Vrednovanje itd.		Konstruiranje za određeni materijal i proizvodnju (poredani prema proizvodnim metodama) npr. zavareni dijelovi Konstrukcijska pravila	
B	Za svaku operaciju ili složene operacije		Za svaku struku ili domenu	Originalni plan, akcijski plan	
				Razvojni plan, često ekstrapolirano	
				Taksonomija	
C	Sve		Po želji	Komponente, taksonomija	
			Po želji	Mogućnosti planiranja	

¹⁷ Na primjer u okvirima određenih specijalnosti (industrijske grane), za različite nivoе originalnosti, ili za različite vrste proizvodnje (masovna proizvodnja, velike ili male serije, pojedinačna proizvodnja itd.).

Znanje o konstrukcijskim jedinkama može biti ugrađeno u izvedbu na jedan opće poznati način, na primjer način koji se upotrebljava u udžbenicima o elementima strojeva¹⁸, ili kroz strukovna izdanja pojedinačnih proizvođača iz specijalističkih područja koja su tiskana u konkretnoj formi industrijske smjernice ili čak standarda.

Aktualna razmatranja o strukovnom znanju i njegovo strukturi, posve dokazuju da nijedno opće valjano rješenje nekog problema ne može biti bezuvjetno preporučeno i direktno primjenjeno. Međutim, čak i neke posebne izvedbe različitih strojnih dijelova i sklopova koje su se pojavile na tržištu ne mogu u potpunosti zadovoljiti cijeli opseg veoma širokog područja tehnike i sve njene potrebe, pa se stoga treba očekivati izvedba kombiniranih konstrukcijskih rješenja u strojarskoj praksi. A glavni razlog tomu je što vođenje procesa nije dolazilo iz jednog cjelovitog koncepta, već se sukcesivno¹⁹ upravljalo procesom, koji je usko povezan i s drugim raznovrsnim područjima. Stoga povezanost procesa s posebno koncipiranom bazom znanja kao sastavnim dijelom ekspertnog sustava, sigurno bi umanjila istaknute probleme, te olakšala i ubrzala rad u procesu konstruiranja.

6.3.3 Oblik strukovnog znanja

Utvrđivanje najpovoljnijeg oblika strukovnog znanja glavni je zahtjev za njegovu djelotvornu primjenu. Znanje će uvjek donijeti direktan odgovor na neposredno pitanje, bilo da je to pitanje postavljeno od računala ili konstruktora. Serija konstrukcijskih pitanja ne proizlazi samo iz procedure već također i od strane konstrukcijskih aktivnosti (vidi sliku 2.8 u poglavlju 2.5.2).

Na sreću, raznolikost mogućih pitanja ne vodi jednako raznolikosti oblika, međutim to se može pojaviti sasvim slučajno samo u nekim razredima, pa je stoga moguće obuhvatiti cijelo područje s nekoliko klase karakterističnih pitanja. Najvažnije forme upita koje se pojavljuju su:

1. "Koji su?"

Veliki broj konstrukcijskih koraka bavi se traženjem rješenja za određeni problem, npr.: koji zahtjevi i potrebe, koji principi djelovanja, koji organi itd. ispunjavaju traženu funkciju?

Za dane granične uvjete zadanog problema, strukovno znanje bi trebalo pružiti, konstruktoru ili računalu na raspolaganje i uporabu, sve uobičajene solucije rješenja. Treba razlikovati više razina takve znanstvene građe koja se nudi konstruktoru, kao na primjer:

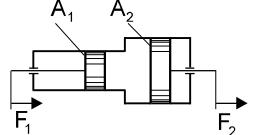
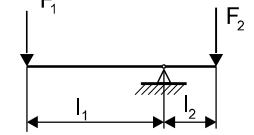
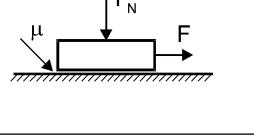
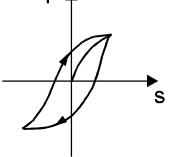
- nabranje (jednostavno nabranje bez dalnjih objašnjenja),
- nabranje s objašnjenjima određenih stanja,
- nabranje uz daljnju dokumentaciju, npr. formule,
- nabranje sa svojstvima rješenja za vrednovanje i uspoređivanje.

¹⁸ Preko tehničkih crteža, metoda proračuna, tabličnih i dijagramskih podataka, te iskustvenih preporuka za pojedine strojne dijelove vezane uz materijal, strojnu i toplinsku obradbu, podmazivanje i sl.

¹⁹ Razvijanjem i rješavanjem problema individualnih područja, jedno iza drugog.

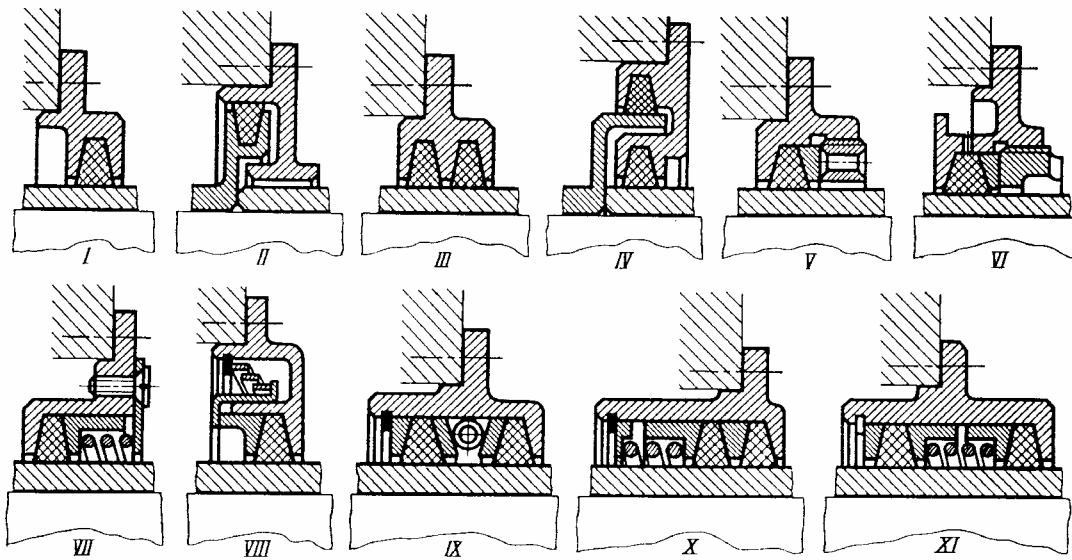
Takva znanja su pohranjena u konstrukcijskim katalozima [20],[22] i strukovnim smjernicama koje većinom upotrebljavaju prikaze u obliku tablica. One su najčešće sastavljene iz tri ili četiri dijela: svrstavanje, prikazi, navodi i mogući dodaci (prema Roth [20]). U tablici 6.3 i na slici 6.4 prikazani su primjeri koji ilustriraju mogućnosti tog sustava znanja. Uspješna primjena konstrukcijskih katalogova je utemeljena na sistematiziranom uređenju kataloškog svrstavanja. Često to nisu konkretna rješenja već klase znanja, koje svojom strukturom potiču inspiraciju i donose daljnja bitna poboljšanja u brzini i efikasnosti formiranja željenog rješenja. Stoga je daleko lakše postići cijelovito nabranje klase rješenja u odnosu na potpuno nabranje svih mogućih izvedbenih rješenja²⁰.

Tablica 6.3: Katalog fizikalnih principa: povećanje - smanjenje fizikalnih veličina

Uzrok	Fizikalni efekt		Zakon	Primjeri primjene
Sila, Pritisak, Mehanička energija	efekt - fluida		$F_2 = F_1 \frac{A_1}{A_2}$	hidraulika pneumatika
	efekt - poluge		$F_2 = F_1 \frac{l_1}{l_2}$	polužni mehanizmi
	trenje		$F = \mu F_N$	kočnica
	histereza		$W_{izg.} = \oint F ds$ $W_{izg.} = \text{Energija pretvorena u toplinu u svakom ciklusu opterećenja}$	gubici kod električnih strojeva izazvani magnetskom indukcijom

Bilo bi značajno pohraniti takvo znanje u sustave baza znanja u računalu, tako da neophodne informacije, uključujući i savjete, budu lako dostupne pri modeliranju konstrukcijskog procesa. Savjeti mogu također sadržati "heurističke instrukcije" za selekciju vrijednosnih svojstava, npr. u obliku pravila. Dio tih instrukcija je već dostupan u konstrukcijskim katalozima, ali njihov obim, kako po broju područja tako i obuhvaćenom znanju, morao bi biti puno većeg opsega.

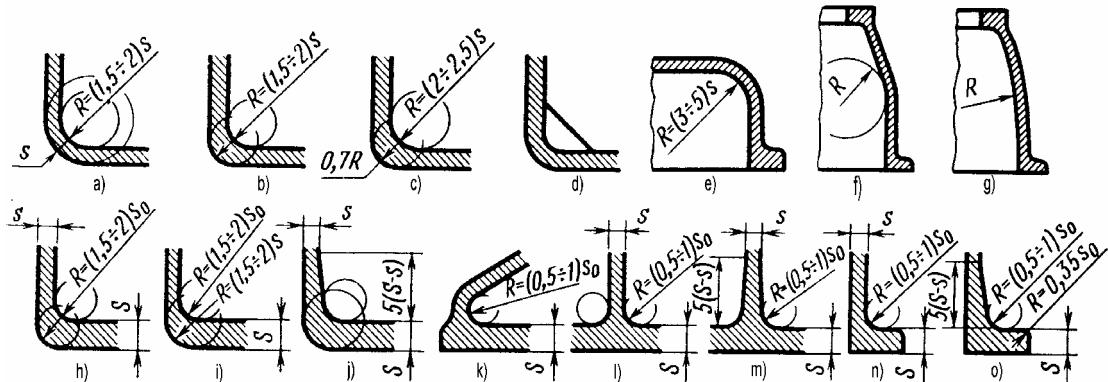
²⁰ Na primjer: razredi svojstava ili mehanička, hidraulična, električna pojačala.



Slika 6.4: Principijelna rješenja brtvenja rotacionih dijelova pustenim brtvama

2. "Kako izvesti oblikovanje?"

Za vrijeme oblikovanja (komponenti i ugradbenih grupa) najčešća pitanja odnose se na konstrukcijska svojstva. Dimenzioniranje i oblikovanje treba biti izvedeno²¹ kroz izbor sirovina, tolerancija, kvaliteta površine i proračun, tako da zahtjevane potrebe (funkcija, čvrstoća, tehnologičnost, transport, skladišne i druge operacije) budu zadovoljene. Potrebne informacije za obavljanje tako opisane djelatnosti daju se kroz područja u disciplinama poznatim pod nazivom "konstruiranje za"²²..., prezentirajući ih kroz individualna svojstva tehničkog sustava.



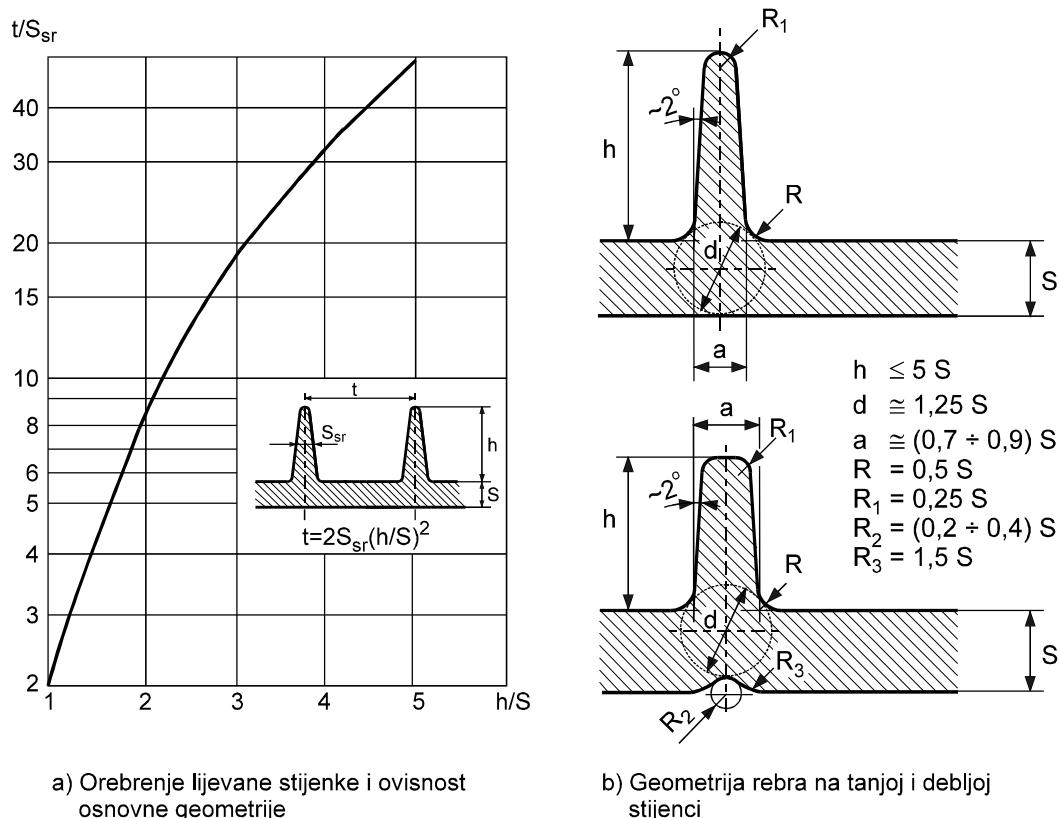
$$S_0 = 0.5(S+s); \quad R' = (50 \div 100)s$$

Slika 6.5: Oblikovanje polumjera zakrivljenja lijevanih stijenki iste i različite debljine [40]

²¹ Utvrđivanje veličina i forme proizvoda.

²² Npr. oblikovanje konstrukcije za proizvodnju i montažu [40],[41], ergonomiju [42], održavanje i dr.

Koristeći primjer tehnologije lijevanja (slike 6.5 i 6.6), vidljiva je velika razlika u sadržaju i obliku informacija između proizvodne tehnologije i informacija za ispravno tehničko oblikovanje lijevanih strojnih dijelova. Konstruktori neposredno iz njih dobivaju smjernice kako treba oblikovati i odrediti dimenzije, da bi izraci bili prikladni za modeliranje (izrada modela), izradu kalupa - u pjesku ili na neki drugi način, lijevanje (hlađenje - bez stvaranja usahlina), čišćenje (skidanje srha) i konačno za strojnu obradu. Prevladavajuće forme znanja u ovom području sastoje se od *pravila*, najčešće u obliku crteža i teksta²³, te dijagrama ili jednadžbi.



Slika 6.6: Oblikovanje rasporeda i presjeka rebara u lijevanoj izvedbi

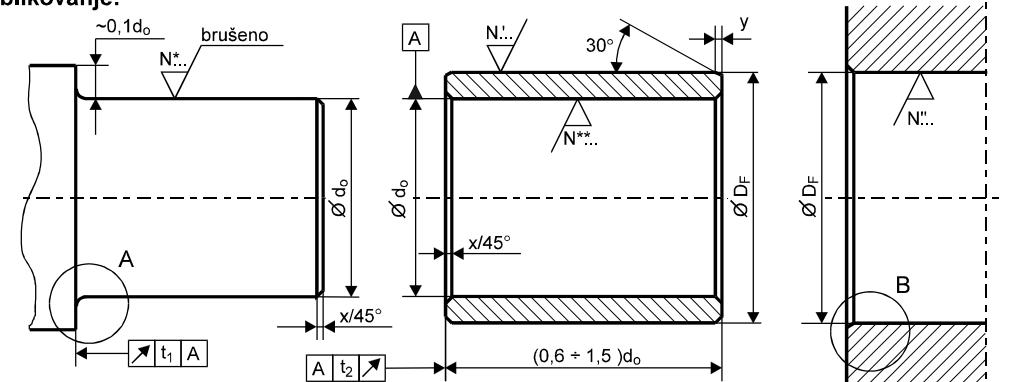
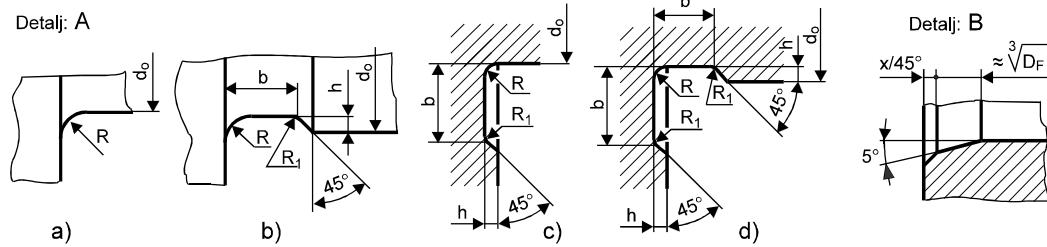
3. "Ovako bi to trebalo napraviti!"

Kao sljedeći uzorak forme strukovnog znanja mogu se razmatrati instrukcije za određivanje konstrukcijskih svojstava određenog tehničkog sustava, tablica 6.4. One su nastale kao rezultat relevantnih teorijskih spoznaja i znanstveno istraživačkog rada, te heuristički usvojenih i provjerenih vrijednosti i rješenja iz prakse. Individualna svojstva: *oblik, dimenzija, sirovina, tolerancija, kvaliteta površinske obrade*, mogu biti predočena i preporučena na više različitih načina²⁴.

²³ Bilo kao primjeri dobre prakse (tehnološka konstrukcijska rješenja parcijalnog zadatka), ili kao dobra i loša rješenja, jedno uz drugo, za komparaciju i edukaciju.

²⁴ Preko smjernica - preskriptivnih tiskanih materijala, ili propisane različitim standardima - izvaci tehničkih normi.

Tablica 6.4: Konstrukcijsko znanje u obliku smjernice za oblikovanje

Koraci	Struktura znanja potrebnog u oblikovanju kliznog ležajnog mesta																										
1	Zahtjevi i uobičajena primjena: - stezni spoj i klizni ležaj; uležištenje rukavca - ...																										
2	Dimenzioniranje - proračun steznog spoja (prema DIN 7190) i kliznog ležaja (prema smjernicama) - izbor parametara iz točaka: 1 i 2																										
3	Materijal blazinice; bronca (HRN C.D2.302 i 304): - P.Cu Sn 14: Tvrda, otporna prema morskoj vodi; za klizne ležaje, visokotlačne armature; $p_{dop} = 60 \text{ N/mm}^2$ - C.Cu Sn 5 Pb5 Zn 5: Srednje tvrdoće, otporna prema morskoj vodi; za armature za vodu i paru do 225°C - ...																										
4	Obradba (veza IT kvalitete tolerancije i površinske hrapavosti) - $R_{zv} = f(D_F, \text{IT glavine}) \rightarrow$ očitati stupanj hrapavosti $N''\dots$ - $R_{zu} = f(D_F, \text{IT čahure}) \rightarrow$ očitati stupanj hrapavosti $N'\dots$ - $R_{zo} = f(d_o, \text{IT rukavca}) \rightarrow$ očitati stupanj hrapavosti $N^*\dots$ - ...	Tablica za izvedbu detalja: A <table border="1"> <tr> <td>d_o</td><td>10</td><td>10÷50</td><td>50÷100</td><td>100</td></tr> <tr> <td>b</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td><td>8</td></tr> <tr> <td>h</td><td>0.25</td><td>0.25</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr> <tr> <td>R</td><td>0.5</td><td>0.5</td><td>1.5</td><td>2.0</td></tr> <tr> <td>R_1</td><td></td><td></td><td>$\sim 2h$</td><td></td></tr> </table>	d_o	10	10÷50	50÷100	100	b	2	3	5	8	h	0.25	0.25	0.5	0.5	R	0.5	0.5	1.5	2.0	R_1			$\sim 2h$	
d_o	10	10÷50	50÷100	100																							
b	2	3	5	8																							
h	0.25	0.25	0.5	0.5																							
R	0.5	0.5	1.5	2.0																							
R_1			$\sim 2h$																								
5	Dosjedi: * čahura glavina: - H7/r6, H8/u8, H8/x8: (prvog prioriteta) i drugi prema opterećenju (iz proračuna) * čahura rukavac: - H7/g6, H7/f7: niske obodne brzine ($v < 8 \text{ m/s}$), stapajice - H7/e8, H7/d8, H7/c8: normalni ležaji - ...																										
6	Način montaže (stezni spoj): - uprešavanje (sila prešanja - proračun) - na toplo (zagrijavanje, pothlađivanje - proračun)																										
7	Podmazivanje: - vrsta maziva - način dovođenja i odvođenja maziva (kanali: oblik i dimenzije - smjernice) - ...																										
8	Oblikovanje:  Detalj: A a) b) c) d) 																										

Ta tri karakteristična razreda strukovnog znanja i primjeri odgovarajućih formi ne iscrpljuju sve mogućnosti njegova predočavanja. U vezi sa spomenutim, uvek se mogu pronaći nove forme za predstavljanje strukovnog znanja koje će biti sveobuhvatnije i upotrebljivije. Drugi bitan element u procesu je računalo, u koje će se unijeti novi zahtjevi kao i potrebe, te obogatiti ponudu rabeći svoje mnogobrojne sposobnosti, ovisno o tome da li je znanje namijenjeno konstruktoru u računalnom modeliranju konstrukcijskog procesa ili je instalirano samo kao pasivna baza znanja.

6.3.4 Generiranje strukovnog znanja

Jedan od najvećih problema u planiranju strukovnog znanja leži u obogaćivanju izvora znanja. To je naime, kontinuirani dinamički proces, jer znanje se stiče i svugdje i svakodnevno. Sve vrste izvora znanja trebaju se koristiti tako da cjeloviti sustav konstrukcijskog znanja bude praktično podržan i ostvaren, kao što je prikazano u tablici 6.1. Očekivanja i nada da će biti moguće riješiti problem generiranja i izrade sustava strukovnog znanja samo iz dostupne literature, čista je iluzija. Veoma široki izvori znanja koji se ne pojavljuju u objavljenoj literaturi, sastoje se od različitih iskustava - **posebni individualni sustavi** - te su neki od njih vlasnički zaštićeni i predmet su čuvanja od strane pojedinca ili poduzeća (poslovna tajna).

Ovdje se javljaju dva problema. Prvi se odnosi na poteškoću formuliranja osobnog iskustva (subjektivno znanje) i pronalaženja važnih zakonitosti i zavisnosti među znanjem. Drugi problem je na neki način posljedica prvoga, odnosno često puta tako nejasno znanje mora biti primijenjeno u procesu, pa to onda čini prolazne pojedinačne ulazne poteškoće u rješavanju konstrukcijskih zadataka.

Nadalje, neophodno je prenosi potrebno strukovno znanje između raznih područja iste struke, ali i između struka različitih specijalnosti. Konstruktori će stoga usmjeriti svoju pažnju prema objavljenim istraživačkim radovima, nastojati uočiti pogreške u sklopu svoje i drugih specijalnosti, te uz sagledane posljedice izvesti smjernice za svoj osobni rad iz tih izvora. Stoga svi podaci i iskazi trebaju biti obuhvaćeni u ispitivanju i provjerama ispravnosti, imajući u vidu kontinuitet, pouzdanost izvora, mogućnost provjere izvješća, slaganje podataka u razmjeni između izvora itd. Prema tome, evidentno je da je taj zadatak prezahtjevan za konstruktora kao pojedinca, kako zbog kompleksnosti i raznorodnosti problema koje treba rješavati tako isto i zbog obima posla koji treba obaviti.

U stvaranju strukovnog znanja, u zadnje vrijeme, situacija se bitno promijenila. Kroz ogroman broj istraživanja, novih ekspertiza i zakona u područjima teorije, posebno teorije tehničkih sustava, pronađena je prava mјera utjecaja, što je omogućilo pozitivan smjer razvoja od teorije prema izradi smjernica s konkretnim strukovnim znanjem iz područja konstruiranja.

6.3.5 Valjanost strukovnog znanja

Strukovno znanje je po prirodi konkretni oblik općeg tehničkog znanja. Njegovo širenje stoga treba očekivati u onim granama industrije gdje je i područje njegove najčešće uporabe, a posebno u pojedinim specijalizirano orijentiranim poduzećima. Tako da oblik

smjernice "znati-kako" može poprimiti čiste i jednostavne forme potpuno definiranih elemenata nastali u fazi razrade i detaljiranja u stvarnom konstrukcijskom procesu, tablica 6.4.

Također, ima područja koja mogu sadržati konkretne preporuke, a mogu služiti širokom krugu korisnika s ograničenim "specijalnostima", iako su one utemeljene i razvijene na općem planu, kao primjer, može se navesti posebno područje "konstruiranje za zahtjevana svojstva". Slike 6.5 i 6.6 ilustriraju kakva sve upozorenja proizlaze iz znanja proizvodne tehnologije, kao pravila i preporuke proporcija, veličina i oblika, što ima široku valjanost i predočava vrlo konkretnu formu znanja koja su često prikupljena i sistematizirana kao posebna izdanja namijenjena specijaliziranim poduzećima.

6.3.6 Razvoj strukovnog znanja

Pri razmišljanju o potrebama za tehničkim znanjem, konstruktorima se strukovno znanje pojavljuje kao nešto samo po sebi vidljivo, pa ipak samo dio tog znanja im je dostupan prije detaljnijeg ulaska u područje metodičkog (sistemske) konstruiranja. Opće poteškoće u konstruiranju i održavanju tih sistemskih znanja sprečavaju njihovu šиру primjenu, a činjenica je da iskusni konstruktori, općenito nisu uvjereni u blagodati koje daje konstruiranje tih sustava. Međutim, primjena sustava strukovnog znanja mogla bi, pored drugih posljedica, isto tako znatno podići kakvoću izobrazbe i skratiti "vrijeme sazrijevanja" mladih konstruktora.

Praktički, treba očekivati jednu bitnu promjenu u razmišljanju i provođenju konstrukcijskog procesa podržanog računalom, samo onda kada se prihvati činjenica, da je strukovno znanje važan dio neophodnog općeg konstrukcijskog znanja i mora biti esencijalni element svake baze znanja računalnog sustava.

7. STRUKTURIRANJE KONSTRUKCIJSKOG ZNANJA

U ovom poglavlju pokušat će se provesti strukturiranje znanja potrebnog u konstrukcijskom procesu, uz prikaz širine i složenosti problematike znanstveno tehničkih područja koja moraju biti obuhvaćena pri oblikovanju sustava strojeva određene gospodarske grane. Pri izradi modela strukture, posebna pažnja bit će usmjerena na znanja vezana uz strojne dijelove i tehnologičnost njihove izrade, te znanstvene osnove teorije tehničkih sustava. Međutim za formiranje osnovnih akcijskih funkcija, te kreiranje temelja formalnog modela prikaza konstrukcijskih znanja određene domene, potrebna su konvencionalna i iskustvena tehnička znanja.

Pri generiranju plana konstruktor treba imati na raspolaganju velike količine informacija, odnosno znanja na temelju kojeg će strukturirati plan. Jedan dio tog znanja konstruktor unosi u plan u obliku pravila odlučivanja i relacija ograničenja, a drugi dio znanja predstavljaju algoritmi ugrađeni u akcijske funkcije, te sama struktura i hijerarhija planova.

Skup svih informacija o proizvodu i proizvodnji, ovisno o vrsti proizvoda i tehnologiji, može obimom i strukturom biti vrlo složen. Pored navedenog informacije o pojedinom proizvodu, u općem su slučaju sakupljene i prikazane na različite načine, te obuhvaćaju: tehničke crteže, sastavnice, proračune, tehnološke postupke, interne i opće standarde, kataloge dobavljača, priručnike, stručnu literaturu, itd. Zapiše li se taj skup informacija u računalu, odnosno ako se organizira u obliku baze znanja, konstruktor bi tada mogao brže pretraživati i dohvaćati potrebne informacije (u odnosu na konvencionalne načine), te ih koristiti u procesu kreiranja plana. Na taj način s jedne strane bi se unaprijedio i olakšao proces kreiranja plana, a s druge strane i cjelokupan proces konstruiranja¹. Prepostavka je ovog istraživanja da bi uvođenje baze znanja olakšalo i ubrzalo protok informacija i spoznaja između sudionika u okruženju odvijanja konstrukcijskog procesa, a isto tako, primjena baze znanja doprinijela bi i unifikaciji metoda zapisa i ažuriranja informacija. Konstruktor treba koristiti pohranjeno znanje iz baze strukovnog znanja pri

¹ Čak i za onaj dio procesa konstruiranja za koji se ne bi koristila računalna podrška u obliku planova.

koncipiranju, kreiranju i doradi plana. To znači da u tijeku rada s podsustavom baze scenarija konstruktor treba imati pristup do baze znanja, te eventualno i mogućnost direktnog prijenosa informacija u attribute čvorova, odnosno akcijskih funkcija.

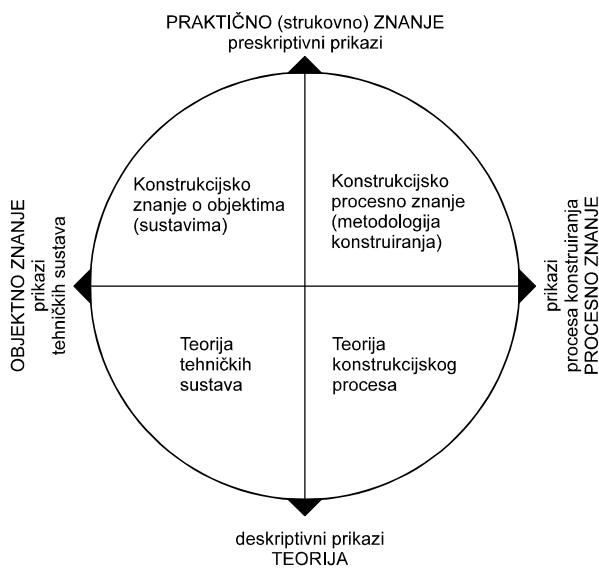
7.1 Struktura znanosti o konstruiranju

Svaki sustav, pa tako i sustav znanja, može biti strukturiran na više različitih načina, a izabrana struktura treba ponuditi korisnicima u svakoj situaciji dobru i jednostavnu orientaciju, tako da je željenu informaciju moguće pronaći brzo i pouzdano, uključujući činjenice² i objašnjenja. Potrebno je napomenuti da elementi strukture određuju u isto vrijeme i sadržaj tehničkog sustava. Pri strukturiranju konstrukcijskih znanja, može se koristiti morfološki način prikaza informacija vezanih uz znanost o konstruiranju. Polazišta u razmatranju, odnosno sva njihova obilježja i različiti uvjeti moguće realizacije, obično su sadržani u morfološkoj matrici, zajedno s popratnim tekstom uz sliku ili crtež što objašnjava osnovnu funkciju i strukturu sustava.

Za izradu temeljne strukture znanosti o konstruiranju treba izabrati dvije specifične izražajne značajke, **metodološki način prikaza** kao prvo obilježje i **objektni karakter** kao drugo obilježje. Stoga, bitan dio sadržaja znanosti o konstruiranju oblikuju dva karakteristična područja znanja:

- znanje o konstrukcijskom procesu i njegovim operatorima (konstrukcijski sustav),
- znanje o konstrukcijskim objektima (sami procesi i stvarni sustavi).

Svako od gore navedenih područja može se metodološki podijeliti na deskriptivna i preskriptivna znanja. Slika 7.1 prikazuje strukturu koja proizlazi iz znanosti o konstruiranju i istraživanja različitih područja tehnike, težeći ka postavljenom cilju kroz različite transformacije informacija u četiri specifična znanstvena područja.



Slika 7.1: Glavne kategorije znanosti o konstruiranju [23]

² Uzimajući u obzir razmatranje teorije i hipoteze.

Kada se govori o znanju kao općoj pojavi vezanoj za život i rad ljudi, kognitivna psihologija prepoznaće nekoliko tipova znanja [44]:

- *deklarativno znanje* - činjenična informacija, (*know what*- što znati);
- *proceduralno znanje* - kako upotrijebiti deklarativno znanje, (*know how* - znati kako);
- *situacijsko znanje* - razumjeti gdje i kada pristupiti deklarativnom i proceduralnom znanju;
- *strategijsko znanje* - znanstveni procesi koji su planirani i korišteni u svrhu promicanja uporabe znanja;
- *prešutno znanje* - znanje koje postoji u mislima u mogućoj opozivnoj formi³.

Prva kategorija, deklarativno znanje skoro je istovjetna s *objektnim* konstrukcijskim znanjem kao što je to definirano na slici 7.1. Dok se sljedeće tri točke dobro uključuju u *procesno* konstrukcijsko znanje, a proceduralno i situacijsko znanje može biti kombinirano i kao *taktičko* znanje u procesu konstruiranja.

7.2 Koncipiranje baze znanja

Općenito gledano, u procesu konstruiranja koristi se gotovo cijelokupno znanje kojim raspolaže okruženje u kojem se odvija proces konstruiranja⁴. To je samo jedan od razloga da koncipiranje baze znanja predstavlja vrlo zahtjevan zadatak kako kvalitativno tako i kvantitativno. Istraživanjima načina zapisa i eksploatacije znanja, te primjene metoda umjetne inteligencije u CAD sustavima posvećeno je više pažnje nego računalnoj podršci vođenju i odvijanju samog konstrukcijskog procesa, međutim ima i projekata koji obuhvaćaju oba područja [45],[46],[47]. Znanje zapisano u bazi znanja, ne koriste samo konstruktori, već i mnogi drugi subjekti u proizvodnom procesu, pa je to vjerojatno jedan od razloga što se ovim područjem istraživanja bavi veliki broj timova uz različit pristup problemu. Pri tome se mogu razlučiti sljedeće temeljne razlike u načinu pristupa :

- integralni pristup u upravljanju informacijskim tokovima proizvodnog sustava,
- ograničeni pristup na podskup informacija koje definiraju tehnički proizvod⁵,
- integriranje i kombiniranje baza znanja i "klasičnih" baza podataka,
- koncepcije usmjerene samo na okoline baze znanja i eksperternih sustava.

Ovdje ćemo se ograničiti, na kratki pregled različitih pristupa i prijedloga prikaza znanja iz literature, uz iznošenje nekih osnovnih zahtjeva na koncipiranje, kroz uvodne ideje o načinu realizacije. Takvo izlaganje samo je podloga za razmatranje načina povezivanja baze scenarija i baze znanja, međutim treba očekivati da upravo to postane jedan od prioritetnih pravaca u dalnjem istraživanju.

³ Znanje kojeg se u trenu možemo sjetiti, odnosno koje se u željenoj situaciji može opozvati.

⁴ Grana industrije, proizvodno poduzeće ili projektni ured određenog strukovnog područja.

⁵ Informacije usmjerene samo na djelatnost na razini procesa konstruiranja.

Zahtjeve koje bi trebao zadovoljiti sustav za prikaz konstrukcijskih znanja naveden je prema [3]:

- kompleksni prikazi modela,
- lako dodavanje i brisanje informacija,
- dinamička gradnja modela (i manipulacija),
- potpuno deduktivno zaključivanje,
- obrada velike količine podataka,
- automatizirana provjera konzistencije,
- konverzije u interne izraze (prikaze),
- konverzije s vanjskih izraza.

Rješavanje navedenih problema i zahtjeva prvenstveno je područje istraživanja umjetne inteligencije, pa bi pri koncipiranju baze znanja trebalo voditi računa o tome da se mogu pratiti i naknadno implementirati eventualna nova dostignuća, odnosno metode i pristupi.

Jedna od ideja koja bi mogla zadovoljiti navedene zahtjeve koncipiranja trebao bi biti sustav "otvorene kutije s alatima". Drugim riječima to bi trebao biti skup raznorodnih metoda, s ugrađenim različitim programskim alatima koji bi bili povezani zajedničkom kontrolnom strukturom i mehanizmom izmjene informacija. Pri tome bi se za potrebe određene vrste znanja i njihova prikazivanja koristile pogodne metode ili kombinacije metoda. Mehanizam povezivanja raznorodnih alata, odnosno dijelova baze znanja mogao bi se ostvariti u obliku "*meta-baze*" [48]. Takova "*meta-baza*" sadržavala bi znanje o svim pojedinim dijelovima baze znanja, odnosno o vrstama znanja i objektima, te implementiranim metodama prikaza i pristupa znanju, tj. načinima korištenja znanja. Pod pojmom objekata ovdje se podrazumijevaju fizički objekti (proizvodi i njihovi dijelovi), parametri sredstava i okruženja za proizvodnju, tehnološki postupci, metode projektiranja i proračuna, tehnički propisi i preporuke, standardi, kao i cijelokupna dokumentacija, odnosno nosioci informacija koji kolaju u proizvodnom sustavu. Tako definirani objekti zapravo predstavljaju domene unutar skupa cijelokupnog znanja koje se koristi u proizvodnom sustavu.

Ideja o "*meta-bazi*" iznesena je na temelju rada [48]. Autor navedenog rada koncipira "*meta-bazu*" i njoj podređene dijelove kao modularni sustav koji se može stupnjevito graditi uz stalno nastojanje unapređenja njegovih mogućnosti⁶. Pri tome elementi sustava mogu varirati od jednostavnih baza podataka i tekstualnih uputa do složenih ekspertnih sustava. Autor naglašava potrebu za razvrstavanjem objekata unutar proizvodnog sustava, te na razne načine razvrstava fizičke objekte, vrste informacija, nosioce informacija, te načine prikaza znanja za svaku od navedenih domena. Koristeći kriterije razvrstavanja moguće je formirati i strukturu objekata sa odnosima *klaselement* i mehanizmom nasljeđivanja. U strukturu sustava implementirani su i "savjetnici" u obliku uzoraka postupaka rješavanja koji su strukturirani na taj način da

⁶ Odnosno povećanje "inteligencije" postojećeg sustava.

svaki konstruktor može dodavati i svoja vlastita iskustva, odnosno znanje. Na taj način, sustav može poslužiti u edukaciji i pridonijeti bržem obrazovanju mladih konstruktora, koji nemaju iskustva u određenom području.

Pristup koncipiranju baze znanja na integralnoj razini razvoja proizvoda, odnosno informacijskih tokova proizvodnog sustava prikazan je u članku [49]. Autori temelje platformu integracije informacijskih sustava na objektno orientiranom pristupu. Također uvode i tehnike "scenarija", gdje pod pojmom scenarija podrazumijevaju istovremeno razmatranje različitih mogućnosti i strategija razvoja proizvoda.

Zanimljiv pristup razvoju sustava za podršku protoka informacija kroz proizvodni sustav prikazan je u članku [47]. Autor organizira skupove informacija na tri razine: poslovnoj, vremenskoj⁷ i konstrukcijskoj odnosno razini razvoja proizvoda. Korištenjem skupa programskih alata nazvanih "*design assistants*" konstruktori i svi ostali sudionici u proizvodnom sustavu mogu u svakom trenutku doći do ažurnih informacija sa željene razine, odnosno aspekta problema.

Povezivanje baze scenarija s bazom znanja trebalo bi realizirati na takav način da konstruktor u svakom trenutku procesa kreiranja plana može pretraživati bazu znanja i prenosi podatke iz baze znanja u neko privremeno spremište ili direktno u atributе čvorova plana. S druge strane osnovni način rada s bazom znanja treba biti nezavisan od baze scenarija odnosno od procesa kreiranja plana. Baza znanja trebala bi se koristiti i u tijeku razvoja akcijskih funkcija, kao i za druge potrebe okruženja proizvodnog sustava koje nisu podržane "inteligentnim" CAD sustavom. Ovisno o pristupu koncipiranju i realizaciji, baza znanja može sadržavati samo skup informacija o proizvodu s konstrukcijskog aspekta, a može se težiti i tome da sadrži cjelokupan skup informacija koje kolaju proizvodnim sustavom.

Ukoliko je baza znanja koncipirana kao skup raznorodnih metoda, povezanih zajedničkom kontrolnom strukturom ("meta-bazom"), tada bi se moralo razraditi posebno sučelje za povezivanje s bazom scenarija. Jedan od načina koncipiranja takovog sučelja može se temeljiti na sustavu tzv. "*hypertexta*" koji je danas vrlo raširen u uporabi⁸, tako da gotovo svaki komercijalni program danas koristi ovaj sustav kao sučelje za rad sa zapisima uputa o korištenju programa ("help").

Dijelovi baze znanja mogli bi biti i zapisi znanja (u pogodnoj metodi prikaza) vezani uz određene akcijske funkcije. Tada bi u bazu scenarija u tablici akcijskih funkcija trebalo upisati i podatke koji "pokazuju" na položaj i metode pripadajućih zapisa znanja. Konstruktor koji ne poznaje dovoljno detaljno neku akcijsku funkciju ili operaciju koju ona obavlja, mogao bi prije ili u tijeku kreiranja plana u takovim zapisima znanja naći potrebne informacije. Uz gotove planove ili poopćene podplanove također bi trebalo na sličan način (sustavom "*pointer-a*" - pokazivača) vezati zapise u bazi znanja.

Kao što je već ranije napomenuto, za koncipiranje same baze znanja kao i mehanizama povezivanja i dohvaćanja podataka iz baze znanja u tijeku generiranja plana, važnu

⁷ U smislu kontrole odvijanja razvojnih projekata.

⁸ Veoma praktično, pregledno i edukativno složen je i SKF program za ležaje (SKF Electronic Handbook).

ulogu ima razvrstavanje akcijskih funkcija, planova i zadataka, kao i objekata procesa konstruiranja, te domena i nosioca informacija, odnosno znanja.

7.3 Razvrstavanje akcijskih funkcija

Razvrstavanjem akcijskih funkcija može se bitno unaprijediti uporaba "inteligentnog" CAD sustava, jer se olakšava pretraživanje baze akcijskih funkcija, a time se postiže izbor optimalne funkcije u tijeku kreiranja plana. Za te svrhe u bazi akcijskih funkcija ponuđen je izbornik pod nazivom "kategorija akcijske funkcije" [27].

Nadalje, selektiranje akcijskih funkcija prema potrebama konkretnog okruženja, može definirati smjernice za koncipiranje i razvoj npr. "sustavnih" specijaliziranih akcijskih funkcija. Takove akcijske funkcije imale bi određeni stupanj nadzora nad procesom izvođenja plana, odnosno bile bi povezane s podsustavima za upravljanje stanjem čvora i za izvođenje plana. To znači da izvođenje takovih akcijskih funkcija ne bi bilo nužno vezano samo za jedan čvor plana. U rješavanju ovog problema moglo bi se vjerojatno implementirati i neke od razvijenih metoda podrške planiranju iz područja umjetne inteligencije. Isto tako, specijalne akcijske funkcije moglo bi poslužiti i kao elementi za gradnju procedura kojima bi se implementirale neke od metoda traženja rješenja u procesu rješavanja konstrukcijskog zadatka.

Pri razmatranju kriterija razvrstavanja akcijskih funkcija, kao jedna od smjernica, korišten je prikaz strukture aktivnosti u konstrukcijskom procesu (slika 2.8, poglavlje 2.5.2). Drugi dio kriterija razvrstavanja proizlazi iz "implementacijskih" značajki programskih alata koji se koriste kao akcijske funkcije.

Nabrojiti ćemo neke prijedloge za razmatranje kriterija razvrstavanja akcijskih funkcija (koji se ne smatraju konačno definiranim niti potpunim):

- prema fazi procesa konstruiranja u kojoj se primjenjuje:
 - u fazi koncipiranja vjerojatno će se često koristiti ekspertni sustavi,
 - za izbor nosioca parcijalnih funkcija mogu poslužiti baze znanja i baze podataka,
 - u fazi projektiranja pretežno će se koristiti programi za dimenzioniranja i kalkulacije troškova,
 - u tijeku konstrukcijske razrade trebati će aktivirati komercijalni CAD sustav i procedure razvijene u njegovom "makro" jeziku;
- prema vrsti operacije koju akcijska funkcija obavlja, odnosno podržava:
 - kontrolni proračun dimenzija i/ili čvrstoće strojnog dijela ili sklopa,
 - preliminarni proračun za određivanje parametara konstrukcije,
 - izbor strojnog dijela iz baze standardnih dijelova,
 - tehnološko oblikovanje strojnih dijelova,
 - kalkulacija troškova,
 - izbor između različitih varijanti rješenja na temelju skupa pravila,

- generiranje crteža sklopa ili strojnog dijela;
- prema složenosti operacije ili skupa operacija:
 - obrada skupa informacija o samo jednom strojnom dijelu,
 - obrada skupa informacija na razini ugradbene grupe,
 - obrada skupa informacija o određenom stroju ili grupi strojeva,
 - obrada informacija na razini proizvodne linije ili cijelog postrojenja,
 - složenost se može promatrati obzirom na razinu operacije ili skupa operacija⁹ koje obavlja akcijska funkcija,
 - zahvaćanje samo jedne ili više faza unutar procesa konstruiranja;
- prema vrsti programskog alata, odnosno programskog jezika:
 - program pisan u proceduralnom jeziku (npr. C, Fortran, Pascal),
 - makro jezik komercijalnog CAD paketa,
 - Ijuska (*shell*) za ekspertni sustav,
 - baza podataka,
 - tablični kalkulator;
- prema načinu zadavanja ulaznih podataka:
 - podaci se upisuju u datoteke prije pokretanja programa,
 - podaci se upisuju uz pomoć korisničkog sučelja nakon pokretanja programa,
 - kombinirani načini upisa - i u datoteke, i preko sučelja, prije i nakon pokretanja programa;
- prema načinu generiranja izlaznih podataka:
 - ispis u datoteke, ispis na terminal ili kombinirano,
 - sučelje za odabir načina prikaza podataka,
 - iscrtavanje crteža na ploteru,
 - spremanje u baze podataka.

7.4 Razvrstavanje planova i zadataka

Svaki složeniji zadatak može se rastaviti na hijerarhiju planova i podplanova - pri tome se mogu koristiti i neki poopćeni planovi za određene klase zadataka koje se često javljaju u okruženju gdje se koristi "inteligentni" CAD sustav. Kontrola na najvišoj razini apstrakcije zadataka uvjek je prepustena konstruktoru, tj. on određuje redoslijed izvođenja planova i podplanova koji čine ukupnu strukturu računalne podrške

⁹ Što se odvijaju unutar strukture među aktivnostima u konstrukcijskom procesu.

konstrukcijskom procesu u tijeku rješavanja danog zadatka. Razvrstavanje planova i podplanova treba doprinijeti efikasnijem i lakšem strukturiranju hijerarhije planova i podplanova u tijeku koncipiranja računalne podrške rješavanju određenog zadatka. Zbog toga je u bazi gotovih planova predviđen pojam "kategorije plana". Pri kreiranju planova specifičnih za potrebe određenog okruženja, trebalo bi posebnu pažnju обратити na mogućnosti poopćivanja onih dijelova konstrukcijskih zadataka koji su zajednički za više korisnika sustava i koji se često ponavljaju. Takovi dijelovi zadataka¹⁰ mogli bi biti strukturirani u obliku podplanova kao elementi pogodni za gradnju planova na višoj razini apstrakcije zadatka.

Neka od obilježja konstrukcijskih zadataka u velikoj mjeri određena su okruženjem odvijanja konstrukcijskog procesa¹¹. Zbog toga je teško predložiti općenite kriterije razvrstavanja planova i zadataka. Kao smjernice za kriterije razvrstavanja interesantno je razmotriti cilj/ciljeve zadatka, zahtjeve i informacije potrebne za izvođenje, te efekte izvršavanja zadatka. Kako je zapravo, opis zadatka osnovno obilježje plana, može se smatrati da predloženi kriteriji razvrstavanja približno jednako mogu vrijediti i za zadatke i za planove. Ovdje će se navesti samo neke od ideja, odnosno prijedloga za razmatranje načina razvrstavanja planova i zadataka:

- obzirom na položaj u hijerarhiji strukture cjelokupnog zadatka¹²,
- obzirom na razinu specifičnosti i područje domene:
 - plan samo za točno određeni zadatak,
 - poopćeni plan koji se može upotrebljavati kao podplan u različitim složenijim zadacima;
- obzirom na stupanj dovršenosti:
 - potpuni i provjereni planovi,
 - "okvirni planovi" - sadrže poopćenu osnovu na temelju koje se izvodi prilagodba konkretnom zadatku;
- obzirom na broj korisnika:
 - plan koristi samo jedan konstruktor (uvijek ista osoba),
 - plan koristi naizmjence više osoba koje rješavaju svoje podzadatke;
- obzirom na zahtjeve za računalnim resursima;
- obzirom na razinu kontrole izvođenja:
 - plan pod potpunom kontrolom podsustava za izvođenje plana,
 - planovi sa implementiranim općenitim postupcima rješavanja zadataka čije izvođenje je pod kontrolom "specijalnih sistemskih" akcijskih funkcija

¹⁰ Ovdje se misli na postupke i skupove operacija, odnosno karakteristične principe rješenja tehničkog problema u području određene domene.

¹¹ Unutar samog konstrukcijskog ureda, ali i cjelokupnog procesa proizvodnje određene grane.

¹² Može biti i više razina pozivanja podplanova.

koje određuju i način implementacije takovih planova u strukturu konkretnog zadatka.

7.5 Primjena prema značajkama i vrsti konstrukcijskog zadatka

Kriteriji razvrstavanja zadataka, odnosno konstrukcija mogu se izvršiti na sljedeći način:

- a) prema stupnju određenosti proizvoda,
- b) sa stanovišta razvoja,
- c) ovisno o vrsti proizvodnje,
- d) po stupnju složenosti proizvoda.

U realnom okruženju, proces strukturiranja hijerarhije složenih zadataka uvjetovan je kvalitetom timskog rada i rukovođenja, te načinom i razinom organiziranosti informacijskih tokova. Pri implementaciji sustava u realno okruženje, trebalo bi krenuti s postepenim formiranjem općenitih podplanova u koje bi se uključivale postojeće akcijske funkcije. Za te akcijske funkcije trebalo bi definirati predloške koji sadrže podatke potrebne podsustavu za izvođenje plana. U bazu akcijskih funkcija upisivali bi se podaci o ulaznim i izlaznim atributima. Znanje vezano uz svaku akcijsku funkciju (npr. postupak proračuna, kriteriji izbora, skupovi pravila, itd.) trebalo bi se upisati u bazu znanja. U tijeku generiranja plana sustav treba omogućiti pristup do tako zapisanog strukovnog znanja. Primjeri spomenutih općih podplana mogu biti: kontrolni proračun vratila, dimenzioniranje vijčane veze s elastičnim vijkom, ili npr. ekspertni sustav za odabir vrste valjnog ležaja.

Općenite podplane, za određene vrste podzadataka, treba definirati i strukturirati tako da se mogu koristiti kao elementi za gradnju složenijih planova. Pod pojmom složenijih planova misli se na kompleksnije planove s obzirom na razinu operacija, faze konstrukcijskog procesa koje obuhvaćaju, te veličinu skupa informacija o cijelokupnom proizvodu s kojim manipuliraju.

Primjenjivost ekspertnog CAD sustava ne ovisi samo o načinu kreiranja i sintaksi plana, nego i o načinu izvođenja plana, naime model mreže čvorova najbolje prikazuje realni proces konstruiranja. Koncepcija izvođenja plana dopušta da se plan zapisan u obliku stabla eksplotira kao mreža u trenutku izvođenja. Pitanje je koliko će ta mogućnost biti dovoljna, odnosno efikasna za one klase zadataka čiji je prikaz procesa teže aproksimirati stablom, čak i ako se u procesu generiranja plana vodi računa o tome da se eksplotira kao mreža, odnosno da se izvoditi u prekidanom načinu rada, pod kontrolom konstruktora. Ovdje se misli na one klase zadataka kod kojih prevladava iterativnost ili relativno "guste" veze (relacije između čvorova) u realnom mrežnom prikazu.

Treba razmotriti djelovanje iterativnosti procesa konstruiranja i načina odlučivanja na mogućnosti i efikasnost primjene "inteligentnog" CAD sustava, odnosno sustava za podršku planiranju konstrukcijskog procesa. Iterativnost i strategiju odlučivanja možemo naznačiti kao značajke procesa rješavanja konstrukcijskog zadatka, koje u velikoj mjeri ovise o odabranoj metodi rješavanja zadatka, kao i o znanju, iskustvu i individualnim sposobnostima konstruktora.

Vrsta konstrukcijskog zadatka, s obzirom na stupanj određenosti proizvoda, također može imati velik utjecaj na strukturiranje plana. Za nove konstrukcije teško je očekivati da se ekspertni CAD sustav može primijeniti na najvišoj razini apstrakcije zadatka, nego eventualno može naći primjenu za pojedine parcijalne zadatke u fazama projektiranja i konstrukcijske razrade. Što je stupanj određenosti proizvoda veći, to bi trebala biti i veća razina apstrakcije zadatka na kojoj se može primijeniti plan. Slično razmišljanje trebalo bi vrijediti i ako promatramo proizvod sa stanovišta razvoja¹³.

Gledano s aspekta vrste proizvodnje (od individualnog proizvoda do velikoserijske i masovne proizvodnje), važne su i značajke proizvodnog sustava, odnosno tehnologije proizvodnje. Ako proizvodni sustav raspolaže s CNC strojevima, biti će veća fleksibilnost i efikasnost primjene CAD sustava.

Ako promatramo konstrukcijske zadatke obzirom na složenost proizvoda i proizvodnog sustava, može se pretpostaviti da će efikasnost i isplativost primjene ekspertnog CAD sustava biti to veća što je složeniji proizvod, jer je tada i složeniji (kvantitativno i kvalitativno) skup informacija o proizvodu kojeg konstruktor treba definirati. Međutim, što je složeniji proizvod i proizvodni sustav, to je složeniji i dugotrajniji proces implementacije ekspertnog CAD sustava, pa će o kvaliteti, organizaciji i načinu implementacije bitno ovisiti i efikasnost primjene.

7.6 Svrstavanje sustava strojeva

Podjela sustava strojeva u razrede prema njihovim svojstvima omogućuje rangiranje i razvrstavanje unutar velike familije strojnih sustava i na taj način olakšava orientaciju i pridonosi efikasnosti rada. Time je, u okviru pojedinih kategorija, omogućeno prenošenje iskustva i znanja, pri čemu se često mogu detaljno utvrditi međusobni odnosi i relacije. Kroz svrstavanje sustava strojeva moguće je provesti strukovnu podjelu gospodarstva i tako dobiti temelj za opću sistematizaciju i strukturiranje znanja potrebnog u gradnji strojeva. Ovo je posebno važno pri traženju i selekciji *kataloških elemenata znanja*¹⁴, jer svaka grana gospodarstva posjeduje svoje strukovne standarde, tehničke propise kao i specijalizirane proizvođače dijelova, uređaja i opreme. Područje primjene strojeva je veoma široko i obuhvaća sve gospodarske djelatnosti kao što se može vidjeti iz tablice 7.1.

Sustavi strojeva mogu biti svrstani prema:

- *funkciji*, npr. sustavi strojeva za sticanje, hladno oblikovanje, tokarenje, dizanje;
- *vrsti operanda*, npr. sustavi strojeva za transformaciju energije, materijala, informacija;
- *principu kojim se ostvaruje učinak*, npr. sustavi strojeva na mehaničkom, hidrauličnom, električnom, kemijskom, optičkom, akustičnom principu;
- *ponašanju*, npr. sustavi strojeva prema snazi, brzini, uvjetima okoline (tropska klima);

¹³ Ovisno dali se radi o potpuno novom proizvodu ili poboljšanju postojeće koncepcije.

¹⁴ Kao što su strojni dijelovi, sklopovi, ugradbene grupe, fizikalni efekti, specifični proračuni, tehnički propisi, norme itd.

Tablica 7.1: Područje primjene strojeva u gospodarstvu [9]

GRANA GOSPODARSTVA	Sustavi strojeva	
	predviđen za	tipični stroj
Rudarstvo	– eksploataciju – transport – pripremu	– bager – transporter – sortirni stroj
Energetika	– proizvodnju pare – proizvodnju električne energije – prijenos energije	– parni kotao – priprema vode – parna, plinska, vodna turbina – generator, transformator
Metalurgija	– proizvodnju sirovog željeza – proizvodnju čelika	– visoka peć – Thomasova kruška – valjaonički stan
Kemijska industrija	– oplemenjivanje ugljena – proizvodnju boje – proizvodnju eksploziva	– posuda – cjevovod, ventil – kolona
Farmaceutska industrija	– proizvodnju lijekova	– preše
Metaloprerađivačka industrija	– oblikovanje deformacijom – oblikovanje skidanjem čestice – toplinsku obradu – ljevaonicu – montažu	– preša, čekić – alatni stroj – peć, kupka – stroj za kalupovanje – pripremci
Industrija papira	– proizvodnju papira	– kalenderi
Građevinska industrija	– niskogradnju – visokogradnju – obradu tla – proizvodnju građevinskog materijala	– derik-kran – dizalica – skrejper – mješalica za beton – preša za ciglu
Promet	– cestu – željeznicu – brodogradnju – svemirska putovanja	– automobil, autobus, kamion – lokomotiva, vagoni – putnički brod, tanker – raketa, svemirska stanica
Tekstil i industrija kože	– proizvodnju tekstila – proizvodnju konfekcije – proizvodnju kože	– tkalački stan – šivači stroj – bubanj i brusilica za kožu
Prehrambena industrija	– proizvodnju šećera – preradu mlijeka – preradu mesa	– sjeckalica za repu – centrifuga – stroj za mljevanje mesa
Medicina	– dijagnostiku – terapiju – kirurške zahvate	– rendgenski aparat, ultrazvuk – proteze, elektromagnet – oprema operacijskih dvorana
Izdavaštvo Administracija	– tiskaru – ured	– tiskarski stroj – kopirni stroj – računalo, printer
Poljoprivreda Šumarstvo	– transport i rad u poljoprivredi – proizvodnju krmiva – proizvodnju drveta	– traktor – kultivator – motorna pila
Distribucija Trgovina	– samoposlugu – pakovanje	– kontrolna blagajna – stroj za pakovanje

- *srodstvu načina izrade*, npr. sustavi strojeva proizvedeni lijevanjem, zavarivanjem, kovanjem, prešanjem, tokarenjem;
- *stupnju kompleksnosti*, npr. elementi, sklopovi, uređaji, strojevi, postrojenja;

- *stupnju komplikiranosti konstrukcije*, npr.: male posude, konzole; ventili, jednostavne spojke; posude koje se zagrijavaju, mosne dizalice, posluživanje na zemlji; specijalni ventilatori, centrifugalne crpke, rudarska dizala; visoko naponski transformatori, klipne crpke; automati za obradu, planetarni prijenosnici, (navedeni su samo proizvodi iz općeg strojarstva - u nizu - s porastom komplikiranosti konstrukcijske izvedbe);
- *obliku*, npr. sustavi strojeva s rotacijskim dijelovima, plosnatim elementima, komplikiranim oblicima;
- *materijalu*, npr. sustav strojeva od čelika, mjedi, umjetnog materijala, vatrostalnog čelika;
- *stupnju originalnosti konstrukcije*, npr. preuzeti, prilagođeni, prerađeni, novorazvijeni sustavi strojeva;
- *načinu izrade*, npr. sustavi strojeva proizvedeni pojedinačno, serijski, masovno;
- *proizvođaču*;
- *pogonskim svojstvima, izgledu, svojstvima isporuke*.

Ovdje treba naglasiti da se jedan sustav strojeva može nalaziti u nekoliko nabrojenih razreda, što je uvijek slučaj kod složenijih tehničkih sustava.

7.7 Strukturiranje znanja prema tehničkom principu

Za područje strojarskih konstrukcija, poglavito strojnih dijelova i njihovih funkcionalnih sklopova, pokušat će se složiti struktura znanja koja treba činiti osnovu za izradu baze strukovnog znanja. Pri tome je izdvojena svaka grupa strojnih dijelova zasebno po kriteriju osnovnog tehničkog principa¹⁵ i time omogućeno pregledno i brzo pretraživanje područja znanja elemenata strojeva. Stručno područje "Elementi strojeva" vrlo je opsežno i stalno se proširuje novim spoznajama i rezultatima istraživanja, tako da predočena podjela nije konačna verzija, što se vidi iz dijagrama struktura pojedinačnih područja koje su prezentirane s mogućnošću nadopunjavana i daljnog razvoja.

Ovdje će se ukratko izložiti i sadržaj interdisciplinarnog područja tehničkih znanja koja su bitna u fazi kreiranja forme budućeg proizvoda, a povezana su direktno ili indirektno s različitim tehnologijama u procesu proizvodnje.

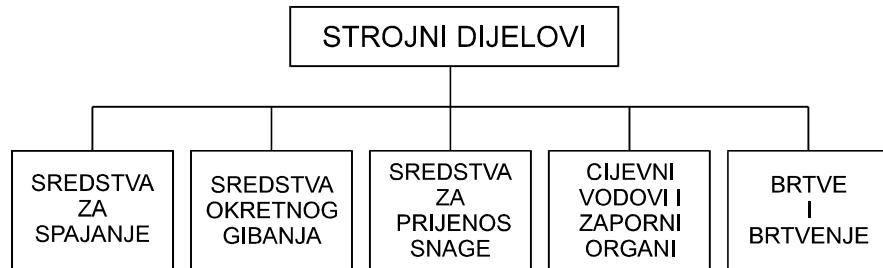
7.7.1 Strukturiranje strojnih dijelova

Prikazana struktura tehničkih znanja temeljenih na funkcionalnim principima u potpunosti prati opći model građe strukovnog znanja (slika 6.3, poglavljje 6.3.2). Naime, podjela se grana i širi od općeg funkcionalnog principa¹⁶ prema konkretnom oblikovnom tehničkom rješenju, što se više ulazi u bit problema koji se rješava u određenom

¹⁵ Misli se na funkcionalnost strojnog dijela ili sklopa.

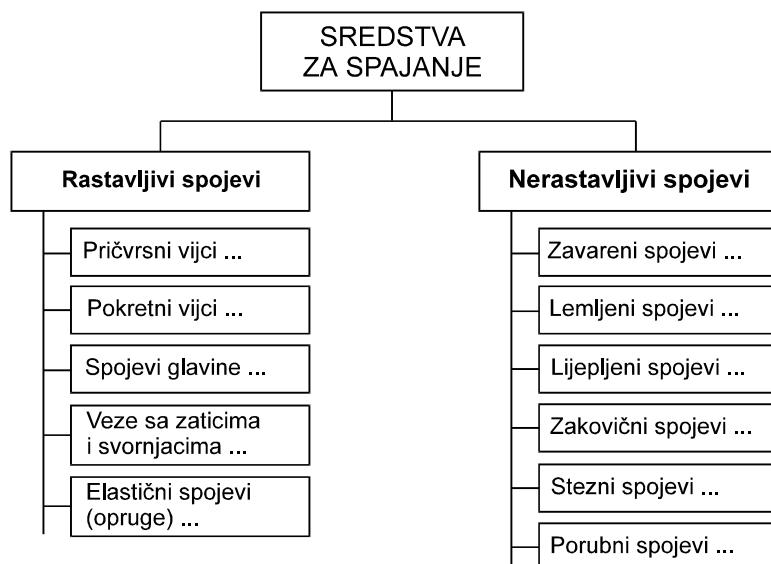
¹⁶ Najviši nivo apstrakcije.

području stručne tehničke domene. Ovdje je to pokazano na primjeru strukturiranja strojnih dijelova, slika 7.2.



Slika 7.2: Osnovna struktura strojnih dijelova

U dalnjem izlaganju razradit će se struktura za sve funkcionalne grupe navedenih tehničkih sredstava bez iznošenja konkretnih znanja, jer ova struktura treba poslužiti kao model za izradu baze znanja elemenata strojeva budućeg intelligentnog CAD sustava (slike 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 i 7.7).



Slika 7.3: Struktura znanja tehničkih sredstava za spajanje

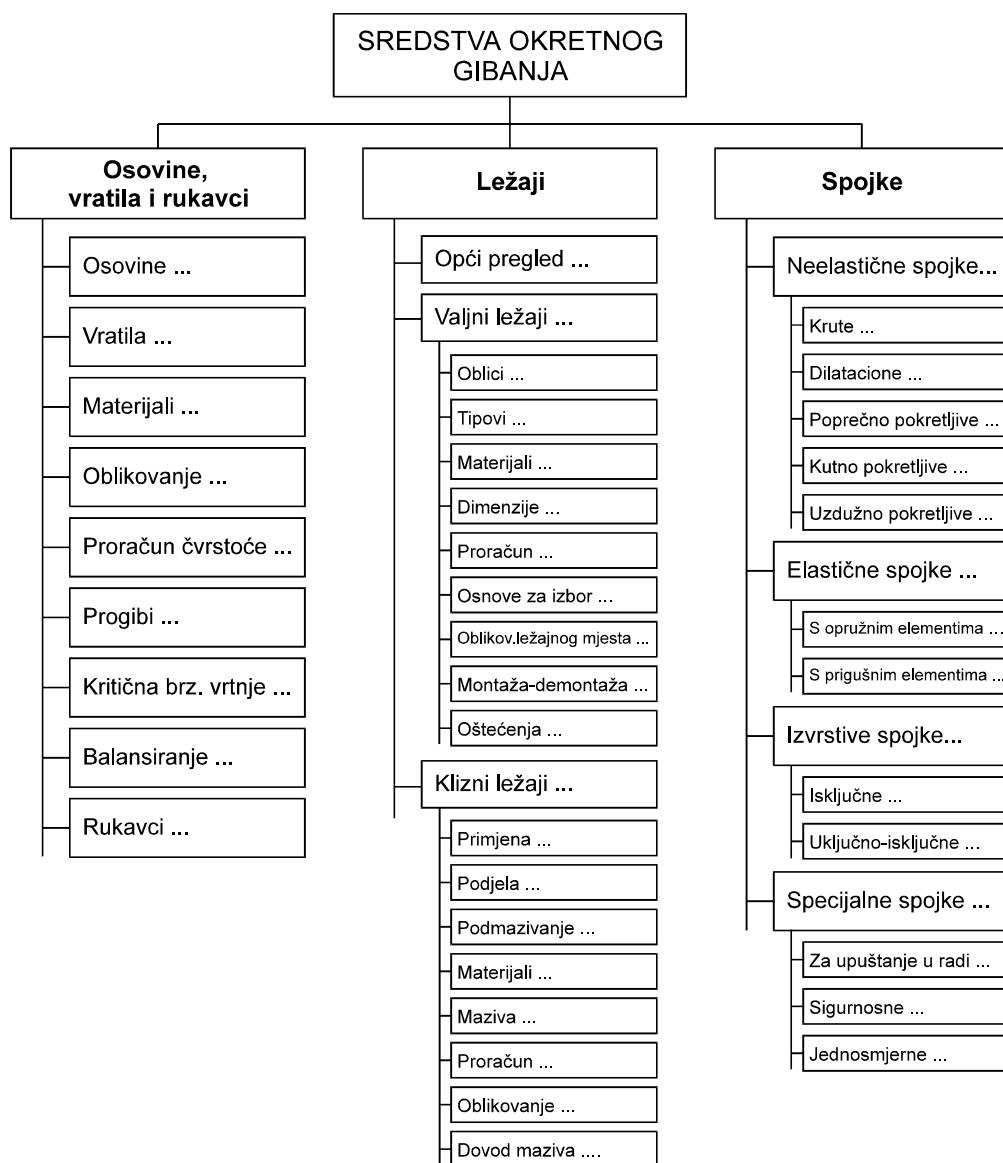
Važno je naglasiti da su navedena znanja neujednačene složenosti kao i različite zastupljenosti u dostupnoj stručnoj literaturi, naime dio znanja je obuhvaćen tehničkim normama i pridružen uz određene strojne dijelove, a dio je vezan za proizvodnju i proizvodna poduzeća.

Međutim sredstva za spajanje, za svaku pojedinu funkcionalnu skupinu strojnih elemenata, trebaju obuhvaćati sva potrebna kvalitativna i kvantitativna znanja bitna u konstrukcijskom procesu. Stoga se iza naziva "Pričvrsni vijci ..." krije nova struktura¹⁷ svih tipova i vrsta navoja i vijaka za pričvršćivanje, matica i materijala (tablice tehničkih

¹⁷ Slijedi daljnja podjela, novo grananje do najsjitnijih detalja vezanih za vijčane spojeve strojnih dijelova.

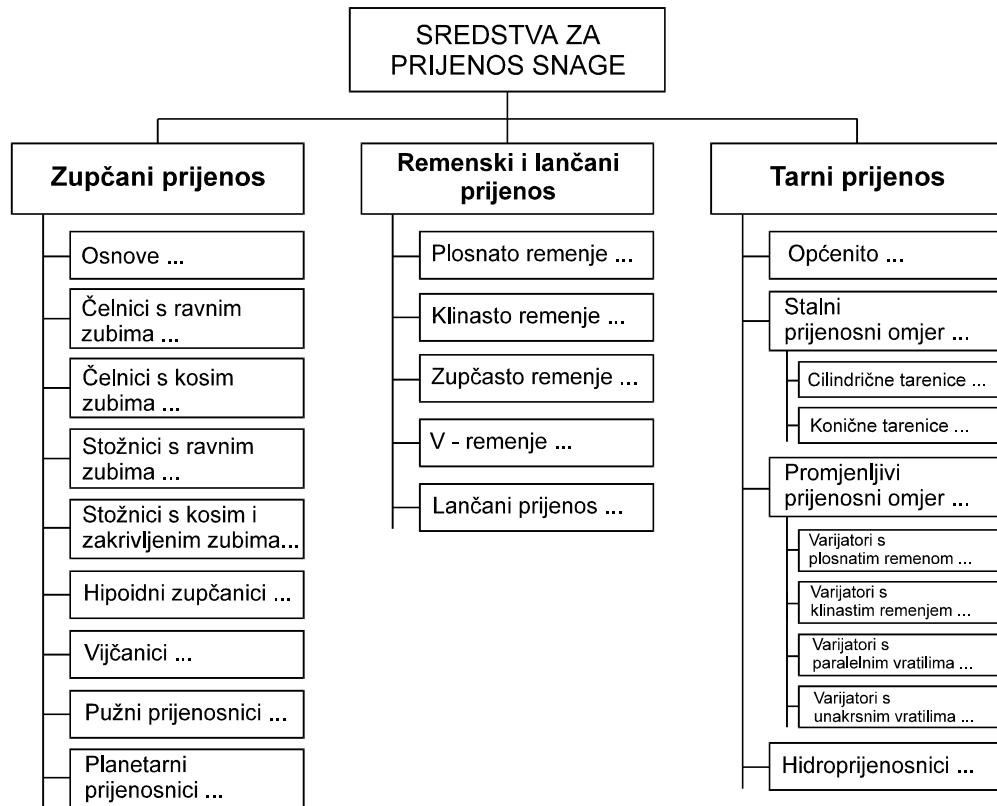
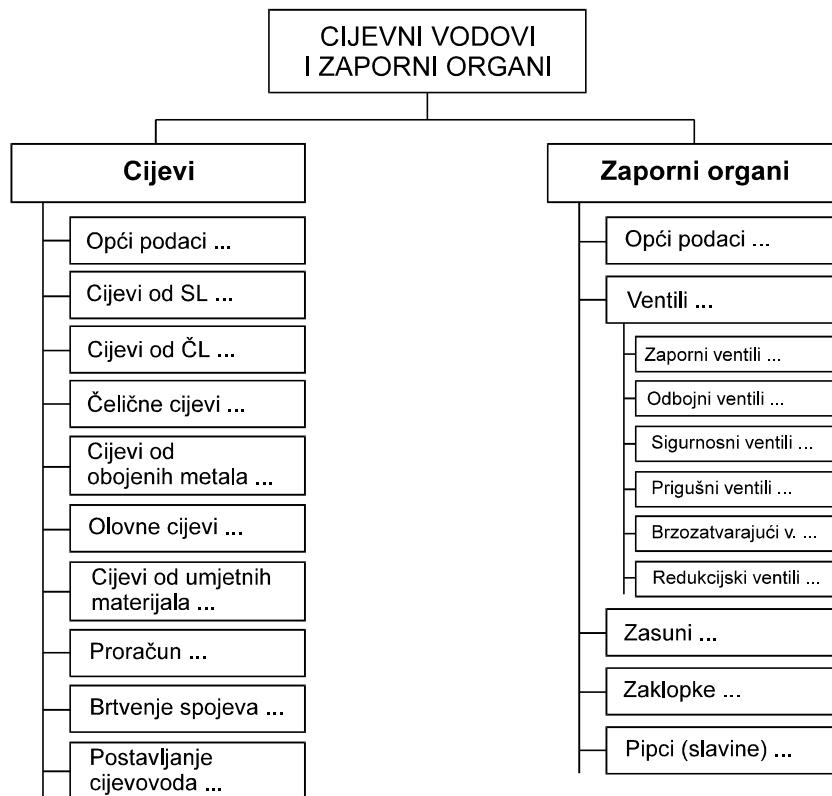
normi), statički i dinamički proračun, oblikovanje viđanih spojeva, osiguranje od odvrtanja, katalozi gotovih elemenata¹⁸ za spajanje itd.

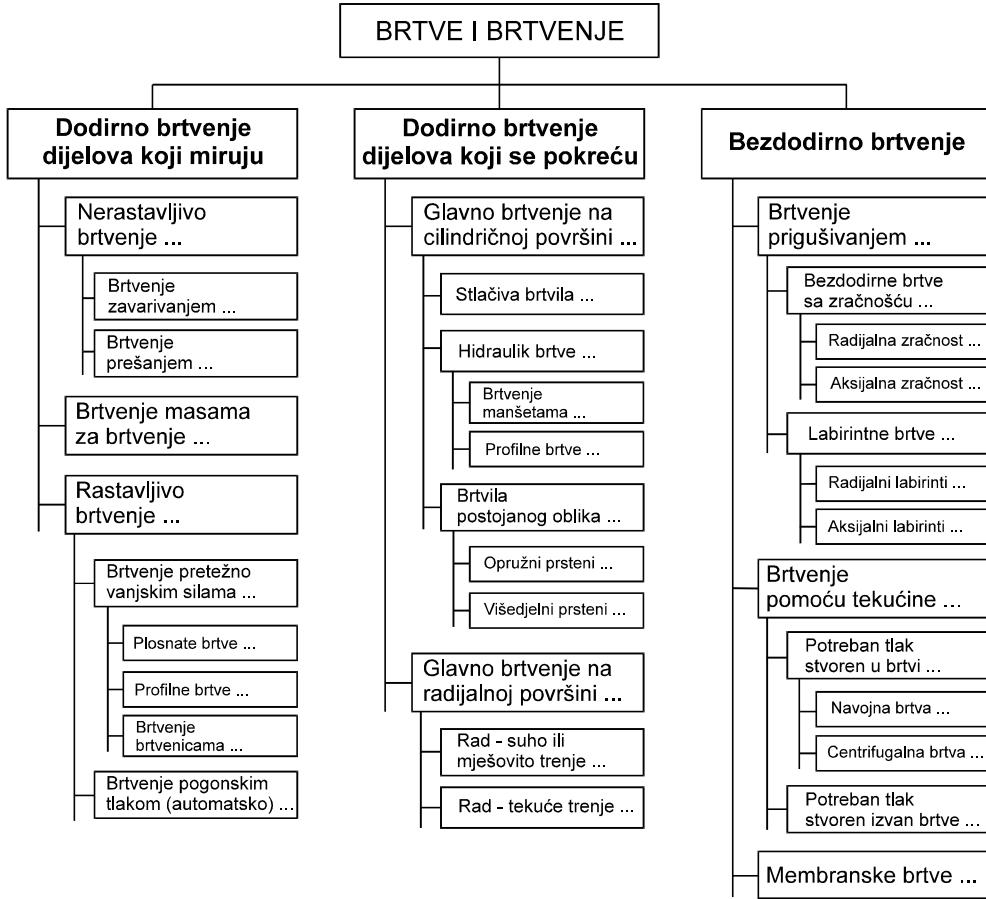
Ovo što je gore navedeno i opisano kao primjer za pričvrsne vijke, vrijedi i za ostale funkcionalne skupine strojnih elemenata, a isto tako i druge grupe tehničkih sredstava. Treba napomenuti da je za neke funkcionalne skupine strojnih dijelova izvedena detaljnija podjela strukture znanja, u odnosu na "Sredstva za spajanje", što se može vidjeti na slikama 7.5 i 7.8, ali to ništa ne mijenja u osnovi postupak razvrstavanja. Naime, sve podjele mogu biti izvedene na nekoliko razina, a time se prema kompleksnosti područja prikazane strukture, više ili manje razlikuju po finoći podjele znanja, ovisno o složenosti tehničkog detalja koji opisuju.



Slika 7.4: Struktura znanja tehničkih sredstava okretnog gibanja

¹⁸ Misli se na standardni proizvodni program proizvođača.

**Slika 7.5: Struktura znanja tehničkih sredstava za prijenos snage****Slika 7.6: Struktura znanja tehničkih sredstava za protok medija**

**Slika 7.7: Struktura znanja tehničkih sredstava za brtvenje**

7.7.2 Strukturiranje znanja pri tehnološkom oblikovanju

Konstrukcijskim oblikovanjem strojnih dijelova za neki stroj ili postrojenje javljaju se, uz uvjete vezane za funkciju, tri važna pitanja na koja konstruktor mora dati odgovore:

1. Kojem opterećenju je izložen strojni dio?
2. Koji materijal najbolje odgovara zahtjevima funkcije i opterećenja?
3. Koja je tehnologija izvedbe ekonomski optimalna?

Među utjecajima koje treba uzeti u obzir, već u prvoj projektnoj razradi, nalaze se zahtjevi vezani uz izradu i obradbu strukturnih komponenti¹⁹, jer su to zahtjevi koji imaju važnu, a često i presudnu ulogu u oblikovanju svake konstrukcije. To je zapravo, tehničko područje koje dijelom seže u proizvodnju, a osnovna materija obuhvaća tehnološki ispravno konstrukcijsko oblikovanje. Područje ispravnog tehnološkog oblikovanja strojnih dijelova vrlo je široko i obuhvaća sve tehnologije izrade i obrade važne u strojarskoj proizvodnji, međutim, to je samo parcijalni dio ukupnog konstrukcijskog procesa.

¹⁹ Ovdje se misli na strojne dijelove i ugradbene grupe.

Pri tome, kada je riječ o tehnološki ispravnom konstrukcijskom oblikovanju strojnih dijelova, misli se uglavnom na one dijelove koji nisu obuhvaćeni paletom gotovih normiranih dijelova, koje možemo kupiti u trgovačkoj mreži. Naime, za strojne dijelove koji su većim dijelom normirani, dane su glede ispravnog konstrukcijskog oblikovanja, potrebne smjernice u okviru obrazovanja konstruktora, ali i kroz tehničke normative u vidu standardnih procedura izrade, te načina i kakvoće obrade.

Međutim, u ovom će poglavlju biti naznačene samo osnove ispravnog tehnologičnog oblikovanja strojnih dijelova iznoseći temeljna pravila i smjernice, i to samo za one tehnologije koje u strojarskim konstrukcijama imaju posebnu važnost. Ovdje se mogu istaći sljedeće skupine znanja pridružena raznim tehnologijama, a potrebna u procesu stvaranja oblika budućeg proizvoda [50]:

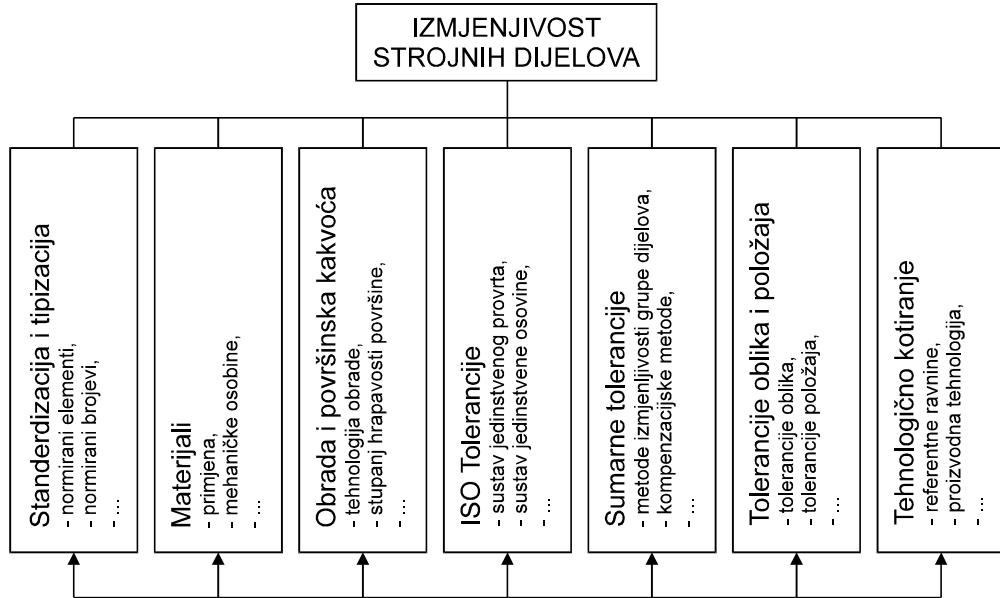
- ispravno tehnologično oblikovanje prema izmjenjivosti,
- ljevački ispravno konstrukcijsko oblikovanje odljevaka,
- zavarivački ispravno konstrukcijsko oblikovanje zavarenih strojnih dijelova,
- kovački ispravno konstrukcijsko oblikovanje slobodno kovanih, kovanih u ukovnju i ekstrudiranih dijelova,
- ispravno tehnologično oblikovanje dijelova od lima,
- ispravno tehnologično oblikovanje dijelova predviđenih za obradu skidanjem čestice,
- ispravno tehnologično oblikovanje prema opterećenju,
- ispravno tehnologično oblikovanje prema montaži i demontaži.

Osim nabrojanih područja bitnih za ispravno tehnologično oblikovanje, pri konstruiranju strojeva i strojnih dijelova, potrebno je isto tako voditi računa i o drugim zahtjevima za ostvarivanje željenih svojstava unutar tehničkog sustava, slika 3.3 u poglavlju 3.5.

Izmjenjivost dijelova

Suvremena strojogradnja traži, u velikom broju slučaja, da strojni dijelovi budu oblikovani i izrađeni u formi koja će omogućiti izmjenjivost, i na taj način racionalizirati montažu, te olakšati nabavu potrebnih rezervnih dijelova. Pod pojmom izmjenjivosti razumijeva se, osim zadržavanja istih mehaničkih svojstava materijala, također i posjedovanje bitnih geometrijskih obilježja strojnih dijelova. Za postizanje navedenih osobina, nužnih za izmjenjivost, pri oblikovanju strojnih dijelova potrebno je koristiti širok spektar znanja koja se u primjeni, tijekom konstrukcijskog procesa, međusobno prožimaju, slika 7.8.

Znanje koje omogućuje postizanje izmjenjivosti dijelova univerzalnog je karaktera i koristi se pri oblikovanju strojeva i strojnih dijelova općenito, implementirajući ga kroz analize tehnološko-izvedbenih operacija u projektnoj fazi procesa konstruiranja.



Slika 7.8: Spektar potrebnih znanja pri oblikovanju za izmjenjivost

Oblikovanje odljevaka

Smjernice za oblikovanje odljevaka, za lijevanje u pjesku, predložene po točkama u vidu pravila²⁰:

- obratiti pažnju na debljinu stijenki, $S = f(vrste\ materijala, tehnologije\ lijevanja)$;
- ako je moguće, potrebno je oblikovati bez jezgri i rezaka;
- potrebno je oblikovati tako da se omogući osiguranje položaja jezgri;
- oblikovati se mora s postavljenim kosinama za vađenje modela;
- model i jezgra moraju biti što jednostavniji;
- pri oblikovanju obratiti pažnju na ravninu dijeljenja (izrada kalupa, skidanje srha);
- pri oblikovanju odljevaka izbjegavati nagomilavanje materijala (suženja, rebra, šuplji lijev);
- pri oblikovanju omogućiti izlazak plinova iz odljevka;
- rebra smjestiti u tlačnu zonu;
- oblikovati tako da mehanička obrada bude olakšana;

Kako se ne bi stvarale usahline, zračni i plinski mjehurići i napetosti u odljevcima, potrebno je pri konstrukcijskom oblikovanju strojnih dijelova za lijevanje, postupiti po sljedećim pravilima:

²⁰ Ova pravila svakako treba ilustrirati tehničkim crtežom, uz kratki tekst, za detaljnije objašnjenje tehničkog principa, kako treba i valja oblikovati, a što ne valja i mora se izbjegavati (vidi sliku 6.6 i tablicu 6.4 u poglavljju 6.3.3).

1. Potrebno je ostvariti jednake uvjete hlađenja na odljevku, izbjegavati nagomilavanja materijala i nastojati da unutrašnje stijenke i rebra budu tanja.
2. Kod odljevaka velikih površina s ravnim stijenkama potrebno je izbjegavati jednostrano gomilanje materijala i rebara koja prolaze cijelom dužinom odljevka.
3. Zabranjeno je ići ispod minimalno dopuštenih otvora jezgre.
4. Nije dozvoljeno ići ispod dopuštenih presjeka jezgri i pješčanih džepova.

Za većinu nabrojanih pravila postoji veliki broj ilustracija, crteža, dijagrama i tablica s podacima koje bi trebalo pohraniti u baze strukovnog znanja u računalu i tako formirati fleksibilniju bazu znanja nužnu pri kreiranju planova.

Oblikovanje zavarenih konstrukcija

Konstruktor mora zavarene dijelove oblikovati tako da omogući optimalnu izvedbu, što od njega zahtjeva da ima na umu cijeli proces realizacije zavarene konstrukcije. Pri oblikovanju zavarenih konstrukcija nemoguće je dati neke "općevažeće recepte" za oblikovanje svih mogućih konstrukcijskih zadataka koje bi konstruktor mogao mehanički primjenjivati, ali sljedeća osnovna pravila za konstrukcijsko oblikovanje omogućit će konstruktoru da upozna sve utjecajne faktore, koje kod projektiranja zavarenih konstrukcija mора uzimati u obzir:

1. Najbolja konstrukcija je ona konstrukcija na kojoj se najmanje zavaruje.
2. Pri izboru vrste i oblika zavara potrebno je pokušati ostvariti povoljan tok sila i što kraće vrijeme izrade.
3. Pravilno izabrati materijal.
4. Izbjegavati nagomilavanje zavara.
5. Maksimalno iskoristiti materijal.
6. Oblikovati treba ovisno o funkciji i opterećenju.
7. Potrebno je voditi računa o specifičnostima konstrukcijskog oblikovanja elektrolučno zavarenih dijelova:
 - razmišljati o svojstvima sučeonih i kutnih zavara, te kakvoći izvedbe,
 - onemogućiti pregrijavanje bridova,
 - osigurati pristupačnost pojedinim varovima,
 - radne obrađene površine i lokalna pojačanja, treba prikladno konstrukcijski oblikovati,
 - olakšati mogućnost spajanja dijelova koji se zavaruju (nasloni, vođenja).

Preostale skupine znanja potrebne pri tehničkom oblikovanju, nisu prikazane izlaganjem u ovoj disertaciji, ali su isto tako bitna za konstrukcijski proces, te u izradi baza strukovnih znanja moraju biti obuhvaćene i obrađene.

Kroz ova tri navedena primjera, vezana uz tehnologičnost, istaknuto je znanje samo u vidu osnovnih pravila i smjernica za oblikovanje, koje se ovdje neće detaljnije elaborirati niti razrađivati. Na takvim znanjima treba za svaku tehnologiju i za svaku tehničku domenu graditi i razvijati konkretnu strukturu znanja u području pojedinačnih detalja.

7.8 Mogućnosti daljnog razvoja

Ovako predložena struktura znanja iz područja strojarskih konstrukcija, da bi postala operativna u sklopu "inteligentnog" CAD sustava (predviđenog u poglavlju 6.), mora biti implementirana u sam sustav preko znanja pohranjenog u akcijskim funkcijama i strukovnog znanja spremljenog u baze znanja. Kako to do sada nije urađeno, prikazani sustav je još u fazi modela, pa nije moguća njegova eksploatacija u realnom konstrukcijskom okruženju.

U istraživanjima koja slijede trebalo bi²¹ izvršiti parametrizaciju akcijskih funkcija, odnosno na razini tehničkog principa, ponuditi parametriziranom skicom rješenje određenog tehničkog problema. Parametrizacija se sastoji od standardiziranih proračuna u opsegu predviđenim normom ili tehničkim propisom s učešćem oko 15 do 25% proračunskih dimenzija konstrukcijskih dijelova, a ostali elementi geometrije parametrizirani su iskustvenim relacijama usko vezanim za proračunate dimenzije, ulazne atribute, tehnološke zahtjeve i ograničenja. Velik broj iskustvenih relacija koje su definirane jednadžbom, vezane su najčešće uz strojni dio i njegovo mjesto ugradnje.

Parametrizirana skica trebala bi pružiti sljedeće mogućnosti:

- *proračuna* - dimenzioniranje strojnih dijelova, određivanje kritičnog i karakterističnih presjeka promatranog strojnog dijela;
- *izbor normiranih dijelova* - na osnovu potrebnih standardnih proračuna i pristupa tablicama tehničkih normi definirati cijelokupnu geometriju i ostala svojstva strojnih dijelova;
- *izbora kataloških proizvoda* - strojnog dijela, ugradbene grupe, uređaja, stroja, aparata ili postrojenja - s cijelokupnom tehničkom dokumentacijom (priključne mjere, gabariti, performanse, uporaba, montaža, održavanje, ergonomija, ekologija itd.).

Ovakav koncept trebao bi omogućiti da, kada se u određenom čvoru plana aktivira željena akcijska funkcija²², slijedi provedba predviđenih proračuna (dimenzioniranje i oblikovanje uz pridruživanje parametriziranih elemenata geometrije) i dobiva se konstrukcijsko rješenje akcijske funkcije u formi tehničkog crteža u mjerilu. S tehničkim crtežom bi se trebalo moći konstrukcijski manipulirati (kopirati, preslikavati, dodavati u složenije sklopne crteže ukupnog konstrukcijskog rješenja), jednostavno rečeno parametarski konstruirati.

²¹ Ovo razmatranje se odnosi isključivo na područje strojarskih konstrukcija, strojnih dijelova i njihovih sklopova.

²² Potrebni ulazni atribute moraju biti definirani.

Veoma važan segment problema, a ujedno i najteži, je način povezivanja akcijskih funkcija²³ u globalnu funkcionalnu cjelinu²⁴, odnosno oblikovanje onih dijelova konstrukcije koji pojedinačne akcijske funkcije povezuju u jedan funkcionalni sklop. Stoga, konstruktor u fazi projektiranja mora oblikovati strukturu okoline akcijskih funkcija prema postavljenim zahtjevima iz liste zahtjeva, a posebno treba obratiti pažnju na tehnološke mogućnosti pogona (radionice ili poduzeća) gdje će konstrukciju realizirati.

Razvojem modela ekspertnog CAD sustava s ovdje predloženim karakteristikama, sustav je moguće približiti korisniku i "oživjeti" kao "inteligentniji" CAD sustav.

²³ Parcijalnih funkcionalnih rješenja tehničkog problema.

²⁴ Kao što su na primjer kućišta, postolja, nosiva konstrukcija i sl. (ovdje se misli na okolinu akcijskih funkcija).

8. VERIFIKACIJA SUSTAVA ZNANJA

Verifikacija predloženog sustava znanja u ovom radu provedena je pomoću plana projektiranja navojnih vretena uz korištenje postojeće baze scenarija. Planom su obuhvaćena i strukturno razrađena klizna i valjna navojna vretena kao i njihove matice. Navojna vretena imaju važnu ulogu u odvijanju tehničkih procesa pri čijoj realizaciji ona rješavaju određene parcijalne funkcije kompleksnog tehničkog sustava. Očito je da se navojna vretena mogu svrstati među ugradbene grupe koje u zajedničkom djelovanju s drugim komponentama ostvaruju provedbu određenog tehničkog procesa.

Navojna vretena ostvaruju proces pretvorbe okretnog u uzdužno gibanje, kod kojeg se pretvorbom energije pogona u mehaničkom procesu, ostvaruje pogonski učinak na strojne dijelove. Opisani proces najčešće nije kontinuiran te se može automatizirati, ali isto tako njime može upravljati ručno i sam čovjek.

Najvažniji detalj koji se mora uočiti prilikom projektiranja navojnih vretena je da su ona normirani strojni dijelovi koji realiziraju određene parcijalne funkcije ukupnog tehničkog sustava. Treba istaći da postoji veliki broj tipova gotovih izvedbi, koje se mogu naručiti od različitih proizvođača, što projektiranje i izvedbu čini pouzdanim i ekonomski prihvatljivijom. Naime, potrebno je na osnovu ukupne funkcije, proizišle iz konstrukcijskog problema, odrediti vreteno potrebnog promjera prema opterećenju, te dalje na temelju liste zahtjeva odabrati tip i izvedbu vretena koje nam odgovara ili pak konstruirati novo vreteno ako se traži specijalna izvedba.

Ključni problem za projektiranje je proračun potrebnog promjera jezgre vretena uz pretpostavku da će gubitak stabilnosti u slučaju izvijanja¹ biti kriterij s najvećim utjecajem na dimenzioniranje vretena.

Za cjelovito rješenje konstrukcijskog problema, osim odabira vretena i matice potrebno je dimenzionirati i odabrati uležištenje i pogon vretena što je samo kod nekih proizvođača normirano i ponuđeno u sklopu kataloške ponude. Kako su to zasebne

¹ Zbog vitkosti vretena.

tehničke cjeline, treba ih razmatrati u sklopu plana kao odvojene ekspertne sustave², odnosno podzadatke.

Temeljem dosadašnjih razmatranja može se dati shematski prikaz procesa projektiranja navojnih vretera (slika 8.1) koji će poslužiti za izradu plana projektiranja navojnih vretera prikazanog u slijedećem poglavlju.



Slika 8.1: Shematski prikaz procesa projektiranja navojnih vretera

8.1 Kreiranje plana konstruiranja navojnog vretera

Iz teoretskih razmatranja i metodičke razrade postupka projektiranja navojnih vretera³, plan se može podijeliti u tri zasebne cjeline:

- priprema ulaznih podataka i određivanje potrebnog promjera jezgre vretera,
- projektiranje kliznih navojnih vretera,
- odabir gotovih normiranih kugličnih vretera.

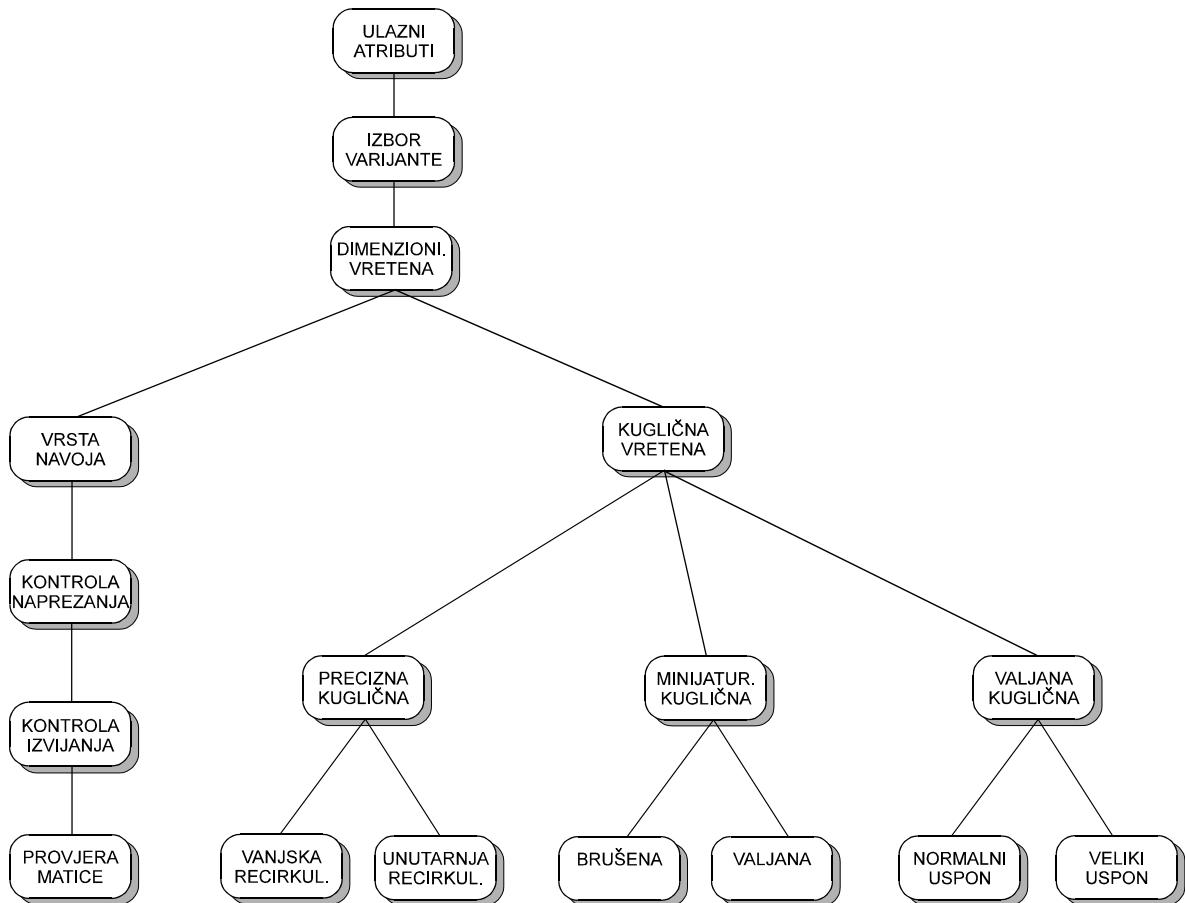
Na temelju ovog može se grafički prikazati čvorove koji čine plan projektiranja navojnih vretera i relacije među njima, slika 8.2.

U svakom prikazanom čvoru nalazi se akcijska funkcija za taj čvor sa svim atributima potrebnim za opisivanje čvorova plana. Potrebno je naglasiti da akcijske funkcije još ne postoje. Iz grafičkog prikaza može se uočiti da je početni dio projektiranja zajednički za sve varijante navojnih vretera. U tom inicijalnom dijelu plana određuju se početni parametri za konstruiranje. Oni uglavnom zavise o stroju za koji se vretero projektira, pa su to parametri koji definiraju opterećenja i parametri koji opisuju geometrijske zahtjeve koji proizlaze iz potreba oblikovanja konstrukcije. Nadalje postoje i parametri materijala vretera i matice za čiji izbor bi se eventualno mogao koristiti poseban ekspertni sustav koji bi kvalitetno rješavao tu problematiku. U tom prvom dijelu se isto

² U sklopu plana jedan čvor bi mogao biti realiziran i kao izdvojeni ekspertni sustav (izbor ležaja ili pogona), integriran u cjelinu kroz kompatibilne ulazne i izlazne tablice atributa, a izvođenje i odluke prepustiti konstruktoru kroz interaktivnu komunikaciju.

³ Ovdje nije prezentirano jer nisu bitni detalji, koji su vezani uz strukturu, za razumijevanje problema u cjelinu.

tako na temelju funkcionalnih zahtjeva stroja, za koji se vreteno projektira, izabire jedno od četiri moguća principa uležištenja vretena⁴. Na temelju principa uležištenja određuje se slobodna duljina izvijanja vretena koja je potrebna kod određivanja minimalnog promjera vretena, što je zadnji korak u ovom dijelu plana projektiranja.



Slika 8.2: Grafički prikaz plana za projektiranje navojnih vretena

Nakon dijela u kojem se određuju početni parametri, plan se dijeli u dvije osnovne grane, jednu za projektiranje kliznih navojnih vretena, a drugu za odabir gotovih kugličnih vretena prema katalogu proizvođača. Odluku o tom izboru trebalo bi donijeti korištenjem akcijskih funkcija i nekih smjernica iz "baze znanja" što bi pomagalo korisniku u odluci kojom granom nastaviti projektiranje, ili bi sam korisnik u određenom čvoru morao odabrati daljnju putanju izvođenja plana. Ovdje je potrebno napomenuti da je baza znanja kompleksan problem koji zahtijeva suradnju stručnjaka iz različitih područja, čije bi se znanje o određenim problemima struke i pojedine specijalnosti trebalo pohraniti na prikidan način, upotrebljiv za korištenje u sklopu "inteligentnog" CAD sustava. Znanje treba pohraniti u obliku skupa pravila, odluka i smjernica koje bi omogućile računalu da korištenjem baze strukovnog znanja "razmišlja" o problemu i donosi pravilne odluke pronalazeći optimalne putove do njegovog rješavanja.

⁴ Izbor prema opterećenju i načinu uležištenja.

Projektiranje kliznih vretna⁵ započinje izborom navoja te biranjem prve standardne veće dimenzije navoja na osnovu izračunatog minimalnog promjera jezgre navojnog vretna. Tip navoja se bira na temelju vrste opterećenja i brzine vrtnje. Ovdje je slična situacija kao i kod biranja materijala. Akcijska funkcija morala bi biti ekspertni sustav koji bi u sebi sadržao sve relevantne standardne, vrste i dimenzije navoja, te kao izlaz davao sve potrebne vrijednosti koje opisuju izabrani navoj. Slijedi kontrola naprezanja vretna prema dimenzijama izabranog navoja i ovdje se u planu kontrolira postignuti faktor sigurnosti. Ako je dobiveni faktor sigurnosti manji od potrebnog zaustavlja se izvođenje plana uz upozorenje korisniku. Korisnik može odlučiti na koji od prethodnih čvorova iz putanje će se vratiti, te tamo "ručno" promijeniti vrijednost nekih od parametara. Tako je simuliran proces iteracije koji je prisutan u svakom realnom procesu konstruiranja. Ako su ograničenja zadovoljena nastavlja se automatsko izvođenje plana. Zadnji korak u ovome dijelu je dimenzioniranje matice, a provjera se izvodi kontrolom dozvoljenog površinskog pritiska, koji je određen izabranim materijalom, toplinskom obradom i stanjem površinske hrapavosti vretna i matice.

Grana za odabir gotovih normiranih vretna⁶, sastoji se od donošenja niza odluka o potreboj tipiziranoj izvedbi gotovog vretna. Odluke bi u pojedinim čvorovima morale donositi pripadne akcijske funkcije na temelju informacija pohranjenih u gore spomenutoj bazi znanja te početnih parametara koji opisuju konstrukciju za koju se vretno projektira. Potrebno je provjeravati za svaku pojedinu grupu vretna da li je minimalni potrebni promjer u granicama standardiziranim za tu grupu vretna i po potrebi omogućiti povratak na neki od prethodnih čvorova te promijeniti neku od vrijednosti parametara. Bitno je spomenuti nekoliko osnovnih kriterija prilikom odluka. Ako je minimalni potrebni promjer vretna manji od 16 mm, to znači da će se izabrati neki od tipova minijaturnih kugličnih vretna. Po kriteriju ekonomičnosti odabiru se valjana vretna koja su jeftinija od brušenih. Postoji li potreba za velikom preciznošću odabrat će se precizna kuglična vretna. Za velike brzine vrtnje najpogodnija su valjana vretna. U stvarnom procesu odlučivanja potrebno je napraviti kompromis ovih kriterija i njihovim kombiniranjem donijeti ispravnu odluku o potreboj izvedbi vretna. Također postoji potreba da se u bazu znanja pohrane standardne vrijednosti za gotova vretna i odgovarajuće tipove matice. Tako da se iz nje na kraju, kad je određen potrebni tip vretna i matici, mogu dobiti podaci o njihovim konkretnim dimenzijama i priključnim mjerama, što je osnovni cilj izrade plana projektiranja navojnih vretna.

8.2 Opis načina rada

Rad sa bazom znanja o akcijskim funkcijama sastoji se od pregledavanja postojećih dokumenata ili stvaranja novih dokumenata o akcijskim funkcijama.

Na početku rada otvoriti se predložak za dokumente o akcijskim funkcijama, a na njemu se vidi samo kontrola koja je vezana uz tablicu kategorija akcijskih funkcija. Pomoći te kontrole korisnik izabire kategoriju akcijske funkcije koja ga u tom trenutku zanima. Nakon što odabere kategoriju, na predlošku postaje vidljiva kontrola koja sadrži sve

⁵ Lijevo prikazana grana u planu projektiranja.

⁶ Prikazana na desnoj strani plana.

akcijske funkcije koje pripadaju toj kategoriji. Ta je kontrola vezana uz tablicu akcijskih funkcija.

Ako za odabranu akcijsku funkciju već postoje dokumenti koji je opisuju, na predlošku se pojavljuje kontrola sa popisom aplikacija u kojima su ti dokumenti realizirani, te korisnik tako može odabrat tip dokumenta o akcijskoj funkciji koji želi vidjeti. Kontrola je vezana uz tablicu aplikacija. Odabiranjem jedne od aplikacija otvara se kontrola sa popisom dokumenata koji pripadaju odabranoj aplikaciji i akcijskoj funkciji, pa se iz te kontrole može pokrenuti aplikacija i otvoriti postojeći dokument u njoj.

Ako za odabranu akcijsku funkciju nema dokumenata, te ih korisnik mora sam stvoriti, na predlošku postaje vidljiva kontrola koja prikazuje moguće aplikacije u kojima se taj dokument može realizirati. S tog popisa se izabire jedna od postojećih aplikacija ili se otvara kontrola na kojoj je moguće dodati novu aplikaciju u tablicu aplikacija. Potom slijedi otvaranje aplikacije s novim dokumentom koji opisuje akcijsku funkciju.

Kao što je već spomenuto, ovaj dodatak bazi scenarija je početak i prvi korak u koncipiranju baze znanja o akcijskim funkcijama koja će služiti kao jedan od oblika pomoći konstruktoru u procesu generiranja plana korištenjem već postojećih akcijskih funkcija, ali isto tako i korisnicima koji će kreirati nove akcijske funkcije za potpuno opisivanje i objašnjavanje kako i što bi te akcijske funkcije morale raditi, te koja je njihova konkretna namjena.

8.3 Upravljanje izvođenjem plana

Osnovni preduvjet za uspješno izvođenje plana je postojanje baze akcijskih funkcija za pojedine čvorove plana kao i podsustava za upravljanje stanjem čvorova što još nije realizirano u okviru modela ICAE sustava prema [31], pa će to biti simulirano kod testiranja izvršne baze "ručnim" upisivanjem vrijednosti u tablice čvorova.

Zadatak koji izvršna baza mora ostvariti u prvom redu odabir nekog već postojećeg plana koji je pohranjen u bazi planova, učitavanje potrebnih tablica relacija za taj plan, koje sadrže potpuni opis čvorova plana. Zatim kretanjem od čvora do čvora, kako je definirano u relacijama između njih, redom omogućiti pozivanje podsustava za upravljanje stanjem čvora koji izvršava potrebnu akcijsku funkciju, kontrolirati ograničenja koja su nametnuta pojedinom čvoru, te donositi odluke za čvorove s više sljedbenika. Također je potrebno da se sve to izvršava u "automatskom" režimu rada, a pojavili se u planu neka nejasnoća ili pogreška u zapisu plana treba prekinuti "automatsko" izvođenje te zatražiti intervenciju korisnika. Ovdje je potrebno naglasiti da relacije među čvorovima mogu biti takve da čvorove možemo podijeliti na sljedeći način:

- *čvor bez relacija* - čvor koji nema ni prethodnika ni sljedbenika što znači da je plan neispravan,
- *početni čvor s više sljedbenika* - čvor na kojem započinje izvođenje plana, nema prethodnika, ali ima više sljedbenika, te sukladno tome i tablicu odluka,
- *normalni čvor s jednim sljedbenikom* - čvor koji ima jednog prethodnika, ali i samo jednog sljedbenika, pa je bez tablice odluke,

- *normalni čvor s više sljedbenika* - čvor koji ima jednog prethodnika, ali i više sljedbenika, pa ima tablicu odluke,
- *zadnji čvor* - čvor koji ima samo jednog prethodnika i nema sljedbenika, te na njemu završava izvođenje plana.

8.3.1 Opis postupka izvršavanja plana

Postupak izvršavanja plana, realiziran u okviru izvršne baze, mogao bi se opisati koracima koji slijede:

1. ODREDIVANJE TIPOA TRENUTNOG ČVORA

Kao što je spomenuto u okviru prošlog poglavlja razlikujemo nekoliko osnovnih vrsta čvorova o čemu ovisi daljnje ponašanje plana prilikom izvođenja. Osnovna razlika je u tome da li čvor ima jednog ili više sljedbenika, odnosno ima li tablicu odluke ili ne. Ako čvor ima samo jednog sljedbenika nije potrebno izvoditi proceduru za odabir slijedećeg čvora veće se samo na temelju relacija direktno prelazi na jedinog sljedbenika.

2. IZVOĐENJE AKCIJSKE FUNKCIJE ČVORA

Izvođenjem akcijske funkcije upravlja podsustav za upravljanje stanjem čvora koji je realiziran u drugom programskom okruženju nego izvršna baza. Potrebno je ostvariti komunikaciju tog podsustava i izvršne baze koja čeka potvrdu o uspješnom izvođenju akcijske funkcije, nakon čega se rezultati zapisuju u izlaznu tablicu trenutnog čvora. Jedan od mogućih načina komuniciranja između dvije aplikacije je da se procedura u Accessu zaustavi pozivanjem običnog prozora za poruke koji čeka "klik" na "OK" ili pritisak na tipku "ENTER", što mu podsustav za upravljanje stanjem čvora može poslati nakon što akcijska funkcija završi sa izvođenjem.

3. PROVJERA TABLICE IZLAZNIH ATRIBUTA

Nakon što su rezultati akcijske funkcije zapisani u izlaznu tablicu trenutnog čvora, potrebno je provjeriti da li su sve varijable u toj tablici dobile vrijednosti, tj. da li je akcijska funkcija uspješno izvršena. Ako jesu nastavlja se sa izvođenjem plana, a ako nisu prekida se izvođenje plana i traži od korisnika da "ručno" unese vrijednosti za varijable koje ih nemaju.

4. PROVJERA OGRANIČENJA

Za čvorove koji imaju tablicu ograničenja za neke varijable, moraju se ona provjeriti prema postavljenim kriterijima u planu. Ako su zadovoljena nastavlja se sa izvođenjem plana, a ako nisu prekida se izvođenje i čeka da korisnik odredi na kojem će se čvoru nastaviti izvođenje.

5. ODREDIVANJE SLJEDEĆEG ČVORA

Ako čvor ima samo jednog sljedbenika program automatski prelazi na njega određujući koji je on iz tablice relacija. Ima li čvor više sljedbenika pokreće se procedura koja redom ispituje svaki od uvjeta iz tablice odluke dok ne pronađe prvi koji je zadovoljen te tada prelazi na njega. Ako ni jedan od uvjeta nije zadovoljen program se zaustavlja i

čeka neko vrijeme dok korisnik razmisli na kojem će čvoru nastaviti izvođenje plana. Čekanje je ostvareno beskonačnom petljom koja se vrti tako dugo dok korisnik "klikom" ne odabere jedan od mogućih čvorova za nastavak.

6. PRELAZAK NA SLIJEDEĆI ČVOR (povratak na točku 1.)

Ovim korakom se ostvaruje povratak na početak petlje unutar koje se "obrađuje" čvor, s tim da se cijeli postupak ponavlja za sljedeći čvor. Time je ostvareno izvršavanje cjelokupnog plana. Završetak izvršavanja slijedi nakon što se procedura ponovi za završni čvor koji nema dalnjih sljedbenika.

8.3.2 Predložak za izvršavanje plana

Nakon što sustav javi poruku o uspješnom učitavanju odabranog plana korisnik pokreće "klikom" na kontrolu *izvršavanje_plan* otvaranje novog glavnog predložka za izvršavanje plana. Predložak za izvršavanje plana prikazan je na slici 8.3.

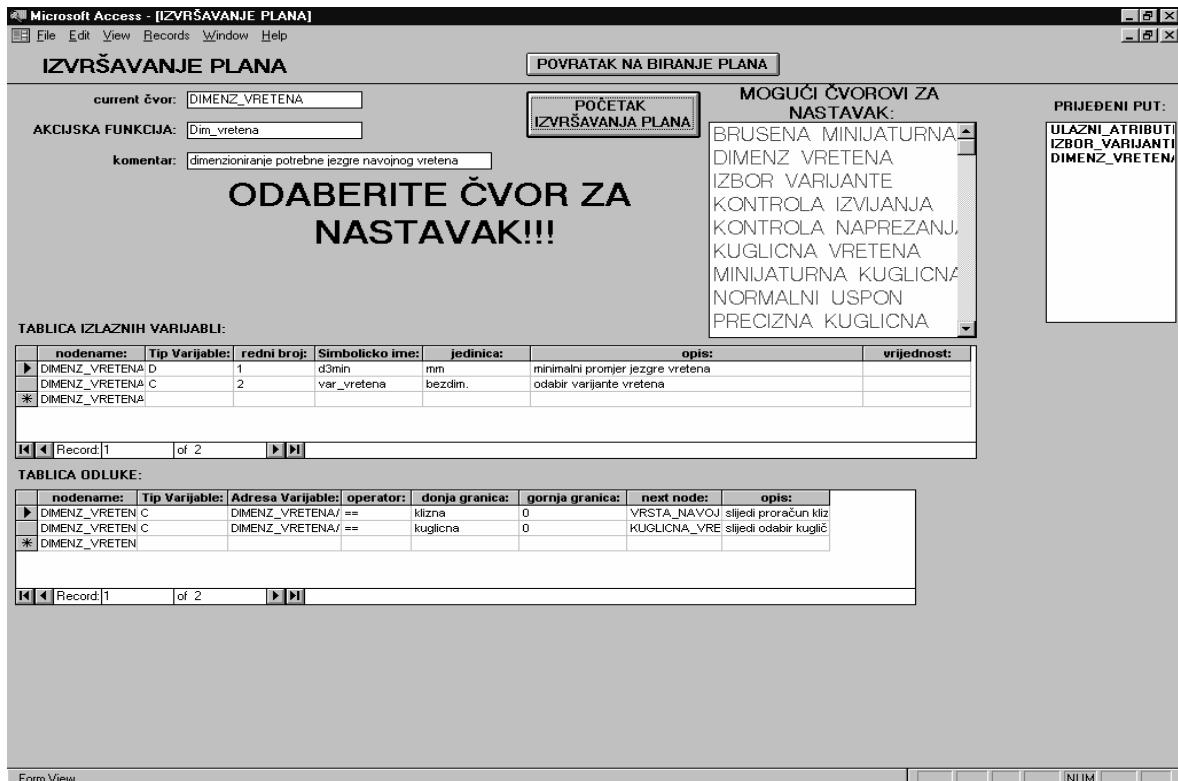
Ako ni jedan sljedeći čvor ne odgovara postavljenim pravilima u tablici odlučivanja, od korisnika se zahtijeva da sam odabere sljedeći čvor. Izgled predložka u trenutku kad plan čeka odluku korisnika dan je na slici 8.4. Postupak je isti kao i u proceduri za provjeru ograničenja.

nodenume	Tip Varijable	Adresa Varijable	redni broj:	Simbolicko ime:	jedinica:	opis:
node_3	D	node_1/1	1	FO		obodna sila
node_3	D	node_1/2	2	dG		promjer glavine
node_3	C	node_1/7	3	VOPT		vrsta opterecenja
*	node_3		0			

nodenume	Tip Varijable	redni broj:	Simbolicko ime:	jedinica:	opis:	vrijednost:
node_3	D	1	T		moment uvijanja	
node_3	C	2	O_VEZE		oblik veze	
*	node_3					

nodenume	Tip Varijable	Adresa Varijable	operator:	donja granica:	gornja granica:	next node:	opis:
node_3	C	node_1/7/0	==	UDARNO	0	node_5	proracun pera
node_3	C	node_1/7/0	==	ISTOSMIJERNO	0	node_4	proracun klin
node_3	C	node_1/7/0	==	PROMJENJIVO	0	node_5	proracun pera
*	node_3						

Slika 8.3: Predložak za izvršavanje plana



Slika 8.4: Predložak za izvršavanje plana u trenutku prekida izvođenja plana

8.3.3 Predložak za "ručni" unos vrijednosti u tablicu izlaznih atributa čvora

Kao što je već spomenuto ovaj predložak omogućuje "ručni" unos vrijednosti varijabli koje nisu korektno unesene u tablicu izlaznih atributa čvora tijekom izvođenja podsustava za upravljanje stanjem čvora, a izgled predloška je dan na slici 8.5.

VARIABLE KOJE NEMAJU VRIJEDNOSTI:

- ULAZNI_ATRIBUTI_cjena
- ULAZNI_ATRIBUT_geom_zah
- ULAZNI_ATRIBUT_MATM
- ULAZNI_ATRIBUT_MATV
- ULAZNI_ATRIBUT_n
- ULAZNI_ATRIBUT_oblik_matrice

POVJETAK NAKON PROMJENA

TABLICA IZLAZNIH VARIJABLI:

nodenome:	Tip Varijable:	redni broj:	Simbolicko ime:	jedinica:	opis:	vrijednost:
ULAZNI_ATRIBUTI_D		1	Ft	N	tlacična sila	10000
ULAZNI_ATRIBUTI_D		2	Lvr	bezdim.	duljina vretena	200
ULAZNI_ATRIBUTI_C		3	MATV	bezdim.	materijal vretena	
ULAZNI_ATRIBUTI_C		4	MATM	bezdim.	materijal maticice	
ULAZNI_ATRIBUTI_C		5	VOPT	bezdim.	vrsta opterećenja	istosm.prom.
ULAZNI_ATRIBUTI_D		6	Fp	N	pogonska sila	250
ULAZNI_ATRIBUTI_D		7	E	N/mm ²	modul elastičnosti	210000
ULAZNI_ATRIBUTI_D		8	mi	bezdim.	faktor trenja vreteno/matica	0.1
ULAZNI_ATRIBUTI_I		9	lambdao	bezdim.	granični faktor tvrdoći ovisno o materijalu	105

Slika 8.5: Predložak za upis vrijednosti varijabli

8.4 Izvođenje plana na konkretnim primjerima

Zadnja faza u razvoju bilo kojeg programskog sustava je testiranje istog. Kvalitetno testiranje jednako je važno kao i sam proces razvoja sustava jer se samo tako mogu uočiti nedostaci koji možda na prvi pogled nisu vidljivi. Idealno bi bilo sustav testirati na mnogo različitih primjera, kao i omogućiti da ga testira veća grupa korisnika kroz određeno vremensko razdoblje.

Također je potrebno provjeriti funkcioniranje plana projektiranja i testiranjem utvrditi opisuje li on dovoljno dobro stvarni proces projektiranja vretena, tj. može li se pomoći njega na temelju početnih parametara dobiti, kao ispravno rješenje, projekt vretena koje odgovara rješenju koje bi se dobilo projektiranjem bez uporabe računala. S obzirom da akcijske funkcije još ne postoje u bazi ICAD sustava, testiranje je provedeno tako da su ručno unesene vrijednosti u tablice svakog od čvorova čime je simulirano uspješno izvršenje svake od akcijskih funkcija. To znači da se u ovoj fazi razvoja ustvari može testirati da li izvršna baza ispravno slijedi putanju plana ovisno o situaciji, tj. pravilno odlučuje o sljedećem čvoru, odnosno kontrolira ograničenja i vrijednosti varijabli u izlaznoj tablici pojedinog čvora. Testiran je po jedan primjer projektiranja kliznih vretena i odabira gotovih normiranih kugličnih vretena.

Primjer koji je poslužio za testiranje projektiranja kliznih vretena je vreteno za vijčanu ručnu prešu. Proračun je napravljen "ručno" za vrijednosti početnih parametara prikazanih u tablici 8.1.

Tablica 8.1: Vrijednosti početnih parametara za testirani primjer

OPIS VARIJABLE	OZNAKA	VRIJEDNOST
tlačna sila	F_t	10000 N
duljina vretena	I	200 mm
materijal vretena	MATVR	Č 0460
vrsta opterećenja	VOPT	istosmjerno promjenjivo
ručna sila	F_p	250 N
materijal matice	MATM	bronca P.CuSn12
modul elastičnosti	E	210 000 N/mm ²
faktor trenja vreteno/matica	mi	0.1
granični faktor vitkosti ovisno o materijalu	lambdao	105
sigurnost protiv izvijanja - prethodna	S	8
dopušteno naprezanje	sigmadop	210 N/mm ²
istosm. prom. trajna čvrstoća	sigmaDI	420 N/mm ²
brzina vrtnje vretena	n	nije propisana
zahtjev na radikalne i aksijalne dimenzije matice	geom_zaht	nema ograničenja
ekonomski zahtjev na vretena	cijena	jeftino
potrebni geometrijski oblik matice zbog prihvata	oblik_matrice	nema zahtjeva

Prepostavljeni način uležištenja je čvrsto - slobodno te je kao minimalno potrebni promjer vretna dobivena vrijednost od **18.9 mm**.

Daljnjim projektiranjem kliznih vretena je zbog promjenjivog opterećenja odabran normalni dvovojni trapezni navoj **Tr 24x6(P3)** čije su osnovne dimenzije dane u tablici 8.2.

Tablica 8.2: Osnovne dimenzije odabranog navoja

OPIS VARIJABLE	OZNAKA	VRIJEDNOST
odbrani promjer jezgre vretna	d_3	20.5 mm
nazivni promjer vretna	d	24.0 mm
srednji promjer vretna	d_2	22.5 mm
uspon navoja	P_n	6 mm
korak navoja	P	3 mm
kut profila navoja	beta	30 °
nosiva dubina navoja	H_1	1.5 mm

Provjerom naprezanja izračunata je vrijednost reducirano naprezanja $\sigma_{red}=30.5 \text{ N/mm}^2$ čime je ostvaren faktor sigurnosti **S=6.9** koji u potpunosti zadovoljava ograničenje prema kojem je potrebni faktor sigurnosti **S_{potr}>2**.

Provjera izvijanja je provedena prema Tettmayeru za plastično područje, jer je faktor vitkosti vretna $\lambda=78.05$ što je manje od graničnog, te je dobiveno naprezanje izvijanja od $\sigma_k=223.38 \text{ N/mm}^2$ i faktor sigurnosti **S_{izv}=7.34** što je veće od potrebnog **S_{potr}>3**.

Izračunata visina matice je **m=60 mm**, a dodirni pritisak **p=4.715 N/mm²** je manji od dozvoljenog **p_{dop}=5 do 15 N/mm²**.

Testiranje izbora kugličnih vretena je izvršeno na primjeru vretna za NC alatni stroj. Vretno je uležišteno na principu manje čvrsto - manje pomicno. Opterećenje vretna je **F_p=30000 N**, potrebna duljina vretna **L_{vr}=1600 mm**, a brzina vrtnje **n=1500 °/min**. Izvedba nije ograničena raspoloživim radikalnim prostorom iz čega proizlazi da će izabrano vretno biti sa vanjskom recirkulacijom.

Izračunati potrebni promjer vretna je **30.1 mm**, što automatski isključuje minijaturna kuglična vretna. Obzirom da je vretno za alatne strojeve, važan je zahtjev na preciznost, te je logičan izbor preciznih kugličnih vretena. Zbog potrebe da vretno i matica u gibanju budu bez zračnosti bira se matica tipa BNFN kod koje je prisutno prednaprezanje distantskim prstenom koje eliminira zračnost i omogućuje precizno pozicioniranje. Prvi veći standardni promjer vretna i matice tog tipa je **32 mm** označke **BNFN3210A-3.5GO+1600LC2** pri čemu **GO** označava grupu najmanje aksijalne zračnosti, a **C2** grupu izrade.

Testiranje je provedeno za više karakterističnih primjera. Kad su tablice čvorova bile ispravno popunjene, izvođenje plana je bez poteškoća izvedeno u potpunosti. Odluke o sljedećem čvoru, u čvorovima sa tablicama odluke, su donošene ispravno, te je plan uspješno izведен za oba primjera do kraja. Ispravno su kontrolirana ograničenja, te vrijednosti u ulaznim tablicama. Kod ispuštanja nekih vrijednosti zaustavljen je

izvršavanje plana te se od korisnika zahtjevala odluka o nastavku izvođenja sa postojećim stanjem ili unošenje vrijednosti koje su nedostajale. Ako nisu bili ispunjeni kriteriji odluke za pojedini čvor, također je zaustavljeno izvođenje plana te se od korisnika očekivalo da odredi čvor na kojem će se nastaviti sa izvođenjem plana.

Sustav se u testiranju pokazao stabilnim koliko je to bilo moguće provjeriti s obzirom na nepostojanje stvarnih akcijskih funkcija. Plan je također pokazao da je njime moguće doći do rješenja zadanog problema. Naravno tek bi u izvedbi sa stvarnim akcijskim funkcijama mogli doći do konačnog mišljenja o predloženom planu i mogućnostima njegove eksploatacije pomoću izvršne baze.

9. ZAKLJUČAK

U skladu s postavljenim ciljem u radu je istražena mogućnost strukturiranja konstrukcijskog znanja obzirom na način zapisivanja i provođenja procesa konstruiranja, posebno pri kreiranju i generiranju planova konstruiranja. Uvodnim razmatranjima naznačene su mogućnosti razvoja postojećih CAD sustava uporabom znanja pohranjenog u akcijskim funkcijama. Iznesena je teza da se kreiranjem sustava temeljnih akcijskih funkcija, može prikazati znanje potrebno u konstrukcijskom procesu, i to strukturiranjem strojnih dijelova prema osnovnim tehničkim principima, primjenjujući prvenstveno pravila ispravnog tehnoškog oblikovanja konstrukcijskih komponenti. Pri tome su akcijske funkcije operatori čvorova plana, te se tretiraju kao temeljni dijelovi konstrukcijskog znanja, čijim se aktiviranjem obavlja pretvorba skupa informacija.

Složenost prikaza znanja uvjetovala je istraživanja koja zadiru u dva osnovna područja znanosti o konstruiranju: računalne modele procesa konstruiranja, te implementaciju znanja u proces konstruiranja. Prepostavka znanstvenog napretka u tim područjima jest sagledavanje stanja sadašnjeg stupnja razvoja suvremenih modela i metoda konstruiranja. Postavljena zadaća - strukturiranje baze znanja u procesu konstruiranja - temelji se stoga na analizi, te potom sintezi čimbenika bitnih za provođenje i unapređenje konstrukcijskog procesa. Provedena analiza temelji se na, po autoru odabrana, tri karakteristična pristupa procesu konstruiranja: Opća teorija konstruiranja od Yosikawe, Opći model konstruiranja od Hubke i Rothov algoritamski postupak konstruiranja pomoću kataloga. Navedeni pristupi, i to svaki na svoj način, su relevantni za sustavno istraživanje strukture konstrukcijskog znanja, jer ocrtavaju različitost pristupa konstruiranju, te raznovrsnost transformacija kroz različite konstrukcijske aktivnosti. Također je dan i pregled stanja u području primjene metoda umjetne inteligencije u konstruiranju, a posebna pažnja usmjerena je na tehnike prikaza i uporabe znanja, kao važna smjernica za razmatranje koncepcije baze strukovnog znanja.

Posebno je razmatren prikaz procesa konstruiranja planom, izložena je struktura i sintaksa zapisa plana, te objašnjen način korištenja plana. Potrebno je istaći da plan

zabilježen kao stablo može biti eksplotirani kao mreža, naime, moguć je poseban način korištenja plana procesa konstruiranja, uz generiranje novog konstrukcijskog rješenja, jer plan zapisan kao stablo pruža mogućnost uporabe u obliku općeg grafa.

Analizirane su različite metode i postupci rješavanja konstrukcijskih problema s posebnim naglaskom na teoriju tehničkih sustava, na čemu se temelji pristup predložene strukture za oblikovanje baze strukovnog znanja.

Istraživanjem se koncipira i strukturira konstrukcijsko znanje, te predlaže model za gradnju baze strukovnog znanja, koja mora biti sastavni dio "inteligentnog" CAD sustava. Tehničke znanosti su glavni izvor konkretnog i specifičnog konstrukcijskog znanja koje je neophodno pri oblikovanju u pojedinim stručnim granama i specijalnostima tehnike. Međutim, veoma obimni izvori znanja koji se ne pojavljuju u objavljenoj literaturi, sastoje se najčešće od različitih iskustvenih spoznaja - *posebni individualni sustavi* - vlasnički zaštićeni i čuvani od pojedinca ili institucija kao poslovna tajna, i zato predstavljaju veliku poteškoću pri generiranju kvalitetnog sustava strukovnog znanja u području određene domene. U radu su prezentirana tri karakteristična razreda strukovnog znanja:

- *principijelna tehnička rješenja klase zadataka određene domene* - takvo znanje je pohranjeno u konstrukcijskim katalozima i najčešće ne sadrži konkretna rješenja¹, već klase znanja koje svojom strukturom potiču inspiraciju i donose bitna poboljšanja u brzini i efikasnosti oblikovanja željenog rješenja,
- *oblikovanje prema konstrukcijskim svojstvima* - takvo znanje definira pravila oblikovanja, odnosno postupke za određivanje dimenzija i oblika izratka da bi se zadovoljila individualna svojstva tehničkog sustava u kvalitativnom i kvantitativnom obliku,
- *preskriptivna pravila oblikovanja*² - to je konkretno konstrukcijsko znanje u obliku smjernice, preskriptivnog tiskanog materijala ili čak standarda namijenjenog uskoj točno usmjerenoj domeni tehničkog problema.

Navedeni razredi nikako ne iscrpljuju sve mogućnosti predočavanja znanja, stoga se može očekivati i neka nova forma za predstavljanje strukovnog znanja koja će u konkretnom slučaju biti svrsishodnija i prikladnija za uporabu.

Za područje strojarskih konstrukcija, poglavito strojnih dijelova i njihovih funkcionalnih sklopova, koncipirana je struktura znanja koja treba činiti osnovu za izradu baze strukovnog znanja. Pri tome je izdvojena svaka grupa strojnih dijelova zasebno po kriteriju osnovnog tehničkog principa i time omogućeno pregledno i brzo pretraživanje područja znanja elemenata strojeva po kriteriju jediničnih akcijskih funkcija. Stručno područje "Elementi strojeva" vrlo je opsežno i stalno se proširuje novim spoznajama i rezultatima istraživanja, tako da predočena podjela nije konačna verzija, što se vidi iz strukturalnih dijagrama pojedinačnih područja koji su prezentirani s mogućnošću nadopunjavana i daljnog razvoja.

¹ Iako primjeri kataloga s konkretnim rješenjima nisu isključeni.

² Najčešće se navode sa "Ovako bi to trebalo napraviti".

Izložena struktura tehničkih znanja temelji se na funkcionalnim principima, prema općem modelu građe strukovnog znanja, što čini originalni doprinos razvoju teorije konstruiranja. Struktura se grana i širi, od osnovnog funkcionalnog principa, u općem slučaju opisanog skupom akcijskih funkcija, prema konkretnom oblikovnom tehničkom rješenju. Pri tom se grananjem strukture ulazi u bit problema određenog područja stručne tehničke domene. Strukturiranje znanja je provedeno na strojnim dijelovima za sve funkcionalne grupe tehničkih sredstava bez izlaganja konkretnog znanja, jer ova struktura treba poslužiti kao model za izradu baze znanja elemenata strojeva budućeg intelligentnog CAD sustava. Ujedno je provedeno i strukturiranje znanja vezanog za tehnologično oblikovanje strojnih dijelova i sklopova, a prikazano znanje izneseno je u obliku osnovnih pravila i smjernica za oblikovanje, koja se isto tako trebaju rabiti u bazi strukovnog znanja.

Bilo bi značajno pohraniti takva znanja u sustave baza znanja u računalu, kako bi sve navedene informacije za oblikovanje proizvoda, bile na jednom mjestu i lako dostupne pri modeliranju konstrukcijskog procesa. Bitnu promjenu u praktičnom poimanju i provođenju konstrukcijskog procesa podržanog računalom, moguće je očekivati samo onda kada se prihvati činjenica, da je strukovno znanje važan dio neophodnog općeg konstrukcijskog znanja, te stoga mora biti esencijalni element svake baze znanja računalnog sustava.

Preduvjet operativne eksploatacije predložene strukture znanja strojarskih konstrukcija je njegova implementacija u formi akcijskih funkcija u "intelligentni" CAD sustav. Time znanje sadržano u akcijskim funkcijama predstavlja i strukovno znanje pohranjeno u domenom zavisne baze znanja. U dalnjim istraživanjima trebalo bi poraditi na parametrizaciji osnovnih akcijskih funkcija, odnosno na razini tehničkog principa, ponuditi parametriziranim skicom rješenje određenog problema. Parametrizacija uključuje standardne proračune, predviđene normom ili tehničkim propisom, kao i parametrizaciju prema iskustvenim relacijama, što bi omogućilo parametarsko konstruiranje na razini različitih akcijskih funkcija. Međutim, ostaje još jedan bitan segment problema, možda i najteži, povezati sve tako oblikovane akcijske funkcije u globalnu funkcionalnu cjelinu. Stoga se u budućim istraživanjima mora posvetiti značajan dio pažnje oblikovanju okoline akcijskih funkcija prema postavljenim zahtjevima iz liste zahtjeva.

LITERATURA

- [1] Ullman D.G., *The Mechanical Design Process*, McGraw - Hill, 1992.
- [2] Hubka V., *Theorie der Konstruktionsprozesse*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag, 1976.
- [3] Marjanović D., *Implementacija ekspertnih alata u proces konstruiranja*, Disertacija, FSB Zagreb, 1995.
- [4] Herold Z., *Metodička razrada familije strojeva za centrifugalno zalijevanje kliznih ležaja, korištenjem računala u svim fazama konstrukcijskog procesa*, Magistarski rad, FSB Zagreb, 1986.
- [5] Schön E., *Designing as reflective conversation with materials of a design situation*, *Knowledge - Based Systems*, Vol5, No1, 3-14, 1992.
- [6] Finger S., Dixon J.R., *A Review of Research in Mechanical Engineering Design, Part I: Descriptive, Prescriptive and Computer - Based Models of Design Process*, *Research in Engineering Design*, Vol1, No1, 51-67, 1989.
- [7] Finger S., Dixon J.R., *A Review of Research in Mechanical Engineering Design, Part II: Representations, Analysis, and Design for the Life Cycle*, *Research in Engineering Design*, Vol1, No2, 121-137, 1989.
- [8] Kostelić A., *Znanost o konstruiranju, rukopis knjige*, Zagreb, 1996.
- [9] Oberšmit E., *Nauka o konstruiranju, metodičko konstruiranje i konstruiranje pomoću računala*, SNL Liber, Zagreb, 1985.
- [10] Kostelić A., Marjanović D., *General Design Theories - Pro et Contra*, International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995.
- [11] Bijl A., *An Approach to Design Theory*, in *Intelligent CAD I* ed. Yoshikawa, Gossard, Procc. of IFIP TC5/WG5.2 Boston, 1987, North Holland, 3-27, 1989.
- [12] Tomiyama T., Kiriyama T., Takeda H., Xue D., Yoshikawa H., *Metamodel: A Key the Intelligent CAD Systems*, *Research in Engineering Design*, Vol1, No1, 19-34, 1989.

- [13] Eekels J., Roozenburg N.F.M., A Methodological comparision of the structures of scientific research and Engineering Design; Their similarities and differences, in Proceedings of the ICED 91, Zurich 1991, ed. V. Hubka, WDK, Heurista, 58-69, 1991.
- [14] Kostelić A., CAD kao podsustav CIM, Predavanje HAZU, Zagreb, 1994.
- [15] Yoshikawa H., General Design Theory as a Formal Theory of Design, in Intelligent CAD I ed. Yoshikawa, Gossard, Procc. of IFIP TC5/WG5.2 Boston, 1987, North Holland, 51-63, 1989.
- [16] Marples M.L., The Decisions of Engineering Design, IRE Transactions on Engineering Management, EM, 8, 55-70, 1961.
- [17] Suh N. P., Principles of Design, UP, Oxford, 1990.
- [18] Hubka V., Eder W.E., Engineering Design - General Procedural Model of Engineering Design, Heurista, Zürich, 1992.
- [19] Pahl G., Beitz W., Engineering Design, The Design Council, London, 1984.
- [20] Roth K., Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag, 1982.
- [21] Rodenacker W., Methodisches Konstruieren, Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag, 1979.
- [22] Koller R., Konstruktionsmethode für den Maschine, Geräte, und Apparatebau, Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag, 1976.
- [23] Hubka V., Eder W.E., Design Science, Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag, 1996.
- [24] Akman V., Hagen P.J.W., Tomiyama T., A fundamental and theoretical framework for an intelligent CAD system, CAD, Vol22, No6, 352-367, Butterwooth - Heinemann Ltd, 1990.
- [25] Hubka V., Eder W.E., Theory of Technical Systems, New York: Springer - Verlag, 1988.
- [26] Maravić T., Sistem grupnog konstruiranja u individualnoj proizvodnji - primjena u kotlogradnji, Disertacija, FSB Zagreb, 1991.
- [27] Pavković N., Kreiranje baze scenarija ekspertnog CAD sustava, Magistarski rad, FSB Zagreb, 1996.
- [28] Artobolevskii, I.I., "General Problems in the Theory of Machines and Mechanisms", Mech. & Mach. Th. 10 1975., Nr. 2/3.
- [29] Artobolevskii, I.I., "Past, Present and Future of the Theory of Machines and Mechanisms", Mech. & Mach. Th. 11 1976., Nr. 6.
- [30] Zwicky F., The Morphological Method of Analysis and Construction, Courant Anniv. Vol., New York: Wiley-Interscience, 1948.
- [31] Deković D., Marjanović D., Bojčetić N., Model sustava za vođenje konstrukcijskog procesa, Zbornik radova 4. skupa Konstruiranje 96, Tehnički fakultet Rijeka, 1996.
- [32] Salopek D., Sustav za objašnjavanje konstrukcijskog procesa, Diplomski rad, FSB Zagreb, 1996.

- [33] Bojčetić N., Jović M., The model of user interface in design process, International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995.
- [34] Cagan J., Grossmann I.E., Hooker J., A Conceptual Framework for Combining Artificial Intelligence and Optimisation in Engineering Design, Research in Engineering Design, Vol9, No1, 20-34, Springer, 1997.
- [35] Cohen P.R., Feigenbaum E.A., The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. I, II, III, Addison - Wesley, 1986.
- [36] Myopolous J., Cohen P.R., Borgida A., Sugar L., Semantic networks and the generation of context, IJCAI 4, 134-142, 1975.
- [37] Marjanović D., Pavković N., The Structure of an ICAE System, International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995,
- [38] Bojčetić N., Korisničko sučelje sustava za konstruiranje mehaničkih sklopova, Magistarski rada, FSB Zagreb, 1996.
- [39] Štorga M., Plan konstruiranja navojnog vretena, Diplomski rad, FSB Zagreb, 1997.
- [40] Andreasen M.M., Kähler S., Lund T., Swift K.G., Design for Assembly (2. ed.), London: IFS Pub., and Berlin / Heidelberg: Springer - Verlag, 1988.
- [41] Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W., Product Design for Manufacture and Assembly, New York: Marcel Dekker, 1991.
- [42] VDI Richtlinie 2242 (1) and (2): Ergonomiegerechtes Konstruieren, Düsseldorf: VDI, 1983.
- [43] Orlov P.I., Osnovi konstruirovaniya, Mašinostroenie, Moskva, 1988.
- [44] Norman D.A., The Psychology of Everyday Things, New York: Basic Books, 1988.
- [45] Meerkamm H., Engineering Workbench - ein Schlüssel zur Lösung komplexer Konstruktionsprobleme, International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995.
- [46] Beitz W., Helbig D., Entwicklung Produkt - und unternehmensorientierter Konstruktionsleitsysteme, International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995.
- [47] Abeln O., Meerkamm H., Storath E., Weber U., The CAD Reference Model - On Its First Approach to Praxis, International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995.
- [48] Stanek J., Aufbau von Wissenbasen in Ingenieurdatenbanksystemen zur Integralen Produktentwicklung, International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995.
- [49] Reinders H., Design Information Deployment in "Design Assistants", International Conference on Engineering Design, ICED 95, WDK, Heurista, 1995.
- [50] Oberšmit E., Osnove konstruiranja-tehnološki ispravno konstrukcijsko oblikovanje strojnih dijelova, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1983.

KRATKI ŽIVOTOPIS

Zvonko Herold rođen je u Osijeku 25. studenog 1953. godine. Osnovnu školu pohađao je u Podravskoj Slatini, a Srednju tehničku strojarskog smjera u Osijeku. Kao tehničar radio je godinu dana u poduzeću "Univerzal" iz Podravske Slatine. Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu upisao je 1974/75. godine. Diplomirao je 1979. godine na usmjerenu Mehaničke konstrukcije s odličnim uspjehom. Po završetku studija zaposlio se u poduzeću "Graditelj" iz Podravske Slatine, te radio godinu dana u Sektoru za razvoj.

Od 1. studenog 1980. stalno je zaposlen na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu kao asistent na Katedri za elemente strojeva i konstruiranje. Postdiplomski studij upisao je 1982. godine pri Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu iz područja strojarstva, smjer "Teorija konstrukcija", te 8. srpnja 1986. godine obranio magistarski rad pod naslovom "Metodička razrada familije strojeva za centrifugalno zalijevanje kliznih ležaja korištenjem računala u svim fazama konstrukcijskog procesa".

Od 1992. godine sudjeluje u autorskom timu projekta "Hrvatska baština drvene brodogradnje" na poslovima istraživanja, snimanja brodskih formi i gradnji modela brodova.

SHORT BIOGRAPHY

Zvonko Herold was born on November 25th 1953 in Osijek. He acquired his primary education in Podravska Slatina. After his secondary education in Secondary Technical School in Osijek, he worked for a year in the enterprise "Univerzal" in Podravska Slatina. He graduated at the Department of Mechanical Design at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb with highest marks. Subsequently he worked in the sector of Development in the enterprise "Graditelj" in Podravska Slatina.

From November 1st 1980 he works as an assistant professor at the Department of Machine Elements and Design of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb. In 1986 Zvonko Herold acquired the M. Sc. degree at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture of the University of Zagreb with the thesis "Methodical Development of Families of Centrifugal Sliding Bearing Casting With the Aid of Computer Throughout the Design Process".

From 1992 on Zvonko Herold participates in the scientific and cultural project "Heritage of Wooden Shipbuilding in Croatia" in the activities of research, reconstruction and presentation of the shipbuilding heritage of the Croatian Adriatic.